

RESUMEN

Las Redes VANET son redes inalámbricas creadas con el propósito de establecer comunicación en tiempo real entre vehículos con el fin de prevenir accidentes de tránsito y de mejorar la seguridad de los usuarios. La creación de redes Ad-Hoc Vehiculares logran una alta confiabilidad, escalabilidad y seguridad, por lo que se presenta a esta tecnología como una nueva técnica a ser estudiada

Para la simulación de una red VANET se debe utilizar 3 programas. Primero un simulador de tráfico, en este caso SUMO, en donde se define la topología de la red, el desplazamiento vehicular y los diferentes escenarios de congestionamiento. Un simulador de redes de datos como NS-2, donde se realiza el proceso de transmisión entre vehículos en base al modelo de movilidad obtenido; y un simulador como TraNS, el cual permite enlazar al simulador SUMO con el simulador NS-2.

Se realizaron varias simulaciones de tráfico, dentro del simulador SUMO, basadas en el sector del Aeropuerto Mariscal Sucre. Adicionalmente se realizó una simulación bajo el simulador NS-2 con el fin de observar el comportamiento de la red basada en un entorno real como es el sector del Aeropuerto.

Se proponen varias rutas alternas que pueden servir como trayectos de descongestionamiento vehicular con el fin de brindar una solución al caos vehicular que pudiera darse dentro del sector a analizar, seleccionándose 2 entre 6 como las más óptimas.

DEDICATORIA

A Dios, por guiar mi camino, mis acciones y mi forma de ser.

A toda mi familia, en especial a mi madre, Soraya, por todo el apoyo y esfuerzo que ha invertido en mí para sacarme adelante y enseñarme a ser una gran persona. Por guiarme y estar siempre pendiente de mis actos a lo largo de mi vida.

A todas aquellas personas que han estado junto a mí a lo largo de la carrera universitaria, y de las cuales he aprendido muchas cosas valiosas que han marcado gratos momentos en vida.

AGRADECIMIENTOS

A toda mi familia por creer en mí, por valorar el esfuerzo realizado y por estar siempre pendientes del desarrollo de mi proyecto de tesis. A mi madre por valorar y estar pendiente a lo largo de mi formación académica y personal. A mis tíos, en especial a mi tía Anita, por su apoyo en los momentos más cruciales de vida y por estar ahí siempre cuando los necesité.

A mi director de tesis por saber escuchar a pesar de la gran cantidad de trabajo que tiene dentro de la facultad.

A Mario , quien supo guiarme con la puesta en marcha del Network Simulator y por brindarme su tiempo y paciencia para solucionar los problemas.

A Ela Magi, por presionarme todos los días de la semana a desarrollar este proyecto de tesis, y por motivarme a seguir culminándolo de la mejor manera.

PRÓLOGO

Con el estudio y simulación se pretende explicar una nueva y poco difundida tecnología que ayude al mejoramiento del sistema vehicular a lo largo del día, el cual hoy se encuentra saturado por lo que siempre va a ser bueno encontrar métodos innovadores que ayuden a su progreso diario y así disminuir el caos vehicular.

Con la evolución de las distintas tecnologías de comunicación, como son las redes Ad-Hoc, nace una nueva aplicación a este sistema conocido como VANET (Vehicular Ad-Hoc Networks).

Orientada a formar redes vehiculares de corto y medio alcance, VANET se crea con el propósito de establecer aplicaciones tanto de seguridad vehicular, como prevenir colisiones de autos; como aplicaciones para informar a conductores, como son información en tiempo real de congestión de tráfico o información de vías alternas.

Se da a conocer el funcionamiento básico de este tipo de red en base a simulaciones de tráfico y de redes de datos para observar el comportamiento de este tipo de red sobre un modelo real de tráfico.

Se toma como base para las distintas simulaciones al sector del Aeropuerto de Quito, comprendido al sur entre las Avenidas Amazonas y Juan de Ascaray, y al norte entre las Avenidas Amazonas y La Florida; debido a que este tramo presenta siempre un alto grado de congestionamiento por la alta demanda de autos hacia la Terminal del Aeropuerto, hacia la intersección entre la Avenida Amazonas y la Avenida El Inca y por el Puente de El Labrador debido a que dispone de un solo carril a su ingreso.

Actualmente el constante crecimiento del parque automotriz en la mayoría de ciudades, tiene como causa el constante crecimiento de tráfico, no solo en horas picos, sino a cualquier hora del día; por lo que muchas veces se necesitan

herramientas de información que faciliten el nivel de tráfico en las calles para lograr tomar rutas alternas a las ya saturadas avenidas, para que estas puedan lograr un mayor flujo de autos disminuyendo la congestión vial.

Por este motivo, se dan a conocer posibles rutas alternas a los vehículos que normalmente circulan por el sector a analizar, y que de esta forma, sean rutas que permitan descongestionar el sector si existiera algún percance inesperado.

También se determinan sus aplicaciones y beneficios tanto de forma general como de forma específica y así demostrar que la implementación a futuro de este tipo de tecnología puede brindar una ayuda tanto para conductores como para comerciantes al implementar una infraestructura de red entre vehículos y negocios.

La creación de redes Ad-Hoc Vehiculares logran una alta confiabilidad, escalabilidad y seguridad, por lo que se presenta a esta tecnología como una nueva técnica a ser estudiada y desarrollada dentro del gran campo de investigación de las redes *Wireless* que existen hoy en día.

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN A LAS REDES AD-HOC	10
1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	10
1.2 EVOLUCIÓN DE LAS REDES INALÁMBRICAS	13
1.2.1 MANET	15
1.2.2 REDES DE SENSORES	19
1.2.3 REDES HÍBRIDAS	20
1.3 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO	20
1.3.1 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN	20
1.3.2 PROTOCOLOS	23
2 REDES VANET	38
2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	38
2.2 MODELOS DE MOVILIDAD	40
2.2.1 MODELO SINTÉTICO	40
2.2.2 MODELO BASADO EN SIMULADORES DE TRÁFICO	41
2.2.3 MODELO BASADO EN ENCUESTAS	42
2.2.4 MODELO BASADO EN ESQUEMAS	43
2.3 ARQUITECTURA PARA PROTOCOLOS	44
2.4 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO	46
2.4.1 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN	47
2.4.2 PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO	47
2.5 APLICACIONES	49
2.5.1 SERVICIOS ENTRE AUTOS	49
2.5.2 SERVICIOS ENTRE INFRAESTRUCTURA-AUTO	51
2.5.3 SERVICIOS BASADOS EN PORTALES	52
2.6 BENEFICIOS DE VANET	53
3 SELECCIÓN DE VARIABLES PARA LA SIMULACIÓN DE UNA RED VANET	55
3.1 DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA VEHICULAR TOMANDO COMO BASE AL SECTOR DEL AEROPUERTO	55
3.2 TRÁFICO VEHICULAR EN HORAS PICO	59
3.3 TRÁFICO VEHICULAR EN HORAS NO PICO	60
3.4 PROMEDIO DE ACCIDENTES EN LAS AVENIDAS POR FALTA DE INFORMACIÓN EN TIEMPO REAL	61
3.5 RUTAS ALTERNAS DE LAS AVENIDAS PRINCIPALES DEL SECTOR	62

4 SIMULACIÓN DE LA RED	69
4.1 SIMULADORES	69
4.1.1 SIMULADORES DE REDES DE COMUNICACIÓN DE DATOS	70
4.1.2 SIMULADORES DE TRÁFICO	72
4.2 SELECCIÓN DEL SIMULADOR DE TRÁFICO	73
4.2.1 DESCRIPCIÓN SIMULADORES DE TRÁFICO	75
4.2.2 DESCRIPCIÓN SIMULADORES DE REDES DE COMUNICACIÓN DE DATOS	79
4.2.3 DESCRIPCIÓN SIMULADORES PARA CONEXIÓN ENTRE REDES DE DATOS Y REDES VEHICULARES	82
4.2.4 COMPARACIÓN ENTRE SIMULADORES	85
4.2.5 ELECCIÓN ENTRE SIMULADORES	87
4.3 ESTUDIO DEL SIMULADOR	89
4.3.1 SUMO (SIMULATION OF URBAN MOBILITY)	89
4.3.2 NS-2 (NETWORK SIMULATOR 2)	114
5 RESULTADOS	117
5.1 RUTA NORMAL VS. RUTA ALTERNA	117
5.1.1 CASO 1	118
5.1.2 CASO 2	122
5.1.3 CASO 3	125
5.1.4 CASO 4	129
5.1.5 CASO 5	134
5.1.6 CASO 6	137
5.2 PROTOCOLO DE ENRUTAMIENTO	142
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	153
6.1. CONCLUSIONES	153
6.2. RECOMENDACIONES	155

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.2.1.1. ESTÁNDARES PARA REDES INALÁMBRICAS _____	14
TABLA 1.3.2.1. TABLA DE ENRUTAMIENTO NODO MH4 _____	29
TABLA 4.2.4.1. COMPARACIÓN ENTRE SIMULADORES DE TRÁFICO _____	86
TABLA 4.2.4.2. COMPARACIÓN ENTRE SIMULADORES DE RED _____	87
TABLA 4.3.1.1: TIPOS DE VEHICULOS _____	113
TABLA 4.3.2.1. PARÁMETROS PARA LA SIMULACIÓN EN NS-2 _____	116
TABLA 5.1.1.1. PARÁMETROS PARA VEHÍCULOS EN SIMULADOR SUMO. CASO 1 ____	119
TABLA 5.1.1.2. COMPARACIÓN RESULTADOS RUTA ESTABLECIDA VS. RUTA ALTERNA. CASO 1 _____	119
TABLA 5.1.2.1. PARÁMETROS PARA VEHÍCULOS EN SIMULADOR SUMO. CASO 2 ____	123
TABLA 5.1.2.2. COMPARACIÓN RESULTADOS RUTA ESTABLECIDA VS. RUTA ALTERNA. CASO2 _____	123
TABLA 5.1.3.1. PARÁMETROS PARA VEHÍCULOS EN SIMULADOR SUMO. CASO 3 ____	126
TABLA 5.1.3.2. COMPARACIÓN RESULTADOS RUTA ESTABLECIDA VS. RUTA ALTERNA. CASO 3 _____	127
TABLA 5.1.4.1. PARÁMETROS PARA VEHÍCULOS EN SIMULADOR SUMO. CASO 4 ____	130
TABLA 5.1.4.2. COMPARACIÓN RESULTADOS RUTA ESTABLECIDA VS. RUTA ALTERNA. CASO 4 _____	131
TABLA 5.1.5.1. PARÁMETROS PARA VEHÍCULOS EN SIMULADOR SUMO. CASO 5 ____	134
TABLA 5.1.5.2. COMPARACIÓN RESULTADOS RUTA ESTABLECIDA VS. RUTA ALTERNA. CASO 5 _____	135
TABLA 5.1.6.1. PARÁMETROS PARA VEHÍCULOS EN SIMULADOR SUMO. CASO 6 ____	139
TABLA 5.1.6.2. COMPARACIÓN RESULTADOS RUTA ESTABLECIDA VS. RUTAS ALTERNAS. CASO 6 _____	140

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1.1. COMUNICACIÓN ENTRE 2 NODOS MEDIANTE RED AD-HOC	11
FIGURA 1.3.1. PROTOCOLO OLSR	24
FIGURA 1.3.2. PROTOCOLO FSR	26
FIGURA 1.3.3. PROTOCOLO DSDV	28
FIGURA 1.3.4. PROTOCOLO DSR.....	32
FIGURA 1.3.5. PROTOCOLO AODV	34
FIGURA 1.3.6. PROTOCOLO TORA	36
FIGURA 2.3.1. ARQUITECTURA BASADA EN CAPAS PARA REDES VANET.....	44
FIGURA 2.3.2. ARQUITECTURA PARA REDES VANET	45
FIGURA 2.3.3. DISEÑO DE UNA NUEVA ARQUITECTURA PARA REDES VANET	45
FIGURA 3.1.1. TRAMO PARA ESTUDIO DE COBERTURA RED VANET	56
FIGURA 3.5.1. RUTA ALTERNA 1	64
FIGURA 3.5.2. RUTA ALTERNA 2	64
FIGURA 3.5.3. RUTA ALTERNA 3	65
FIGURA 3.5.4. RUTA ALTERNA 4	66
FIGURA 3.5.5. RUTA ALTERNA 5	67
FIGURA 3.5.6. RUTA ALTERNA 6	68
FIGURA 5.1.1. CASO 1	121
FIGURA 5.1.2. CASO 2	125
FIGURA 5.1.3. CASO 3	129
FIGURA 5.1.4. CASO 4	133
FIGURA 5.1.5. CASO 5	137
FIGURA 5.1.6. RUTAS ALTERNAS, CASO 6.....	138
FIGURA 5.1.7. CASO 6	142
FIGURA 5.2.1. MODELO DE TRÁFICO PARA EL ESTUDIO DE LA RED VANET BAJO SUMO.	143
FIGURA 5.2.2. MODELO DE TRÁFICO PARA EL ESTUDIO DE LA RED VANET BAJO NS-2	144

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN A LAS REDES AD-HOC

1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Las redes Ad-Hoc o también conocidas como *Mesh Networks* (Redes Tipo Malla), a diferencia de las redes que se basan en una infraestructura como las redes LAN, no necesitan de ningún tipo de dispositivo electrónico que realice el papel de administrador centralizado y que se encargue de enrutar el intercambio de información entre los equipos terminales que conforman la red, ni tampoco requieren de cableado estructural entre los dispositivos, ya que en una red Ad-Hoc, el enlace es inalámbrico en donde cada uno de los dispositivos que forman parte de la red, se convierten en nodos y actúan como transmisores, receptores o enrutadores de información dependiendo del tipo de topología que se forme dentro de la red inalámbrica.

Como se muestra en la Figura 1.1.1., en una red en la que actúan 3 nodos, donde los nodos 1 y 3 quieren intercambiar información, pero debido a su distancia no se encuentran en un radio de cobertura mutua, por lo que necesitan utilizar al nodo 2 como enrutador para que este permita llevar la información que se quiere enviar desde el nodo 1 al nodo 3 y así se genere el intercambio de datos.

Para un tiempo t_1 , el nodo 1 se encuentra dentro de un rango de cobertura mutua con el nodo 2, por lo que este envía la información la cual es almacenada

por el nodo 2 sin problema; para un tiempo t_2 en cambio, el nodo 2 se encuentra en un rango de cobertura mutuo con el nodo 3 por lo que retransmite la información almacenada que recibió del nodo 1 hacia el nodo 3, lográndose así el intercambio de información entre el nodo 1 y el nodo 3.

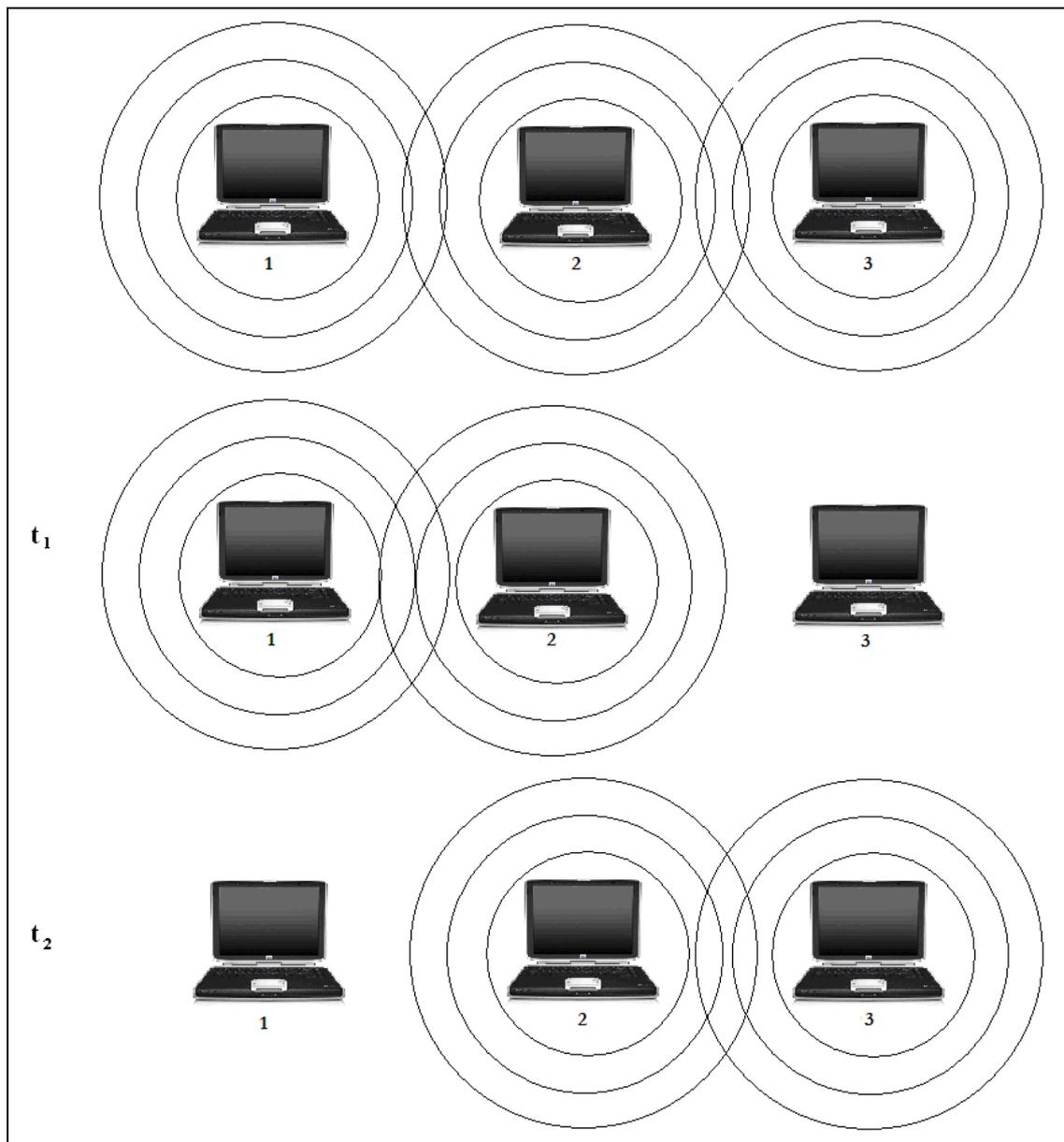


Figura 1.1.1. Comunicación entre 2 nodos mediante Red Ad-Hoc

Adicionalmente de permitir el intercambio de información entre dispositivos, las redes Ad-Hoc permiten establecer conexiones a la mayor red de redes que existe hoy en día como es la Internet, con lo cual se cubre una de las mayores

necesidades y expectativas que un administrador de redes inalámbricas debe cumplir, las cuales son básicas e inevitables en la mayoría de redes cableadas e inalámbricas que se implementan hoy en día.

El éxito del funcionamiento y fiabilidad en este tipo de redes inalámbricas radica en la cooperación que puedan brindar los diferentes dispositivos electrónicos capaces de compartir sus recursos para un mejor desarrollo y funcionamiento de la red.

Los nodos que participan en una red Ad-Hoc pueden hacerlo de forma activa o pasiva, lo cual implica que estos logren cooperar en la red especialmente cuando son utilizados como enrutadores. 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. Por ejemplo si se tiene una red inalámbrica, donde participan en su mayoría equipos electrónicos como Laptops o dispositivos de mano como las Palms que se encuentran funcionando solo con la batería propia del dispositivo, es decir, sin ninguna conexión de energía eléctrica; los dispositivos electrónicos al ser utilizados solo como equipos terminales tienen un determinado tiempo de duración el cual es manejado y controlado por sus usuarios de forma habitual; pero al momento en que estos equipos empiezan a formar parte de una red Ad-Hoc, el consumo de energía aumenta en los dispositivos lo que implica que el tiempo de duración de las baterías disminuya considerablemente afectando el trabajo de los usuarios y el desempeño de los equipos que actúan como enrutadores dentro de la red.

Debido al consumo prematuro de la batería que puede sufrir el equipo, el usuario puede considerar o no formar parte de la red Ad-Hoc, de esta manera la red corre el riesgo de perder confiabilidad, escalabilidad y nodos, lo que implica

que la redundancia física que existe en este tipo de red se verá afectada, convirtiéndose esto en pérdidas de la señal entre el equipo transmisor y el equipo receptor y por ende el intercambio de información no se realizará correctamente.

1.2 EVOLUCIÓN DE LAS REDES INALÁMBRICAS

Los primeros estudios sobre redes inalámbricas se dieron a finales de los años 70 cuando se publicó un estudio realizada por ingenieros de la IBM en Suiza el cual consistió en utilizar enlaces infrarrojos para crear una red local en una fábrica. A partir de esta publicación realizada por la IEEE, se da inicio al desarrollo de las redes inalámbricas o WLAN.

Para la década de los 90's, se desarrollaron y publicaron por la IEEE los estándares que en la actualidad son utilizados por la mayoría de dispositivos electrónicos para el intercambio de información en redes inalámbricas. Estos estándares definen principalmente velocidades de transmisión, bandas de operación y el tipo de modulación que maneja cada protocolo y que son una norma en la actualidad para el manejo de las redes inalámbricas.

En la Tabla 1.2.1. [1] se muestra una comparación de las características antes mencionadas sobre los distintos estándares de la IEEE para redes inalámbricas.

Adicionalmente, se puede observar que el estándar más implementado en la actualidad en los distintos dispositivos electrónicos inalámbricos y en la mayoría de las tarjetas NIC que se pueden acoplar a los dispositivos fijos para que logren una conexión inalámbrica es el estándar IEEE 802.11g, debido principalmente a su alta velocidad de transmisión y sus ventajas con relación a los otros estándares mencionados. En la actualidad se está implementando un nuevo estándar, el 802.11n, el cual maneja altas velocidades de transmisión como el 802.11g pero con un rango de cobertura del doble del que actualmente tienen los estándares 802.11. Este está siendo implementado por varios fabricantes de

equipos inalámbricos como laptops o routers inalámbricas en varios de los nuevos modelos que se están comercializando hoy en día a nivel mundial.

En base a estos estándares funcionan muchas redes inalámbricas, como son las redes Ad-Hoc.

Tabla 1.2.1.1. Estándares para Redes Inalámbricas

Estándar	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n
Organismo	IEEE	IEEE	IEEE	IEEE
Banda de Frecuencia	5 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz	Posiblemente 5 y 2.4 GHz
Velocidad de Transmisión	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	54 Mbps
Modulación	OFDM	DSSS/FHSS	OFDM	OFDM
Año de Finalización	1999	1999	2003	Octubre 2008
Distancias	35 metros	35 metros	35 metros	70 metros
Ventajas	Rápido, menos susceptible a interferencias	Bajo costo, buen alcance	Rápido, buen alcance, difícil de obstruir	Buenas velocidades de transferencia de datos, alcance mejorado
Desventajas	Costo superior, menor alcance	Lenta, susceptible a interferencias	Susceptible a interferencias desde aplicaciones que operan en la banda de 2,4 GHz	

A pesar de que las redes Ad-Hoc son una tecnología no tan difundida ni utilizada en la actualidad debido a varios factores como el desconocimiento de nuevas tecnologías por parte de los administradores de redes o porque son redes de corto y mediano alcance, estas han logrado evolucionar en nuevas tecnologías como son las redes MANET (*Mobile Ad-Hoc Networks*), Redes de Sensores, Redes Híbridas y las redes VANET (*Vehicular Ad-Hoc Networks*).

A continuación se dará una descripción acerca de las redes MANET, Redes de Sensores y Redes Híbridas, mientras que en el capítulo 2, se hablará más detalladamente acerca de las redes VANET como tema principal a desarrollarse dentro del presente estudio.

1.2.1 MANET

Las redes MANET son redes inalámbricas en las cuales los nodos que intervienen se encuentran en constante movimiento, por lo que la topología y la funcionalidad de los dispositivos irán variando constantemente. Un equipo que este transmitiendo información hacia un receptor, al encontrarse en constante movimiento ambos, utilizarán como enrutadores varios nodos intermedios, los cuales pasarán de un estado pasivo a un activo como enrutadores de información, dependiendo de la cercanía o separación del transmisor y receptor. De esta manera si el número de nodos crece en la red, de igual forma el número de rutas impactando tanto en el tamaño de la tabla de enrutamiento como en la búsqueda del camino óptimo.

Al estar los nodos en constante moviendo y su topología ir variando de igual manera, el uso de protocolos para enrutar los paquetes en una red fija y alámbrica como RIP, OSPF y BGP [2], no son útiles en una red Ad-Hoc Móvil, por lo que se han realizado varias investigaciones con el objeto de desarrollar protocolos que se adapten a las necesidades de movilidad de la red.

• PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO

Al ser MANET, una red en donde la topología varía constantemente de acuerdo al número de nodos que ingresan o salen de la misma, requiere de protocolos diferentes a los que se usan en las redes cableadas como son RIP, OSPF y BGP, y que se adapten a los distintos requerimientos de movilidad y fiabilidad para lograr establecer una comunicación confiable.

Es por esto que se desarrollaron varios protocolos para este tipo de red, clasificándose estos en 3 grupos [3]: Protocolos Proactivos, Protocolos Reactivos y Protocolos Híbridos, los cuales serán descritos a continuación.

a) PROTOCOLOS PROACTIVOS

También conocidos como *Table-Driven*, entre las características principales de este tipo de protocolos se encuentran:

- Las rutas entre transmisor y receptor se calculan antes de que se necesita una.
- Mantienen tablas de enrutamiento entre todos los pares de nodos.
- Periódicamente se transmiten mensajes de actualización.
- Alto *overhead* en cada mensaje de ruteo.

b) PROTOCOLOS REACTIVOS

También conocidos como *On-demand Driven*, para este tipo de protocolos se destacan las siguientes características:

- Determinan una ruta sólo cuando la necesitan
- No trata de mantener información de enrutamiento cada momento en todos los nodos.
- El descubrimiento de rutas parte en el nodo fuente.

c) PROTOCOLOS HIBRIDOS

Los protocolos híbridos son una combinación entre los protocolos proactivos y reactivos, manteniendo una combinación de algunas de las principales características que tienen estos 2 tipos de protocolos.

- **APLICACIONES SOBRE MANET**

Redes Personales: Aplicaciones que son realizadas para establecer redes inalámbricas entre equipos como Laptops y PDAs. Una Red Ad-Hoc Móvil es fácil de implementar en este tipo de equipos debido a las facilidades en configuración que tienen los programas incluidos en los dispositivos electrónicos para establecer las conexiones punto a punto y así permitir un intercambio de información básico entre dispositivos.

Aplicaciones Militares: Las comunicaciones entre soldados, tanques, aviones, etc.; son difíciles de realizar debido a que muchas veces tanto soldados como equipo se encuentran en lugares apartados de cualquier infraestructura en donde no hay disponibilidad de acceder a antenas de comunicación o satélites de una forma fácil y constante debido a las distintas topologías del terreno por las que tienen que atravesar soldados y equipos, por lo que el uso de este tipo de red permite solventar este problema logrando una mejor y eficaz ayuda para los involucrados.

Aplicaciones Civiles: Entre las principales aplicaciones de este tipo, se encuentra un mayor e importante uso como son para Redes de servicios de transporte, Centros de reunión, Estadios deportivos, botes, barcos y pequeñas aeronaves. Su aplicación permite establecer y mejorar las comunicaciones con el fin de lograr manejar información en tiempo real acerca de lo que está aconteciendo en lugares cercanos al lugar en el que un usuario se encuentre.

Por ejemplo en el servicio de transporte, manipular datos en tiempo real permitirá que las distintas unidades de transporte manejen información sobre congestionamientos, accidentes y tráfico en general, lo que les permitirá tomar decisiones con tiempo acerca de rutas alternas u otras soluciones que puedan tomar con el fin de evitar los inconvenientes que se presenten a lo largo de su trayecto y así mejorar la calidad del servicio y el tiempo que toma a los usuarios trasladarse de un lugar a otro.

En botes, barcos y pequeñas aeronaves, las redes Ad-Hoc Móviles son de gran ayuda de igual forma ya que este tipo de red puede lograr que las comunicaciones entre unidades cercanas sea mejor establecida permitiendo que las embarcaciones puedan intercambiar alertas o información acerca del estado del tiempo y otros factores determinantes a la hora de navegar.

Operaciones de Emergencia: El uso de esta tecnología para este tipo de aplicaciones como son Equipos de búsqueda y rescate, policías y bomberos, es de gran ayuda debido a que pueden facilitar las labores de rescate principalmente cuando estas se realizan en zonas donde no existe la infraestructura necesaria para lograr establecer comunicación a través de antenas o satélites con las personas que se encuentran en problemas y que necesitan ayuda para lograr ser ubicadas y rescatadas. Con las redes MANET se puede establecer una comunicación punto a punto entre el equipo de rescate y el afectado para lograr obtener toda la información necesaria para su rescate y que este se logre con éxito.

Así muchas de las búsquedas que no producen resultados por falta de equipos que implementen este tipo de tecnología que permita ubicar de manera oportuna a las personas que se encuentren en problemas, se verán solucionados en un gran porcentaje lo que implica que se puede salvar más vidas de una forma oportuna y efectiva.

1.2.2 REDES DE SENSORES

Otro tipo de red Ad-Hoc es la red de sensores en la cual existe un número de nodos muy superior en comparación a las Redes Ad-Hoc Móviles, lo que implica mucha redundancia en la topología. Este tipo de red necesita algoritmos específicos, por lo que no pueden ser implementados en cualquier sistema. Debido a esto, su desarrollo implica menos costos.

Adicionalmente, la movilidad en este tipo de red es escasa o nula. Solo cambia la topología con la pérdida de nodos.

Por otra parte, las redes de sensores tienen direccionamiento propio, ajeno al que se tiene normalmente en Ethernet debido a que son algoritmos ajenos a los que se desarrollan para redes cableadas. Incluso con direccionamiento propio, el número de nodos en la red puede obligar a que los sensores carezcan de un identificador global único como por ejemplo IEEE 802.15.4 que emplea algunas direcciones de 64 y 16 bits, que es más de lo que permiten algunas arquitecturas.

En las redes de sensores, los nodos deben cumplir con un determinado número de elementos importantes para lograr interactuar dentro de la red inalámbrica, siendo estos los siguientes:

- Dispositivo sensorial, generalmente compuesto por un sensor tradicional y un conversor analógico-digital.
- Unidad de proceso, compuesta por un micro-procesador y una pequeña memoria
- Sistema de comunicación
- Batería con lógica de control asociada

Adicionalmente pueden llevar generadores de energía, sistemas de localización y sistemas de movilidad.

1.2.3 REDES HÍBRIDAS

También denominadas redes mixtas. Son redes Ad-Hoc que usan infraestructuras basadas en direccionamiento IP si están disponibles para la red. Esto quiere decir que las redes híbridas poseen una red LAN cableada en la cual todos los equipos terminales están centralizados en un equipo de capa 2 como un switch y este a su vez se encuentra unido a un equipo capa 3 como es un router. Esta es la parte cableada de la red, mientras que la parte inalámbrica viene establecida por equipos terminales que se conecten a través de un *Access Point* al router estableciéndose así la red *Wireless* y el intercambio de información entre usuarios.

1.3 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

1.3.1 Frecuencias de Operación

Dentro de lo que tiene que ver la operación de las redes Ad-Hoc en una banda de frecuencia asignada, las redes inalámbricas operan dentro de las bandas de 900 MHz, 2.4 GHz y 5 GHz. El fabricante de los equipos es el encargado de solicitar la licencia de operación para trabajar en las bandas antes mencionadas, más no el usuario.

El uso del espectro radioeléctrico es un bien no renovable y en la actualidad se encuentra casi saturado, principalmente en las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz ya que son bandas no licenciadas por lo que se las utiliza libremente con el fin de generar libre competencia.

Debido a esta situación, es necesario que se establezcan mecanismos necesarios para el uso adecuado de las bandas de frecuencia para lograr una mejor eficiencia en el uso del espectro radioeléctrico y principalmente en la comunicación entre usuarios que operan en las bandas antes mencionadas.

- **BANDA DE 900 MHZ**

Esta banda de operación es asignada en la mayoría de países para la telefonía celular, a las distintas operadoras de servicio.

Por ejemplo para el caso del Ecuador, la banda de 900 MHz está dividida entre las 3 telefónicas que operan en el país [4] como son CONECEL S.A. (Porta), OTECEL S.A. (MoviStar) y TELECSA S.A. (Alegro).

CONECEL S.A., Porta, que funciona en la banda A, dentro del grupo de frecuencias comprendido entre los siguientes rangos: 824 a 835 MHz, 845 a 846.5 MHz, 869 a 880 MHz, 890 a 891.5 MHz.

OTECCEL S.A., Telefónica Móviles, que funciona en la banda B, dentro del grupo de frecuencias comprendido entre los siguientes rangos: 835 a 845 MHz, 846.5 a 849 MHz, 880 a 890 MHz, 891.5 a 894 MHz.

TELECSA, Alegro PCS, que funciona en la banda C-C' de 1900 MHz. Sus rangos de operación son de 1895 a 1910 MHz y de 1975 a 1990 MHz.

El uso de esta banda no implica tantas pérdidas de propagación con relación a las bandas de 2.4 GHz y 5 GHz; ya que a mayor frecuencia, mayor es el grado de pérdidas.

La banda de 900 MHz. es ampliamente utilizada por la tecnología GSM en Europa y en otras partes del mundo, es un hecho que los sistemas GSM900 continuaran existiendo por largo tiempo.

- **BANDA DE 2.4 GHZ**

Dentro de lo que al uso del espectro radioeléctrico en redes inalámbricas se refiere, la banda de 2.4 GHz se encuentra saturada en la actualidad en el Ecuador, debido al hecho de que no es licenciada y de que no se tienen mecanismos que regulen su uso eficiente; la mayoría de empresas que realizan enlaces fijos y de dispositivos inalámbricos se encuentran ocupando esta banda de una forma libre produciéndose un alto grado de interferencia entre las comunicaciones establecidas.

El rango de frecuencias que comprende esta banda es desde los 2300 MHz. hasta los 2450 MHz. y está destinado al uso de enlaces fijos, móviles, radiolocalización y aficionados.

