

# **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TÍTULO:**

**“DISEÑO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN VEHICULAR INTELIGENTE,  
INTEGRANDO LA TECNOLOGÍA AD-HOC CON LTE, PARA LA MOVILIDAD EN LA  
ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE CUENCA.”**

**AUTORES:**

**AUCANCELA PALAGUACHI DIANA ALEXANDRA**

**ESPINOZA TENEMPAGUAY EFRÉN ESTUARDO**

**DIRECTOR:**

**ING. ÁNGEL FERNANDO SOTO SARANGO**

**CUENCA, MARZO DE 2015**

Ing. Ángel Soto S.  
**Director de Tesis.**

### **CERTIFICA**

Que el trabajo titulado “Diseño de una red Vehicular Inteligente, Integrando la tecnología AD-HOC con LTE para la movilidad en la zona urbana de la ciudad de Cuenca.”, realizado por Diana Alexandra Aucancela Palaguachi y Efrén Estuardo Espinoza Tenempaguay cumple con todos los objetivos trazados.

Cuenca, Marzo del 2015

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ángel Soto', with a horizontal line drawn through the signature.

Ing. Angel Soto  
**DIRECTOR DE TESIS**

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros Diana Alexandra Aucancela Palaguachi y Efrén Estuardo Espinoza Tenempaguay autores del presente trabajo de Tesis titulado, **“DISEÑO DE UNA RED DE COMUNICACIÓN VEHICULAR INTELIGENTE, INTEGRANDO LA TECNOLOGÍA AD-HOC CON LTE, PARA LA MOVILIDAD EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE CUENCA.”**

Declaramos que:

Los conceptos desarrollados, análisis realizados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los Autores. A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Cuenca, Marzo de 2015.



Diana Aucancela P.



Efrén Espinoza T.

## *AGRADECIMIENTO*

---

A Dios, mis padres, hermanas, esposo e hija, a mi tutor y a mi compañero de tesis; a mi padre por impulsarme día a día a salir adelante por brindarme su apoyo económico y moral, para cuando quería rendirme él estaba allí para impulsarme; a mi madre que con su amor y ternura hizo de mí una mujer fuerte y destruir cualquier barrera para alcanzar mis metas; mi esposo con su amor y su comprensión hizo de este camino más corto; mi hija esa carita del amor de Dios que hizo que cada día me motive más, para culminar y alcanzar este sueño tan anhelado; a mi tutor que sus conocimientos y apoyo nos permitió culminar con este trabajo de investigación y a mi compañero que apoyándonos conjuntamente logramos terminar este trabajo, vale mencionar que sirvieron los conocimientos, la amistad y todas las energías puestas en este trabajo.

Diana

## *AGRADECIMIENTO*

---

El compañerismo y sumado a la amistad, redefine este agradecimiento al Ing. Ángel Soto, tutor de la tesis, quien con sus sabios consejos y lineamientos nos acompañó hasta la finalización de nuestro trabajo. Agradecimiento de corazón para mi amiga Dianita, compañera de tesis, gestora y amiga de este sueño.

Efrén

## *DEDICATORIA*

---

A mis padres, hermanas, esposo e hija; a mis padres quien me apoyaron a alcanzar este sueño tan anhelado, sueño tanto de ellos como mío; a mis hermanas que son la fuente de amor puro y han estado conmigo durante mi vida universitaria, a mi esposo por formar parte de mi vida y a mi hija porque ella fue el impulso mayor para terminar con este trabajo. Ahora sé que el esfuerzo que hice es recompensado.

Diana.

## *DEDICATORIA*

---

La consecución de los sueños es la máxima expresión de los deseos, dedicar un trabajo arduo a los actores principales, que han hecho posible la culminación de dicha tarea, en primera instancia agradezco a Dios, quien con su poder Omnipotente, es el primordial eje de bendición y protección, agradecer a la mujer, a la amiga, compañera a mi Mamá María, prueba viviente de superación, amor, responsabilidad que sin escatimar esfuerzos es mi fuente de inspiración, quien me hizo y quien me hace un hombre de bien. Dedicar este trabajo arduo a mi mamita Celina un ángel del cielo que por mi vela, a mi ñañita Gladys y mi papi Víctor que son la parte primordial de mi alegría, mis logros y mis éxitos.

Efrén.