- **BANDA DE 5 GHZ**

El uso de esta banda de frecuencias es de igual forma utilizada para diferentes tipos de enlaces inalámbricos, pero en esta se producen un mayor porcentaje de pérdidas de propagación por lo que las antenas de transmisión requieren mayor potencia para lograr una mejor transmisión de datos hacia los distintos receptores.

A nivel mundial se está utilizando principalmente esta banda de frecuencia para los diferentes estudios y simulaciones de las redes VANET, por lo cual de procederá de igual forma a utilizarla en las simulaciones que se realicen en el presente estudio. Esto implica que se utilizará el protocolo 802.11a para la capa de enlace, ya que esta opera dentro de esta frecuencia.

Adicionalmente, esta banda de operación ha sido designada en la mayoría de países a nivel mundial para comunicaciones inalámbricas que operan bajo WIMAX.

1.3.2 Protocolos

Como se mencionó anteriormente, los protocolos para las redes Ad-Hoc se clasifican en 3 grupos siendo estos protocolos proactivos, protocolos reactivos y protocolos híbridos.

Luego de dar una visión general de las características más destacadas de cada uno de los 3 grupos, a continuación se describirá los protocolos más importantes dentro de cada uno de los grupos antes mencionados.

- **PROTOCOLOS PROACTIVOS**

- a) **OLSR**

OLSR (*Optimized Link State Routing*) [5] es un protocolo que se basa en el algoritmo de estado de enlace (*link state*) [6], mediante el cual los nodos realizan un *broadcast* periódico a sus enlaces para actualizar su tabla de enrutamiento constantemente. De esta forma cada nodo recibe y reenvía información acerca de sus vecinos.

La información solo se reenvía cuando:

- a) Un cambio en los vecinos es detectado.
- b) La ruta hacia el nodo destino ha expirado.
- c) Una mejor y más corta ruta es detectada hacia el destino.

Como se observa en la Figura 1.3.2.1., un nodo fuente envía un mensaje "HELLO", el cual permite descubrir nodos vecinos a 1 y 2 saltos de distancia del origen, de esta forma se descubre a los nodos vecinos y se determina a los nodos MPR (*Multipoint Relay*) los cuales son capaces de alcanzar a todos los vecinos de

2 saltos y serán los únicos capaces de reenviar la información que proviene del nodo fuente. El uso de MPR permite disminuir el tamaño de los mensajes de enrutamiento y disminuir la sobrecarga de información ya que ahora ya no transmiten todos los nodos la información, sino solo los nodos MPR.

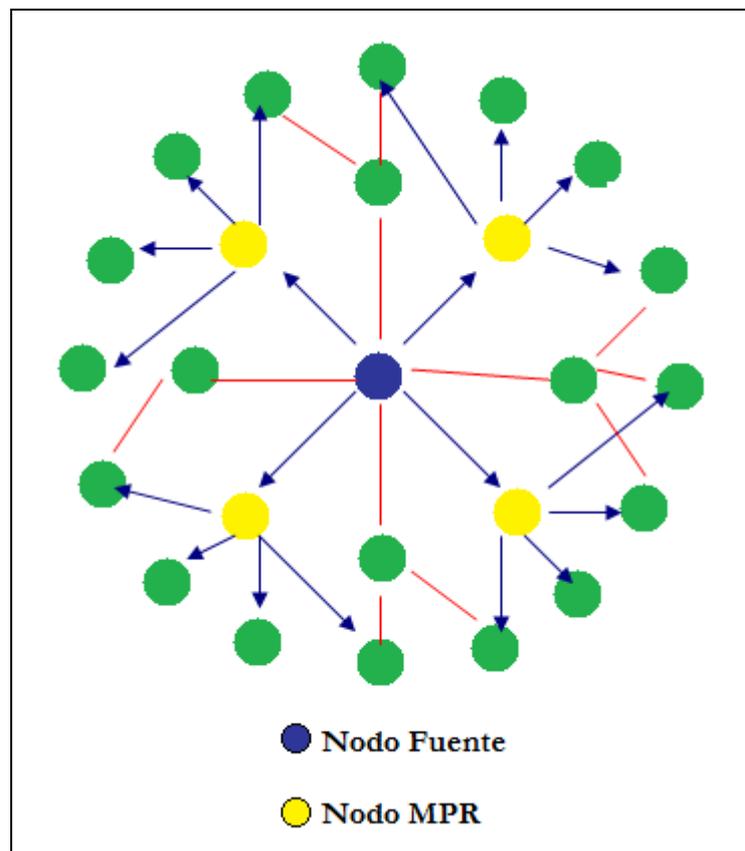


Figura 1.3.1. Protocolo OLSR

De esta forma los nodos retransmisores multipunto almacenan las tablas de enrutamiento y las mantienen guardadas para cuando el nodo fuente pretenda transmitir información hacia un nodo destino.

Ventajas.

- Ideal para redes con alto número de nodos
- Tiene baja latencia, es decir la suma de los retardos temporales de la transmisión del paquete dentro de la red es mínima.

- Evita el trabajo extra de encontrar el destino a cada momento ya que se retiene la información de enrutamiento en los nodos todo el tiempo.
- OLSR puede ser ampliada para QoS de vigilancia mediante la inclusión del ancho de banda y la calidad de la información en el canal dentro de las entradas en el estado de enlace.

Desventajas

- En una red pequeña con un número limitado de nodos, cada nodo vecino se convierte en un multipoint relay.
- Su implementación es compleja.
- Necesita memoria, para almacenar las tablas de enrutamiento.
- Requiere una carga adicional en la red inalámbrica debido a la transmisión periódica de mensajes de control.

b) FSR

FSR (*Fisheye State Routing*) [7] es un protocolo en el cual el nodo fuente tiene información de todos los nodos vecinos juntos pero mientras más lejos los nodos se encuentren del nodo fuente, la información acerca de estos en el transmisor disminuye.

Este protocolo se basa dividir la red en círculos con respecto al nodo emisor, con lo cual los nodos que se encuentre más cerca proveerán de una mayor información acerca de su ubicación mientras que los nodos más lejanos proveerán de un menor grado de detalle en la información que envíen hacia el nodo transmisor.

De esta forma los mensajes de actualización no contienen información de todos los nodos que se encuentran en la red sino solo de aquellos que son vecinos, y el intercambio de mensajes de actualización con estos es constante.

Este protocolo es útil principalmente en redes extensas, donde los nodos se encuentran divididos en niveles de proximidad al nodo fuente, y este por más que no tenga información detallada del destino, entregará el paquete al destino ya que mientras avanza a lo largo de los distintos niveles, más se acerca a este y la información de la ruta se vuelve más acertada.

Como se observa en la Figura 1.3.2.2., una vez establecido el protocolo de enrutamiento, cada nodo tiene la información acerca de la distancia o saltos de sus nodos vecinos y son en estos enlaces en los que se intercambian constantemente las actualizaciones acerca de las rutas establecidas hacia los diferentes nodos. Se encuentra resaltado en cada nodo cuales son los nodos vecinos con los que se realiza el constante intercambio de información.

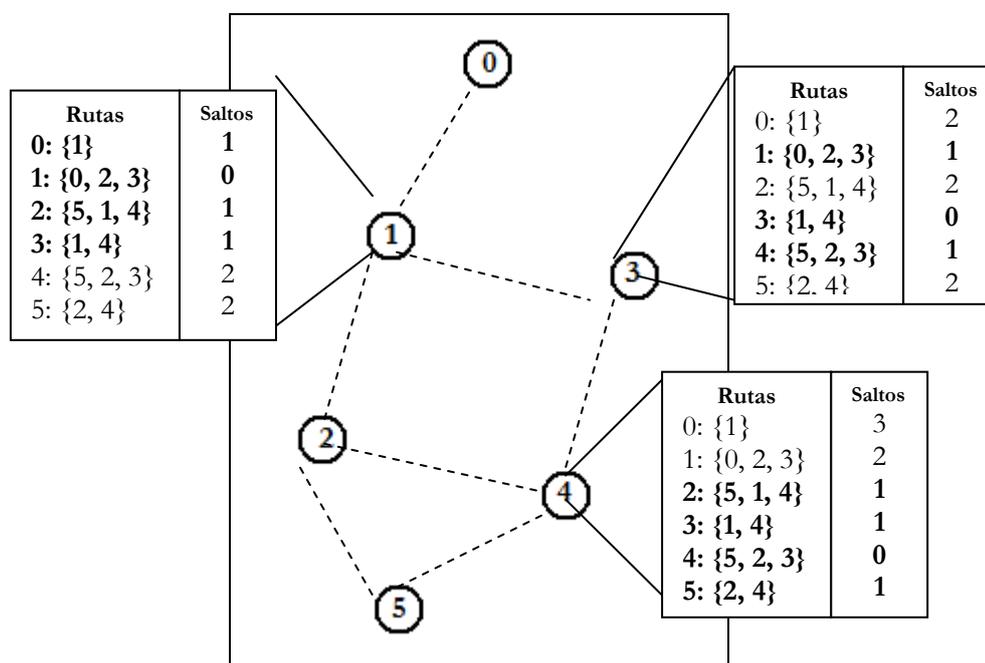


Figura 1.3.2. Protocolo FSR

Ventajas

- FSR es adecuada para redes grandes y altamente móviles, ya que no produce mensajes de control cuando hay caídas en el enlace. Los enlaces

caídos no se incluirán en el próximo intercambio de mensajes. Esto significa que si existe un cambio en un enlace muy lejano, no necesariamente existirá un cambio en la tabla de enrutamiento.

- FSR es muy simple ya que usa las rutas más cortas, es robusto para la movilidad de usuarios, ya que los intercambios de las tablas de enrutamiento solo se actualiza con la información de los vecinos, reduciendo así el tráfico en la actualización de rutas.
- FSR soporta Calidad de Servicio (QoS), lo que significa que es posible ampliar la definición de estado de enlace mediante la inclusión de ancho de banda y la calidad de la información en el canal a la entrada del enlace.
- Disminuye el *hoverhead* de hacer un *broadcast* ya que la información solo se envía a los nodos que se encuentran a un salto.

Desventajas

- La escalabilidad es limitada debido al esquema de direccionamiento plano y a la topología de la red.
- El almacenamiento de la tabla de enrutamiento es muy compleja.
- FSR no provee de ningún mecanismo de seguridad.

c) DSDV

DSDV (*Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing*) [8] fue descubierto por C. Perkins en 1994, es un protocolo vector-distancia, “*distance vector*” [9] el cual se basa en la simplicidad del algoritmo Bellman-Ford [10], utiliza como métrica el número de saltos, para la selección del mejor camino de enrutamiento. Se comporta de igual forma que el protocolo para redes cableadas RIP, ya que ambos se basan en el mismo algoritmo.

Cada nodo funciona como un router, y cada etiqueta en la tabla de enrutamiento tiene un número de secuencia.

La información de enrutamiento es transmitida mediante *broadcast*, cada nodo añade un número de secuencia con el propósito de evitar rutas con bucles y luego

envían la siguiente actualización con este número. Las actualizaciones son transmitidas cada vez que existe un cambio en la topología de la red. El número de secuencia es asignado por el destino. La fuente entonces debe enviar la siguiente actualización con este número.

Cuando se pierde un enlace, la métrica tiende al infinito; con lo cual se vuelve a descubrir las rutas hacia los nodos que han sido afectados por la caída del enlace.

En la Figura 1.3.2.3. se puede observar la distribución de varios nodos, donde el nodo MH4 es el nodo que envía un mensaje de *broadcast* para descubrir las rutas hacia los demás nodos. Con esta distribución se puede observar en la Tabla 1.3.2.1., la tabla de enrutamiento que se genera para este nodo, donde *Next Hop* informa cual es el primer nodo para alcanzar el destino, *Metric* informa el número de saltos que se debe dar para alcanzar el destino y el campo *Seq. No* informa el número de secuencia asignado por el destino para enviar la siguiente actualización.

Si una nueva información de enrutamiento es recibida, la ruta con el número de secuencia más reciente es usada, si la nueva ruta tiene igual número de secuencia pero menor valor en la métrica, entonces esta ruta es seleccionada.

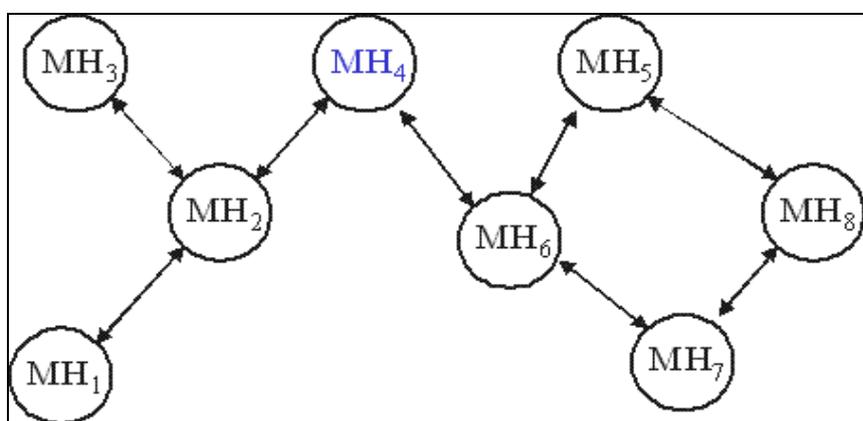


Figura 1.3.3. Protocolo DSDV

Tabla 1.3.2.1. Tabla de Enrutamiento Nodo MH4

Destination	Next Hop	Metric	Seq. No
MH4	MH4	0	S406_MH4
MH1	MH2	2	S128_MH1
MH2	MH2	1	S564_MH2
MH3	MH2	2	S710_MH3
MH5	MH6	2	S392_MH5
MH6	MH6	1	S076_MH6
MH7	MH6	2	S128_MH7
MH8	MH6	3	S050_MH8

Ventajas

- Las actualizaciones de las tablas de enrutamiento son actualizadas solo cuando existe un cambio en la topología de la red.
- Es efectivo en redes pequeñas con nodos móviles.

Desventajas

- Tiene un problema debido al exceso de señalización requerida que crece de acuerdo al incremento de nodos, esto implica que la red no es escalable.
- DSDV es inestable hasta que las actualizaciones de los paquetes sean propagados a través de la red.
- No tiene una implementación comercial disponible.

• PROTOCOLOS REACTIVOS

a) DSR

DSR (Dynamic Source Routing) [11] es un protocolo que fue diseñado especialmente para redes inalámbricas de saltos múltiples y para redes Ad-Hoc.

Para restringir el uso del ancho de banda, el proceso para buscar una ruta solo se lo realiza cuando un nodo efectúa una solicitud para encontrar el camino. El nodo emisor determina el camino hacia el nodo destino actualizando la ruta con cada nodo intermedio.

Este protocolo fue desarrollado para redes móviles Ad-Hoc (MANET) que tienen un diámetro entre 5 y 10 saltos y en los cuales los nodos se mueven a una velocidad moderada.

DSR está basado en el algoritmo estado-enlace (*link-state*), lo que implica que cada nodo es capaz de almacenar el mejor camino hacia el destino, incluso si se producen cambios en la topología de la red.

El nodo emisor envía un paquete de *broadcast* de requerimiento de ruta (RREQ) en el que se incluye información del nodo fuente, nodo destino y los saltos (el camino que se va siguiendo a través de los nodos intermedios). Estos a su vez retransmiten el RREQ a sus nodos vecinos, excepto al nodo del cual recibió el RREQ, hasta alcanzar el nodo receptor dentro de la red. Cada nodo tiene un “*route cache*” en el cual se almacena la ruta fuente por la que a ido avanzando el paquete hasta el nodo actual.

Una vez que el paquete llega hasta el receptor, este deja de retransmitir el RREQ y envía un paquete de respuesta de ruta (RREP) en el que se incluye la fuente, el destino y la ruta completa hacia el destino, es decir la ruta por donde debe regresar el paquete hacia el nodo que originó el RREQ. De esta forma la ruta queda establecida en el nodo emisor el cual actualiza su “*route cache*” y selecciona el mejor camino por el cual puede transmitir la información hacia el nodo receptor.

Como se observa en la Figura 1.3.2.4., el nodo emisor 1 para establecer comunicación con el nodo 5, envía un mensaje de *broadcast* RREQ a través de la red para lograr alcanzar al nodo destino. En este proceso las tablas de

enrutamiento de los distintos nodos se van actualizando con la información de la ruta que van recibiendo desde el nodo del cual reciben el mensaje; y a su vez retransmiten esta información a los siguientes hasta llegar al nodo destino. Este actualiza su *route cache*, y envía el mensaje de respuesta RREP para que este llegue hasta el nodo que originó la conexión. Una vez que el nodo emisor actualiza su *route cache*, determina cual es el camino más conveniente a seguir hacia el destino y empieza a transmitir la información hacia el nodo 5.

Ventajas

- No necesita enviar actualizaciones periódicas para actualizar las tablas de enrutamiento en los nodos.
- Los nodos intermedios utilizan la información de los “*route cache*” de forma eficiente para disminuir el control de la cabecera.
- Ahorro en corriente y en ancho de banda ya que no se envían mensajes *Hello*.

Desventajas

- DSR es eficiente en redes Ad-Hoc Móviles que no superen los 200 nodos dentro de la red.
- No es escalable, se presentan problemas cuando en la red aumentan los nodos, o cuando estos empiezan a moverse más rápido de lo normal.
- Existen tiempos de retardo hasta que el emisor descubra la ruta hacia el destino.

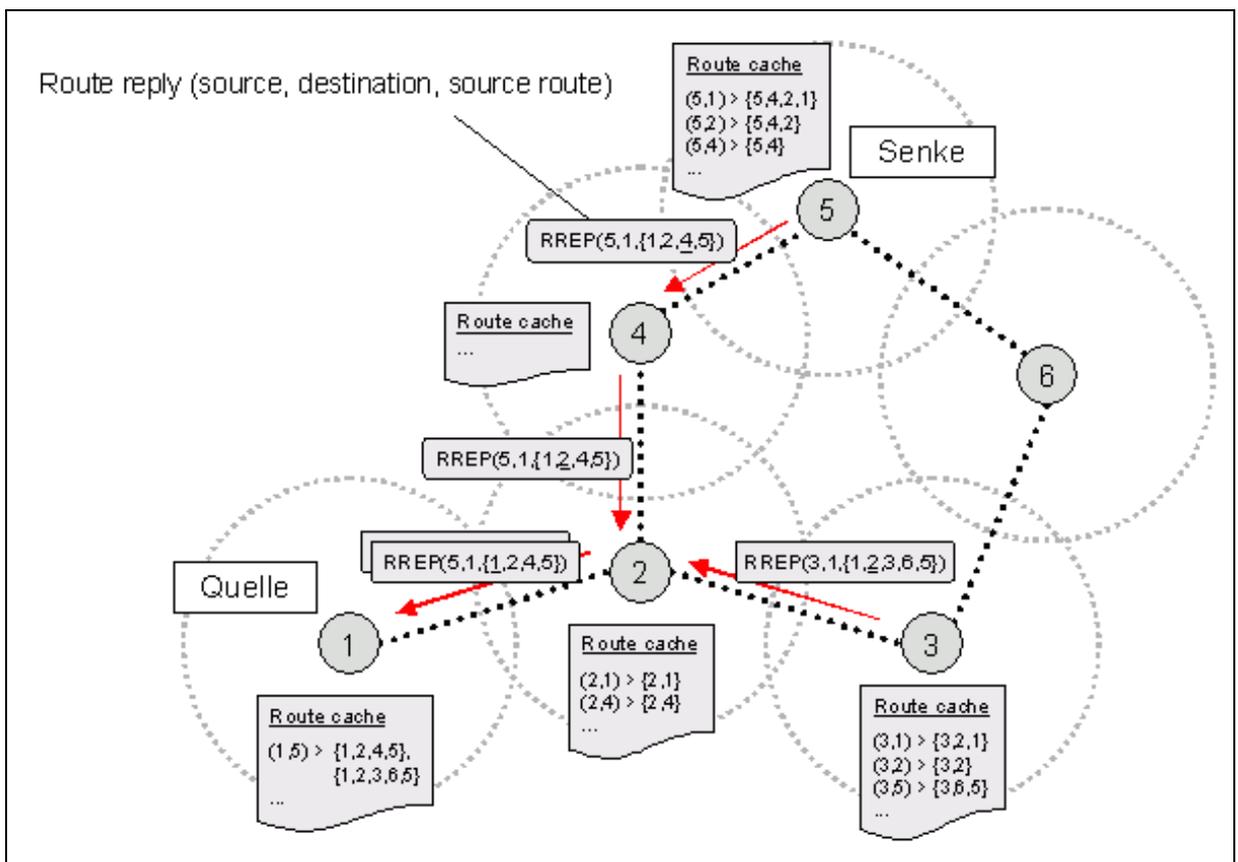
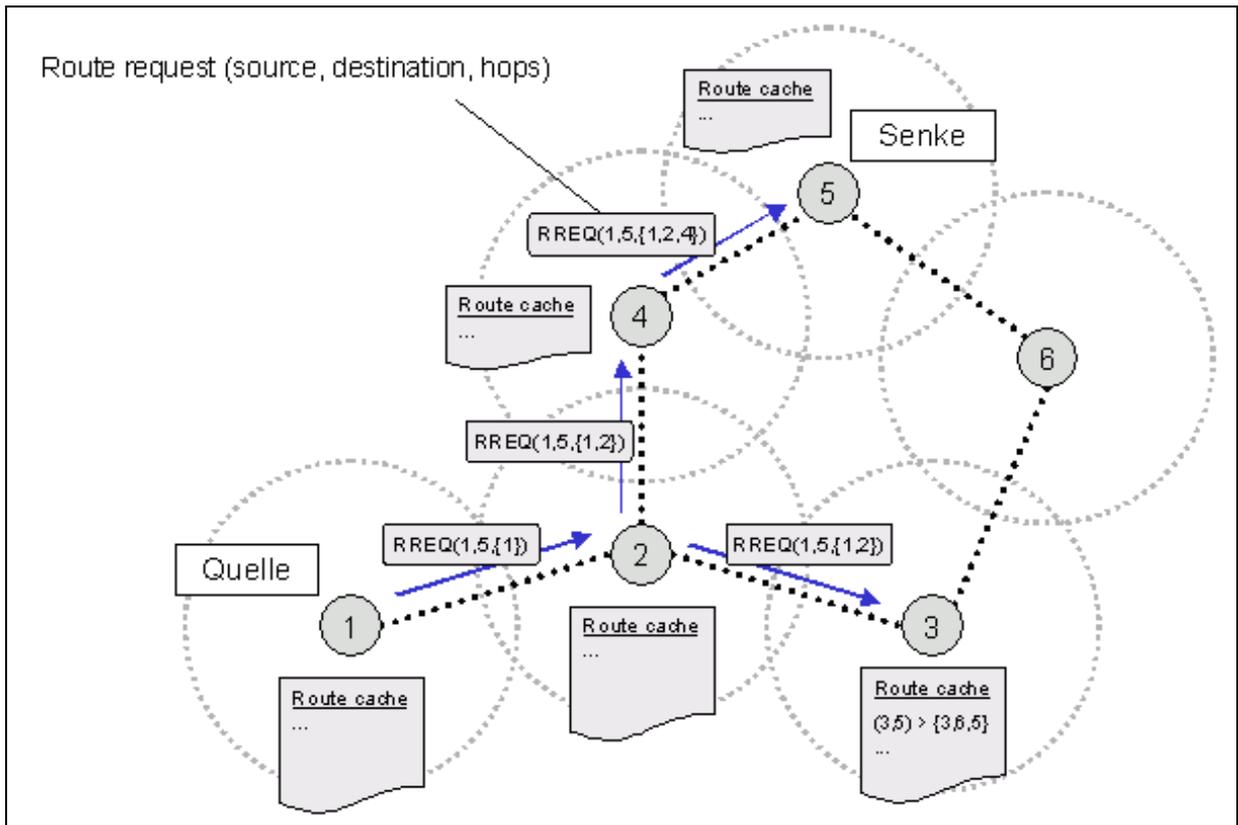


Figura 1.3.4. Protocolo DSR

b) AODV

AODV (*Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol*) [12] es un protocolo que se encuentra basado en el protocolo proactivo DSDV, y es diseñado para redes móviles con un gran número de nodos.

AODV introduce un número de secuencia de destino por cada entrada en la tabla de enrutamiento la cual es creada por el nodo destino. Este número de secuencia es muy importante ya que evita que se produzcan lazos en la red además de que es fácil de programar y selecciona la ruta más reciente hacia su destino. Si un nodo tiene más de una ruta para alcanzar el destino, este selecciona el que tenga mayor número de secuencia y así selecciona la mejor ruta.

Cada nodo tiene su tabla de enrutamiento, en donde se almacena la siguiente información:

- Dirección IP de destino.
- Tamaño del Prefijo.
- Número de secuencia del destino.
- Dirección IP del siguiente salto.
- Tiempo de vida (expiración o tiempo de eliminación de la ruta)
- Contador de Saltos (número de saltos para alcanzar su destino)
- Interfaz de red.
- Otros estados y banderas

Tiene un proceso parecido al protocolo DSR para descubrir una nueva ruta, ya que envía de igual forma mensajes *route request* o requerimiento de ruta (RREQ) mientras que el destino una vez que tiene la ruta definida, envía un mensaje *unicast* de respuesta de ruta (RREP) hacia el nodo origen. La información se almacena en la tabla de enrutamiento más no en el "*route cache*".

En la Figura 1.3.2.5., el nodo S desea enviar un paquete al nodo D, por lo que empieza enviando mensajes de broadcast RREQ para encontrar una ruta

hacia el destino, cada nodo que recibe el route request retorna una ruta hacia el origen (*reverse path*) y retransmite el RREQ hasta que un nodo logre alcanzar el destino, el cual al tener establecida una ruta, envía un mensaje unicast RREP al nodo S, el cual actualiza su tabla de enrutamiento con lo cual el nodo S ya puede comunicarse con el nodo D.

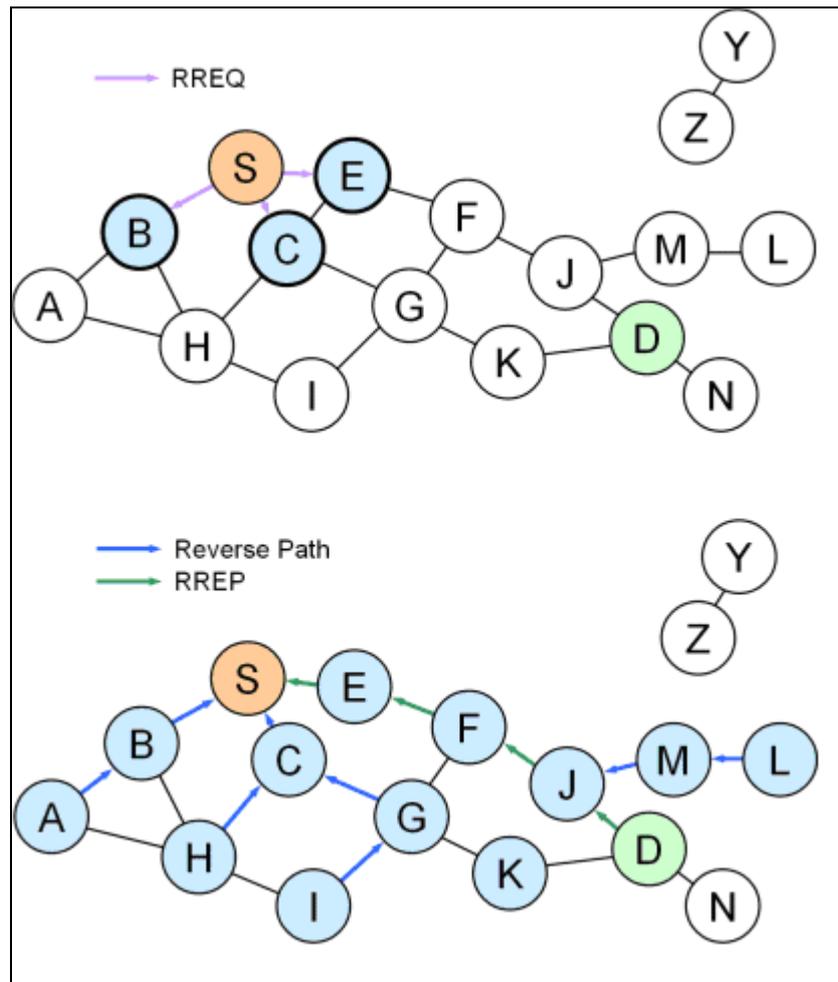


Figura 1.3.5. Protocolo AODV

Ventajas

- Libre de lazos de enrutamiento
- Multicast opcional
- Reducción del overhead de control

Desventajas

- Retardos causados por el proceso de descubrimiento de ruta.
- No permite el manejo de enlaces unidireccionales.

c) TORA

TORA (*Temporally Ordered Routing Algorithm*) [13] fue desarrollado por el Vincent Park en la Universidad de Maryland dentro del Laboratorio de Investigaciones Navales. Park patentó su trabajo, y este fue licenciado por Nova Engineering, quienes empezaron a comercializar un router inalámbrico basado en el algoritmo de Park

Es un protocolo que utiliza el algoritmo de enrutamiento *link reversal* [14] que es un algoritmo para el enrutamiento de datos a través de redes de malla inalámbricas o redes Ad-Hoc Móviles donde los links son bidireccionales pero el algoritmo les impone una dirección lógica con el propósito de restablecer el Grafo Acíclico Dirigido (GAD).

TORA construye y mantiene un Grafo Acíclico Dirigido (GAD) para cada destino, donde el destino es la única bajada a la que se va a llegar. Tres nodos no pueden tener la misma altura.

Como se observa en la Figura 1.3.2.6., la información fluye de los nodos con mayores alturas a los nodos con menor altura. La información, por lo tanto, puede ser pensada como un fluido que se desplaza corriente abajo, lo que hará que la información se transmita de los nodos más altos hacia el más bajo.

Al mantener un conjunto de totalmente ordenado alturas en todo momento, TORA logra enrutamiento múltiples libre de lazos, ya que la información no puede "fluir hacia arriba" y de manera transversal sobre sí mismo.

TORA intenta lograr un alto grado de escalabilidad usando un algoritmo no jerárquico de enrutamiento "flat". En esta operación el algoritmo pretende suprimir lo que más sea posible, la generación de mensajes de control de largo alcance.

Ventajas

- Es un protocolo de enrutamiento libre de loops y que provee múltiples caminos al destino.
- Converge en 3 pasos cuando existen enlaces caídos.
- Minimiza el overhead de comunicación.
- Se adapta rápidamente a los cambios de topología.

Desventajas

- NO elige un camino óptimo.

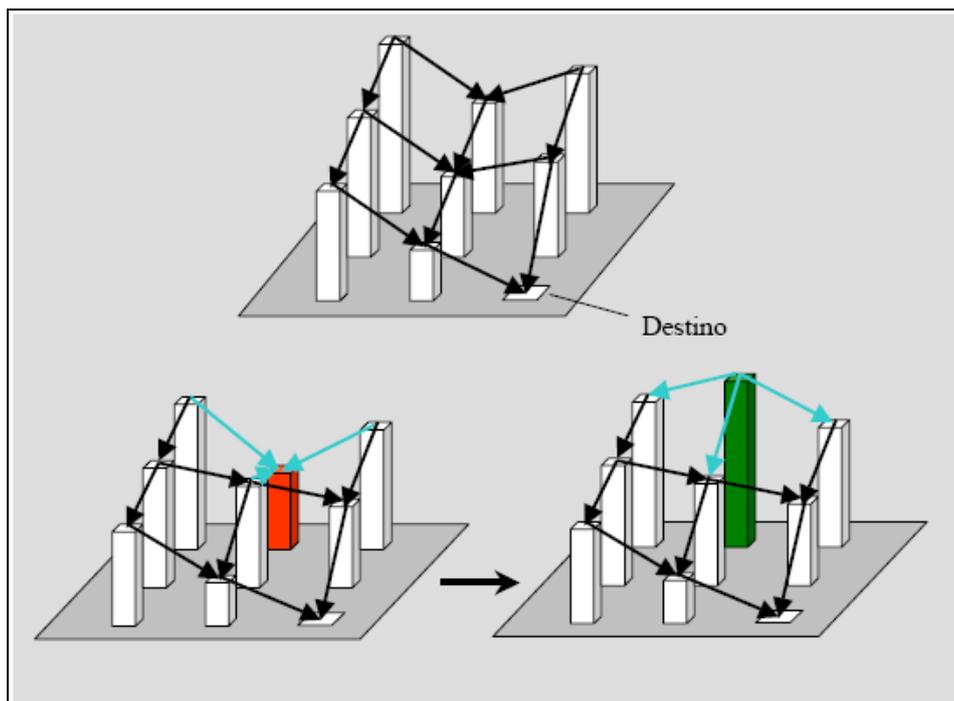


Figura 1.3.6. Protocolo TORA

- **PROCOLOS HÍBRIDOS**

a) ZRP

ZRP (Zone Routing Protocol) [15] fue desarrollado en 1997 por Haas and Pearlman, combina las ventajas de los protocolos proactivos como AODV y de los protocolos reactivos como OLSR.

De los protocolos proactivos toma la ventaja de descubrir rutas sobre nodos locales dentro de una zona, mediante la actualización de las tablas de enrutamiento utilizando el protocolo de enrutamiento *Intrazone Routing Protocol* (IARP), mientras que de los protocolos reactivos toma la ventaja de establecer comunicación entre zonas vecinas utilizando para ello a los nodos fronteras, esto se define a través del protocolo de enrutamiento *Interzone Routing Protocol* (IERP). Adicionalmente se utiliza el protocolo de enrutamiento *Broadcast Resolution Protocol* (BRP) para el reenvío de petición de rutas.

La red es dividida en zonas, cada una varía en tamaño dependiendo de la longitud del radio donde el número de saltos determina el perímetro de la zona. Cada nodo tiene su propia zona y puede existir superposición de zonas en muchos casos.

Ventajas

- Menor control de *overhead* como en los protocolos proactivos.

Desventajas

- Corta latencia para encontrar nuevas rutas.
- Se comporta como un protocolo proactivo si las zonas son muy grandes o se comportará como un protocolo reactivo si las zonas son muy pequeñas.

CAPÍTULO 2

REDES VANET

2.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Las Redes Ad-Hoc Vehiculares (VANET) son una aplicación de las redes Ad-Hoc Móviles (MANET) en donde los nodos móviles que intervienen dentro de la red constituida, son ahora los distintos vehículos que se encuentren circulando en las diferentes rutas dentro de una red implementada.

En una red VANET, los vehículos muchas veces viajarán de una forma definida al seguir una ruta establecida hacia su destino mientras que otras veces lo harán de una forma aleatoria, ya que dependiendo de factores externos como accidentes de tránsito, paradas intermedias o espontáneas de vehículos pesados o buses; y tráfico excesivo, provocarán que los vehículos se salgan de su ruta predefinida en busca una nueva ruta alterna con lo cual la topología de la red VANET varía constantemente dependiendo del ingreso o salida de vehículos dentro de la red, viéndose afectada constantemente su topología.

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 clara permitiéndose así 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 problemas de seguridad y tráfico en las distintas rutas dentro de un perímetro urbano establecido.

Con el establecimiento de una red Ad-Hoc Vehicular, también se puede crear una red Vehicular-Infraestructura, con el propósito de generar servicios de información de establecimientos comerciales o de servicios básicos, a los vehículos que circulan por el sector y que se encuentren en el rango de cobertura de la red establecida y así estos puedan recibir información acerca de eventos, promociones o disponibilidad de servicios de algún centro comercial que se encuentre en el sector. De esta forma tanto usuarios de vehículos como comerciantes pueden verse beneficiados con la implementación de una tecnología como esta ya que les sirve como una ayuda para el intercambio de información en la solicitud y oferta de productos o servicios que se comercialicen dentro del rango de cobertura de la red VANET-Infraestructura creada.

A diferencia de muchos otros entornos móviles Ad-Hoc donde el movimiento de nodo se produce en un campo abierto (como salas de conferencias y cafés), los nodos vehiculares están limitados a las calles a menudo separadas por edificios, árboles u otros objetos que se convierten en obstáculo para las señales que se transmiten. La distribución de calles y autopistas y sus diferentes obstáculos incrementan la distancia promedio entre nodos y, en la mayoría de los casos se reduce la fuerza de la señal recibida en cada nodo debido a las interferencias. Un modelo de movilidad más realista con un nivel apropiado de detalle para las redes vehiculares es fundamental para una obtener resultados adecuados en la red simulada.

Sin embargo, las Redes Ad-Hoc Vehiculares se encuentran en una etapa de investigación en la cual se están desarrollando varios proyectos en los que participan universidades con el apoyo de los gobiernos respectivos y de la empresa privada con el fin de seguir investigando y desarrollando diferentes parámetros como entornos de simulación y descubrimiento de nuevos protocolos los cuales faciliten y mejoren la aplicación de esta nueva tecnología.

2.2 MODELOS DE MOVILIDAD

Para las redes VANET, se propone 4 Modelos de Movilidad [16] dentro de los cuales se puede investigar y estudiar el comportamiento de los vehículos dentro de la red constituida según los modelos propuestos. De esta forma se puede determinar de mejor manera la creación e implementación de protocolos que se adapten a las condiciones de movilidad que los vehículos tienen al desplazarse dentro de una ruta que forma parte de una red VANET.

Estos modelos son: **Modelo Sintético**, en el cual se generan redes en base a modelos matemáticos; **Modelo basado en Simuladores de Tráfico**, mediante el cual se generan redes VANET en base a la creación de topologías en simuladores de tráfico; **Modelo basado en Encuestas**, de los cuales se extraen patrones de movilidad vehicular a través de encuestas y el último modelo es el **Modelo basado en Esquemas**, con el cual se determinan patrones de movilidad en base a esquemas reales de movilidad.

A continuación se hablará de la clasificación de los 4 modelos de movilidad que se pueden aplicar para el diseño y simulación de una red VANET

2.2.1 Modelo Sintético

Este tipo de modelo se basa en el desarrollo de modelos matemáticos que reflejan efectos físicos reales de movilidad. Han sido desarrollados varios modelos dentro de este tipo, pero para que estos sean tomados en cuenta deben ser comparados con el desempeño en la vida real de los vehículos y así comprobar que tan útiles pueden ser.

A través de cálculos y algoritmos matemáticos se propone obtener el prototipo de un modelo de movilidad a seguir, con el cual se pueda desarrollar nuevos algoritmos con el fin de interpretar el posible comportamiento de un

vehículo, y de esta forma obtener resultados sobre flujo de vehículos, congestión entre otros.

El mayor problema que presenta este tipo de modelamiento, es que carece de realismo y no logra representar el comportamiento que una persona puede adquirir al momento de manejar un vehículo, ya que el ser humano no reacciona siempre de una misma forma ante un problema, por lo cual un algoritmo matemático no reflejará realmente la forma de conducir de una persona.

En el presente proyecto de grado, este modelo no será aplicado ya que lo que se pretende es simular una red de tráfico, en la cual se pueda observar el desempeño de los autos, y la comunicación que se establezca entre estos.

2.2.2 Modelo Basado en Simuladores de Tráfico

Este tipo de modelamiento es el más usado dentro de la comunidad que está realizando los diferentes estudios e investigaciones acerca de las redes VANET.

Los modelos que se basan en simuladores de tráfico son más realistas y proporcionan una mejor información gracias a las distintas herramientas que poseen y a las diferentes aplicaciones que estas pueden brindar. Como son simulación de accidentes de tráfico, congestión vial, choques vehiculares y muchos otros eventos que se pueden implementar dentro de una simulación de tráfico. Así se puede analizar de mejor manera el comportamiento de los vehículos dentro de una red establecida con lo cual se alcanza obtener mejores resultados para las distintas investigaciones que actualmente se están realizando sobre las redes VANET.

El problema con este tipo de modelamiento es que muchos de los simuladores de tráfico no son software libre, lo que implica un pago por la

licencia del programa para lograr utilizarlo en forma completa con todas sus aplicaciones y herramientas. Este hecho implica grandes inversiones para conseguir las licencias, lo que obstaculiza mucho el desarrollo de las distintas investigaciones acerca de las red Ad-Hoc Vehiculares.

Por el momento existen algunos programas de software libre que permiten modelar entornos de tráfico muy reales y con los cuales se está trabajando en la mayoría de organizaciones encargadas de desarrollar y mejorar la creación de redes VANET. Algunos programas como SUMO proporcionan herramientas muy útiles que permiten simular modelos de tráfico muy semejantes a los que se dan en la vida real.

Como uno de los objetivos de este estudio es realizar la simulación de una red VANET, se elige utilizar este modelo de movilidad, ya que mediante una simulación, es más visible el comportamiento de una red, y se puede lograr considerar mayores factores reales de tránsito gracias a las herramientas y aplicaciones que estos programas brindan para el desarrollo e investigación de diversos tema, como es este el caso de las redes VANET.

2.2.3 Modelo Basado en Encuestas

El modelo basado en encuestas, pretende determinar el comportamiento, desempeño y características que un vehículo puede tener al momento de intervenir en un modelo de tráfico. Para esto se base en encuestas, recopilación e investigación de información sobre diferentes características que influyen en el desempeño de los usuarios al momento de manejar un vehículo, como puede ser determinar el tiempo promedio que utiliza para almorzar, el tiempo que realiza en desplazarse del origen a su destino, que distancia recorre, rutas por las que viajan, rutas alternas a su destino, etc.; y a través de encuestas procesar los resultados obtenidos con el fin de desarrollar modelos de movilidad genéricos capaces de reproducir comportamientos no randómicos

de los distintos usuarios observados en la vida real y que viajan por un perímetro establecido.

De esta forma se logran establecer modelos de movilidad, con la consecuencia de que estos son genéricos, lo que implica que no contemplan factores externos y extras que puedan afectar el comportamiento del modelo de movilidad establecido.

Para el propósito del presente estudio, este modelo puede llegar a ser utilizado como fuente de información, ya que mediante encuestas sobre preguntas puntuales como conocimiento sobre rutas alternas, selección de productos y servicios para una red vehículo-infraestructura, entre otras, pueden ayudar a mejorar la simulación y en el caso de su implementación a futuro, se puede prever con que comerciantes se puede dialogar para que participen de los servicios que se pueden implementar en una red VANET vehicular-infraestructura.

2.2.4 Modelo Basado en Esquemas

Este tipo de modelamiento utiliza esquemas ya establecidos para el estudio de movilidad. Lo que implica que se tiene determinado ya el comportamiento que van a tomar los vehículos dentro del estudio, sin contemplar futuras incorporaciones o implementaciones necesarias que se pueden ir dando en el transcurso de la investigación.

Al utilizar esquemas ya definidos, la innovación y reajuste de parámetros ya no pueden llegar a ser tomados en cuenta, por lo que el estudio se puede ver afectado de gran manera ya que un modelo de tráfico no siempre va a tener el mismo comportamiento.

Este tipo de modelo no ha sido tomado en cuenta durante el transcurso del presente estudio, ya que no se lo considera tan útil como lo son el modelo basado en simuladores de tráfico y el modelo basado en encuestas.

2.3 ARQUITECTURA PARA PROTOCOLOS

Dentro de las nuevas investigaciones que se están estableciendo acerca de las redes Ad-Hoc Vehicular, se diseñan nuevos modelos de arquitectura para protocolos que este tipo de tecnología, las cuales debería seguir con el propósito de cumplir con los básicos requerimientos para que la red funcione adecuadamente tales como son seguridad y confiabilidad, y que deben ser una de las partes más importantes a ser implementadas en este tipo de tecnología.

Tradicionalmente las redes de datos se basan en arquitecturas con capas jerárquicas como en el modelo OSI como se observa en la Figura 2.3.1. El modelo basado en capas es un modelo de referencia en el cual todavía muchas investigaciones se basan por el hecho de que cada capa cumple con una función determinada por lo cual es más fácil determinar las necesidades que este sistema requiere y solventar problemas de configuración.

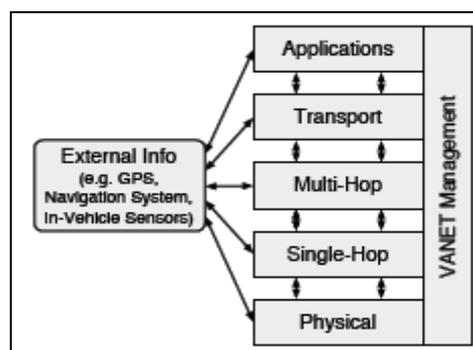


Figura 2.3.1. Arquitectura basada en capas para redes VANET

Otro tipo de arquitectura es la que no se basa en capas jerárquicas, como se observa en la Figura 2.3.2, en donde todas las aplicaciones y protocolos de

comunicación se colocan en un único bloque lógico sobre la interfaz física y conectada a sensores externos.

Dentro de este bloque, todos los elementos de un protocolo se encuentran en módulos de tal manera que no hay restricciones para la interacción y el estado de la información es arbitrariamente accesible.

Sin embargo, esta arquitectura hereda un diseño de alta complejidad debido a las arbitrarias y complejas interacciones de sus módulos, lo cual recae en el hecho de que no permitiría la interacción con aplicaciones basadas en IP.

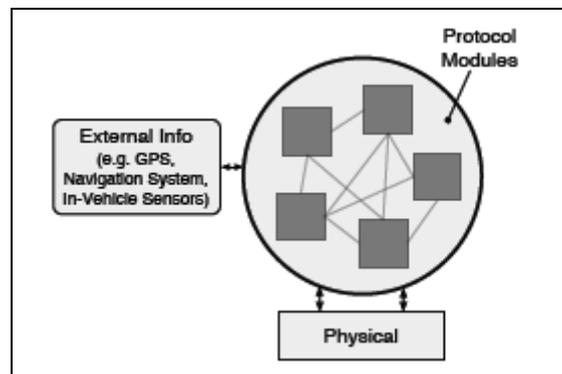


Figura 2.3.2. Arquitectura para redes VANET

Debido a estos factores es que se ha propuesto un nuevo diseño de arquitectura [17] para las redes VANET, el cual contempla varios de los beneficios de ambas arquitecturas.

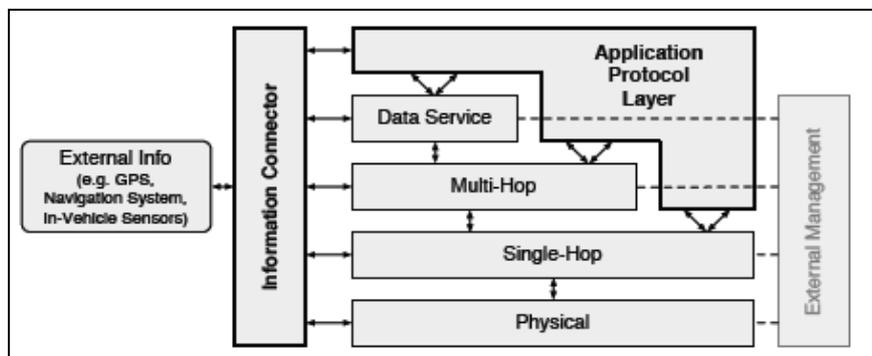


Figura 2.3.3. Diseño de una nueva arquitectura para redes VANET

Esta nueva propuesta se basa en el modelo por capas, como se observa en la Figura 2.3.3., pero con ciertas modificaciones para lograr un mejor desempeño de las redes VANET. Por ejemplo una aplicación puede interactuar directamente con todas las capas inferiores y no solo con aquella que se encuentra directamente conectada. Este cambio ofrece mayor flexibilidad para enviar paquetes a través del camino estándar que siguen los paquetes salientes a lo largo de las capas en un modelo jerárquico.

- El bloque *Information Connector*, es una interfaz que actualiza el intercambio de información del sensor, extrae los datos de los paquetes y el estado de la información de los protocolos y dispositivos que intervienen en la comunicación.
- El bloque *External Management* simboliza una interfaz de configuración para establecer la configuración del sistema a largo plazo.
- La capa *Single-Hop* incorpora todas las funciones relativas a la comunicación directa hacia los vecinos.
- La capa *Multi-Hop* contiene elementos para la transmisión de paquetes a los nodos no vecinos, utilizando vecinos como retransmisores.
- La capa *Data Service* representa el resto entre el reenvío de los paquetes de la capa multi-hop y la aplicación.

Si bien la organización fundamental de los protocolos sigue siendo por capas y la ruta de un paquete sigue siendo vertical a través de las capas, un conector de información proporciona una interfaz que permita el intercambio de información entre protocolos sobre cada capa y fuentes adicionales de información como son los sensores.

2.4 PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO

2.4.1 Frecuencias de Operación

Respecto a la operación de las redes Ad-Hoc Vehiculares en una determina banda de frecuencia, esta se la hace generalmente al igual que las redes MANET en las bandas no licenciadas de 2.4 GHz y de 5 GHz, las cuales manejan velocidades de transmisión de información aceptables entre vehículos y dentro del perímetro establecido por la red inalámbrica.

La mayoría de centros de investigación que se encuentran desarrollando estudios sobre esta tecnología se encuentran trabajando principalmente en la banda de 5.9 GHz; además de que se decidió al estándar 802.11a [18] como la tecnología de capa inferior, la cual opera en esta banda usando modulación OFDM.

2.4.2 Protocolos de Enrutamiento

Una vez enunciados en el capítulo anterior los protocolos para las redes Ad-Hoc Móviles, en las cuales se basa el funcionamiento de las redes Ad-Hoc Vehiculares, y con una idea clara de cómo estos deben operar dentro de una red móvil en donde la topología de la red puede ir cambiando constantemente, se procederá a dar a conocer varios de los protocolos que son utilizados para simular entornos de redes VANET y así determinar sus características principales para seleccionar el más apropiado al momento de realizar la simulación de una red VANET.

Los protocolos que se utilizan para enrutar información dentro de una red Ad-Hoc Vehicular mantienen ciertas características de los protocolos desarrollados para MANET pero deben soportar el hecho de que la topología sea escalable y cambiante constantemente. Entre los protocolo que funciona en las redes MANET y que puede ser utilizados para la simulación de redes

Ad-Hoc Vehiculares se encuentran los protocolo FSR, AODV, DSR y TORA [19], siendo AODV el más óptimo para utilizar.

Adicionalmente a los protocolos antes mencionados, se puede utilizar otro protocolo de enrutamiento el cual se denomina DYMO [20], el cual presenta un buen desempeño en este tipo de redes y se explica a continuación.

a) DYMO

DYMO (*Dynamic MANET On-demand*) [20] es un protocolo destinado para el uso en nodos móviles sobre redes inalámbricas.

Este protocolo determina rutas *unicast* entre routers DYMO proporcionando una gran convergencia en topologías dinámicas de red.

DYMO se basa en el descubrimiento de rutas y el mantenimiento de estas, al igual que el protocolo reactivo AODV. El nodo emisor envía un mensaje RREQ a través de los nodos intermedios, los cuales empiezan a establecer una ruta con el nodo predecesor y siguen transmitiendo mensajes RREQ hasta alcanzar al nodo destino, el cual luego de este proceso reenvía un mensaje RREP a los nodos anteriores con lo cual se crea la tabla de enrutamiento y por ende se establece la ruta entre el nodo fuente y el nodo destino.

Para el mantenimiento de rutas, los routers DYMO monitorean el enlace sobre el cual existe un flujo de información, y si en algún momento un nodo que busca una ruta para reenviar el paquete y esta ya no está, genera un mensaje de error (RERR) hacia el nodo fuente para indicar que la ruta es inalcanzable o que el enlace ya no está establecido. Cuando el nodo transmisor recibe el mensaje RERR, este elimina la ruta. Si nuevamente el nodo quiere reenviar

otro paquete a la misma dirección, tiene que volver a crear una ruta hacia el nodo destino para lograr reenviar el paquete.

Los nodos continuamente monitorean los enlaces activos y actualizan el campo valido *Timeout* (temporizador válido) de las entradas en su tabla de enrutamiento cuando envían y reciben paquetes con el fin de mantener aquellos caminos que son válidos.

2.5 APLICACIONES

Debido a que las redes Ad-Hoc Vehiculares son una tecnología que se encuentra en desarrollo, existen varias aplicaciones que pueden dar soluciones a grandes problemas que se tiene especialmente en lo que a tráfico corresponde, pero de igual forma mientras se siga investigando y desarrollando este tipo de tecnología, se seguirán creando nuevas aplicaciones a futuro.

2.5.1 Servicios Entre Autos

Una de las principales aplicaciones a las que se están dirigiendo las distintas investigaciones sobre VANET es al intercambio de información entre vehículos para mejorar la seguridad de los usuarios a lo largo de su trayecto en la ruta.

Esta es de vital importancia ya que se pretende que este tipo de red sea capaz de lograr el intercambio de información en tiempo real de tráfico entre vehículos que se encuentren a ciertas distancias para lograr informar acerca de congestionamientos de vehículos, accidentes de tránsito, información sobre vías en construcción o de alto riesgo por el hecho de que se encuentre personal o maquinaria en la vía, además de que se pueden intercambiar información acerca de zonas de riesgo en las cuales existan posibles robos a

vehículos que circulan por la zona o de asaltos a los usuarios que circulan por la zona.

Por ejemplo se pretende que si el dueño de un vehículo es producto de un intento de asalto o detecta alguna actividad sospechosa por un determinado sector por el que se encuentra transitando, este sea capaz de informar a los vehículos que se encuentren en su rango de cobertura mediante un mensaje de broadcast informando acerca de los posibles riesgos que existen en la zona, y así el resto de vehículos que participan de la información sean capaces de tomar medidas de seguridad como poner seguros en sus puertas y a la vez estén alerta sobre lo que está ocurriendo en el sector donde se originó el mensaje.

De igual forma, si el usuario de un vehículo observa un accidente de tránsito reciente, se pretende que este pueda informar al resto de vehículos que se encuentren cerca al sector del accidente para que estos tomen la decisión o no de escoger una ruta alterna a la zona del accidente y así evitar congestión de tráfico innecesario logrando que el tráfico que se genera por la paralización de autos cerca del accidente sea menor y se mejore la circulación del tráfico.

Otro ejemplo en seguridad puede ser si un auto se avería en una vía, a través de la comunicación sobre redes VANET, el usuario dentro del auto sea capaz de enviar un mensaje de auxilio explicando el percance por el que pasa el auto y la ayuda requerida, para que otro vehículo sea capaz de detenerse y pueda ayudar al vehículo que se encuentra averiado para lograr descongestionar de una forma más rápida la vía y así evitar congestiones grandes de tráfico.

Estos enlaces dentro de la red, deben ser realizados en tiempo real y en lo posible mantener una calidad de servicio (QoS) para que el intercambio de

información entre vehículos sea efectivo y así la red VANET sea provechosa para todos los usuarios.

Un grupo de investigación dedicado a desarrollar este tipo de aplicaciones es el *Car 2 Car Communication Consortium (C2CCC)* [21]

2.5.2 Servicios Entre Infraestructura-Auto

Para este tipo de servicio, en el cual adicional a los vehículos que participan en la red, se encuentran radio bases capaz de generar mayores beneficios para los usuarios de la red, se proyecta desarrollar aplicaciones en las cuales exista un mayor rango de cobertura de la red, adicionalmente de que se pueda proveer nuevos servicios para los usuarios de los vehículos.

De esta forma con la inclusión de la radio bases en puntos estratégicos dentro de la red, los vehículos podrán manejar información externa como clima, zonas donde ha habido inundaciones, y por las cuales es complicado transitar o informar acerca del tráfico, lográndose de esta manera una mayor cobertura a la que pueden acceder los vehículos en un servicio entre autos.

El grupo encargado dedicado a investigar este tipo de aplicaciones es el *Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems (CVIS)* [22].

El sector urbano en el cual se realiza el presente estudio, puede ser una gran opción para la implementación de este tipo de servicio ya que el sector del Aeropuerto es un sector muy céntrico y transitado, además de que posee varios locales comerciales a lo largo del trayecto de la Avenida Amazonas y de igual forma en las avenidas que se cruzan con esta avenida principal como es el caso de la Avenida El Inca o la Avenida Río Coca.

2.5.3 Servicios Basados en Portales

Este tipo de servicio está orientado a la conexión entre infraestructura-auto pero con mayores aplicaciones, entre las cuales se destaca el Internet.

Una aplicación a este tipo de servicio es que un auto a través de un Access Point, podría acceder a navegar a través de Internet para lo cual se debería establecer la forma de acceso al medio y fijar una tarifa para el usuario, con lo cual este pueda tener acceso a navegar el tiempo que goce al contratar el servicio a un proveedor de Internet.

Otro ejemplo sería que un auto al estar viajando en una ruta determinada, pueda recibir mensajes de los restaurantes, locales comerciales, y centros de entretenimiento cercanos a la zona por la que se encuentra transitando con lo cual puede decidir si quiere realizar una parada para utilizar un servicio o comprar un producto en algún local comercial del sector.

Esta puede ser una forma adicional de ofrecer sus productos y servicios, y de lograr un mayor mercado al distribuirse el mensaje a todos los vehículos dentro del rango de cobertura preestablecido.

Manejando el mismo principio que el punto anterior, un vehículo podría recibir información acerca de hospitales, departamentos de policía y bomberos con el fin de que si el usuario de un vehículo necesita lograr acceder a uno de estos servicios, lo puede hacer de una forma segura y rápida y de esta forma solucionar algún problema que haya tenido al desplazarse por la ruta en la que se encontraba viajando.

El grupo dedicado al desarrollo este tipo de aplicaciones es *Global System of Telematics* (GST) [23] el cual es un consorcio formado por 49

compañías de automóviles que pretenden desarrollar este tipo de servicio en sus autos a futuro.

2.6 BENEFICIOS DE VANET

VANET al ser una tecnología de comunicación inalámbrica y móvil, posee grandes ventajas en comparación a las redes estándares alámbricas que se manejan en la actualidad e incluso poseen ventajas a las redes inalámbricas debido a que poseen movilidad a mediana y gran escala con lo cual los beneficios de igual manera son numerosos.

Entre algunos de los principales beneficios que las redes Ad-Hoc Vehiculares pueden brindar, se destacan:

- Mayor prevención de accidentes de tránsito debido a que al tener intercambio de información en tiempo real acerca de accidentes que se han producido en la carretera debido a varios factores, se puede corregir y tomar medidas preventivas de seguridad en los autos cercanos al accidente para que estos no formen parte de incidentes mayores.
Si hubiera neblina en una carretera, y existe ya una colisión entre vehículos, al enviar un mensaje de broadcast alertando acerca del suceso por parte de uno de los accidentados, los autos que transiten cerca y que reciban el mensaje serán capaces de disminuir la velocidad a la que viajan e incluso desviarse o detenerse en la carretera para evitar el accidente, y así que se forme un choque masivo entre autos por el simple hecho de que no tuvieron la posibilidad de informarse acerca del primer evento sucedido.
- Información en tiempo real acerca de lugares comerciales o de establecimientos de seguridad como policías, hospitales o bomberos.
Un auto al transitar por un sector comercial dentro de un perímetro establecido por un equipo fijo como una radio base, es capaz de recibir

información acerca de descuentos, promociones e información general de los locales comerciales a los que se encuentra afiliado, y de esta forma será capaz de decidir si quiere hacer una parada o buscar en otro sector por algo que sea más preciso a lo que se encuentra buscando ese momento.

- Búsqueda y rescate de personas atrapadas en lugares de alto riesgo y de las cuales no se logra determinar su ubicación.

Si un auto ha caído por un barranco y no es capaz de ser divisado fácilmente por los equipos de rescate, estos pueden enviar mensajes constantemente a lo largo de la vía por donde desapareció el auto y así lograr determinar su ubicación de una forma más rápida y precisa con lo cual se puede mejorar las acciones de rescate de las personas involucradas en el accidente.

- Tanto para Policías, Bomberos y Cruz Roja, las redes Ad-Hoc Vehiculares pueden ayudar a mejorar sus sistemas de comunicación y ayuda a usuarios o a miembros del mismo grupo y coordinar una mejor labor entre todos.

Por ejemplo si un vehículo necesita de ayuda policial puede determinar la ubicación de estos dentro de su rango de cobertura y así establecer una comunicación para solicitar la ayuda que necesita.

Por otro lado si un patrullero se encuentra en alguna persecución o en algún enfrentamiento peligroso en un sector determinado, este puede enviar un mensaje de broadcast para todos los patrulleros que se encuentren cerca y así solicitar apoyo de una forma mas rápida y eficiente, con lo cual se puede prevenir más muertes de policías.

- Su eficiencia se espera que sea de lo mejor al momento de que las comunicaciones sean establecidas entre vehículos, lográndose que no existan mayores problemas en pérdida de señal y retardos en la entrega de mensajes.

CAPÍTULO 3

SELECCIÓN DE VARIABLES PARA LA SIMULACIÓN DE UNA RED VANET

3.1 DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA VEHICULAR TOMANDO COMO BASE AL SECTOR DEL AEROPUERTO

Para la simulación de la red VANET, se simulará la congestión vehicular en base a un sector de la ciudad de Quito. Este será el sector del Aeropuerto de Quito comprendido entre las Avenidas Amazonas y La Florida al norte, y por Avenidas Amazonas y Juan de Ascaray al sur. En la Figura 3.1.1. se muestra la ruta en base a la cual se realiza la simulación de tráfico para el estudio de una red VANET.

Se escogió este sector en base a la alta demanda de vehículos que transitan por la Avenida Amazonas, y también por la cantidad de autos que circulan en las avenidas aledañas, y que van a desembocar en la Av. Amazonas como es el caso de la Avenida Río Coca o la Avenida El Inca, lo que influye y determina una mayor congestión de tráfico ya sea en horas pico o a cualquier otra hora en un día normal de la semana.

Hay tomar en cuenta que el tráfico vehicular es mayor de lunes a viernes debido a que la mayoría de personas se desplazan a sus trabajos, por lo que la demanda de autos, taxis y transporte pública se incrementa a diferencia de un

fin de semana, en el cual muchas personas ya no transitan con la misma frecuencia que lo harían entre semana.

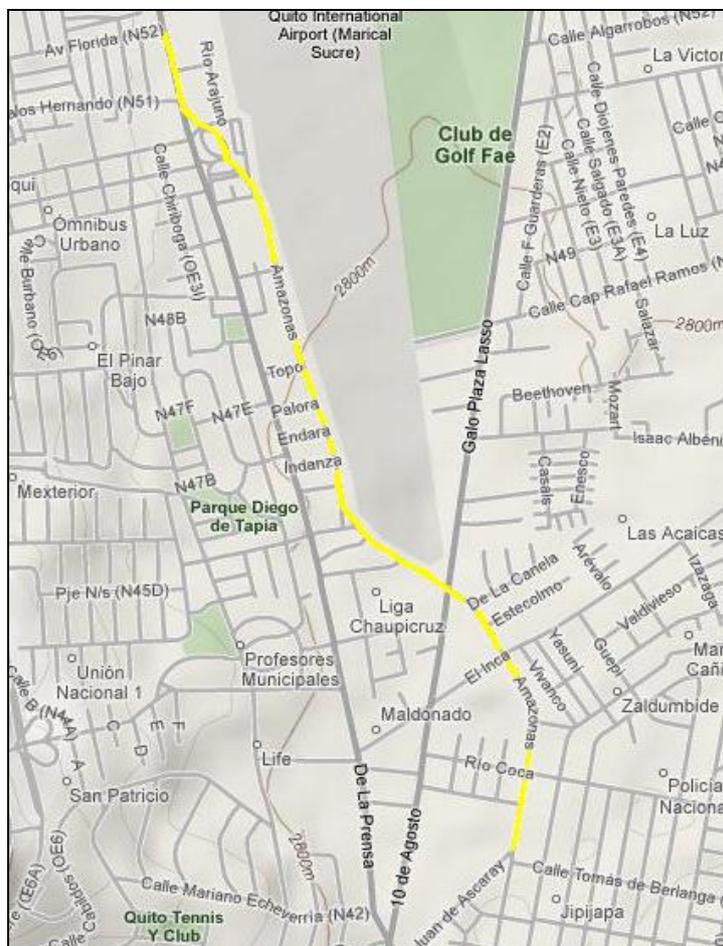


Figura 3.1.1. Tramo para estudio de Cobertura Red VANET

Además el caos vehicular también se ve afectado de lunes a viernes por el transporte privado o público como son los buses o busetas escolares, o de empresas públicas y privadas, las cuales ayudan a incrementar el flujo de autos circulando por el sector, y este al ser un punto céntrico que conecta tanto norte con sur y occidente con oriente, se ve muy afectado por la cantidad de autos circulando por el mismo.

Otro hecho importante que influye en el congestionamiento vehicular es que las calles y avenidas de la ciudad de Quito en su mayoría cuentan con un

promedio de 2 a 3 carriles para tránsito vehicular, con lo cual no se da abasto a la cantidad de vehículos circulando durante todo el día. Sumando a esto el hecho de que los *timers* de activación de las luces en los semáforos no es el más óptimo, ya que hay luces que duran mayor tiempo en intersecciones que no requieren de tanto tiempo de duración. Este es el caso del semáforo ubicado en la intersección entre la Avenida Amazonas y Zamora, el cual tiene destinado un tiempo de 30 segundos para la luz verde a las líneas de autos que provienen de la Avenida Zamora y que desembocan en la Avenida Amazonas. Lo que resulta un tanto excesivo para la cantidad de autos que toman este trayecto en comparación a la alta densidad de vehículos que existe en el mismo tramo a lo largo de la Avenida Amazonas. Esto provoca una mayor acumulación de autos a lo largo de la Avenida Amazonas tanto en las rutas de norte a sur como de sur a norte aumentando el flujo vehicular, lo que implica mayores tiempos para los usuarios al momento de desplazarse hacia un punto específico utilizando a la Avenida Amazonas como vía principal.

Otro punto importante que ha influido en el alto congestionamiento vehicular hoy en día, es el aumento del parque automotriz en la ciudad de Quito, el cual hoy en día es de aproximadamente 94603 vehículos [23] matriculados hasta diciembre del 2008 y que se encuentran circulando por las distintas calles de la ciudad de Quito aumentando el caos vehicular en todos los sectores de alta afluencia vehicular por los que circulan los autos.

Del total de vehículos matriculados, 46587 son autos, es decir el 49.24% de vehículos son de uso particular y dentro de los cuales generalmente se encuentra uno o dos pasajeros, incluyendo el conductor, lo que genera largas colas de autos en cada semáforo de la ciudad. Cada día más personas compran autos para uso particular, lo que demuestra un alto crecimiento del parque automotor para una ya saturada ciudad en la cual no existen planes de descongestionamiento vial o de reestructuración de las principales vías para una mejor circulación vehicular.

Este hecho ha influido también en el incremento de accidentes de tránsito en las vías y al aumento de la congestión vehicular, ya que muchos nuevos conductores no tienen la experiencia necesaria y son un tanto imprudentes, lo que provoca que varias veces provoquen accidentes y por ende congestionamiento vehicular adicional al que ya existe hoy en día.

Adicionalmente este sector es muy importante debido a que une una vía principal importante como la Avenida Amazonas, con varias transversales, interconectando así varios puntos de la ciudad de Quito.

La Avenida Amazonas en el tramo del puente Del Labrador, conecta a la Avenida La Prensa y a la Avenida 10 de Agosto, permitiendo el desplazamiento de vehículos tanto hacia la parte noroccidental como a la parte nororiental de la ciudad de Quito. De igual forma al estar interconectada la Avenida Amazonas con la Avenida Río Coca o El Inca, permite el flujo de vehículos desde vías en la parte oriental de la ciudad como la Avenida 6 de Diciembre hacia vías en la parte occidental como la Avenida La Prensa o Avenida Occidental si el vehículo se desplaza hacia la Avenida Zamora.

Otro factor por el cual se pretende realizar el estudio de una red VANET en este sector es debido a que existen varios negocios comerciales que ofrecen productos y servicios de diferente tipo, los cuales podrían estar interesados en participar en una red VANET vehículo-infraestructura con el propósito de mejorar la publicidad de sus negocios y la venta de sus productos y servicios. Además se dispone de un puesto de auxilio de policía, frente al Centro Comercial Aeropuerto, como de una ambulancia dentro del Aeropuerto, lo que ayudaría a mejorar y agilizar el uso de estos servicios que muchas veces pueden ser determinantes al momento de salvar una vida que este en riesgo por una accidente de tránsito producido en el sector. Todos estos beneficios se pueden dar gracias a la implementación de una tecnología basada en una red Ad-Hoc Vehicular.

Estas son algunas de los puntos por los cuales se decidió optar a este sector como ejemplo para la simulación de una red VANET.

3.2 TRÁFICO VEHICULAR EN HORAS PICO

Las horas pico comprende períodos de tiempo en el cual la afluencia de autos circulando a lo largo de la vía es mucho mayor que en otras horas en el cual la demanda de autos es menor.

La primera hora pico del día corresponde al espacio entre las 7 horas con 30 minutos hasta las 9 horas, período en el cual la mayoría de personas se desplazan hacia sus puestos de trabajo o hacia su lugar de estudio o compromiso, por eso existe un exceso de vehículos en el sector ya que al ser un sector que conecta varios puntos importantes de la ciudad a través de sus avenidas, es muy utilizada por la transportación pública y privada.

La segunda hora pico comprende el intervalo de tiempo entre las 12 horas con 30 minutos hasta las 14 horas con 30 minutos, período en el cual muchos trabajadores se desplazan hacia el lugar donde almuerzan, y luego vuelven a retornar a sus lugares de trabajo.

Además en este período de tiempo, los transportes escolares realizan los recorridos de retorno de niños y jóvenes hacia sus casas luego de sus jornadas de estudio.

El último período corresponde al intervalo entre las 17 horas con 30 minutos y las 19 horas, intervalo en el cual las personas retornan a sus hogares luego de una jornada de trabajo. Este período es muy crítico ya que aparte del factor antes mencionado, el hecho de que ya no haya sol ni claridad para

circular, aumenta las precauciones que los conductores toman para realizar su viaje de retorno por lo que su desplazamiento por las vías es más lento provocando un mayor retardo en el tiempo de viaje.

Un promedio de autos en horas pico que circulan por el sector se puede determinar por las colas de vehículos que se forman en cada intersección durante la luz roja del semáforo, es así que aproximadamente se puede observar colas que van desde los 10 a 16 autos por carril en las distintas intersecciones de la Avenida Amazonas tanto en los carriles de norte a sur como en los carriles de sur a norte.

Esto demuestra que el sector del Aeropuerto es un punto muy importante por el que circulan una gran cantidad de vehículos y que si en algún momento algún carril de la Avenida Amazonas se encuentra inhabilitado, se producirá un gran congestionamiento por la cantidad de vehículos circulando por esta vía.

Este es uno de los puntos más importantes por el cual es tomado como ejemplo este sector para el desarrollo del presente estudio.

3.3 TRÁFICO VEHICULAR EN HORAS NO PICO

Las horas no pico corresponden al resto de horas que no son tomadas en cuenta en las horas pico. En las horas no pico el tráfico vehicular disminuye tentativamente en relación a la cantidad de vehículos que circulan en las horas pico. Tentativamente ya que se presume que no deberían circular tantos autos en este espacio de tiempo, pero debido a que el parque automotriz es muy grande hoy en día, existe una gran cantidad de vehículos circulando a lo largo de las vías de Quito a cualquier hora del día por lo que las vías se encuentran siempre congestionadas

Sin embargo todavía se puede diferenciar horas pico de horas no pico ya que en estos intervalos de tiempo, se forman colas de aproximadamente 5 a 8 autos por carril durante la duración de una luz roja en los semáforos de la Avenida Amazonas dentro del sector a analizar.

En las horas no pico, la afluencia de vehículos es manejable y la circulación de autos no provoca mayores congestionamientos, lo que facilita a los vehículos la circulación por las rutas alternas establecidas de una forma más rápida y acertada cuando sea necesario tomarlas.

3.4 PROMEDIO DE ACCIDENTES EN LAS AVENIDAS POR FALTA DE INFORMACIÓN EN TIEMPO REAL

En la actualidad el índice de heridos y fallecidos en accidentes de tránsito es alto en el Ecuador debido a la imprudencia de los conductores para conducir a exceso de velocidad o en estado etílico especialmente en la zonas urbanas de la ciudad; y otras veces a problemas externos como pueden ser factores climáticos, el mal estado de las calles y avenidas de la ciudad, o la aparición de elementos sorpresa como un animal al cruzar inesperadamente una calle.

Todos estos son factores que han determinado que se produzcan un promedio de 2277 **[24]** accidentes por choque en el Distrito Metropolitano de Quito.

Existe un total de 3168 heridos en accidentes vehiculares de diferentes tipos en la ciudad de Quito, de igual forma el total de personas que han fallecido por algún accidente dentro de la ciudad es de 225 personas lo cuales son índices que se pretende disminuir con la aplicación de un sistema basado en redes VANET.

Estas estadísticas de tránsito son considerables, esto debido a que el sector es muy transitado y el congestionamiento es grande por lo que muchos

conductores no tienen el espacio suficiente para maniobrar debidamente por lo que se corre un gran riesgo de accidentes, y estos son los que provocan una mayor congestión vial por lo estrechas que son las vías y por la gran cantidad de autos que circulan por el sector.

Es por eso que un sector como el propuesto se puede ver beneficiado con la aplicación de una red VANET, ya que esta ayudaría al mejoramiento de la circulación vehicular al momento de que los vehículos toman las rutas alternas para viajar, y permitirá manejar una mejor comunicación entre vehículos con el propósito de evitar accidentes de tránsito durante lluvias u otro factor climático o inesperado.

3.5 RUTAS ALTERNAS DE LAS AVENIDAS PRINCIPALES DEL SECTOR

Debido a que uno de los propósitos de la creación y establecimiento de las redes Ad-Hoc Vehiculares es que los autos tomen rutas alternas hacia su destino si descubren inconvenientes o percances sobre algún punto a lo largo de la ruta habitual por la que se desplazan, es muy importante determinar la disponibilidad de rutas alternas dentro del perímetro de la red que se pretende cubrir con el fin de brindar una alternativa a los congestionamientos que se puedan dar y así disminuir y evitar los retardos que implican al seguir por una ruta que tiene un alto nivel de tráfico vehicular y por la cual es mejor no transitar si se tiene la posibilidad de no hacerlo.

De esta forma se puede crear un entorno de tráfico más similar a la vida real para poder observar el desplazamiento de los vehículos, y además obtener resultados comparativos entre vehículos que transitan a lo largo de la ruta con mayores niveles de tráfico con aquellos que circulan tomando la vía alterna hacia el mismo destino, y de esta forma determinar que tan conveniente puede ser la implementación de este sistema de red dentro de un entorno real.

Para los vehículos que se desplacen de sur a norte, se establecen como rutas alternas las Avenidas Río Coca, El Inca y 10 de Agosto, dependiendo del lugar de los posibles congestionamientos o accidentes.

Las Avenidas Río Coca y El Inca pueden ser tomadas por aquellos vehículos que se desplazan por la Avenida Amazonas y que tienen como destino algún punto a lo largo de la Avenida 10 de Agosto, sector norte. Esta alternativa puede ser utilizada si los vehículos son advertidos acerca de algún accidente o problema en algún punto de la Avenida Amazonas entre el puente Del Labrador y la Avenida Río Coca

Las rutas alternas que se proponen para los vehículos, especialmente para la simulación de la red son: desplazarse por la Avenida Río Coca (Figura 3.5.1.) o por la Avenida El Inca (Figura 3.5.2.) aquellos vehículos que lo puedan hacer, avanzar hasta la intersección con la Avenida Shyris y luego llegar hasta la Avenida 6 de Diciembre con el fin de que luego puedan continuar a lo largo de esta vía hasta llegar a la intersección con la Avenida El Inca y luego desplazarse por esta para tomar la calle El Morlán a unos 70 metros de la intersección entre la Avenida Shyris y El Inca y por último avanzar por la calle Isaac Alvéniz y así retomar la ruta hacia su destino en la Avenida 10 de Agosto.

De igual forma como se observa en la Figura 3.5.3., otra ruta alterna para aquellos vehículos que se desplazan de sur a norte y tienen como destino la Avenida 10 de Agosto, sector norte; y que sean advertidos acerca de algún percance vehicular en algún punto entre el puente del Labrador y la Avenida Río Coca puede ser tomar una desviación por la calle Río Cofanes, para aquellos vehículos que lo puedan hacer, avanzar hasta la Avenida 10 de Agosto y luego seguir transitando por esta hasta avanzar a su destino. Esta es una ruta más directa y rápida ya que se logra tomar la Av. 10 de Agosto en menos tiempo y cubriendo una menor distancia que la ruta alterna 1.

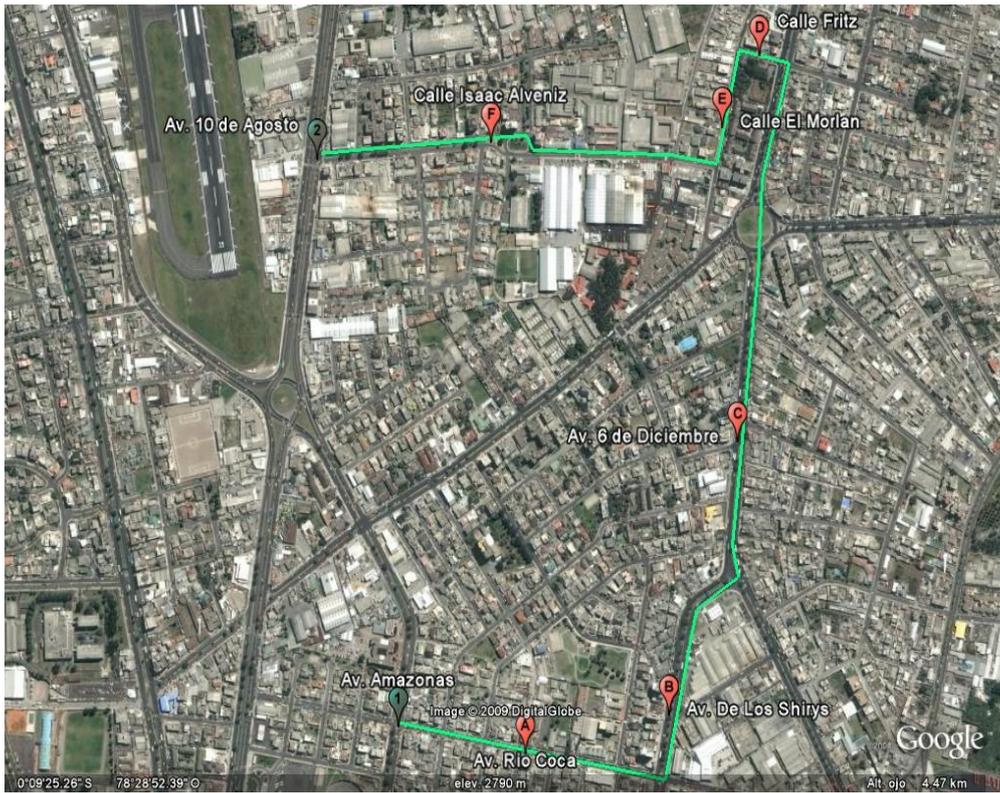


Figura 3.5.1. Ruta Alternativa 1

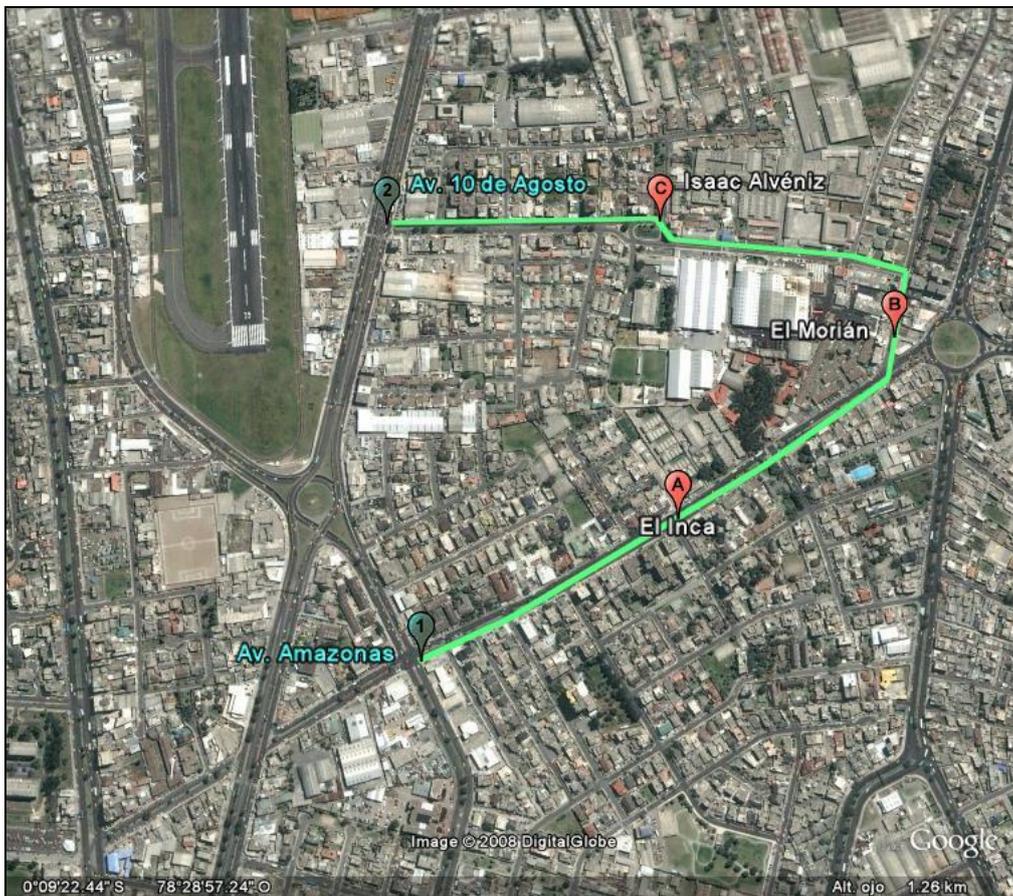


Figura 3.5.2. Ruta Alternativa 2

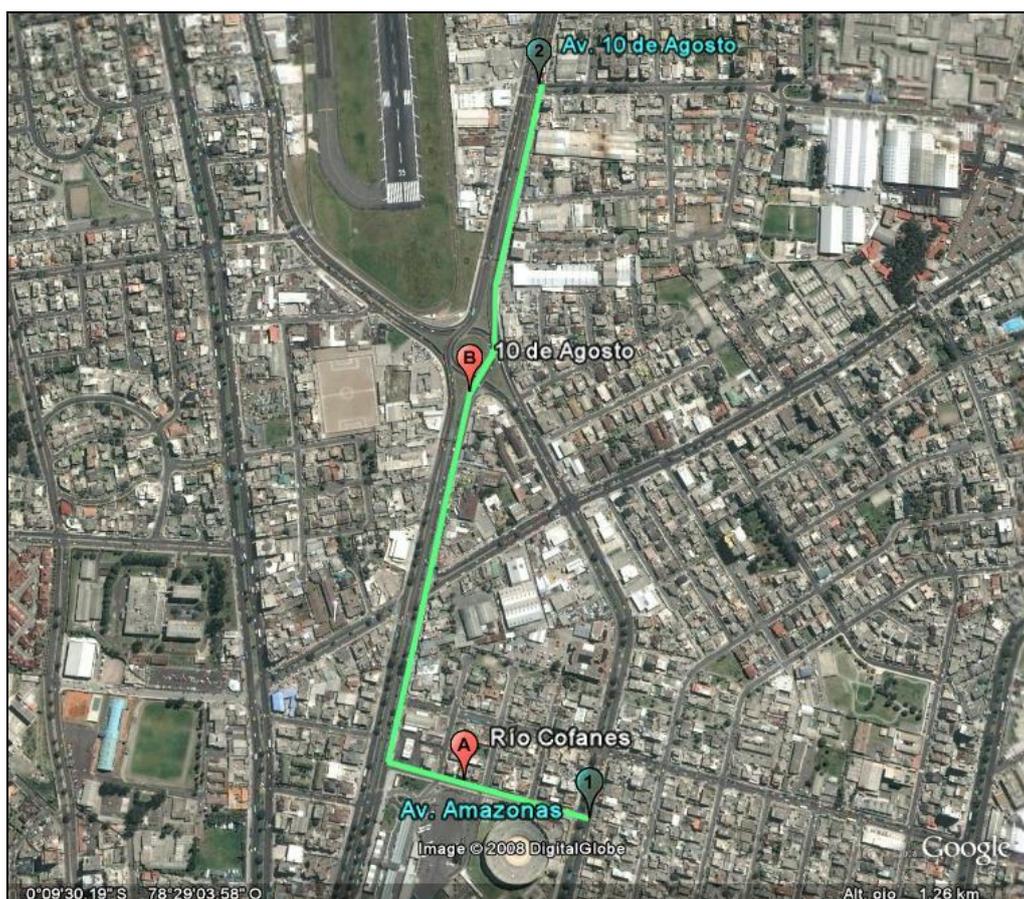


Figura 3.5.3. Ruta Alterna 3

Estas rutas son válidas dependiendo las circunstancias y condiciones en las que se encuentren los vehículos dentro del entorno del tráfico vehicular.

Para aquellos vehículos que se desplacen de sur a norte y que quieran llegar hasta el punto que se señaló como extremo norte dentro de la red, el cual es la intersección entre la Avenida La Prensa y la Avenida La Florida, se toma como ruta alterna la desviación por la calle Río Cofanes, hasta llegar a la intersección con la Avenida 10 de Agosto, puedan transitar por esta vía hasta alcanzar el puente Del Labrador por donde deberán descender y así volver a tomar la Avenida Amazonas y seguir con la ruta original hacia su destino. O si existiera algún otro inconveniente en algún punto sobre la Avenida Amazonas entre el tramo de la terminal del aeropuerto y la calle Oyacachi, los vehículos pueden desviarse por la Avenida Zamora, como se muestra en la

Figura 3.5.4., hasta tomar la Avenida de La Prensa y continuar por esta hasta llegar a la Avenida La Florida que es el punto extremo dentro de la cobertura de la red.

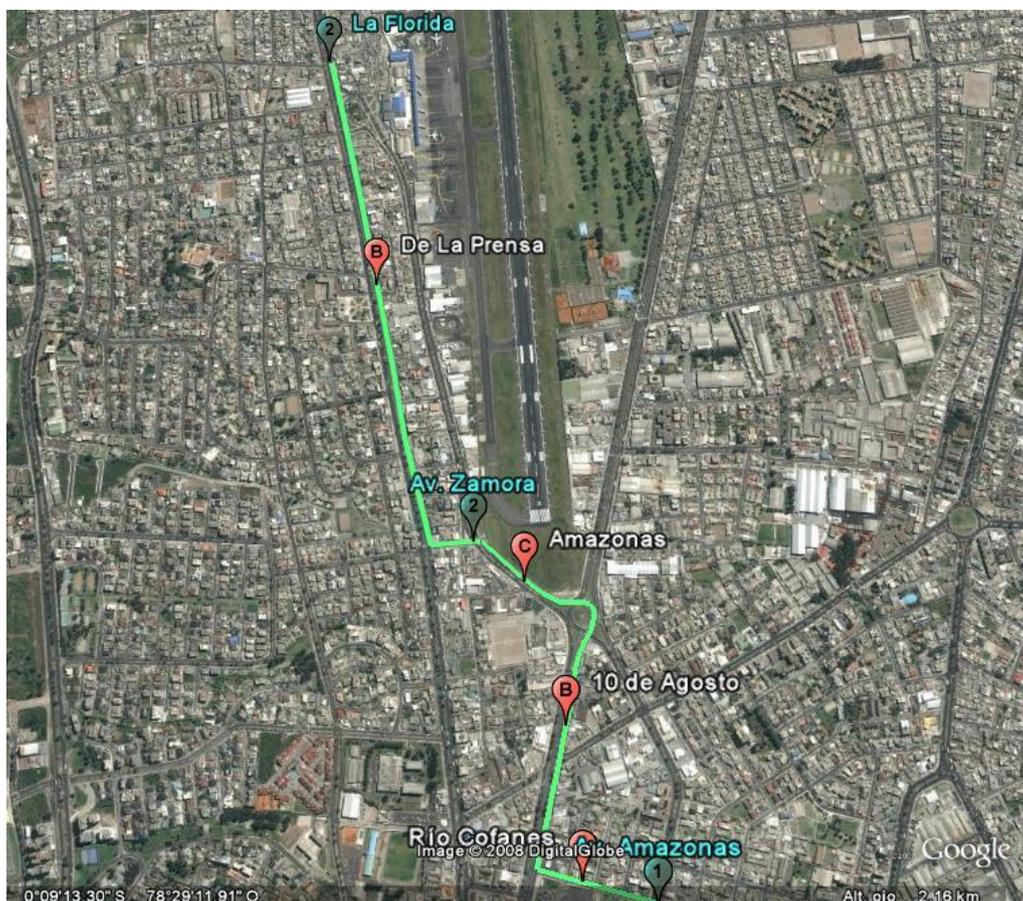


Figura 3.5.4. Ruta Alterna 4

Por otro lado, para los vehículos que circulan de norte a sur, se establece como rutas alternas Las Avenidas La Prensa, Zamora y El Inca.

Para cumplir con la ruta desde la Avenida La Florida hasta la Avenida Juan de Ascaray si existiera algún inconveniente por exceso de tráfico o por algún accidente de tránsito, una ruta alterna que se puede tomar, siempre y cuando uno de estos acontecimientos ocurran sobre algún punto de la Avenida Amazonas entre la calle SBTnT Juan Holguín y la Avenida Zamora, es desplazarse por toda la Avenida De La Prensa, como se observa en la Figura

3.5.5. hasta llegar a la intersección con la Avenida El Inca, y seguir el camino por esta hasta retornar a la ruta original en la Avenida Amazonas.

De igual forma se puede tomar la Avenida La Prensa a la altura de la Avenida Zamora para aquellos vehículos que se encuentren cerca de esta avenida, para así avanzar de igual forma por la nueva ruta establecida hasta volver a retomar la Avenida Amazonas a la altura de El Inca.

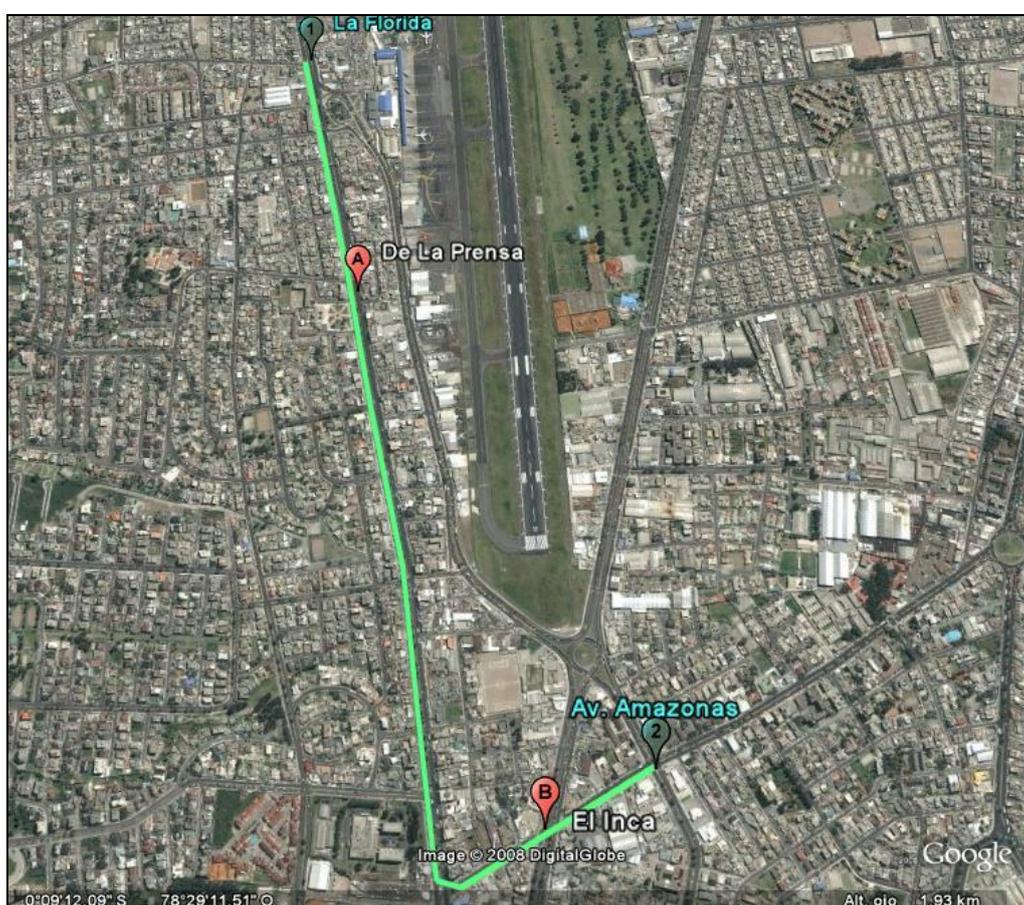


Figura 3.5.5. Ruta Alterna 5

Otra ruta alterna que se plantea si existiera algún problema en el tráfico vehicular en el tramo que comprende entre la intersección de las Avenidas Amazonas con El Inca y la intersección de las Avenidas Amazonas con la Río Coca es desviar el tráfico por la Avenida El Inca, de esta forma los vehículos pueden llegar hasta la Avenida 6 de Diciembre para luego avanzar hasta la

Avenida De Los Shyris y por último regresar a la Avenida Amazonas desplazándose por la calle Tomás de Berlanga, este trayecto se puede observar en la Figura 3.5.6.

Cabe recalcar que esta ruta es un poco extensa, pero se la establece como ruta alterna por el hecho de que las avenidas tomadas en cuenta disponen de 3 carriles para la circulación de vehículos lo que permite una mayor fluidez en el tráfico vehicular.

Se pueden tomar otras vías alternas de igual forma para este mismo tramo, como puede ser desviarse por la calle Luis Coloma, o por la calle Yasuní, tomar la calle Isla Isabela hasta salir a la calle Tomás de Berlanga y volver a retomar la Avenida Amazonas. Son rutas más cortas pero el problema recae en el hecho de que son calles de un solo carril por lo que si exista una gran cantidad de autos que se desvían por estas rutas, no avanzarán de la misma forma que por una Avenida de 3 carriles, especialmente en horas pico.

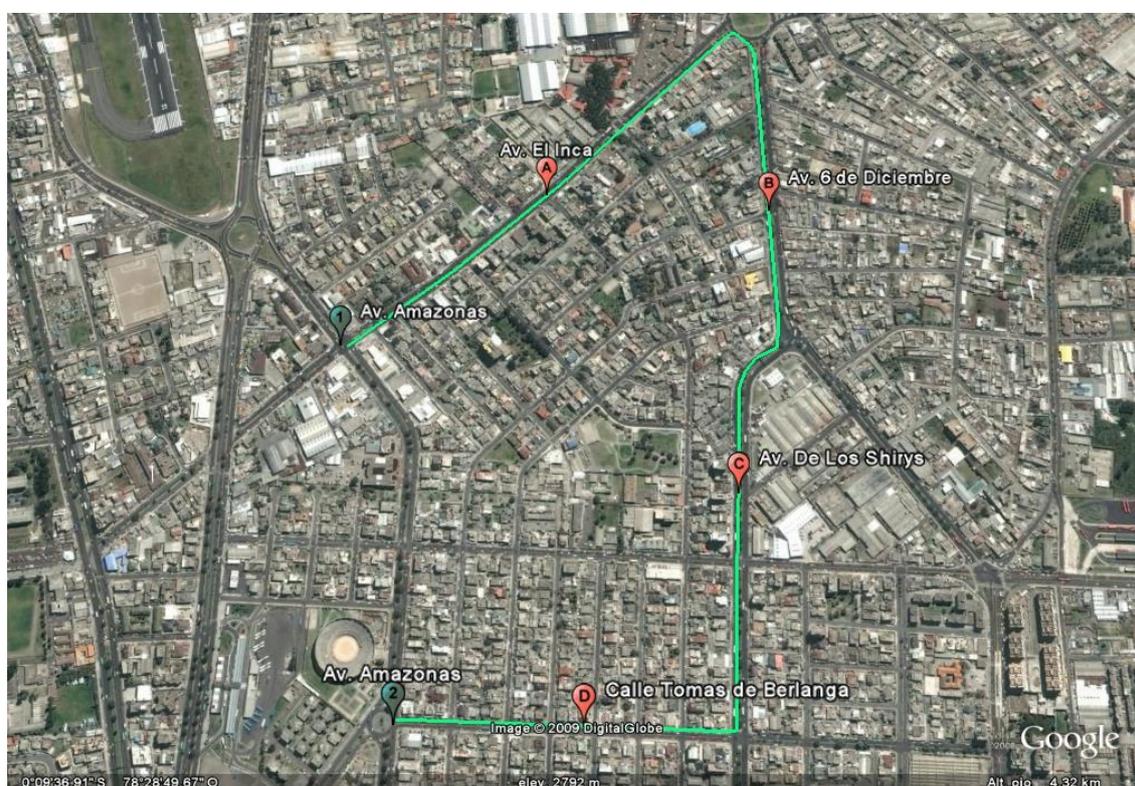


Figura 3.5.6. Ruta Alterna 6

CAPÍTULO 4

SIMULACIÓN DE LA RED

4.1 SIMULADORES

En la etapa de la simulación de la red Ad-Hoc Vehicular, para lograr entender de mejor manera el desempeño y funcionamiento de este tipo de red, se dispondrá del análisis de varios programas que simulen tanto el comportamiento de la red como el comportamiento del tráfico vehicular.

Así se podrá escoger un programa para cada tipo de simulación que se quiera realizar, y así determinar el que brinde las mejores herramientas para la simulación de una red Ad-Hoc Vehicular.

Estos programas deben manejar variables de red que permitan ser modificados o editados en lo posible para que las simulaciones que se pretenden realizar sean lo más parecido al comportamiento en la vida real tanto en el tráfico como en el intercambio de paquetes de información entre nodos dentro de una red.

De esta forma se pretende obtener resultados y conclusiones con las cuales se pueda determinar que protocolos son más favorables y viables para implementar una red VANET, y cuales deben ser los parámetros y elementos necesarios a tomar en cuenta para la simulación.

Adicionalmente, se buscan simuladores que incorporen la opción de generar e interpretar resultados de una forma visible y cómoda, para que de esta forma se brinde una mayor ayuda a los programadores e investigadores

que desarrollan sus estudios en los distintos simuladores de red. Así la obtención de resultados puede ser más fácil de expresar y explicar por parte de los investigadores.

Una de las ventajas de utilizar un simulador, es que el diseñador de red puede probar el desempeño de su red antes de implementarla, con el fin de corregir posibles errores o detalles que van surgiendo durante la simulación. Además de que simular una red no implica la compra y utilización de materiales y equipo antes de tiempo, lo que implica un ahorro para las empresas que pretenden implantar físicamente una red de datos

4.1.1 Simuladores de Redes de Comunicación de Datos

Debido a que los estudios e investigaciones sobre las redes Ad-Hoc Vehiculares se encuentran en etapas iniciales y en progreso; adicionalmente de que su desarrollo no ha sido muy difundido, son causas para señalar que existen pocos programas desarrollados actualmente, y que los que existen han sido creados y modelados en varias universidades que se han dedicado a realizar estudios e investigaciones sobre redes Ad-Hoc y en general de redes inalámbricas.

Es por eso que hoy en día existe la necesidad de mejorar y desarrollar más los programas que permitan simular redes inalámbricas para que estos contemplen la mayor cantidad de parámetros y puedan manejar resultados más diversos y precisos, para lograr así simular una red lo más aproximada a lo que ocurriría en la realidad, no solo tomando datos mínimos para su funcionamiento sino datos reales que permitan obtener resultados de igual forma, reales.

Un simulador de red es un programa que permite a un investigador o un administrador, diseñar un sistema de redes entre computadoras, switches, router, impresoras, servidores, etc. con el propósito de evaluar su desempeño

bajo ciertos ambientes simulados con los cuales se espera analizar su correcto funcionamiento o sus posibles fallas. Todo esto se realiza en un simulador, implementando conexiones entre cables, agregando elementos como computadoras, dispositivos móviles, y otros periféricos, e interconectándolos entre si, para luego realizar una prueba virtual de la compatibilidad de la conexión y el desempeño de la red dentro de la topología que se este evaluando y así obtener resultados del comportamiento de la misma.

Estas aplicaciones no solo permiten la inclusión y modificación de los periféricos para probarlos, sino que también se puede cambiar el medio de transmisión que se quiera implementar como puede ser fibra óptica, Ethernet, inalámbrica, como es el caso que se aplicará, etc. Cada una con su respectiva configuración de parámetros para desarrollar varios entornos de simulación.

Además un simulador brinda la posibilidad de configurar individualmente a cada periférico con una IP, una máscara, un punto de enlace, etc., en fin debe brindar todas las opciones que un dispositivo real tiene para ser configurado físicamente y luego ser probado.

También debe brindar la posibilidad de manejar e implementar varios protocolos de enrutamiento, número de nodos móviles, cantidad de paquetes que se intercambian entre nodos, etc., con el fin de poder simular varios entornos y determinar el mejor luego de haber modificado y seleccionado los mejores parámetros para un completo desenvolvimiento de la red que se quiere implementar.

Existen varios simuladores de red en el mercado, pero muchos no permiten el manejo de redes móviles a gran escala, como es el caso del simulador Packet Tracer de CISCO, el cual es un simulador muy bueno para

redes cableadas, más no para redes inalámbricas en específico del tipo de red que se está analizando en este estudio.

Una vez que se descartan aquellos simuladores de red que no permiten realizar estudios de redes inalámbricas, se debe escoger el más beneficioso, y muchas veces debido a que las investigaciones universitarias no tienen un patrocinio económico, la opción más viable es la selección y utilización de software libre, por el cual no se tenga que pagar por el manejo de sus herramientas y de su base de datos.

Es por este motivo que se estudiará para la simulación de la red de datos al Simulador *Network Simulator 2* (NS-2), el cual permite manejar todos los parámetros necesarios para la simulación además de ser software libre, a diferencia de otros programas como QualNet que brinda las mismas herramientas que NS-2 pero no es software libre por lo que hay que pagar por la licencia para su respectivo uso.

Estas son algunas de las consideraciones que se han tomado en cuenta al momento de seleccionar al simulador de red dentro del presente estudio.

4.1.2 Simuladores de Tráfico

Un simulador de tráfico es un programa en la cual se puede generar una red determinada de tráfico para diferentes posibles escenarios, como puede ser la simulación de tráfico liviano, pesado, o de un posible escenario más congestionado con accidentes o autos estacionados, para así determinar el desempeño de las variables involucradas en la simulación.

Dentro de los agentes involucrados en una congestión de tráfico existen varios como la densidad del flujo de tráfico que es un factor de los más importantes y característicos, pero también lo son los límites de velocidad, incorporaciones de vehículos al tráfico desde una vía secundaria a una vía

rápida, bloqueos y obstáculos intencionales, vehículos lentos, semáforos con intervalos de tiempo diferentes, etc.

En lo posible se pretende manejar un simulador que tenga en cuenta el manejo de los factores antes mencionados como también otros más complejos como son el tiempo de reacción de los vehículos, factores climáticos como neblina o lluvia, la inclusión de peatones, entre otros; para lograr asemejar en lo posible la simulación a un entorno real de tráfico.

Incluso, si se podría calcular el número de víctimas de un accidente para luego elaborar tablas comparativas que muestren si con la implementación de la red se logra disminuir este índice víctimas y accidentes, sería más eficiente y útil su utilización.

Además, se debe utilizar un simulador que brinde herramientas que ofrezcan información sobre rutas alternas y más rápidas a las rutas normales por las que transitan los distintos vehículos.

De igual forma se debe escoger un programa que permita la utilización de todas sus herramientas sin la necesidad de tener que pagar por su uso, ya que al ser una investigación sin fines de lucro, no tiene el apoyo económico para lograr adquirir las licencias de programas que no son de distribución libre.

4.2 SELECCIÓN DEL SIMULADOR DE TRÁFICO

Para seleccionar el simulador de tráfico, se analizaron las distintas características de los simuladores para lograr determinar cual puede brindar las mejores herramientas para la simulación de tráfico, como cual presenta una interfaz gráfica o un manejo más óptimo de su interfaz y que a la vez permita cumplir con el diseño de la red de tráfico física que se quiere representar.

Al momento existen diversos programas, algunos totalmente independientes de un simulador de red de datos, como es SUMO - *Simulation of Urban MObility* [25], y que para lograr implementar un diseño de red de comunicación dentro del simulador de tráfico se vale de otros programas para hacerlo; mientras que existen otros simuladores de tráfico que vienen ya integrados en simuladores de red de comunicación como es STRAW - *STreet RAndom Waypoint* [26], el cual forma parte del simulador de red JiST/SWANS [27].

Sobre los distintos programas que se van a mencionar a continuación, cabe recalcar que todos son de distribución libre, lo que implica que no se hablará de aquellos simuladores que son pagados ya que no serán tomados en cuenta dentro del estudio.

Un inconveniente que presentan muchos de los simuladores de distribución libre, es que sus herramientas no tienen el mismo nivel de desarrollo que aquellas herramientas que se encuentran incorporadas dentro de los programas con licencia. Además de que muchos programas con licencia permiten el manejo de mapas topográficos digitales lo que implica una utilización más real de un entorno geográfico en los cuales se detallan los distintos niveles de altura de la región y de los edificios e infraestructuras en las vías.

Cabe mencionar que existen varios simuladores de tráfico, que brindan herramientas muy útiles pero que son pagados, tal es el caso de Carisma o GroveSim

A continuación se dará una descripción de los distintos simuladores de tráfico que son considerados entre los más importantes para el desarrollo de redes de tránsito.

4.2.1 Descripción Simuladores de Tráfico

a) VanetMobiSim

Este es un simulador de tráfico que permite generar redes móviles basadas en la plataforma de Java, es decir, este es el encargado de generar y procesar las librerías y archivos que son utilizados dentro de la simulación.

Puede representar diferentes redes móviles basadas en simuladores de red de datos como son NS-2, GloMoSim, QualNet, NET.

Este programa es una extensión de otro programa llamado *CANU Mobility Simulation Environment* (CanuMobiSim) [28], el cual ha sido desarrollado por CANU Research Group en el *Institute of Parallel and Distributed Systems* (IPVS) en la Universidad de Stuttgart.

VanetMobiSim [29] puede crear mapas aleatorios, como también puede cargarlos siempre y cuando estos se encuentren bajo el estándar GDF (*Geographical Data Files*) para la utilización de mapas y diseño del flujo de tráfico. Este tipo de archivo es un estándar Europeo usado para describir redes de carreteras y manejar datos relacionados en estas. Es semejante al estándar GIS (*Geographic Information Systems*) a diferencia de que GDF se centra en manejar principalmente entornos móviles en Europa. GDF establece normas sobre la forma en que se capturan los datos, así como en la manera en que las características, atributos y relaciones se definen.

Este simulador se centra en la movilidad vehicular, y varias características realista propuestas. Maneja 2 niveles de simulación, macroscópica y microscópica.

A nivel macroscópico, VanetMobiSim puede importar mapas provenientes de base de datos, o generarlos aleatoriamente. Además incluye soporte para

carreteras con múltiples carriles, flujo bidireccional separado, limitaciones en la velocidad e implementación de señales de tráfico en las intersecciones.

A nivel microscópico, VanetMobiSim implementa nuevos modelos de movilidad, proporcionando una interacción realista entre autos contiguos y entre auto con una infraestructura.

Para su instalación se debe tener en cuenta que hay que disponer de Java Run Time Environment además de la herramienta Apache Ant, la cual esta basada en Java y permite la instalación de los archivos necesarios para poder utilizar VanetMobiSim. Principalmente se debe disponer del simulador CanuMobiSim, ya que VanetMobiSim es una extensión de este programa por lo que se debe instalarlo primero y luego parcharlo para que funcione VanetMobiSim.

Una vez instalado el programa, para el manejo de los elementos necesarios para la simulación como son nodos, rutas y vías; y sus distintas opciones, estas se las implementa en un editor de texto y se las guarda en formato XML.

El nivel de lenguaje de programación de este simulador es un tanto más complejo que el resto, por lo que este puede ser un factor.

b) STRAW

STRAW (*STreet RAndom Waypoint*) [26] es un modelo de movilidad vehicular para simulación de redes vehiculares. Este ha sido desarrollado por Aqua Lab Project y es parte del proyecto C3 (*Car-to-car cooperation for vehicular ad-hoc networks*).

Es un simulador que provee resultados muy cercanos a la realidad y su modelo vehicular se encuentra basado en el sistema de tráfico de varias ciudades de los Estados Unidos de América. Este sistema ha sido diseñado

para que funcione junto al simulador de redes de datos JiST/SWANS discrete-event Simulator.

STAW propone un simulador de red que permita acercarse lo más posible a la realidad, donde se restringe el movimiento de los nodos a las calles definidas en el mapa real de datos basado en las ciudades de EE.UU. Además limita su movilidad en función de la congestión vehicular y la simplificación de los mecanismos de control de tráfico.

Para su instalación y correcto funcionamiento se necesitan varios programas de libre acceso a la Internet por lo que hay que descargarlos primero. El principal programa a usar es el simulador de redes JiST/SWANS ya que STRAW se encuentra integrado bajo este programa. Luego hay que descargar una herramienta para desarrollo en Java, por lo que se procede a descargar una herramienta de código libre para trabajar en este entorno; y la aplicación de Java Eclipse IDE for Java EE Developers desarrollada por la Fundación Eclipse permite cumplir con este objetivo, ya que Eclipse es una comunidad de código abierto cuyos proyectos se centran en la creación de una plataforma de desarrollo de *frameworks*.

Adicionalmente se debe descargar un programa que permita transformar los mapas que se utilizarán para la simulación en un formato que sea compatible con el formato utilizado en el simulador STRAW.

De igual forma la utilización de este simulador no será beneficiosa ya que trabaja en base a mapas de Estados Unidos; además de que no brinda la posibilidad de crear mapas nuevos o aleatorios.

c) SUMO

SUMO (*Simulation of Urban MObility*) [25] es un simulador de tráfico en el cual se puede desarrollar modelos de tráfico vehicular con distintos elementos dentro del mismo y a gran escala. Este fue desarrollado por empleados del Instituto de Sistemas de Transportación en el Centro Aeroespacial de Alemania

Al ser SUMO un programa que se centra netamente en la simulación de modelos de tráfico a nivel microscópico, presenta varias ventajas en relación a muchos otros programas que integran tanto un simulador de red como uno de tráfico, como el hecho de que posee mayores herramientas para la creación de nodos, carreteras, diseño de la red, y principalmente el manejo de las características de los autos dentro de la simulación, ya que presenta varios atributos muy útiles que simulan condiciones de la vida real, como diferenciar entre varios tipos de auto dentro de las vías (particulares, taxis, buses), velocidades de desplazamiento (se puede manejar rangos de velocidad muy exactos), intersecciones con semáforos o sin ellos, vías con gran capacidad de carriles en cada una y con la posibilidad de cambio entre carriles, además de poder diseñar la red de tráfico manualmente sin necesidad de ser cargada desde algún mapa ya edificado ya que posee la opción de crear topologías de red de 3 formas distintas y todas manejadas y diseñadas por el usuario. Adicionalmente, se puede crear jerarquía para los distintos cruces de vías, maneja redes con aproximadamente 10.000 calles, presenta una interfaz gráfica muy veloz y puede importar redes con otros formatos como Visum, Vissim, ArcView, XML-Description.

Para su instalación bajo Microsoft Windows hay 2 formas de hacerlo. La primera es manejando el software extendido a través de la distribución fuente y compilando todo el programa por el usuario. Esta instalación presenta mayores inconvenientes ya que requiere de varios programas adicionales para su correcto funcionamiento, como Visual C++ el cual al no ser software libre, implica un costo adicional que se debe tomar en cuenta. Además de que requiere de un mayor conocimiento en la programación de la estructura del programa.

La segunda forma de instalarlo es utilizando la compilación binaria, la cual es un paquete de programas ejecutables en el cual vienen todas las librerías y herramientas necesarias para lograr implementar una simulación de tráfico aprovechando todos los beneficios que brinda SUMO. Una vez descargada esta opción, ya se puede empezar a generar una red de tráfico, implementado el código fuente de nodos y rutas de la red en un editor de texto y guardando cada archivo con su respectiva extensión para luego ser manipulados por las distintas herramientas que posee este simulador.

En fin, SUMO es una herramienta muy potente para el desarrollo y manejo de simulaciones de tráfico y que permite implementar y crear varios entornos muy reales para ser analizados y estudiados y de esta forma obtener conclusiones que puedan ser muy útiles para determinar el funcionamiento y la distribución de las redes Ad-Hoc Vehiculares.

4.2.2 Descripción Simuladores de Redes de Comunicación de Datos

a) NS-2

NS-2 [30] nació como una variante del Simulador de Red REAL en 1989, el cual fue desarrollado por varias organizaciones como DARPA con SAMAN y NSF con CONSER, ambas en colaboración con otra institución llamada ACIRI.

Este es un programa de distribución libre por lo que constantemente se encuentra actualizándose gracias al aporte de los programadores e investigadores que se han dedicado a su utilización y mejoramiento como simulador de redes de datos.

NS-2 tiene la capacidad de simular redes de datos cableados como también puede simular redes inalámbricas, con una gran disposición y utilización de parámetros muy importantes que ayudan a la generación y manejo de variables dentro de una simulación. Es así que este programa permite configurar los elementos necesarios con los que se puede modificar e implementar una simulación de red de datos tanto cableada como inalámbrica. Adicionalmente provee una gran variedad de carpetas en las que se incluyen muchos de los protocolos más utilizados para los distintos tipos de redes, lo que lo hace una herramienta muy útil.

NS-2 tiene una interfaz gráfica llamada NAM, la cual puede ser ejecutada en cada diseño y simulación que se realice, para observar el comportamiento de la red en forma visual, algo muy importante para saber lo que esta sucediendo con el diseño implementado.

Un beneficio adicional que posee este programa, es su compatibilidad con otro tipo de software matemático como es MatLab, con el cual se puede interactuar para generar diversas funciones como la presentación de resultados bajo este programa. De esta manera se consigue una mejor visualización de los resultados para un mayor y detenido análisis de resultados.

Network Simulator 2 es un programa que corre bajo la plataforma de Linux, de esta forma, para su operación bajo Windows, requiere de software adicional que permita simular el entorno de Linux bajo Windows. La herramienta encargada para hacer esto es Cygwin, una vez que se logre instalar este programa, ya se puede instalar el NS-2 para su posterior utilización.

Para la instalación del Network Simulator 2, hay que tomar en cuenta que el Cygwin debe estar en lo posible instalado en su totalidad, ya que NS-2

requiere de varias librerías que el Cygwin tiene por lo que si falta alguna o se encuentra incompleta, el NS-2 no se podrá instalar correctamente produciéndose errores al momento de su instalación.

Una vez que ya se logra instalar el NS-2, hay que proseguir con proporcionar el PATH a las distintas librerías que utiliza el NS-2, para que este opere sin problemas ni inconvenientes.

Hecho esto, se puede proseguir con la utilización del Network Simulator 2 y con la simulación de la redes de datos.

Dependiendo del número de nodos móviles que se utilice en la simulación, y de las características de hardware del computador en donde se está ejecutando el programa, su compilación puede llegar a tardarse varios minutos, incluso horas debido a la carga que se encuentra procesando el simulador, por lo que no hay que creer que el programa se congeló o ha sufrido algún imperfecto.

b) JiST/SWANS

JiST/SWANS (*Java in Simulation Time/Scalable Wireless Ad hoc Network Simulation*) [27] es un simulador de redes de datos nuevo basado en Java creada por Ulm University, el cual se encuentra todavía en desarrollo por lo que aún no han sido analizadas la mayoría de sus aplicaciones a nivel usuario. Este maneja un simulador de tráfico llamado STRAW, con lo que se permite el desarrollo y manejo de simulaciones de redes Ad-Hoc Vehiculares.

JiST es un maquina simuladora de alto performance que corre bajo Java como la mayoría de programas. Es un nuevo concepto en simuladores el cual tiene como mayor beneficio que es mucho más eficiente que otros simuladores. SWANS por otro lado es un simulador de redes Wireless escalables que se encuentra unido a la plataforma JiST. Su capacidad es similar a la que presentan NS-2 y GloMoSim, a diferencia de que esta permite realizar redes

mucho más largas. Puede simular redes en un orden de 2 y 3 veces mayores que las que se permiten realizar con NS-2 y GloMoSim, usando la misma cantidad de tiempo y memoria y al mismo nivel de detalles. Por ejemplo para simular una red con 500 nodos SWANS tarda un tiempo de 43 segundos utilizando 1,101 Kbyte en memoria, mientras que NS-2 tarda 1 hora con 59 minutos utilizando 5,8761 Kbyte en memoria en realizar el mismo proceso. Esto demuestra que este programa presenta una ayuda en el manejo de simulaciones por el ahorro en tiempo y memoria que se tiene, 2 elementos muy determinantes para la elección de este programa.

Su nivel de detalle no es el mismo que se puede obtener en comparación con otros simuladores como el NS-2.

4.2.3 Descripción Simuladores Para Conexión Entre Redes de Datos y Redes Vehiculares

a) TraNS

TraNS (*Traffic and Network Simulation Environment*) [31], es un programa en el cual se puede utilizar y manejar archivos de un simulador de redes como es NS-2, y un simulador de tráfico como es SUMO con el fin de generar entornos realistas para ser analizados. Ambos simuladores son conjuntamente empleados bajo TraNS bajo la interfaz TraCI.

Este programa ha sido desarrollado bajo el entorno de Java y de C++ y corre bajo la plataforma de Linux y Windows. TraNS ha sido desarrollado por *Laboratory for computer Communications and Applications (LCA), School of Computer and Communication Sciences, EPFL*; la cual ha sido fundada por NCCR-MICS y SEVECOM.

Entre las principales características que se puede mencionar acerca de TraNS se puede decir que es un programa que soporta varios protocolos de enrutamiento como el Ethernet 802.11p, puede generar automáticamente redes de carretera de mapas exportados de TIGER y Shapefile que ofrecen mapas de las principales ciudades de Estados Unidos, esto a través de la herramienta NETCONVERT del simulador de tráfico SUMO. Tiene la opción de generar eventos en la simulación de tráfico como son accidentes entre vehículos o entre un vehículo y una infraestructura. Adicionalmente soporta gran cantidad de nodos o vehículos, aproximadamente 3000, en las simulaciones; y puede visualizarse las simulaciones en la herramienta de Google, Google Earth, como una de las características nuevas y novedosas que presenta TraNS.

Para su instalación, principalmente se requiere de un entorno como es Java por lo que hay que descargarlo primero. Una vez que se tiene este programa, hay que descargar el simulador de tráfico SUMO y el simulador de redes NS-2 ya que son los programas principales con los que funciona TranNS, y se procede a instalarlos como se mencionó anteriormente. Adicionalmente se debe descargar varias herramientas que permitan el desarrollo de la interfaz de usuario y de otras librerías que permitan el correcto funcionamiento de TraNS.

Básicamente TranNS es un programa que maneja un simulador de red (NS-2) y un simulador de tráfico (SUMO), con un gran alcance y funcionamiento para el desarrollo de simulaciones para redes VANET debido a que estas se desarrollan en su interfaz gráfica de una forma sencilla.

Una de su desventajas es que las aplicaciones que vienen incorporadas dentro del simulador no han sido completamente desarrolladas y probadas, por lo cual se restringe su utilización a la generación del archivo de movimiento de tráfico que podrá ser utilizado para la simulación bajo NS-2. Otra desventaja es que si al momento de compilar la simulación dentro del simulador de tráfico SUMO, existen mensajes de advertencias, TraNS no generará el script con la información de movilidad, restringiendo así su uso en ciertas ocasiones.

La última versión lanzada de este programa es la versión 1.2, la cual es compatible con la última versión del simulador NS-2, la versión 2.33, más no es compatible con las últimas versiones lanzadas por el simulador SUMO, la versión 0.9.10 para la utilización del cliente TraCI, pero si para la generación del archivo *trace* con el cual se puede realizar la simulación de datos en el simulador NS-2 utilizando el sistema de movilidad simulado en SUMO.

TraNS es el programa que se encarga de genera un archivo script para el movimiento de los nodos en base a la simulación que se haya implementado en el simulador de tráfico SUMO, con lo cual este proceso se evita realizarlo manualmente dentro de un archivo script en el cual se defina las características del enlace entre nodos para el diseño y simulación de una red VANET.

b) MOVE

MOVE (*MObility model generator for VEhicular networks*) [32] de igual forma que TraNS, es un simulador que permite combinar el simulador de tráfico SUMO con el simulador de redes de datos NS-2.

Esto lo hace a través de su interfaz desarrollada bajo Java, dentro de la cual se brinda la posibilidad de generar los archivos XML para la simulación de la red de tráfico, como la posibilidad de cargar archivos ya creados para su edición.

Todo esto lo hace de una forma fácil y manejable para el usuario a través de su interfaz gráfica. Una vez generada la red de tráfico, permite generar el archivo script que será simulado dentro del NS-2, dentro del cual se puede establecer cuales son los nodos que transmitirán el mensaje y cuales son los que lo recibirán.

Sin embargo este simulador presenta varios inconvenientes. Como no soporta las últimas versiones del NS-2 y de SUMO, no permite utilizar varias

herramientas disponibles para la creación o edición de las topologías que se pretende implementar dentro de las simulaciones, siendo una de sus principales desventajas. Por ejemplo, no permite cargar archivos de conexiones entre calles, ni que sean implementados al momento de generarse el mapa de tránsito. De igual forma no permite la integración de archivos adicionales que el usuario desee ingresar en el diseño de la topología de la red de tráfico. Estos son los principales inconvenientes que presenta este simulador.

Adicionalmente si se quiere cargar un archivo ya creado, este no debe contener líneas con mensajes de información o espacios en blanco, ya que no reconoce estos parámetros por lo cual no cargará el archivo que se quiera editar, siendo esto un problema ya que muchas veces se ingresan mensajes de información con el propósito de lograr un mejor entendimiento del trabajo que se está realizando para una posible edición del archivo.

Tomando en cuenta estos inconvenientes, se optó por utilizar al programa TraNS como programa nexo entre NS-2 y SUMO.

4.2.4 Comparación Entre Simuladores

Una vez revisado los simuladores de tráfico y de red más importantes que permiten simular entornos reales de redes Ad-Hoc Vehiculares, hay que determinar las características por las cuales escoger un determinado programa tanto para la simulación de tráfico como para la simulación de la red de datos. Estas deben sobresalir del resto debido a que hay que buscar un simulador que presente una interfaz amigable para el usuario y que a su vez brinde varias herramientas para la implementación de la red.

Es por eso que en la Tabla 4.2.4.1. se describen las características más importantes de cada simulador de tráfico, mientras que en la Tabla 4.2.4.2. se describen las características de los simuladores de redes de datos.

Tabla 4.2.4.1. Comparación entre Simuladores de Tráfico

SIMULADORES DE TRÁFICO	
SIMULADOR	CARACTERÍSTICAS
VanetMoviSim	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Distribución libre. ▶ Compatible con NS-2, GloMoSim, QualNet, NET. ▶ Maneja 2 niveles de simulación, macroscópica y microscópica. ▶ Puede crear mapas aleatorios, como también puede cargar mapas europeos bajo el estándar GDF (Geographical Data Files) y TIGER. ▶ Nivel de Programación más complejo que otros.
STRAW	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Distribución libre. ▶ Funcione solo con el simulador de redes de datos JiST/SWANS. ▶ Su modelo vehicular se encuentra basado en el sistema de tráfico de varias ciudades de los Estados Unidos. ▶ Los mapas solo son de Estados Unidos y no se pueden crear mapas nuevos o aleatorios.
SUMO	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Distribución libre. ▶ Compatible con NS-2. ▶ Maneja 2 niveles de simulación, macroscópica y microscópica. ▶ Puede importar redes con otros formatos como Visum, Vissim, ArcView, XML-Description. ▶ Posee mayores herramientas para la creación de nodos, carreteras, diseño de la red, manejo de las características de los autos entre otros.

Tabla 4.2.4.2. Comparación entre Simuladores de Red

SIMULADORES DE RED	
SIMULADOR	CARACTERÍSTICAS
NS-2	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Distribución libre. ▶ Maneja gran variedad de protocolos para la simulación de redes inalámbricas. ▶ Los resultados de la simulación se los puede obtener en forma numérica y en forma estadística. ▶ Mayor nivel de detalle para configurar los elementos dentro de la simulación. ▶ Es compatible con otro software como MatLab mediante la utilización de las herramientas Trace Converter. y Trace Graph.
JiST/SWANS	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Distribución libre. ▶ Funcione solo con el simulador de tráfico STRAW. ▶ Menor nivel de detalle en la configuración.

4.2.5 Elección Entre Simuladores

Una vez determinadas las principales características de los programas analizados, se procede a escoger el simulador a utilizar para la creación de la red de tráfico y de la red de datos.

El programa escogido para desarrollar la simulación de tráfico es SUMO (*Simulation of Urban Mobility*), como ya se mencionó antes, es un programa que no depende de otros para su utilización, además de que es desarrollado

exclusivamente para simular entornos reales de tráfico por lo que brinda una gran cantidad de opciones y atributos tanto para el manejo de las herramientas para la simulación como para los elementos que intervienen dentro de la misma como son las calles e intersecciones y principalmente para los autos.

Además de que permite importar mapas realizadas en diferentes formatos para ser utilizados bajo este mismo programa. De igual forma permite generar mapas diseñados por el usuario sin restricción y con una gran capacidad de nodos dentro de la red, a diferencia de otros programas que no permiten crear mapas con un diseño propio y que brindan solo mapas fuentes de Europa como VanetMoviSim o de Estados Unidos como STRAW.

Otro punto importante para seleccionar este simulador, es que su nivel de programación no es tan complicado como otros, por lo que la creación de calles e intersecciones pueden ser realizadas sin tantas complicaciones.

Adicionalmente posee una muy buena herramienta para visualizar de mejor manera el desplazamiento de los vehículos dentro de la red y permite obtener resultados muy detallados de los vehículos, y del tráfico en general.

Para la simulación de la red de datos se utilizará el programa NS-2 (Network Simulator 2), ya que es uno de los simuladores de red que brinda las herramientas necesarias para simular una red Ad-Hoc Vehicular, además posee una interfaz amigable para el usuario y permite obtener resultados en forma numérica o estadística lo cual es un punto muy determinante para llegar a analizar una red simulada.

Adicionalmente maneja una gran variedad de recursos para la simulación. También cuenta con varios de los más importantes protocolos para poder ser implementados dentro de la misma.

Es compatible con otro software como MatLab, con el cual se puede interactuar a través de la herramienta trconvert [33] para manejar los resultados dentro de la simulación y ser visualizados en MatLab.

A pesar de que el tiempo de compilación del código fuente requiera mayor duración, a diferencia de JiST/SWANS (Java in Simulation Time/Scalable Wireless Ad hoc Network Simulation), no se ha escogido a este ya que se encuentra todavía en desarrollo por lo que no es lo suficientemente útil como lo es NS-2 para el propósito de simular redes Ad-Hoc Vehiculares.

Ambos programas son de distribución libre y no requieren de excesivo software adicional para ser instalados por lo que fácilmente pueden ser descargados y utilizados por el usuario.

En fin, brindan los mejores resultados que permitan desarrollar tanto la simulación de la red como la simulación de tráfico.

4.3 ESTUDIO DEL SIMULADOR

4.3.1 SUMO (Simulation of Urban MObility)

a) PROGRAMACIÓN

Para empezar a utilizar SUMO [34], hay que tomar en cuenta que en este programa se deben crear archivos XML para los nodos o *junction*, para las calles o *edges*, para los archivos tipo o *type*, para los archivos conexión o *connections*, para el archivo de configuración y otros archivos adicionales dependiendo si se quiere obtener un mayor nivel de complejidad en la red.

Todos estos serán interconectados y aplicados mediante la herramienta NETCONVERT que forma parte del simulador SUMO. Una vez que este programa se ha encargado de enlazar los archivos *node*, *edge*, *type* y *connection*; se genera uno que es el archivo de red o “*network*”, el cual puede ser visualizado a través de la herramienta GUI SIM, la cual presenta una interfaz gráfica de cómo está generada la red y en la cual se puede visualizar el resultado de la red diseñada.

b) NODOS

Los archivos *node* (nodo) se los puede generar en cualquier editor de texto básico como por ejemplo el bloc de notas de Windows, siempre y cuando estos sean guardados con la extensión que SUMO asigna a este tipo de archivos la cual es “.nod.xml”.

Un archivo que se crea para generar un archivo tipo nodo, debe comenzar con el comando **<nodes>** como encabezado y de igual forma debe terminar con el comando **</nodes>** el cual implica un cierre de archivo tipo nodo.

Cada nodo debe ser escrito en una línea, y en estos se debe escribir su nombre de identificación, su ubicación en el sistema de coordenadas y otras atributos adicionales que determinen su funcionamiento dentro de la simulación. El comando completo viene dado de la siguiente manera:

```
<node id=“<identificador>” x=“<número flotante>” y=“<número flotante>”  
[type= “<tipo>”]/>
```

El atributo que se encuentra entre los corchetes indica un parámetro opcional.

- **id=** Identifica el nombre del nodo, es una cadena de caracteres
- **x=** Determina la posición del nodo en el eje x del plano de coordenadas y su posición está dada en metros. Debe ser un número flotante.
- **y=** Determina la posición del nodo en el eje y del plano de coordenadas y su posición está dada en metros. Debe ser un número flotante.
- **type=** Parámetro opcional que determina como un nodo de actuar en una intersección o “junction”. Si no se escribe este parámetro, NETCONVERT selecciona uno de los dos al azar.
 - **priority:** El vehículo tiene que esperar hasta que el vehículo a su derecha haya pasado la intersección.
 - **traffic_light:** La intersección es controlada por un semáforo.

El plano de coordenadas está dado por los ejes X y Y. Mientras mayor sea el valor del nodo en el eje Y, este se acercará más a la parte superior del monitor y mientras mayor sea el valor del nodo en el eje X, este se acercará más a la parte izquierda del monitor.

Para el diseño de la red de tráfico, se ubicó como eje central a la intersección entre la Avenida Amazonas y Río Coca, y a partir de este punto se prosiguió a seguir ubicando al resto de puntos que se encargarán de delimitar la extensión de cada avenida o calle dentro de la simulación.

Puesto que cada nodo mantiene una posición determinada en metros, para lograr la extensión de una calle se va sumando la distancia al punto inicial con el fin de generar distancias lo más exactas para la simulación.

c) EDGES

Los archivos *edge* (calle) también se los genera en un editor de texto y estos deben ser guardados con la extensión que SUMO asigna a este tipo de archivos la cual es “.**edg.xml**”.

Un archivo que se crea para generar un archivo tipo *edge*, debe comenzar con el comando **<edges>** como encabezado y de igual forma debe terminar con el comando **</edges>** el cual implica un cierre de archivo tipo “*edge*”.

Cada *edge* debe ser escrito en una línea, y en estos se debe escribir su nombre de identificación, desde y hasta que nodo debe ser creado y otras atributos adicionales que determinen su funcionamiento dentro de la simulación. El comando completo viene dado de la siguiente manera:

```
<edge id=“<identificador>” ( fromnode=“<ID del nodo origen>” tonode=“<ID del nodo fin>” | xfrom=“<número flotante>” yfrom=“<número flotante>” xto=“<número flotante>” yto=“<número flotante>” ) [type= “<tipo>”]/> | priority=“<número entero>” nolanes=“<número entero>” speed=“<número
```

*entero>” length=“<número flotante>”] [shape= “<ubicación en el plano>”]
[spread_type=“<dirección>”] />*

El atributo que se encuentra entre los corchetes indica un parámetro opcional mientras que el separador “[” indica que puede ser una u otra opción.

- **id=** Identifica el nombre del nodo, es una cadena de caracteres
- **fromnode=** El nombre del nodo desde donde se creará la calle o *edge*.
- **tonode=** El nombre del nodo hasta donde se creará la *edge*.

o:

- **xfrom=** Determina la posición de un nodo en el eje x del plano de coordenadas desde donde se creará la *edge*. Su posición está dada en metros. Debe ser un número flotante.
- **yfrom=** Determina la posición de un nodo en el eje y del plano de coordenadas desde donde se creará la *edge*. Su posición está dada en metros. Debe ser un número flotante.
- **xto=** Determina la posición de un nodo en el eje x del plano de coordenadas hasta donde se creará la *edge*. Su posición está dada en metros. Debe ser un número flotante.
- **yto=** Determina la posición de un nodo en el eje y del plano de coordenadas hasta donde se creará la *edge*. Su posición está dada en metros. Debe ser un número flotante.

- **type=** Nombre del tipo que se encuentra dentro de un archivo-type.

o / y:

- **nolanes=** Número de carriles que puede tener la *edge*. Debe ser un valor entero.
- **speed=** La velocidad máxima permitida en la *edge* dada en m/s. Debe ser un valor flotante
- **priority=** La prioridad de la *edge*. Es un valor entero.
- **length=** Longitud de la *edge* en metros. Debe ser un valor flotante.
- **shape=** Lista de posiciones. Cada posición está dada en x, y (no deben estar separadas por espacios) y están dadas en metros. Los nodos que

dan inicio y fin a la *edge* a la cual se le dará una forma, no deben formar parte en la lista de posiciones.

- **spreads_type=** descripción de cómo los carriles deben ser separados
 - **center:** Los carriles son separados en ambas direcciones de la forma.
 - **right:** Cualquier otro valor que no quiera ser interpretado por el comando *center*.

El atributo "*priority*" es muy importante ya que normalmente la velocidad que se le asigna a cada *edge* determina la prioridad entre *edges* que se encuentran en una intersección o "*junction*".

Si los atributos opcionales de "*nolanes*", "*speed*", "*priority*" y "*length*" no son escritos en una *edge*, NETCONVERT utiliza valores por defecto que son para *nolanes* un solo carril, para *speed* será una velocidad máxima de 13.9 [m/s], para *priority* un valor no determinado y para *length* se asignará automáticamente la distancia entre el punto inicial y el final.

Para determinar los atributos que cada carril tendrá, esto se lo hace dentro del mismo archivo *edge* de la siguiente manera:

```
<edge id= "....." />
  <lane id="<número entero>" allow="tipo de auto" disallow="tipo de auto" />
</edge>
```

- **id=** Número de identificación del carril dentro de la *edge*. 0 es el carril más a la derecha (externo) y 2 es el carril más a la izquierda (interno). Esto quiere decir que por ejemplo en una calle de 3 carriles, se asignará al de alta velocidad el número 2 mientras que el de vehículos pesados se le asignará el valor de 0.
- **allow=** Lista de vehículos permitidos a transitar por ese carril. Si son varios tipos de vehículos deben ir separados por " ; ".

- **disallow=** Lista de vehículos que no están permitidos a transitar por ese carril. Si son varios tipos de vehículos deben ir separados por “ ; ”.

Dentro de la simulación se especificó para cada calle o avenida, el número de carriles con el propósito de especificar el tipo de vehículo que circulará por cada línea, así se restringe el intercambio entre carriles de los autos que circulan por la calles.

También se procedió de esta manera para poder acoplar detalladamente los carriles de una calle con otra, ya que por ejemplo para unir los carriles entre 2 calles del sector del puente Del Labrador se une una calle de 3 carriles con otras 2 calles de dos y un carril respectivamente. Esto mediante la creación de un archivo tipo *connection* que se explicará más adelante.

d) CONNECTIONS

Los archivos *connection* (conexión) también son creados en un editor de texto y deben ser guardados con la extensión que SUMO asigna a este tipo de archivos la cual es “.con.xml”.

En este tipo de archivo permite crear conexiones entre calles o *edges* por parte del usuario que se encuentran en una intersección. Es así que permite unir las calles y los carriles que se encuentran dentro de estas, las cuales se encuentran en una intersección que se está creando.

Un archivo que se crea para generar un archivo tipo *connection*, debe comenzar con el comando **<connections>** como encabezado y de igual forma debe terminar con el comando **</ connections>** el cual implica un cierre de archivo tipo *connection*.

El *comando* completo viene dado de la siguiente manera:

<connection from=“<ID del edge inicio>” to=“< ID del edge fin>” lane=“<número entero>:<número entero>”/>

- **from=** Nombre de la edge o calle que el vehículo va a dejar.
- **to=** Nombre de la edge o calle a la cual el vehículo va a ingresar
- **lane=** Número de los carriles que serán conectados. Deben separarse por el carácter “ : ”. Estas son contadas de derecha (exterior) a izquierda (interior) comenzando desde cero.

NETCONVERT calculará que carriles o *lanes* deben ser unidas si es que una *edge* tiene más de un carril. Pero para evitar esto, el archivo que se generó para la simulación especifica la conexión entre los carriles de cada calle para determinar por cuales exactamente debe desplazarse los vehículos dentro de la topología de la red De esta forma se puede dirigir exactamente como se quiere que se desplacen los vehículos por las distintas avenidas, siguiendo la ruta que se está generando con el fin de analizar el desempeño de una red VANET.

e) COMPILACIÓN DE LA RED

Una vez que han sido generados los archivos tipo *node*, *edge*, *connection* y *type*, se puede ya generar la red de tráfico que se pretende diseñar. Esto se lo hace a través de la herramienta *NETCONVERT*, la cual es la encargada de unir todos los diferentes archivos con los que se quiere crear la red. Esta herramienta una vez que se compilan los archivos genera uno nuevo en formato XML el cual tiene la extensión “.net.xml”

El comando completo que debe ser escrito en bajo DOS, con el cual funciona *NETCONVERT* es el siguiente:

netconvert --XML-node-files=<Nombre del Archivo node>.nod.xml --XML-edge-files=<Nombre del Archivo edge>.edg.xml --XML-connection-

files=<Nombre del Archivo connection>.con.xml --XML-type-files=<Nombre del Archivo type>.typ.xml --output-file=<Nombre del Archivo red>.net.xml

En “Archivo *red*”, se debe escribir el nombre con el cual se quiere identificar al archivo tipo *network* que se generará luego de que se compile la información bajo la herramienta NETCONVERT.

Hay que tomar en cuenta que para que la herramienta NETCONVERT logre compilar los archivos satisfactoriamente, el comando debe escribirse una vez que se haya ingresado la ruta de la carpeta en donde se encuentra la herramienta NETCONVERT, de igual forma todos los archivos deben estar en la misma carpeta ya que sino esta herramienta no encontrará los archivos y por ende no podrá crear el archivo “.net.xml”.

f) GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE REDES

La herramienta NETGEN de SUMO brinda la posibilidad de crear redes automáticas para que el usuario pueda implementarlas en algún posible entorno de simulación.

Existen 3 tipos de redes que se pueden crear, la primera es en forma cuadrangular (*grid-networks*), la segunda es tipo araña (*spider-network*) y la última tipo randómico (*random-network*)

- **Grid Networks:** En este tipo de red se debe especificar cuantos nodos o junctions en el eje X y Y se quiere crear en la red; además se debe ingresar la distancia entre los nodos.

El comando que describe lo antes mencionado es el siguiente:

```
netgen --grid-net (--grid-number=<número entero> --grid-length=<número entero> | --grid-x-number=<número entero> --grid-y-number=<número entero> --grid-y-length=<número entero> --grid-x-length=<número entero>) --output-file=<Nombre del Archivo red>.net.xml
```

En la primera opción solo se especifica el número de nodos que se quiere tener en la red, además del valor de la separación entre cada uno. Esta genera una red en forma cuadrícula ya que se genera el mismo número de nodos en X como en Y, y a una misma distancia entre todos.

En la segunda opción, se detalla de mejor manera el número de nodos y su distancia, ya que ahora se puede escribir el número específico de nodos en X y en Y además de la distancia que tendrán los mismos en el eje X y en Y.

Este diseño de red puede ser muy aplicable ya que en la ciudad existe sectores que se asemejan a una cuadrícula, un claro ejemplo de esto es el Centro Histórico de Quito, en donde las calles delimitan manzanas perfectamente organizadas y que mantienen una similitud al diseño de una red tipo grid.

Para el sector que se va a estudiar, este modelo puede ayudar especialmente en el sector al sur de la intersección entre la Avenida Amazonas y El Inca, pero para el sector al norte de esta misma intersección, el diseño varía por lo que no resulta muy útil en este tramo.

- **Spider Networks:** Este tipo de red están definidas por el número de axes que dividen la red, por el número de círculos de los que está conformada la red y por la distancia entre estos.

Debido a la topología que tiene esta red, la inclusión de intersecciones con semáforo no es muy óptimo implementar.

El comando que describe la configuración de esta topología es el siguiente:

```
netgen --spider-net --spider-arm-number=<número entero> --spider-circle-number=<número entero> --spider-space-rad=<número entero> --output-file=<Nombre del Archivo red>.net.xml
```

Esta topología de red no es muy óptima para el estudio que se va a realizar, ya en la vida real, este tipo de red es muy poco probable encontrar por lo que un estudio basado en esta topología no produciría mayor beneficio.

- **Random Networks:** En las redes randómicas, como su nombre lo indica, se crea una topología en donde una vez definidos ciertos parámetros como el número máximo de nodos y otros opcionales como las distancias máxima y mínima entre estos, o el ángulo de inclinación entre calles; se genera una red totalmente aleatoria cumpliendo con los parámetros definidos.

El comando que describe la configuración de esta topología es el siguiente:

```
netgen --spider-net --spider-arm-number=<número entero> --spider-circle-number=<número entero> --spider-space-rad=<número entero> --output-file=<Nombre del Archivo red>.net.xml
```

Este tipo de red puede ser muy útil, ya que muchos sectores de la ciudad no tienen un diseño definido en sus avenidas y calles, ya que la ciudad ha ido expandiéndose a lo largo y ancho a través de los años, aunque en muchos sectores se puede observar que tienen una forma que se asemeja a la red tipo grid.

g) GENERACIÓN DE RUTAS

Al momento de formar una ruta, se debe tomar en cuenta varios términos importantes que permitirán establecer el movimiento de los vehículos dentro de la autopista con los cuales se generará una ruta dentro de la simulación. Uno muy importante es “**trip**”, que define el movimiento de un vehículo de un lugar a otro definido por una *edge* de origen, una *edge* de destino y un tiempo de inicio. A *route* o ruta es un *trip* extendido en la cual se establece todas las *edges* por las que se desplaza el vehículo a lo largo de la ruta.

Existen varias formas de generar una ruta, pero se mencionarán solo aquellas que realmente sean útiles y permitan cumplir con los objetivos planteados para determinar la simulación en este trabajo.

- **Using trip definitions:** Como se mencionó anteriormente, se toma en cuenta una *edge* de inicio y destino y un tiempo de inicio. Muy útil para establecer rutas alternas específicas a seguir durante eventos de congestión de tráfico como accidentes en las vías o para que un vehículo se desplace de un lugar a otro por la misma vía.

La sintaxis para definir “trip” es la siguiente:

```
<tripdef id="identificador" depart="tiempo" from= "edge
origen" to= "edge destino" [type="tipo vehiculo"] [period=
"número entero"] [repno= "número entero"] [color="3 valores"] />
```

- **id=** Identificador de la ruta y del vehículo.
- **depart=** Tiempo en la cual la ruta inicia.
- **from=** Nombre de la *edge* o calle donde la ruta inicia.
- **to=** Nombre de la *edge* o calle donde la ruta termina
- **type=** Nombre del tipo de vehículo que puede utilizarse.
- **period=** Tiempo después en el cual otro vehículo con la misma ruta ingresará en la misma.
- **repno=** Número de vehículos por ingresar y que compartirán la misma ruta.

- **Color=** Define el color de la ruta y del vehículo.

Para compilar el archivo se escribe el siguiente comando en el Símbolo de Sistema bajo DOS.

```
duarouter --trip-defs=<nombre del archivo> --net=<SUMO_NET> --output-file=<Nombre del Archivo ruta>.rou.xml
```

- **Using flow definitions:** Esta forma permite que un conjunto de vehículos adopten la forma *trip* para desplazarse a lo largo de la vía. Al ser un método que abarca varios vehículos, es más útil para generar rutas alternas, por ejemplo determinar que varios vehículos que se encuentran en un mismo carril y que se encuentren inmersos en un ambiente denso de tráfico, opten por tomar una ruta alterna y así salirse de la congestión de tráfico en el que estaban.

La sintaxis para definir “flow” es la siguiente:

```
<flow id="0" from= "edge origen" to= "edge destino" begin= "intervalo de inicio" end= "intervalo de fin" no= "vehículos que ingresan" [type="tipo vehiculo"] [color="3 valores"] />
```

- **id=** Cadena que mantiene el id de flow o flujo.
- **from=** Nombre de la edge o calle donde la ruta inicia.
- **to=** Nombre de la edge o calle donde la ruta termina
- **type=** Nombre del tipo que el vehículo tiene.
- **begin=** Tiempo de inicio del intervalo descrito.
- **end=** Tiempo de fin del intervalo. Los vehículos serán difundidos entre “begin” y “end”
- **no=** Número de vehículos que podrán ser difundidos durante este intervalo
- **Color=** Define el color de las rutas y del vehículo.

Para compilar el archivo se escribe el siguiente comando en el Símbolo de Sistema bajo DOS.

```
duarouter --flows=<nombre del archivo> --net=<SUMO_NET> --output-file=<Nombre del Archivo ruta>.rou.xml
```

Este tipo de archivo se genera automáticamente y de igual forma se generará la ruta por lo que transitará el vehículo desde el origen hasta su destino. Es así que si existe más de una ruta para alcanzar el destino, la que se genere tal vez no sea la que se esperaba obtener como ruta por lo que existe un problema al utilizar la definición por flujo de vehículos.

Como se sabe, la generación de las rutas son randómicas por lo que es mejor especificar la ruta por la que se quiere que transiten los vehículos hacia su destino. Esto se lo puede hacer mediante la especificación de la ruta como se muestra en la siguiente definición.

- **By hand:** El usuario puede generar archivos *route*, estos se guardan con extensión “.rou.xml”, en los cuales se define la ruta de los vehículos que forman parte de la simulación. Este método es usado cuando el número de rutas diferentes que se generan no es muy grande.

En el archivo *route* se establece las características de los vehículos y las *edges* que estos van a seguir a lo largo de la ruta hasta alcanzar el destino. La forma en la que se establecen estos parámetros dentro del archivo *route* es la siguiente:

```
<routes>
  <vtype id="tipo1" accel="número decimal" decel="número
decimal" sigma="número decimal" length="número entero"
maxspeed="número decimal" color="3 valores"/>
  <vehicle id="identificador" type="tipo1" depart="tiempo"
color="3 valores">
    <route> calle1 calle2 calle3 calle4 </route>
  </vehicle>
</routes>
```

vtype:

- **id=** Identificador para un tipo definido de vehículo.
- **accel=** Valor del vehículo para acelerar (en m/s).
- **decel=** Valor del vehículo para desacelerar (en m/s).
- **sigma=** Rango entre 0 y 1 de la habilidad del conductor para manejar.
- **Length=** Longitud del vehículo en metros.
- **Maxspeed=** Velocidad máxima que puede alcanzar el vehículo (en m/s).
- **Color=** Un color opcional para el tipo de vehículo que tiene como `id="tipo1"`.

La selección del color consiste en un conjunto de 3 valores entre 0 y 1 separados por una coma. Estos son rojos, verdes, azules. Por ejemplo si se tiene definido **color="1,0,0"**, se visualizará a los vehículos que tengan definido el parámetro `type="tipo1"` con el color rojo dentro de la simulación.

Color es un atributo tanto para *vtype* como para *vehicle*.

Como se observa en la línea de comando `<route> calle1 calle2 calle3 calle4 </route>`, el vehículo se desplazará a través de la "calle1", "calle2", "calle3" y tan pronto ingrese a la "calle4", este saldrá de la simulación ya que logró llegar a su destino.

vehicle:

- **id=** Identificador para el vehículo.
- **type=** El vehículos usará el *vtype* definido como *tipo1*.
- **depart=** Tiempo en el cual el vehículo ingresa en la red.
- **Color=** *Color* es un atributo tanto para *vtype* como para *vehicle*.

Varios vehículos pueden tener una misma ruta, para lo cual se tendría que dar un identificador a la ruta y luego este identificador será ingresado dentro de la línea de código de *vehicle* como un parámetro más.

- **Using random routes:** Los vehículos adoptan rutas randómicas a lo largo de la ruta, lo que implica un entorno más real en la simulación de

tráfico que se va a realizar. Pero que en este caso no es tan necesario ya que lo que se pretende es tener rutas fijas por las cuales los vehículos va a transitar a lo largo de la simulación.

Es la forma más fácil de generar rutas para los vehículos pero no la más apropiada

Para compilar el archivo se escribe el siguiente comando bajo DOS.

```
duarouter --net=<SUMO_NET> -R <número flotante> --output-file=<Nombre del Archivo red>.rou.xml
```

Las herramientas de SUMO que se utilizarán para la creación y establecimiento de las rutas que se aplicarán para cumplir con la simulación a generarse, y que permiten procesar las rutas es DUAROUTE, que permite modelar tráfico estadístico usando el método “*flow definition*” para la generación de rutas.

Un punto que hay que tomar en cuenta es que una ruta debe estar compuesta por al menos 3 *edges* por el hecho de que en la primera *edge* el vehículo ingresa en la ruta pero al abandonar esta *edge* y al ingresar en la segunda, el vehículo abandona la simulación; por lo que es necesario por lo menos una tercera *edge* para visualizar el desplazamiento del vehículo a lo largo de la ruta.

h) ESTABLECIENDO LA SIMULACIÓN

Una vez que ya se han analizado la mayoría de los elementos que intervienen y determinan el funcionamiento en la simulación de tráfico que se va a realizar con el propósito de, conjuntamente con el simulador de redes NS-2, desarrollar una red Ad-Hoc Vehicular, falta por determinar como se realiza el proceso final que es la simulación de tráfico basado en un entorno real, el cual fue propuesto desarrollarse en base al sector del Aeropuerto, que comprende

el área delimitado al norte entre las Avenida De La Prensa y Florida y al sur entre las Avenidas Amazonas y Juan De Ascaray

Una vez que se hayan generado el archivo de red y el archivo de rutas, se procede a generar el archivo para la simulación.

Se crea un nuevo archivo XML, con extensión **.sumo.cfg** dentro del cual deben ingresarse varios parámetros que se describen a continuación:

- **El archivo que contiene la red:** Se debe usar la opción **<net-file>archivo.net.xml</net-file>** para enlazarlo luego con el archivo de ruta generado.
- **El archivo ruta a usar:** Usar la opción **<route-files>archivo.rou.xml</route-files>** para especificar que archivo serán leídos acerca de las rutas establecidas. Se pueden usar varios archivos tipo ruta.
- **El tiempo de inicio de la simulación:** Este tiempo debe coincidir con el tiempo en que inician las rutas. Usar la opción **<begin>0</begin>**.
- **El tiempo de fin de la simulación:** Delimita el tiempo de duración de la simulación. Al llegar a este valor, la simulación termina. Se debe usar la opción **<end>1000</end>**. El tiempo de ejecución está dado en segundos.
- **Resultados:** Se pueden generar archivos dentro de los cuales se pueda obtener resultados acerca de los vehículos una vez culminada la simulación. Para que se generen estos se debe determinar el siguiente parámetro: **<output> tipo de resultado</output>**. Sobre los posibles archivos de resultados que se pueden generar y que se utilizarán en este estudio se los explica a continuación.

i) TABLA DE RESULTADOS

SUMO tienen la posibilidad de generar archivos con resultados de una simulación realizada, con el fin de obtener esquemas acerca de las condiciones

de tráfico en diferentes calles y rutas a lo largo de toda la red, información acerca de los tiempos que le toma a un auto ir de su posición inicial a su posición final, información acerca de las calles que toman los autos para desplazarse a lo largo de su ruta e incluso información acerca de los semáforos y su ubicación e intervención durante la simulación.

- **NETWORK STATE DUMP**

De igual forma SUMO permite crear archivos que detallen el movimiento y las características como posición y velocidad que cada vehículo tiene a lo largo de la simulación. Para obtener este resultado se debe hacer uso de “*Network State Dump*”.

Se genera un archivo XML, conocido como “*Network-Dump*”, en el cual se genera la descripción de cada vehículo en la que se incluye el ID del vehículo, la velocidad y posición para cada paso de tiempo dentro de la simulación y que cada vehículo da en cada *lane* o carril de todas las *edges* de la red a lo largo de la simulación.

Este tipo de archivo se genera luego que la simulación haya concluido y se lo puede identificar con el nombre que tiene “**dump.xml**”, pero el usuario puede determinar el nombre del archivo *Network State Dump* nombrándolo como mejor prefiera, dentro del archivo de configuración.

La desventaja que presenta este tipo de archivo, es el tamaño del archivo que se genera el cual fácilmente puede llegar a pesar varios megas, tomando muchos minutos para generarse.

Una solución óptima al problema del tiempo y tamaño que la forma “*Network-Dump*” produce, es generar “*Edge/Lane-Dumps*”. En estos tipos de archivos se generan todas las características de tráfico, se puede generar un archivo basado solo en *edges* o en un archivo basado solo en *lanes*.

- **Edge-Based Network:** Para generar un archivo de este tipo se debe escribir 2 líneas de comando. Uno en la cual se especifique la ruta donde se generará el archivo, y otro que especifique el número de intervalos de tiempo de los cuales se quiere obtener resultados.

La primera línea se refleja de la siguiente manera:

```
--dump-basename=<ruta y prefijo del archivo a generarse>
```

La segunda línea de código de esta forma:

```
--dump-intervals=<intervalo1> [,<intervalo2>]
```

Un ejemplo de cómo generar este tipo de archivos es el siguiente:

```
--dump-basename=./output/lanedump --dump-  
intervals=300,600
```

Con este ejemplo se generarían 2 archivos: **lanedump_300.xml** y **lanedump_600.xml**.

En el primero se recopila la información durante intervalos de 300 segundos mientras que en el segundo durante intervalos de 600 segundos. En cada uno se presenta una media de la densidad de tráfico, tiempo de viaje, ocupación de la calle, número de paradas, velocidad; además de publicar la cantidad de vehículos que han ingresado o salido de la calle a lo largo de los intervalos de tiempo en la simulación de tráfico.

- **Lane-Based Network:** De igual forma para Lane-Dumps, se procede de la misma forma que se hizo anteriormente. Se escriben 2 líneas de comando pero esta vez hay que anteponer la palabra “**lane**” a la palabra “**dump**” en cada línea de código

La primera línea sería de la siguiente manera:

```
--lanedump-basename=<ruta y prefijo del archivo a  
generarse>
```

La segunda línea de código de esta forma:

```
--lanedump-intervals=<intervalo1> [,<intervalo2>]
```

De igual forma se generan los mismos parámetros que se presentan en los archivos de Edge-Based Network, pero esta vez para cada "Lane" o carril de cada calle a lo largo de toda la simulación.

Si se necesita información acerca de intervalos de tiempo determinados durante la simulación, se puede generar un archivo de la siguiente manera:

```
--dump-begins=<inicio tiempo1> [,<inicio tiempo2>] --dump-ends=<fin tiempo1> [,<fin tiempo2>]
```

- **VEHICLE-ORIENTED TRIP INFORMATION**

La Información Vehicular Orientada al Viaje se basa en proyectar información acerca de las características que un vehículo tiene al inicio y al final de la ruta que cubre para la cual fue programado. Esta información describe varias características, para el punto de partida se obtiene el tiempo, el nombre del carril desde donde partió, la velocidad y la posición; de igual forma se obtienen las mismas características para el punto en el cual termina el recorrido el vehículo.

Además también se proporciona valiosa información acerca de la duración del viaje, la longitud de la ruta, el número de veces que se detiene o en los cuales su velocidad es menor a 3.6 km/h y por último el tipo de vehículo con el que está relacionado cada vehículo.

La línea de comando que se utiliza para obtener este archivo es el siguiente:

```
<tripinfo-output>archivo.xml</tripinfo-output>
```

- **VEHICLE-ROUTES**

La información que se obtiene en el tipo de archivo Vehículo-Ruta, es acerca de la ruta que un vehículo tomó y de las calles por las cuales se desplazó el vehículo para cubrir con la ruta deseada.

Detalladamente se obtiene el tiempo en el cual el vehículo ingresa en la red, el tiempo en el que abandona la simulación, la calle y tiempo en el cual el vehículo se encontraba antes de tomar una nueva ruta, la ruta anterior y por último la nueva ruta tomada

La línea de comando que se utiliza para obtener este archivo es el siguiente:

--vehroutes-output=<nombre del archivo> o **--vhroutes=<nombre del archivo>**

j) MANEJO DE ESTRUCTURAS

SUMO tiene la habilidad de implementar varias estructuras importantes que intervienen dentro de una simulación como son semáforos, transporte público, señales de control de velocidad, tipos de transportes, etc.

A continuación se describirán las estructuras que serán implementadas a lo largo de la red.

- **TRANSPORTE PÚBLICO**

SUMO permite la implementación y utilización de buses y de paradas estableciéndolas en las diferentes edges que forman parte de la red, con el propósito de que los buses paren en estas en tiempos predefinidos y así simular un entorno más real.

Para definir una parada de buses hay que generar un archivo adicional con el siguiente formato:

```
<trigger id="<identificador parada de bus>" objecttype="bus_stop"
objectid= "<nombre del carril>" from="<posición inicial>" to= "<posición
final>"
[line="<ID de la línea de buses>"] />
```

- **id=** nombre para la parada de bus. Debe ser único para cada parada
 - **objecttype=** Siempre "bus_stop"
 - **objectid=** Nombre de la "lane" o carril en la cual debe ubicarse la parada.
 - **from=** La posición inicial sobre la línea en metros. (Posición más baja)
 - **to=** La posición final sobre la línea en metros. (Posición más alta)
 - **line=** Lista de la línea de buses que deben parar en la parada. Atributo solo para propósitos de visualización.
-
- **SEÑALES DE VELOCIDAD**

Un instrumento adicional que proporciona SUMO es la capacidad de poder implementar líneas de comando dentro de la programación, con el fin de lograr simular señales de velocidad en las vías con el propósito de controlar los límites de rapidez con que los autos se desplazan dentro de la simulación, representándose así un entorno muy real.

Hay que tener en cuenta que para el entorno real que forma parte de la simulación, la utilización de este evento no será utilizado ya que dentro del área establecida para la simulación, esta no posee señales de restricción de velocidad para los vehículos circulantes debido a que no es un sector donde existan rompe velocidades, escuelas o colegios, o vías rápidas como las avenidas perimetrales.

Es por ese motivo que no se implementarán señales de velocidad en las vías dentro de la simulación.

- **REROUTE**

Existe la posibilidad de establecer “*reroute*” o reenrutamiento de los vehículos, esto se lo hace con el propósito de simular vías cerradas, destinos nuevos o designar una nueva ruta a seguir por el vehículo que se desplazaba por su ruta anteriormente establecida. De esta forma se puede simular el cierre de una vía por cualquier motivo (por ejemplo si existiera un auto averiado, un accidente de tránsito, o una vía en pavimentación) con lo cual los autos que seguían una ruta a través de la vía cerrada, tomarán una nueva vía logrando llegar a su destino final.

Debido a que factores como los antes mencionados son comunes en las vías de circulación de los autos, la utilización de “*reroute*” si será utilizada durante la simulación de tránsito.

Reroute se lo programa dentro de un archivo de tipo adicional de la siguiente manera:

```
<trigger id= “ID de Reroute” objecttype=“rerouter” objectid= “<ID edge1>”  
[;“<ID edge1>”] file= “<archive definition>” [probability= “<probabilidad>”]/>
```

- **id=** Nombre del “reroute”.
- **objecttype=** Siempre “rerouter”
- **objectid=** Nombre de una “edge” o lista de “edges” donde los vehículos deben ser reenrutados.
- **file=** Ruta hacia el archivo definición.
- **probability=** Probabilidad de que el vehículo sea reenrutado (0-1)

Adicionalmente se debe declarar el “**archivo definición**” el cual describe el comportamiento y el tiempo en el cual se establecerá el reenrutamiento. En este se debe determinar el intervalo de tiempo en el cual se debe aplicar “*reroute*” además de la posibilidad a tomar por parte de “*reroute*”.

Existen 3 posibilidades en las que se puede utilizar “reroute”, estas son:

- **Closing a Street:** Esta fuerza a cerrar una vía, los vehículos que normalmente se desplazan por esta, buscan una vía alterna de entre las que se establecieron en el atributo “objectid” y continúan su trayecto por esta nueva calle seleccionada.

La declaración del comando para aplicar “closing a street” es la siguiente:

```
<reroute>
  <interval begin= “<tiempo inicio>” end= “<tiempo fin>”/>
    <closing_reroute id=“<ID edege>”/>
  </interval>
  ..... Otros intervalos .....
</reroute>
```

“Id” identifica el nombre de la edge cerrada.

- **Dest_prob_reroute:** Mediante esta opción se asigna un nuevo destino modificando la ruta a seguir para aquellos vehículos que circulen por las “edges” establecidas en el atributo “objectid” en la declaración de “reroute”.

La declaración del comando para aplicar “dest_prob_reroute” es la siguiente:

```
<reroute>
  <interval begin= “<tiempo inicio>” end= “<tiempo fin>”/>
    <dest_prob_reroute id=“<ID edeg1e>” probability=
“prob1”/>
    <dest_prob_reroute id=“<ID edege2>” probability=
“prob1”/>

  </interval>
  ..... Otros intervalos .....
</reroute>
```

“**Id**” identifica el nombre del nuevo destino, mientras que “**probability**” determina la probabilidad con la cual el vehículo usará la “*edge*” como destino.

- **Route_prob_reroute:** Mediante esta opción se asigna una nueva ruta a aquellos autos que circulen por las “*edges*” establecidas en el atributo “**objectid**” en la declaración de “*reroute*”.

La declaración del comando para aplicar “*dest_prob_reroute*” es la siguiente:

```
<reroute>
  <interval begin= “<tiempo inicio>” end= “<tiempo fin>”/>
    <route_prob_reroute id=“<ID edeg1e>” probability=
“prob1”/>
    <route_prob_reroute id=“<ID edege2>” probability=
“prob1”/>

  </interval>
  ..... Otros intervalos .....
</reroute>
```

“**Id**” identifica el nombre de la nueva ruta, mientras que “**probability**” determina la probabilidad con la cual el vehículo usará la “*route*” como destino.

• VEHICLE CLASSES

SUMO tiene la capacidad de implementar varios tipos de vehículo dentro de la simulación. El usuario tiene la posibilidad de permitir o restringir la circulación en las vías de los distintos tipos de vehículos con que se dispone para la simulación, de esta forma se puede establecer diferentes y determinados tipos de vehículos para cada carril de cada calle dentro de la simulación.

Este atributo que se asigna a los vehículos por el momento no se encuentra completamente desarrollado, por lo que se limitará su uso a un número definido de clase de vehículos.

Entre los que se usarán a lo largo de la simulación se encuentran:

Tabla 4.3.1.1: Tipos de Vehículos

Tipo Vehículo	Descripción
Passenger	Carro con pasajeros
Hov	Vehículos pesados
Taxi	taxi
Bus	Bus

- **INTERFAZ GUI**

La interfaz GUI (*Graphical User Interface*) es una herramienta que forma parte del paquete SUMO. En esta, el usuario tiene la posibilidad de visualizar de forma gráfica la red que ha creado mientras programaba los comandos en los diferentes archivos que se necesitan para lograr compilar el archivo de red. De igual forma se puede visualizar la simulación ya en funcionamiento una vez que se haya cargado el archivo de simulación dentro de la interfaz gráfica GUI.

GUI dispone de 3 barras de herramientas que permiten el manejo de las acciones que se pueden realizar dentro de la interfaz gráfica.

La Barra de Menú dispone de varios menús con los cuales se puede acceder a todas las aplicaciones y acciones que intervienen tanto dentro de la simulación como aquellas acciones que permiten manipular la información de los archivos. En la Barra de Herramientas se puede encontrar los botones de operación de archivos con los cuales se puede abrir los archivos de simulación y red,

además de aquellos botones que permiten la operación de la simulación como son los botones de *play* y *stop* de simulación.

En la última barra, en la Barra de Herramientas se puede encontrar instrumentos que permiten seleccionar los diferentes elementos que intervienen dentro de la simulación de tránsito como herramientas que permitan la ubicación de “*edges*” o calles, “*juntions*” o nodos y vehículos.

GUI permite desplegar cuadros de gráficos en los cuales se puede observar el comportamiento de los vehículos a lo largo de su ruta. Se pueden generar cuadros solo de valores dinámicos como posición, velocidad y tiempo de espera de los vehículos que se desplazan a lo largo de la red.

También se pueden desplegar cuadros con información de los semáforos en cada cruce en los cuales se puede observar la duración de cada uno para utilizarlo como información general. Este tipo de cuadros no son de mucha ayuda por el presente estudio por lo que no serán utilizados más que para una muestra de cómo son desplegados.

4.3.2 NS-2 (Network Simulator 2)

NS-2 es el simulador más usado en el mundo académico y en muchos centros de investigación a nivel mundial.

Simula un amplio rango de tecnologías de redes

- Implementa protocolos tales como TCP y UDP
- Genera comportamientos de tráfico FTP, Telnet, Web, CBR y VBR
- Es capaz de simular mecanismos de gestión de colas en routers Drop Tail, RED y CBQ
- Soporta diversos algoritmos de enrutamiento (p.e.Dijkstra)
- NS implementa multicasting y algunas de las capas de enlace MAC para simular LANs.

Requiere el conocimiento de dos lenguajes: C++ y oTCL.

- C++ a nivel de datos

- Actúa paquete por paquete
- oTCL a nivel de control
 - En forma periódica o activada por eventos

Para lograr combinar este simulador de red con el simulador de tráfico SUMO hay que utilizar otro programa que se encargue de realizar este proceso. Al momento existen 2 programas capaces de cumplir con esta labor. Estos son TraNS y MOVE.

Ambos programas combinan una interfaz basada en Java, con lo cual el entorno es más amigable para la implementación de la red VANET.

Como ya se mencionó anteriormente ambos tienen características particulares para la simulación de redes VANET así que se analizarán ambos para determinar cual puede brindar mejores herramientas y resultados para la obtención de resultados acerca del presente estudio.

Como ya se mencionó, el uso de NS-2 dentro de estos programas es un tanto suplementario ya que ambos programas se encargan de generar los scripts para simular la red de datos, sin embargo se debe determinar los parámetros con los cuales se quiere trabajar en la simulación, ya que los que proporcionan tanto TraNS como MOVE no son siempre los que el usuario necesita implementar en la simulación.

Por tal motivo a continuación se detalla los parámetros con los cuales se trabajará en el presente estudio para obtener la simulación de una red VANET y sus resultados.

a) PROGRAMACIÓN

En la Tabla 4.3.2.1., se encuentran las variables con los cuales se generará la simulación de la red dentro de NS-2 y las cuales se encuentran en un script que genera el desempeño de la red VANET.

Tabla 4.3.2.1. Parámetros para la simulación en NS-2

Variable	Valor
Tipo de Canal	Channel/WirelessChannel
Modelo de Propagación	Propagation/ TwoRayGround
Tipo de Antena	Antenna/OmniAntenna
Tipo Capa de Enlace	LL
Tipo de la Interfaz para la cola	Queue/DropTail/PriQueue
# max packet in ifq	50
Interfaz de Red	Phy/WirelessPhy
Protocolo	Mac/802_11
Número de nodos	68
Longitud eje x	4915.27 []
Longitud eje y	3327.23 []
Tiempo duración de la Simulación	60 [s]
Frecuencia	5 [GHz]
Potencia de Transmisión	de 0.281838
RXThresh_	300 [m]
Tasa de Transmisión	64 kbps

Los valores definidos para frecuencia, potencia de transmisión y distancia son valores estipulados para el manejo de simulaciones para redes VANET [35]

CAPITULO 5

RESULTADOS

5.1 RUTA NORMAL VS. RUTA ALTERNA

Una vez realizadas varias simulaciones en las cuales se pudo observar el funcionamiento y comportamiento de una red VANET; además de que se presentaron varias rutas alternas para trayectos que tienen como destino final diversos puntos cercanos al sector de estudio, se procederá a analizar los datos obtenidos dentro del simulador de tráfico bajo ciertos parámetros predefinidos de tráfico con el propósito de comparar principalmente tiempos y distancias entre una ruta fija y una alterna para los distintos casos que se presentaron como rutas alternas.

Aunque algunas de las rutas alternas pueden llegar a tener una mayor distancia en recorrido en comparación a las rutas originales, son opciones que se ofrecen para aquellos conductores de vehículos que a través de la implementación y uso de la redes Ad-Hoc Vehiculares, puedan llegar a sus destinos por una ruta diferente e incluso en ciertos casos en menor tiempo que lo harían si se mantienen circulando por la ruta original. Esto se pudo determinar gracias a las simulaciones realizadas implementando ciertas condiciones definidas de tráfico dentro del simulador SUMO.

A continuación se presentaron los datos obtenidos dentro del simulador de tráfico al comparar el desplazamiento vehicular entre la ruta original y la ruta alterna para cada uno de los 6 casos propuestos como rutas alternas. Las condiciones de tráfico con las cuales se trabajó se detallarán dentro de cada caso.

5.1.1 Caso 1

La ruta normal establecida comprende el desplazamiento vehicular a lo largo de la Avenida Amazonas de sur a norte desde la intersección con la Avenida Río Coca hasta llegar a un punto que tiene como destino la intersección entre la Avenida 10 de Agosto e Isaac Alvénez. Mientras que la ruta alterna para el mismo tramo es la desviación por la Avenida Río Coca hasta llegar a la Avenida De Los Shyris por la cual se avanzará hacia el norte hasta llegar a la Avenida 6 de Diciembre para continuar desplazándose hasta llegar a la intersección con la calle Fritz y tomar la calle El Morlán y por último la calle Isaac Alvénez hasta llegar al cruce con la Avenida 10 de Agosto.

Las condiciones de tráfico con las cuales se trabajó para la simulación de este primer caso fueron las siguientes:

- Cierre del carril derecho, tramo 3, en la Avenida Amazonas.
- Ingreso de vehículos a 60 metros en los carriles 2 y 1 del tramo 3 en la Avenida Amazonas para generar condiciones altas de tráfico.
- Desplazamiento vehicular siguiendo ruta normal, ruta alterna y rutas adicionales para un total de 117 vehículos.

Adicionalmente las condiciones establecidas para los vehículos que se desplazan por la ruta original y la ruta alterna se describen en la Tabla 5.1.1.1.

Tabla 5.1.1.1. Parámetros para vehículos en simulador SUMO. Caso 1

Parámetros	Ruta Original	Ruta Alterna
Distancia	633,76 [m]	2567,36 [m]
Velocidad Máxima para autos	36 [km/h]	55,8 [km/h]
Aceleración	0,8 [m/s ²]	1,4 [m/s ²]
Desaceleración	4,5 [m/s ²]	4,5 [m/s ²]
Tiempo duración Simulación	908 [s]	
Sigma	0.5	
Longitud Vehículos	Auto: 4,5 [m] Camión: 8,5 [m] Autobús: 12,2 [m]	

Una vez configurados todos los parámetros con los cuales se define la movilidad de los vehículos dentro de la simulación, se procede a presentar en la Tabla 5.1.1.2. los resultados obtenidos respecto a tiempo, distancia y duración del recorrido cumplido tanto por los vehículos que siguen la ruta original como los que siguen la ruta alterna.

Tabla 5.1.1.2. Comparación resultados Ruta Establecida vs. Ruta Alterna. Caso 1

Vehículo ID	Ruta	Velocidad de Arribo [m/s]	Duración [seg]	Distancia Ruta [m]	Tipo Vehículo
veh1	Original	4,73	390	633,78	Particular
veh2	Original	3,27	392	633,7	Particular
veh3	Original	3,8	390	632,95	Camión
veh4	Original	0,61	472	632,34	Particular
veh5	Original	2,94	458	633,9	Camión
veh6	Original	2,98	370	633,96	Particular
veh7	Original	5,35	551	634,65	Camión
veh8	Original	5,09	370	634	Camión
veh9	Original	4,81	363	633,61	Particular
veh10	Original	4,56	466	633,51	Particular

veh11	Original	4,56	535	634,04	Particular
veh12	Original	4,75	428	634,25	Particular
veh13	Original	2,38	434	634,05	Particular
veh14	Original	2,61	452	633,52	Particular
veh15	Original	3,18	525	632,3	Camión
veh16	Original	4,98	514	634,41	Particular
veh17	Original	2,73	513	633,79	Particular
veh18	Original	4,64	517	634,81	Particular
veh19	Original	3,16	516	633,95	Particular
veh65	Alterna1	9,01	450	2570,63	ParticularAlt
veh66	Alterna1	10,39	455	2566,67	ParticularAlt
veh67	Alterna1	11,61	443	2565	ParticularAlt
veh68	Alterna1	8,53	452	2564,16	ParticularAlt
veh69	Alterna1	6,81	457	2569,13	ParticularAlt
veh70	Alterna1	11,37	438	2565,29	ParticularAlt
veh71	Alterna1	10,22	459	2569,73	Camión
veh72	Alterna1	6,22	446	2568,9	ParticularAlt
veh73	Alterna1	10,12	430	2566,8	Camión

Con los resultados obtenidos se puede apreciar que los vehículos que toman una ruta alterna y cubren una gran distancia, tienen un tiempo de duración casi similar al tiempo que les toma a los vehículos en desplazarse siguiendo la ruta establecida a lo largo de la Avenida Amazonas.

Esto se puede verificar al comparar el vehículo 65 con los vehículos 11, 12, 13 como se puede observar en la Figura 5.1.1.1., los cuales cumplen con el trayecto en un promedio de 465 segundos, mientras que el vehículo 65 lo hace en 450 segundos. Por otro lado, los vehículos 16, 17 y 18, que ingresan más tarde al congestionamiento desde el mismo punto de partida, tardan un tiempo de 514,67 segundos, significativamente mayor al tiempo que les toma a los vehículos que toman la ruta alterna los cuales tienen un promedio de duración de 447,77 segundos.

Esto valores no establecen a la ruta alterna 1 como la ruta más viable a utilizar ya que el trayecto a seguir es un tanto más complicado, y la distancia es mucho más extensa que otras rutas alternas como se verá a continuación.

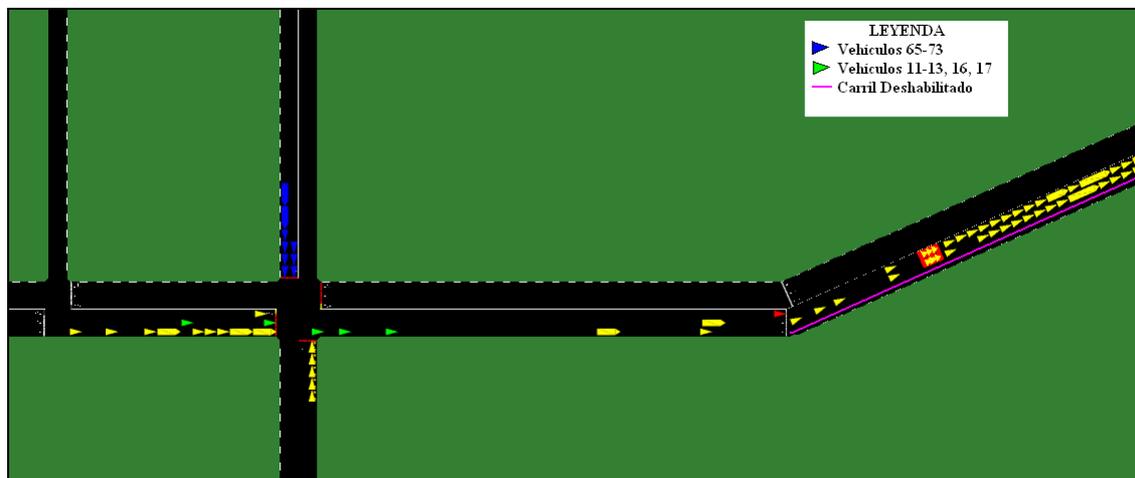


Figura 5.1.1. Caso 1

Para los vehículos que siguieron su camino por la ruta alterna, se determinó que su velocidad máxima sea mayor que el resto, esto tomando en cuenta que analizando la velocidad promedio de un vehículo en un ambiente moderado de tráfico alcanza un promedio entre 50 y 60 [km/h] mientras que en un ambiente en el que existe un mayor congestionamiento vehicular, la velocidad promedio se encuentra entre los 30 y 40 [km/h]. Es así que se estableció un valor medio para ambos casos como se puede observar en la tabla 7.

De igual forma se ingresaron vehículos que se desplacen por las Avenidas De los Shyris y 6 de Diciembre con el propósito de que los vehículos que siguen por la ruta alterna encuentren un entorno moderado de tráfico a lo largo de su trayecto.

Con todos estos parámetros determinados es como se realizó la simulación en este primer caso.

5.1.2 Caso 2

La ruta establecida como normal es la misma que la que se presentó en el caso 1, con la variación de que esta vez el congestionamiento vehicular se modela en la calle que une la Avenida Amazonas con la Avenida 10 de Agosto. Debido a que esta calle dispone de un solo carril, si se presentara algún imprevisto en este punto, los vehículos que se desplacen por este trayecto están sometidos a esperar que pase el imprevisto para lograr continuar avanzando hasta llegar a la Avenida 10 de Agosto.

Para aquellos autos que se encuentren en la intersección de la Avenida Amazonas y El Inca, y cuyo destino sea alcanzar algún tramo de la Avenida 10 de Agosto, la ruta alterna 2 se presenta como una solución para este caso. Esta ruta comprende el desplazamiento a través de la Avenida El Inca de Este hasta Occidente, hasta llegar a un punto donde se puede tomar la calle El Morlán y por último la calle Isaac Alvéniz hasta llegar al cruce con la Avenida 10 de Agosto, tal y como se lo hizo con el caso anterior.

Las condiciones de tráfico con las cuales se trabajó para la simulación de este caso fueron las siguientes:

- Detenimiento repentino de un vehículo por 3 minutos a 30 metros del inicio de la calle.
- Desplazamiento vehicular siguiendo ruta normal, ruta alterna y rutas adicionales para un total de 53 vehículos.

Adicionalmente las condiciones establecidas para los vehículos que se desplazan por la ruta original y la ruta alterna se describen en la Tabla 5.1.2.1.

Una vez configurados todos los parámetros con los cuales se define la movilidad de los vehículos dentro de la simulación, se procede a presentar en la tabla 5.1.2.2. los resultados obtenidos respecto a tiempo, distancia y

duración del recorrido cumplido tanto por los vehículos que siguen la ruta original como los que siguen la ruta alterna.

Tabla 5.1.2.1. Parámetros para vehículos en simulador SUMO. Caso 2

Parámetros	Ruta Original	Ruta Alterna
Distancia	387,11 [m]	1605,961 [m]
Velocidad Máxima para autos	36 [km/h]	55,8 [km/h]
Aceleración	0,8 [m/s ²]	1,4 [m/s ²]
Desaceleración	4,5 [m/s ²]	4,5 [m/s ²]
Tiempo duración Simulación	529 [s]	
Sigma	0.5	
Longitud Vehículos	Auto: 4,5 [m] Camión: 8,5 [m] Autobús: 12,2 [m]	

Tabla 5.1.2.2. Comparación resultados Ruta Establecida vs. Ruta Alterna. Caso2

Vehículo ID	Ruta	Velocidad de Arribo [m/s]	Duración [seg]	Distancia Ruta [m]	Tipo Vehículo
veh1	Original	2,85	174	387,9	Particular
veh2	Original	0,79	375	386,61	Particular
veh3	Original	0,65	383	386,47	Camion
veh4	Original	0,47	387	386,27	Particular
veh5	Original	2,38	386	387,23	Camion
veh6	Original	3,18	384	386,04	Particular
veh7	Original	0,59	391	386,4	Camion
veh8	Original	2,81	391	387,81	Camion
veh9	Original	3,84	389	388,97	Particular
veh10	Original	3,99	387	387,67	Particular
veh11	Original	4,49	385	387,74	Particular
veh12	Original	2,75	384	388	Particular
veh13	Original	3,33	382	386,62	Particular
veh14	Original	3,84	380	385,98	Particular

veh15	Original	4,52	378	385,91	Particular
veh16	Original	3,38	377	387,82	Particular
veh17	Original	4,09	374	387,37	Particular
veh18	Original	0,87	375	386,59	Particular
veh19	Original	2,5	375	387,82	Particular
veh20	Alterna2	7,27	298	1589,49	ParticularAlt
veh21	Alterna2	7,3	297	1589	ParticularAlt
veh22	Alterna2	7,36	295	1583,3	ParticularAlt
veh52	Alterna2	9,99	309	1610,33	Particular
veh53	Alterna2	9,36	297	1615,95	Particular
veh54	Alterna2	9,18	313	1616,31	Particular
veh55	Alterna2	9,99	303	1609,65	Particular
veh56	Alterna2	9,99	310	1612,57	Particular
veh57	Alterna2	9,16	299	1616,33	Particular
veh58	Alterna2	9	281	1616,68	Particular

Con los datos obtenidos, y como se puede apreciar en la Figura 5.1.2.1., el vehículo 2 se detiene repentinamente por 3 minutos provocando un congestionamiento vehicular especialmente para aquellos vehículos que quieren tomar la Avenida 10 de Agosto. El vehículo 1 cumple con el recorrido original sin inconvenientes en un tiempo de 174 segundos en la simulación, sin embargo los vehículos que siguen la misma trayectoria, tardan un promedio de 375 segundos, más del doble debido al congestionamiento como se puede ver en los resultados de los vehículos 8, 9 y 10.

De igual forma se puede observar que aquellos vehículos que optan por tomar la ruta alterna hacia el mismo destino, como los vehículos 20 al 22 y 52 al 58, cumplen el recorrido en menor tiempo que los vehículos que tomaron la ruta original. Sin embargo la distancia recorrida es mucho mayor que la ruta normal.



Figura 5.1.2. Caso 2

Estos resultados son basados respecto a un detenimiento vehicular de un auto que bloquea completamente la vía y por un tiempo determinado dentro de la simulación, sin embargo estos resultados pueden variar completamente bajo condiciones de tráfico diferentes.

Pero el propósito de este estudio es brindar principalmente una alternativa a una ruta por la que se desplazan normalmente los autos, independientemente de los resultados obtenidos en este caso.

5.1.3 Caso 3

La ruta normal establecida para este caso es similar a los 2 anteriores, convirtiéndose en la tercera ruta alterna para el mismo trayecto, pero en un punto diferente de desviación a los 2 anteriores. Es así que la ruta alterna se establece desde la intersección entre la Avenida Amazonas y la calle Cofanes, por donde los vehículos se pueden desplazar por 2 carriles hasta alcanzar la Avenida 10 de Agosto, y continuar transitando a lo largo de esta avenida hasta llegar al punto de destino demarcado anteriormente. Esta es la ruta alterna más

óptima a seguir y también la más rápida ya que la distancia recorrida es menor que las rutas alternas de los 2 casos anteriores por lo que los tiempos para cubrir esta ruta son mucho menores.

Las condiciones de tráfico con las cuales se trabajó para la simulación en este caso fueron las siguientes:

- Cierre del carril derecho, tramo 3, en la Avenida Amazonas.
- Ingreso de vehículos a 60 metros en los carriles 2 y 1 del tramo 3 en la Avenida Amazonas para generar condiciones altas de tráfico.
- Desplazamiento vehicular siguiendo ruta normal, ruta alterna y rutas adicionales para un total de 110 vehículos.

Adicionalmente las condiciones establecidas para los vehículos que se desplazan por la ruta original y la ruta alterna se describen en la Tabla 5.1.3.1.

Tabla 5.1.3.1. Parámetros para vehículos en simulador SUMO. Caso 3

Parámetros	Ruta Original	Ruta Alterna
Distancia	790,81 [m]	993,936667 [m]
Velocidad Máxima para autos	36 [km/h]	55,8 [km/h]
Aceleración	0,8 [m/s ²]	1,4 [m/s ²]
Desaceleración	4,5 [m/s ²]	4,5 [m/s ²]
Tiempo duración Simulación	597 [s]	
Sigma	0.5	
Longitud Vehículos	Auto: 4,5 [m] Camión: 8,5 [m] Autobús: 12,2 [m]	

Una vez configurados todos los parámetros con los cuales se define la movilidad de los vehículos dentro de la simulación, se procede a presentar en la Tabla 5.1.3.2. los resultados obtenidos respecto a tiempo, distancia y

duración del recorrido cumplido tanto por los vehículos que siguen la ruta original como los que siguen la ruta alterna.

Tabla 5.1.3.2. Comparación resultados Ruta Establecida vs. Ruta Alterna. Caso 3

Vehículo ID	Ruta	Velocidad de Arribo [m/s]	Duración [seg]	Distancia Ruta [m]	Tipo Vehículo
veh1	Original	4,24	298	790,99	Particular
veh2	Original	4,63	296	790,9	Particular
veh3	Original	3,29	373	789,95	Camion
veh4	Original	3,65	283	791,61	Particular
veh5	Original	4,18	366	789,22	Camion
veh6	Original	3,7	353	791,34	Particular
veh7	Original	5,31	363	794,09	Camion
veh8	Original	4,97	354	789,47	Camion
veh9	Original	2,81	339	791,16	Particular
veh10	Original	0,72	368	789,87	Particular
veh11	Original	3,37	443	792,29	Particular
veh12	Original	2,05	364	789,81	Particular
veh13	Original	4,9	429	791,67	Particular
veh14	Original	4,1	415	790,46	Particular
veh15	Original	3,35	416	789,52	Particular
veh16	Original	4,62	419	791,39	Particular
veh17	Original	2,35	396	790,81	Particular
veh18	Original	3,65	486	790,13	Particular
veh19	Original	2,34	488	790,74	Particular
veh20	Alterna3	6,03	223	995,69	ParticularAlt
veh21	Alterna3	4,84	224	993,39	ParticularAlt
veh22	Alterna3	2,49	223	992,54	ParticularAlt
veh23	Alterna3	4,82	288	993,97	ParticularAlt
veh24	Alterna3	5,52	286	994,53	ParticularAlt
veh25	Alterna3	5,34	285	993,88	ParticularAlt

veh26	Alterna3	6,26	284	994,93	ParticularAlt
veh27	Alterna3	5,17	282	993,25	ParticularAlt
veh28	Alterna3	3,01	282	993,25	ParticularAlt
veh62	Adicional3	2,81	411	862,09	Particular
veh63	Adicional3	3,18	466	862,75	Particular
veh64	Adicional3	4,51	467	863,21	Particular
veh65	Adicional3	4,09	483	864,21	Particular
veh66	Adicional3	3,87	469	863,38	Particular
veh67	Adicional3	3,02	470	862,77	Particular
veh68	Adicional3	3,29	449	863,22	Particular
veh69	Adicional3	2,68	543	862,86	Particular

Con los datos de la Tabla 5.1.3.2. se puede verificar que los tiempos para cumplir con la ruta hacia el destino de los vehículos que transitan por la ruta normal, son mayores que los tiempos de los vehículos que optaron por seguir la ruta alterna. El promedio del tiempo que les tomó a los vehículos por la ruta normal fue de 381,5 segundos en comparación a los 264,1 segundos que les tomó a los vehículos que viajaron por la ruta alterna.

Esto demuestra que si se puede tener un ahorro en tiempo al momento de optar por seguir viajando por una ruta alterna, a pesar de que se cubra una mayor distancia que al viajar por la ruta normal.

Al comparar el vehículo 20 con los vehículos 15, 18 y 19 como se puede observar en la Figura 5.1.3.1., a pesar de partir al mismo nivel de salida que el vehículo 20 su tiempo de llegada fue mayor debido al tráfico, incluso al compararlos con un grupo de autos provenientes de la Avenida Tomas de Berlanga que cubrieron la misma ruta, se puede observar que sus tiempos son mucho mayores, como en el vehículo 68, debido a que estos son los vehículos que más tarde se integran al tráfico por lo que tienen que tolerar tiempos de

espera mayores reflejándose esto en el tiempo que demoran en alcanzar el destino.

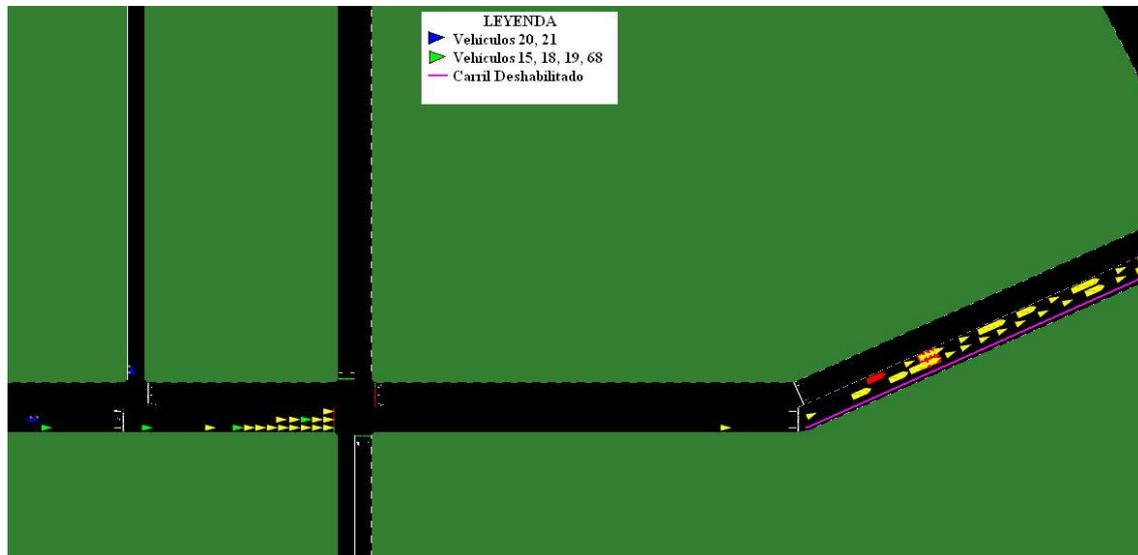


Figura 5.1.3. Caso 3

Las condiciones de tráfico pueden variar, y de igual forma los resultados, sin embargo se trató de simular un ambiente de tráfico que puede ser común en una ciudad, para de esta forma obtener resultados lo más cercanos a la realidad y así demostrar que tan útil puede ser la utilización de un sistema de comunicación basado en redes VANET.

5.1.4 Caso 4

La ruta normal establecida para este caso es para aquellos vehículos que tengan como destino final algún punto cercano a la intersección entre la Avenida La Prensa y La Florida.

Para este caso se establece como ruta alterna el desvío en la intersección entre la Avenida Amazonas y la calle Cofanes, por donde los vehículos se pueden desplazar por 2 carriles hasta alcanzar la Avenida 10 de Agosto. Una vez que se encuentren circulando por esta avenida, los vehículos tomarán el

Puente Del Labrador por donde podrán retornar a la Avenida Amazonas y seguir con su ruta normal hacia su destino sobre la Avenida La Prensa.

Esta ruta alterna es una de las desviaciones más prácticas a seguir si se presentará una gran cantidad de tráfico en la Avenida Amazonas en el tramo entre las Avenidas El Inca y Río Coca.

Las condiciones de tráfico con las cuales se trabajó para la simulación en este caso fueron las siguientes:

- Simulación de un choque vehicular entre 2 autos, a 60 metros del inicio del tramo 3, en la Avenida Amazonas, provocando la obstrucción de 2 carriles de la avenida por un intervalo de 160 segundos.
- Desplazamiento vehicular siguiendo ruta normal, ruta alterna y rutas adicionales para un total de 117 vehículos.

Adicionalmente las condiciones establecidas para los vehículos que se desplazan por la ruta original y la ruta alterna se describen en la Tabla 5.1.4.1.

Tabla 5.1.4.1. Parámetros para vehículos en simulador SUMO. Caso 4

Parámetros	Ruta Original	Ruta Alterna
Distancia	2368,126 [m]	2540,938 [m]
Velocidad Máxima para autos	36 [km/h]	55,8 [km/h]
Aceleración	0,8 [m/s ²]	1,4 [m/s ²]
Desaceleración	4,5 [m/s ²]	4,5 [m/s ²]
Tiempo duración Simulación	729 [s]	
Sigma	0.5	
Longitud Vehículos	Auto: 4,5 [m] Camión: 8,5 [m] Autobús: 12,2 [m]	

Una vez configurados todos los parámetros con los cuales se define la movilidad de los vehículos dentro de la simulación, se procede a presentar en la Tabla 5.1.4.2. los resultados obtenidos respecto a tiempo, distancia y duración del recorrido cumplido tanto por los vehículos que siguen la ruta original como los que siguen la ruta alterna.

Tabla 5.1.4.2. Comparación resultados Ruta Establecida vs. Ruta Alterna. Caso 4

Vehículo ID	Ruta	Velocidad de Arribo [m/s]	Duración [seg]	Distancia Ruta [m]	Tipo Vehículo
veh1	Original	9,81	345	2373,87	Camión
veh2	Original	2,74	353	2367,88	Bus
veh3	Original	3,57	356	2368,1	Particular
veh4	Original	3,88	353	2366,99	Particular
veh5	Original	5,02	343	2368,49	Bus
veh6	Original	3,67	668	2368,22	Particular
veh7	Original	4,99	620	2368,63	Camión
veh8	Original	0,78	389	2366,5	Bus
veh9	Original	4,52	334	2368,13	Particular
veh10	Original	2,23	402	2367,43	Particular
veh11	Original	2,56	388	2367,96	Particular
veh12	Original	4	402	2367,96	Particular
veh13	Original	2,89	393	2367,5	Particular
veh14	Original	2,85	634	2367,96	Particular
veh15	Original	2,43	524	2367,73	Particular
veh16	Original	3,42	620	2369,2	Particular
veh17	Original	3,01	514	2368,05	Particular
veh18	Original	3,97	584	2367,77	Particular
veh19	Original	2,68	433	2367,67	Particular
veh20	Original	3,38	504	2366,48	Particular
veh21	Original	4,5	488	2368,49	Camión
veh22	Original	9,4	504	2373,47	Bus
veh23	Original	2,89	406	2367,86	Camión

veh24	Original	9,44	539	2367,29	Bus
veh25	Original	2,7	310	2367,96	Particular
veh26	Original	1,06	491	2366,51	Particular
veh27	Original	7,82	323	2370,38	Particular
veh28	Original	4,98	317	2368,18	Particular
veh29	Original	9,68	467	2372,65	Camión
veh30	Original	9,41	363	2368,82	Bus
veh31	Original	3,27	375	2366,29	Camión
veh32	Original	4,99	517	2368,1	Bus
veh33	Original	4,39	521	2368,27	Particular
veh34	Original	2,87	511	2367,82	Particular
veh35	Original	0,73	497	2366,61	Particular
veh36	Original	3,35	426	2368,27	Particular
veh106	Alterna4	8,69	276	2545,75	ParticularAlt
veh107	Alterna4	5,6	269	2540,71	ParticularAlt
veh108	Alterna4	4,52	334	2538,75	ParticularAlt
veh109	Alterna4	3,69	306	2539,54	ParticularAlt
veh110	Alterna4	4,68	399	2539,94	ParticularAlt

Con los resultados obtenidos se puede apreciar que a la ruta alterna cubre una distancia casi similar a la ruta normal, aproximadamente 200 metros más de extensión, lo cual implica que los vehículos pueden optar por tomarla ya que no implica una gran desviación de su ruta habitual e incluso logra mejorar los tiempos para llegar hacia el mismo destino.

Esto se puede verificar al comparar los tiempos de duración en la Tabla 5.1.4.2. del vehículo 106 con los vehículos que parten aproximadamente a la misma altura pero que se desplazan por la ruta normal como son los vehículos 34 al 36, como se puede observar en la Figura 5.1.4.1. Incluso los tiempos para los vehículos que se encontraban más próximos al choque y para los cuales fue más complicado salir del congestionamiento, como son los vehículos 15 y

16, sus tiempos son aún mucho mayores a los obtuvieron los vehículos que siguieron la ruta alterna e incluso de aquellos que lograron evitar los carriles congestionados por el choque como son los vehículos 34, 35 y 36. El tiempo promedio que les toma a los vehículos desplazarse por la ruta normal es de 450,38 segundos, mientras que el tiempo promedio de los vehículos que toman la ruta alterna es de 316,8; lo que demuestra lo anteriormente mencionado.

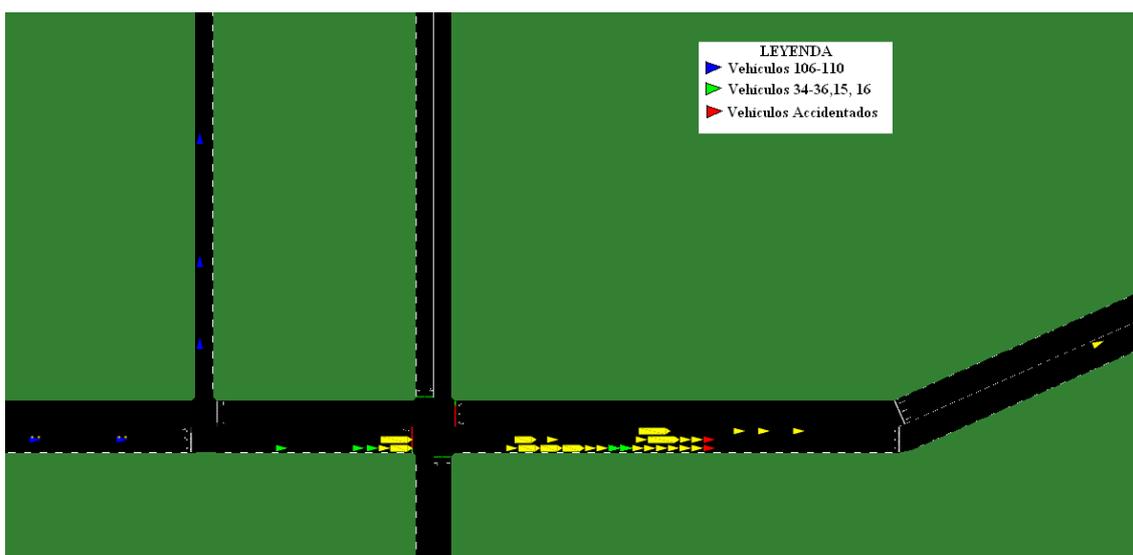


Figura 5.1.4. Caso 4

Esta ruta alterna es muy óptima y provee una solución al congestionamiento que se pueda presentar a lo largo de la Avenida Amazonas dentro del sector que se planteó a analizar mediante la utilización del sistema de comunicación entre vehículos implementando la tecnología de las redes VANET.

Para este trayecto también se propuso una ruta alterna si existiera algún otro congestionamiento vehicular en el tramo desde la terminal internacional del aeropuerto y la Avenida Oyacachi, la cual es tomar la Avenida Zamora y luego la Avenida La Prensa hasta llegar al destino final. Sin embargo esta solución no fue simulada por el hecho de ser una desviación corta en distancia lo que reflejará datos similares a los ya obtenidos anteriormente en el caso 2.

5.1.5 CASO 5

Este caso comprende la simulación de congestionamiento vehicular en la Avenida Amazonas de norte a sur en algún punto dentro del tramo comprendido entre la terminal del Aeropuerto y la Avenida Zamora.

Es así que se determinó como ruta alterna el desplazamiento vehicular por la Avenida La Prensa hasta llegar a la intersección con la Avenida El Inca, por donde pueden retornar su camino a la Avenida Amazonas y seguir viajando por aquí hacia su destino final.

Las condiciones de tráfico con las cuales se trabajó para la simulación de este primer caso fueron las siguientes:

- Congestionamiento de tráfico debido al frene de un camión, tramo 13, en la Avenida Amazonas por 3 minutos.
- Desplazamiento vehicular siguiendo ruta normal, ruta alterna y rutas adicionales para un total de 87 vehículos.

Adicionalmente las condiciones establecidas para los vehículos que se desplazan por la ruta original y la ruta alterna se describen en la Tabla 5.1.5.1.

Tabla 5.1.5.1. Parámetros para vehículos en simulador SUMO. Caso 5

Parámetros	Ruta Original	Ruta Alterna
Distancia	2044,307 [m]	2365,71222 [m]
Velocidad Máxima para autos	36 [km/h]	55,8 [km/h]
Aceleración	0,8 [m/s ²]	1,4 [m/s ²]
Desaceleración	4,5 [m/s ²]	4,5 [m/s ²]
Tiempo duración Simulación	715 [s]	
Sigma	0,5	
Longitud Vehículos	Auto: 4,5 [m] Camión: 8,5 [m] Autobús: 12,2 [m]	

Una vez configurados todos los parámetros con los cuales se define la movilidad de los vehículos dentro de la simulación, se procede a presentar en la Tabla 5.1.5.2. los resultados obtenidos respecto a tiempo, distancia y duración del recorrido cumplido tanto por los vehículos que siguen la ruta original como los que siguen la ruta alterna.

Tabla 5.1.5.2. Comparación resultados Ruta Establecida vs. Ruta Alterna. Caso 5

Vehículo ID	Ruta	Velocidad de Arribo [m/s]	Duración [seg]	Distancia Ruta [m]	Tipo Vehículo
veh1	Original	10	320	2045,9	Particular
veh2	Original	10	320	2043,92	Particular
veh3	Original	10,28	313	2043,36	Camión
veh4	Original	10	316	2046,44	Particular
veh5	Original	10,25	312	2043,59	Camión
veh6	Original	10	302	2047,39	Particular
veh7	Original	2,75	589	2041,01	Camión
veh8	Original	10,46	292	2046,68	Camión
veh9	Original	10	289	2043,55	Particular
veh10	Original	10	287	2043,79	Particular
veh11	Original	0,74	358	2041,63	Particular
veh12	Original	9,9	484	2048,78	Particular
veh13	Original	9,88	368	2041,57	Particular
veh14	Original	9,88	469	2043,97	Particular
veh15	Original	9,89	363	2042,38	Particular
veh16	Original	9,91	467	2046,2	Particular
veh17	Original	10	357	2044,11	Particular
veh18	Original	9,88	455	2042,93	Particular
veh19	Original	10	352	2044,65	Particular
veh20	Alterna5	1,09	493	2365,08	ParticularAlt
veh21	Alterna5	4,69	498	2365,78	ParticularAlt
veh22	Alterna5	4,69	493	2368,07	ParticularAlt

veh23	Alterna5	5,35	482	2365,19	ParticularAlt
veh24	Alterna5	4,99	487	2365,84	Camión
veh25	Alterna5	6,38	477	2364,57	ParticularAlt
veh26	Alterna5	2,65	463	2364,9	ParticularAlt
veh27	Alterna5	5,81	478	2367,98	Camión
veh28	Alterna5	5,31	463	2364	ParticularAlt
veh84	Original	9,9	355	2049,85	Particular
veh85	Original	9,91	455	2045,29	Particular
veh86	Original	9,9	348	2044,88	Particular
veh87	TAdicional	2,19	450	1652,73	Particular
Veh95	TAdicional	9,89	379	1653,83	Particular

Con los resultados obtenidos se puede apreciar que los vehículos que toman la ruta alterna y cubren una mayor distancia, necesitan un mayor tiempo para llegar al destino que aquellos vehículos que se desplazan por la vía original en su mayoría, sin embargo hay vehículos que lo hacen en un mayor tiempo.

Esto se puede verificar al comparar el vehículo 25 con los vehículos 84 al 86, con los cuales salen al mismo tiempo. El primero tarda 477 segundos en cubrir la ruta, mientras que los otros 3 vehículos lo hacen en un promedio de 386 segundos

Por otro lado, al comparar el vehículo 25 con los vehículos 12, 87 y 95, como se puede observar en la Figura 5.1.5.1, que tardan 437,66 segundos en cubrir la ruta, estos 3 últimos demoran casi el mismo tiempo que aquellos que viajan por la ruta alterna, esto debido a que fueron los vehículos que estuvieron más cerca del camión que se detuvo por lo que su retorno al tráfico normal demora más tiempo que aquellos vehículos que recibirían el mensaje de aviso mediante la utilización de una red VANET y que lograron cambiarse de carril rápidamente.

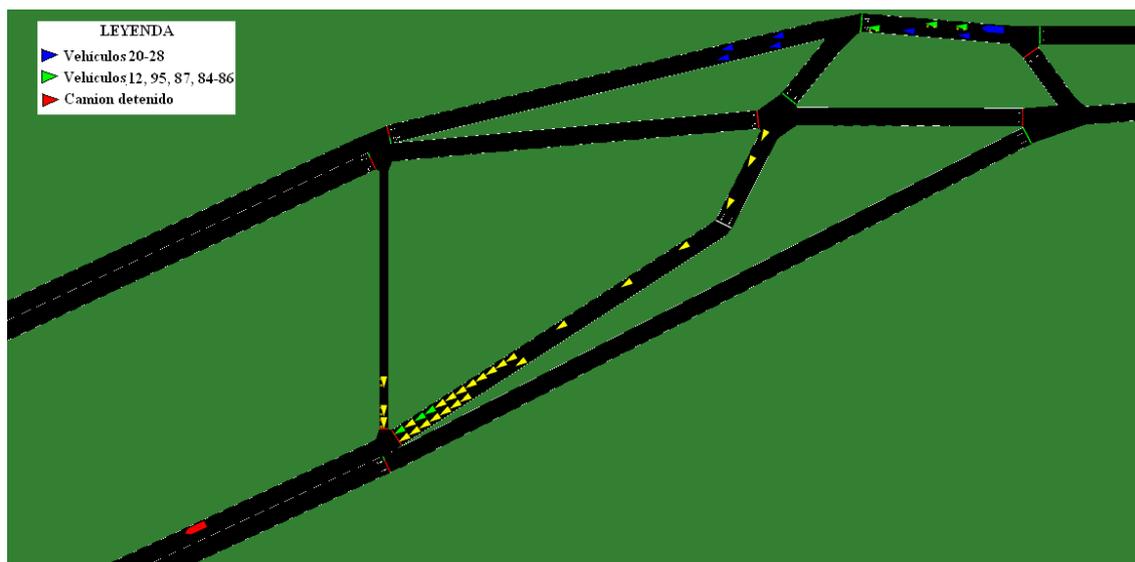


Figura 5.1.5. Caso 5

El hecho de que los tiempos en cubrir el trayecto por los vehículos que toman la ruta alterna sean mayores, se puede explicar debido a que los vehículos que se desplazan por la Avenida La Prensa, demoran más tiempo debido a los 11 semáforos que existe a lo largo de esta avenida, en este tramo, con lo cual el tráfico vehicular no es tan fluido como se desearía. Sin embargo con este inconveniente los tiempos son buenos en comparación de los demás vehículo que se desplazaron por la ruta normal.

Con todos estos parámetros determinados es como se realizó la simulación en este quinto caso.

5.1.6 CASO 6

Este último caso comprende la simulación de congestionamiento vehicular en la Avenida Amazonas de norte a sur sobre el tramo comprendido entre la intersección con la Avenida El Inca y la Avenida Tomás de Berlanga.

Es así que se determinó como ruta alterna el desplazamiento vehicular por la Avenida El Inca hasta llegar a la intersección con la Avenida 6 de Diciembre,

por donde continúa el trayecto hasta llegar a la intersección con la Avenida Tomás de Berlanga, por la cual se retornará hacia la Avenida Amazonas para continuar viajando por aquí hasta el destino final que tenga cada vehículo.

Para este tramo analizado, se dispone adicionalmente de varias calles por las cuales se puede llegar de una manera más rápida desde la Avenida El Inca hasta la Avenida Tomás de Berlanga, como se pueden observar en la Figura 5.1.6.1., en donde las calles Luis Coloma, Yasuní y Guepi se conectan con las calles Isla Isabela o Isla San Cristóbal, las cuales tienen conexión con la Avenida Tomás de Berlanga, por lo que son otras posibles rutas de descongestionamiento. Sin embargo estas calles disponen de 2 carriles para transitar de los cuales solo uno está disponible ya que en el otro la mayoría de tiempo en el día se encuentra ocupado por vehículos parqueados por lo que no es posible la utilización de ambos carriles. Debido a este inconveniente, no son calles que permitan transitar libremente por lo que se corre el riesgo de embotellamientos o demoras en el tráfico de los vehículos que circulan por esta vía.

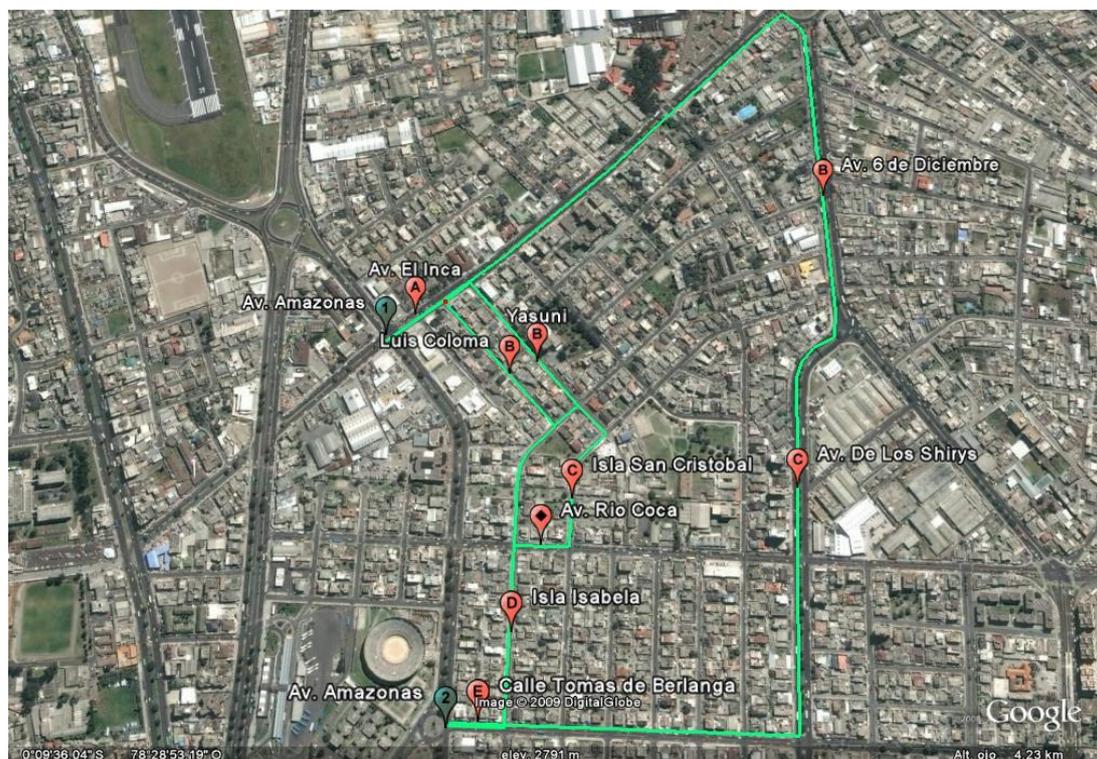


Figura 5.1.6. Rutas alternas, caso 6.

Las condiciones de tráfico con las cuales se trabajó para la simulación de este primer caso fueron las siguientes:

- Cierre del carril derecho, tramo 2, en la Avenida Amazonas.
- Ingreso de vehículos a 60 metros en los carriles 2 y 1 del tramo 2 en la Avenida Amazonas para generar condiciones altas de tráfico.
- Desplazamiento vehicular siguiendo ruta normal, rutas alternas y rutas adicionales para un total de 124 vehículos.

Adicionalmente las condiciones establecidas para los vehículos que se desplazan por la ruta original y la ruta alterna se describen en la Tabla 5.1.6.1.

Tabla 5.1.6.1. Parámetros para vehículos en simulador SUMO. Caso 6

Parámetros	Ruta Original	Ruta Alterna
Distancia	646,095 [m]	2482,462 [m]
Velocidad Máxima para autos	36 [km/h]	55,8 [km/h]
Aceleración	0,8 [m/s ²]	1,4 [m/s ²]
Desaceleración	4,5 [m/s ²]	4,5 [m/s ²]
Tiempo duración Simulación	585 [s]	
Sigma	0,5	
Longitud Vehículos	Auto: 4,5 [m] Camión: 8,5 [m] Autobús: 12,2 [m]	

Una vez configurados todos los parámetros con los cuales se define la movilidad de los vehículos dentro de la simulación, se procede a presentar en la Tabla 5.1.6.2. los resultados obtenidos respecto a tiempo, distancia y duración del recorrido cumplido tanto por los vehículos que siguen la ruta original como los que siguen la ruta alterna.

Tabla 5.1.6.2. Comparación resultados Ruta Establecida vs. Rutas Alternas. Caso 6

Vehículo ID	Ruta	Velocidad de Arribo [m/s]	Duración [seg]	Distancia Ruta [m]	Tipo Vehículo
veh1	Original	0,61	265	644,46	Particular
veh2	Original	4,92	454	648,09	Particular
veh3	Original	2,2	261	645,2	Camión
veh4	Original	3,6	259	645,87	Particular
veh5	Original	5,3	273	647,4	Camión
veh6	Original	3,79	521	645,64	Particular
veh7	Original	3,91	425	644,75	Camión
veh8	Original	3,96	261	646,25	Camión
veh9	Original	5,14	422	646,26	Particular
veh10	Original	3,64	496	647,45	Particular
veh11	Original	0,45	307	644,29	Particular
veh12	Original	2,27	307	645,7	Particular
veh13	Original	4,15	491	644,38	Particular
veh14	Original	3,32	391	645,52	Particular
veh15	Original	0,49	291	644,33	Particular
veh16	Original	5,76	476	649,5	Particular
veh17	Original	2,96	289	646,18	Particular
veh18	Original	4,49	380	647,63	Particular
veh19	Original	3,7	287	646,91	Particular
veh20	Alterna6	7,17	348	2484,99	ParticularAlt
veh21	Alterna6	7,5	350	2481,47	ParticularAlt
veh22	Alterna6	7,33	348	2486,24	ParticularAlt
veh23	Alterna6	1,19	404	2480,79	ParticularAlt
veh24	Alterna6	2,96	404	2480,94	ParticularAlt
veh25	Alterna6	6,28	336	2482,83	ParticularAlt
veh26	Alterna6	3,06	402	2479,98	Camión
veh27	Alterna6b	0,49	216	998,83	Particular
veh28	Alterna6b	2,03	219	999,03	Particular
veh57	Alterna6b	6,95	226	1005,27	Particular

veh58	Alterna6c1	4,64	309	1095,7	Particular
veh59	Alterna6c1	5,2	306	1095,38	Particular
veh60	Alterna6c2	5,21	304	1144,18	Particular
veh61	Alterna6c2	4,2	375	1145,42	Particular
veh62	Alterna6c2	4,57	374	1147,56	Particular
veh63	Alterna6c1	4,9	307	1094,95	Particular

Con los resultados obtenidos se puede apreciar que los vehículos que toman la ruta alterna más larga, cubriendo una gran distancia, demoran un promedio de 370,29 segundos en la simulación para llegar al destino, mientras que los vehículos que toman la ruta original tardan aproximadamente 360,84 segundos. Esto demuestra que esta ruta alterna es una opción a seguir, pero no la más conveniente para este trayecto ya que bajo las condiciones especificadas, el tiempo es mayor. Sin embargo, los tiempos promedio de los vehículos que toman las rutas alternas más cortas son mejores en relación a la ruta original.

Esto se puede verificar al comparar los vehículos 27 y 28 con los vehículos 15, 19, 13 y 18 como se puede observar en la Figura 5.1.6.2. Incluso a pesar de que estos últimos cruzan primero el punto de referencia en la intersección entre la Avenida Amazonas y Río Coca, les toma mucho más tiempo llegar al mismo destino que los vehículos que se desplazan por las rutas alternas. Para un grupo de vehículos que se desplazaron por la ruta (Alterna6b) EL Inca-Coloma-Isla Isabela-Tomas de Berlanga, el tiempo promedio para cubrir la ruta fue de 220,33 segundos dentro de la simulación. Mientras que otro grupo que tomó la ruta (Alterna6c1) El Inca- Yasuní-Isla Isabela-Tomas de Berlanga, tuvo un promedio de 307,33 segundos para el recorrido. La última ruta propuesta (Alterna6c2), la cual es un poco más larga que las anteriores, presentó un promedio de 351 segundos de duración para los autos que tienen el mismo destino.

Esto demuestra que estas rutas pueden ser una solución para lograr descongestionar el tráfico en el sector frente a algún percance inesperado de tránsito.

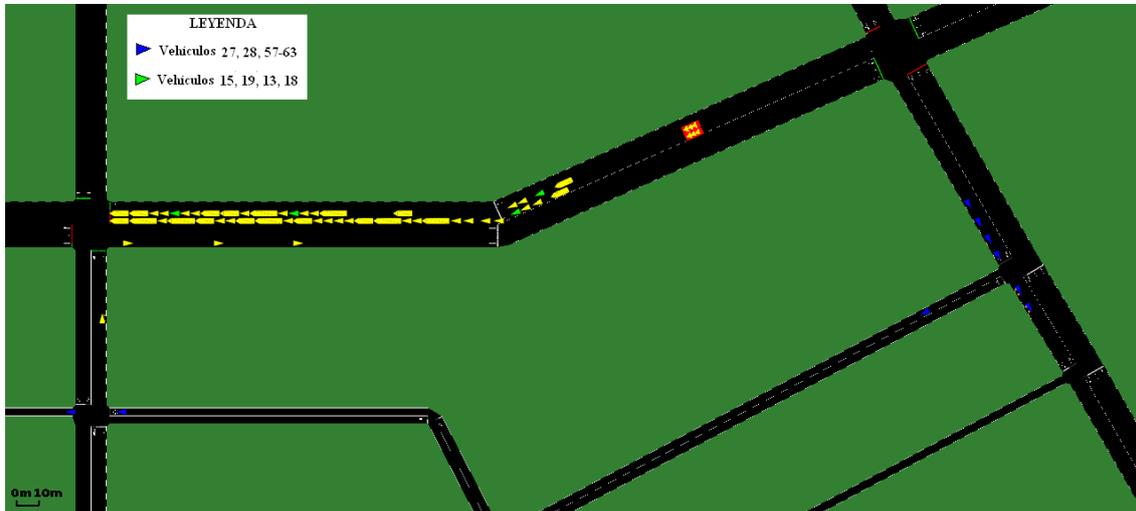


Figura 5.1.7. Caso 6

Para los vehículos que siguieron su camino por las rutas alternas 6b, 6c1 y 6c2, se determinó que su velocidad máxima sea igual a la de los vehículos que se desplazan por la ruta normal, limitando así su movimiento, esto con el propósito de que los vehículos que transitan por las rutas alternas no viajen a una alta velocidad ya que las calles por las cuales recorren son zonas urbanas muy pobladas y estrechas.

Con todos estos parámetros determinados es como se realizó la simulación en este último caso.

5.2 PROTOCOLO DE ENRUTAMIENTO

Para obtener resultados sobre el desempeño de la red VANET y posteriormente analizarlos, se planteó un modelo de tráfico en el cual 2 vehículos se detienen repentinamente durante 3 minutos, simulando una

colisión entre ambos, por lo cual 2 de los 3 carriles de la vía quedan inhabilitados parcialmente, produciéndose así un congestionamiento vehicular. Dentro de este mismo escenario, un vehículo será el encargado de enviar un mensaje de broadcast hacia el resto de autos, informándoles sobre el accidente que se produjo, con el fin de que los vehículos que puedan hacerlo, tomen una ruta alterna hacia su destino evitando de esta manera el congestionamiento vehicular y de igual forma disminuyéndolo ya que menos autos participarían de este inesperado evento.

Esto se puede apreciar en la Figura 5.2.1., donde el auto de color verde será el que transmite el mensaje a los demás vehículos. Los autos azules son los vehículos que optaron por seguir otra ruta hacia su destino final.

Sin embargo, para la simulación se analizará el intercambio de paquetes solo entre el vehículo transmisor y algunos receptores claves, de color gris en la Figura 5.2.1., y de esta forma evaluar el desempeño de la red VANET.



Figura 5.2.1. Modelo de tráfico para el estudio de la red VANET bajo SUMO.

El escenario simulado anteriormente, se lo puede observar de igual forma en el simulador de redes NS-2, como se puede apreciar en la Figura 5.2.2., en

donde el proceso de comunicación ya ha sido establecido entre los vehículos como se mencionó anteriormente.

A continuación se procederá a presentar los resultados obtenidos de la simulación en NS-2. Para comenzar se analizará la información obtenida del archivo trace, el cual a través de la herramienta trconvert permite procesar los resultados en MatLab, dentro del cual ejecutando el programa trgraph, se podrá obtener estos resultados de una forma más visible para el usuario, y a la vez se puede obtener gráficas acerca de los resultados de la simulación realizada.

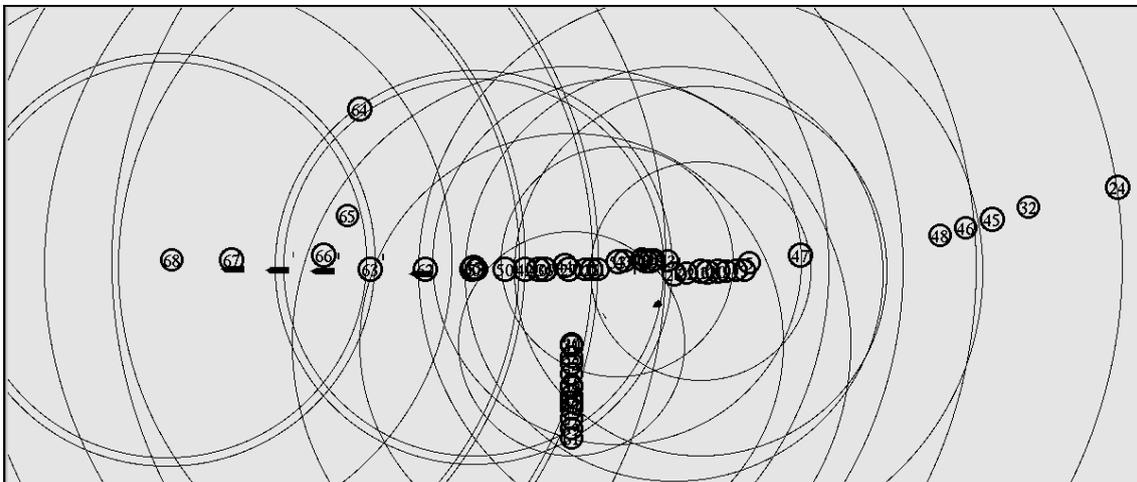


Figura 5.2.2. Modelo de tráfico para el estudio de la red VANET bajo NS-2

Se pretende determinar la fracción de tiempo donde el canal lleva información útil, es decir la tasa a la cual no existe colisión de paquetes en la transmisión.

Con una tasa de transmisión de 64 [kbps], y realizando 8 enlaces dentro de la simulación entre dos transmisores y 8 receptores, esta fracción de tiempo o throughput varió entre los 19,162 [kbps] y 55,134 [kbps] en los enlaces realizados.

A continuación se muestran los resultados de los enlaces realizados en la simulación de una Red VANET dentro del simulador NS-2.

- **Througput en la Simulación. Total Nodos: 69**

$$\text{Tasa de Tx} = \frac{\#bytes\ enviados \times 8bits}{t\ de\ Tx} = \eta$$

$$\eta = \frac{39.130.464[bytes] \times 8[bits]}{60[seg]} = 5.181.599,92[bps] \Rightarrow \text{Throughput}$$

$$Ne = \#bytes\ enviados \times 8bits$$

$$Ne = 39.130.464[bytes] \times 8[bits] = 313.043.712\ bits\ enviados$$

$$r = \frac{paquetes\ perdidos}{paquetes\ enviados}$$

$$r = \frac{7.823}{244.157}$$

$$r = 0,032$$

Throughput Normal:

$$\eta' = \frac{Ne \times (1 - r)}{\tau}$$

$$\eta' = \frac{313.043.712[bits](1 - 0,032)}{60[seg]}$$

$$\eta' = 5.015.788,72[bps]$$

$$\frac{\eta'}{\eta} = (1 - r)$$

$$\frac{5.015.788,72[bps]}{5.181.599,92[bps]} = 1 - 0,032$$

$$0,968 = 0,968$$

- **Nodo Tx: 16 Rx: 22**

$$\text{Tasa de Tx} = \frac{\#bytes\ enviados \times 8bits}{t\ de\ Tx} = \eta$$

$$\eta = \frac{726.500[bytes] \times 8[bits]}{60[seg]} = 96,86[kbps] \Rightarrow \text{Throughput}$$

$$Ne = \#bytes\ enviados \times 8bits$$

$$Ne = 726.500[bytes] \times 8[bits] = 5.812.000\ bits\ enviados$$

$$r = \frac{\text{paquetes perdidos}}{\text{paquetes enviados}}$$

$$r = \frac{8.588}{16.957}$$

$$r = 0,506$$

Throughput Normal:

$$\eta' = \frac{Ne \times (1 - r)}{\tau}$$

$$\eta' = \frac{5.812.000[\text{bits}] \times (1 - 0,506)}{60[\text{seg}]}$$

$$\eta' = 47,852[\text{kbps}]$$

$$\frac{\eta'}{\eta} = (1 - r)$$

$$\frac{47,852[\text{kbps}]}{96,86[\text{kbps}]} = 1 - 0,506$$

$$0,494 = 0,494$$

• **Nodo Tx: 16 Rx: 28**

$$\text{Tasa de Tx} = \frac{\# \text{bytes enviados} \times 8 \text{bits}}{t \text{ de Tx}} = \eta$$

$$\eta = \frac{413.508[\text{bytes}] \times 8[\text{bits}]}{60[\text{seg}]} = 55,134[\text{kbps}] \Rightarrow \text{Throughput}$$

$$Ne = \# \text{bytes enviados} \times 8 \text{bits}$$

$$Ne = 413.508[\text{bytes}] \times 8[\text{bits}] = 3.308.064 \text{bits enviados}$$

$$r = \frac{\text{paquetes perdidos}}{\text{paquetes enviados}}$$

$$r = \frac{0}{4.054}$$

$$r = 0$$

Throughput Normal:

$$\eta' = \frac{Ne \times (1 - r)}{\tau}$$

$$\eta' = \frac{3.308.064[\text{bits}](1 - 0)}{60[\text{seg}]}$$

$$\eta' = 55,134[\text{kbps}]$$

$$\frac{\eta'}{\eta} = (1 - r)$$

$$\frac{55,134[\text{kbps}]}{55,134[\text{kbps}]} = 1 - 0$$

$$1 = 1$$

- **Nodo Tx: 16 Rx: 30**

$$\text{Tasa de Tx} = \frac{\# \text{bytes enviados} \times 8 \text{bits}}{t \text{ de Tx}} = \eta$$

$$\eta = \frac{284.376[\text{bytes}] \times 8[\text{bits}]}{60[\text{seg}]} = 37,917[\text{kbps}] \Rightarrow \text{Throughput}$$

$$Ne = \# \text{bytes enviados} \times 8 \text{bits}$$

$$Ne = 284.376[\text{bytes}] \times 8[\text{bits}] = 2.275.008 \text{bits enviados}$$

$$r = \frac{\text{paquetes perdidos}}{\text{paquetes enviados}}$$

$$r = \frac{0}{2.788}$$

$$r = 0$$

Throughput Normal:

$$\eta' = \frac{Ne \times (1 - r)}{\tau}$$

$$\eta' = \frac{2.275.008[\text{bits}] \times (1 - 0)}{60[\text{seg}]}$$

$$\eta' = 37,917[\text{kbps}]$$

$$\frac{\eta'}{\eta} = (1 - r)$$

$$\frac{37,917[kbps]}{37,917[kbps]} = 1 - 0$$

$$1 = 1$$

- **Nodo Tx: 16 Rx: 53**

$$\text{Tasa de Tx} = \frac{\# \text{ bytes enviados} \times 8 \text{ bits}}{t \text{ de Tx}} = \eta$$

$$\eta = \frac{446.732[\text{bytes}] \times 8[\text{bits}]}{60[\text{seg}]} = 59,564[kbps] \Rightarrow \text{Throughput}$$

$$N_e = \# \text{ bytes enviados} \times 8 \text{ bits}$$

$$N_e = 446.732[\text{bytes}] \times 8[\text{bits}] = 3.573.856 \text{ bits enviados}$$

$$r = \frac{\text{paquetes perdidos}}{\text{paquetes enviados}}$$

$$r = \frac{5.367}{10.425}$$

$$r = 0,515$$

Throughput Normal:

$$\eta' = \frac{N_e \times (1 - r)}{\tau}$$

$$\eta' = \frac{3.573.856[\text{bits}] \times (1 - 0,515)}{60[\text{seg}]}$$

$$\eta' = 28,888[kbps]$$

$$\frac{\eta'}{\eta} = (1 - r)$$

$$\frac{28,888[kbps]}{59,564[kbps]} = 1 - 0,515$$

$$0,485 = 0,485$$

- **Nodo Tx: 16 Rx: 55**

$$\text{Tasa de Tx} = \frac{\# \text{bytes enviados} \times 8 \text{bits}}{t \text{ de Tx}} = \eta$$

$$\eta = \frac{143.718[\text{bytes}] \times 8[\text{bits}]}{60[\text{seg}]} = 19,162[\text{kbps}] \Rightarrow \text{Throughput}$$

$$N_e = \# \text{bytes enviados} \times 8 \text{bits}$$

$$N_e = 143.718[\text{bytes}] \times 8[\text{bits}] = 1.149.744 \text{bits enviados}$$

$$r = \frac{\text{paquetes perdidos}}{\text{paquetes enviados}}$$

$$r = \frac{0}{1409}$$

$$r = 0$$

Throughput Normal:

$$\eta' = \frac{N_e \times (1 - r)}{\tau}$$

$$\eta' = \frac{1.149.744[\text{bits}] \times (1 - 0)}{60[\text{seg}]}$$

$$\eta' = 19,162[\text{kbps}]$$

$$\frac{\eta'}{\eta} = (1 - r)$$

$$\frac{19,162[\text{kbps}]}{19,162[\text{kbps}]} = 1 - 0$$

$$1 = 1$$

- **Nodo Tx: 16 Rx: 64**

$$\text{Tasa de Tx} = \frac{\# \text{bytes enviados} \times 8 \text{bits}}{t \text{ de Tx}} = \eta$$

$$\eta = \frac{203.184[\text{bytes}] \times 8[\text{bits}]}{60[\text{seg}]} = 27,091[\text{kbps}] \Rightarrow \text{Throughput}$$

$$N_e = \# \text{bytes enviados} \times 8 \text{bits}$$

$$N_e = 203.184[\text{bytes}] \times 8[\text{bits}] = 1.625.472 \text{bits enviados}$$

$$r = \frac{\text{paquetes perdidos}}{\text{paquetes enviados}}$$

$$r = \frac{0}{1.992}$$

$$r = 0$$

Throughput Normal:

$$\eta' = \frac{Ne \times (1 - r)}{\tau}$$

$$\eta' = \frac{1.625.472[\text{bits}] \times (1 - 0)}{60[\text{seg}]}$$

$$\eta' = 27,091[\text{kbps}]$$

$$\frac{\eta'}{\eta} = (1 - r)$$

$$\frac{27,091[\text{kbps}]}{27,091[\text{kbps}]} = 1 - 0$$

$$1 = 1$$

• **Nodo Tx: 55 Rx: 64**

$$\text{Tasa de Tx} = \frac{\# \text{bytes enviados} \times 8 \text{bits}}{t \text{ de Tx}} = \eta$$

$$\eta = \frac{236.404[\text{bytes}] \times 8[\text{bits}]}{60[\text{seg}]} = 31,520[\text{kbps}] \Rightarrow \text{Throughput}$$

$$Ne = \# \text{bytes enviados} \times 8 \text{bits}$$

$$Ne = 236.404[\text{bytes}] \times 8[\text{bits}] = 1.891.232 \text{bits enviados}$$

$$r = \frac{\text{paquetes perdidos}}{\text{paquetes enviados}}$$

$$r = \frac{0}{3.355}$$

$$r = 0$$

Throughput Normal:

$$\eta' = \frac{Ne \times (1 - r)}{\tau}$$

$$\eta' = \frac{1.891.232[\text{bits}] \times (1 - 0)}{60[\text{seg}]}$$

$$\eta' = 31,520[\text{kbps}]$$

$$\frac{\eta'}{\eta} = (1 - r)$$

$$\frac{31,520[\text{kbps}]}{31,520[\text{kbps}]} = 1 - 0$$

$$1 = 1$$

- **Nodo Tx: 55 Rx: 68**

$$\text{Tasa de Tx} = \frac{\# \text{bytes enviados} \times 8 \text{bits}}{t \text{ de Tx}} = \eta$$

$$\eta = \frac{1.208.190[\text{bytes}] \times 8[\text{bits}]}{60[\text{seg}]} = 161,092[\text{kbps}] \Rightarrow \text{Throughput}$$

$$Ne = \# \text{bytes enviados} \times 8 \text{bits}$$

$$Ne = 1.208.190[\text{bytes}] \times 8[\text{bits}] = 9.665.520 \text{bits enviados}$$

$$r = \frac{\text{paquetes perdidos}}{\text{paquetes enviados}}$$

$$r = \frac{0}{11.845}$$

$$r = 0$$

Throughput Normal:

$$\eta' = \frac{Ne \times (1 - r)}{\tau}$$

$$\eta' = \frac{9.665.520[\text{bits}] \times (1 - 0)}{60[\text{seg}]}$$

$$\eta' = 161,092[\text{kbps}]$$

$$\frac{\eta'}{\eta} = (1 - r)$$
$$\frac{161,092[kbps]}{161,092[kbps]} = 1 - 0$$
$$1 = 1$$

Al tener una tasa de transmisión de 64 kbps se debe esperar que para cada enlace entre el nodo transmisor y el nodo receptor, el throughput normal se encuentre cerca a este valor, esto determinará que implementar un sistema de comunicación dentro del sector analizado puede ser válido y eficiente, si dentro del sistema de comunicación no se generan grandes retardos o pérdida de paquetes.

Si aumentan el número de enlaces dentro del sistema, las condiciones varían, ya que habría una mayor cantidad de información transmitiéndose con lo cual el canal empezaría a saturarse produciéndose caída de paquetes y disminución del throughput en los distintos enlaces establecidos.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez concluido el trabajo se presentará a continuación las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron a lo largo del estudio realizado.

6.1. CONCLUSIONES

1. Las redes VANET, son redes que tienen como función el intercambio de información entre vehículos en tiempo real con el fin de brindar seguridad e información a usuarios acerca de posibles problemas de tránsito dentro del sector en el que se encuentran.
2. El tramo analizado dispone de varias rutas alternas tanto para vehículos que se dirigen de norte a sur como viceversa, esto quiere decir que es posible implementar una red VANET dentro del sector analizado con el propósito de mejorar la circulación vehicular del sector.
3. Un servicio entre Infraestructura-Auto, puede ser beneficioso para los distintos locales comerciales por la alta demanda de vehículos que circulan por el sector.

4. Las redes VANET necesitan de protocolos de enrutamiento reactivos como AODV, ya que la topología de red se encuentra en constante cambio por lo que se requiere de protocolos dinámicos que logren descubrir las rutas entre los nodos solo cuando se lo necesite.
5. Existe la necesidad de desarrollar nuevos protocolos de enrutamiento como DYMO, con el propósito de lograr mejorar el proceso de descubrimiento de rutas entre nodos para establecer una mejor y más acertada comunicación entre nodos.
6. Establecer normas de seguridad para la comunicación entre nodos es un punto muy importante a ser tomado en cuenta, con el fin de que la información transmitida entre usuarios provenga de fuentes fiables y no de cualquier usuario que pueda intervenir la transmisión.
7. Para establecer servicios basados en portales como Internet es necesario implementar QoS, de esta manera se puede ofrecer mayores y mejores servicios en las aplicaciones para una red VANET.
8. Para los vehículos que transitan de sur a norte dentro del sector analizado, se determina a las rutas alternas 3 y 4 como las mejor vías de descongestionamiento vehicular, debido al ahorro en tiempo que brindan a pesar de la distancia que cubren.
9. Para los vehículos que transitan de norte a sur dentro del sector analizado, se determina a la ruta alterna 5 como la mejor vía de descongestionamiento vehicular si el problema se suscita en un tramo entre la terminal del aeropuerto y el Puente Del Labrador.
10. La ruta alterna 6b es una ruta muy óptima para descongestionar el caos vehicular en un tramo comprendido entre la Avenida El Inca y Tomás de Berlanga, por la cual puede transitar una gran cantidad de vehículos, sin embargo si existiera una mayor demanda, la ruta alterna 6 puede ser de

gran ayuda debido a que utiliza avenidas y calles con más carriles para transitar.

11. Por el momento los simuladores de redes VANET de libre distribución como SUMO y NS-2, no permiten la inclusión de infraestructuras dentro de las simulaciones lo cual no permite obtener resultados más reales y por tanto se obtiene aproximaciones reales del desempeño de este tipo de red.
12. Existen varias organizaciones como Global System of Telematics [22], que en conjunto a casas automotrices como la BMW, se encuentran desarrollando este tipo de tecnología con el propósito de implementarlas en un futuro próximo en los navegadores GPS de los vehículos que se comercializan a nivel mundial.
13. Si un gran número de vehículos participan en la red VANET al mismo tiempo, el desempeño de la red disminuirá acorde a la cantidad de nodos que intervengan, es por eso que se debe implementar un protocolo de enrutamiento que permita una mejor fiabilidad en el sistema.

6.2. RECOMENDACIONES

1. Para las simulaciones de redes VANET, tratar de manejar simuladores que permitan la inclusión de infraestructuras como edificios y casas, ya que por el momento no se lo puede hacer en los simuladores de libre distribución.
2. Para generar el archivo trace dentro del programa TraNS, es necesario que dentro de la simulación de tráfico realizada no existan mensajes de advertencia en la compilación de la simulación ya que si existirán, no se generará el archivo trace a pesar de que la simulación en SUMO se ejecute.

3. Los archivos con extensión .tr, que se generan luego de compilar la simulación en el Network Simulator 2, no deben tener los intervalos de tiempo en los cuales no se realice el intercambio de información entre nodos, ya que si se genera esta información de más, no se creará el archivo utilizando la herramienta *trace convert*, el cual permite visualizar los resultados en MatLab. Por lo cual es necesario borrar esta información adicional.

4. Investigar continuamente acerca de las redes VANET, con el fin de conocer acerca de las nuevas aplicaciones o implementaciones que se van creando día a día, ya que esta es una tecnología que no ha sido desarrollada en su totalidad y que irá evolucionando a lo largo del tiempo con el propósito de mejorar la seguridad en las vías y de preservar más vidas.