## RESUMEN

La gran cantidad de personas que usan las carreteras para trasladarse de un destino a otro actualmente ha crecido ya sea en vehículos propios, transporte provincial e incluso en los transportes de carga, abarcando en sí todos los transportes terrestres públicos y privados; la infraestructura terrestre, la situación climatológica, la velocidad con la que los conductores transitan, la irregularidad de las carreteras, etc., son algunos de los inconvenientes que se presentan al momento de conducir y han sido en ocasiones el motivo para provocar accidentes de tránsito en las vías poniendo en riesgo la vida de conductores y el peatón.

En el Ecuador son escasos los estudios realizados de comunicación vehicular, siendo un campo muy importante actualmente ya que permitiría preservar la vida de la ciudadanía, esta falta de seguridad en las carreteras es la motivación para realizar el Diseño de una red de comunicación vehicular inteligente integrando la tecnología Ad-Hoc con LTE para la movilidad vehicular en la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

Las redes Ad-Hoc con su estándar en VANET IEEE 802.11p permite tener un entorno vehicular donde los vehículos son los nodos, el inconveniente que presenta esta tecnología es que cuando aumenta significativamente el tamaño de la red y la frecuencia de transmisión en una zona disminuye su rendimiento, existiendo pérdidas de paquetes en la transmisión, por esta razón se analiza la posibilidad de integrar VANET IEEE 802.11p con WAVE LTE, ya que la tecnología LTE al momento que aumenta el tamaño de la red y la frecuencia de transmisión lo que presenta es retardo en el envío de paquetes, pero ese retardo es mínimo ya que cumple los requisitos de retardo permitido para todo tipo de aplicaciones vehiculares.

Se desarrolló simulaciones para demostrar esta integración utilizando la herramienta de movilidad SUMO, NS2, MOVE y NS3 para poder sustentar por qué se desea realizar la integración de las dos tecnologías.

## INDICE

INDICE DE FIGURAS .....	4
INDICE DE TABLAS .....	7
CAPÍTULO 1 .....	8
SEGURIDAD VIAL EN LA CIUDAD DE CUENCA .....	8
1.1 ESTADÍSTICA DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN LAS VÍAS .....	8
1.1.1 ESTADÍSTICAS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE CUENCA.....	5
1.2 ESTRUCTURA DE LA SEGURIDAD VIAL.....	9
1.2.1 JUSTICIA Y SEGURIDAD CIUDADANA. ....	9
1.3 INFRAESTRUCTURA VIAL TERRESTRE DE LA CIUDAD DE CUENCA ..	11
1.3.1 INFRAESTRUCTURA VIAL TERRESTRE.....	11
1.3.2 MOVILIDAD DE LA CIUDAD DE CUENCA. ....	13
1.4 INSTITUCIONES INCLUIDAS EN SEGURIDAD VIAL .....	15
CAPÍTULO 2.....	19
ESTUDIO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA AD-HOC Y LONG TERM EVOLUTION (LTE).....	19
2.1. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA AD-HOC .....	20
2.2 REDES MOBILE AD-HOC NETWORK (MANET).....	22
2.3 REDES VANET.....	23
2.4 CARACTERISTICAS DE LAS REDES VANET .....	24
2.5 ARQUITECTURA DE UNA RED VANET .....	27
2.5.1 DOMINIO IN-VEHICLE. ....	28
2.5.2 DOMINIO AD-HOC. ....	29
2.5.1 DOMINIO INFRA-STRUCTURE. ....	30
2.6 PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS REDES VANET.....	31
2.6.1 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN PARA REDES VANET .....	32
2.6.2 PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO PARA REDES VANET .....	32
2.7 INTRODUCCION A LA TECNOLOGIA LTE.....	36
2.9 ESTANDARIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA LTE.....	37
2.10 ARQUITECTURA DE LTE.....	39
2.10.1 DOMINIO DE SERVICIOS.....	41
2.10.2 ENVOLVED PACKET SYSTEM (EPS) .....	42

2.10.3 EVOLVED UNIVERSAL TERRESTRIAL RADIO ACCESS NETWORK (E-UTRAN) .....	49
2.10.4 USER EQUIPMENT (UE) .....	52
2.11 MARCO COMPARATIVO DE LA TECNOLOGÍA AD-HOC Y LTE .....	54
CAPÍTULO 3 .....	58
DISEÑO DE LA RED DE COMUNICACIÓN VEHICULAR INTELIGENTE EN LA CIUDAD DE CUENCA .....	58
3.1 INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA AD-HOC Y LTE PARA LA RED DE COMUNICACIÓN VEHICULAR INTELIGENTE .....	59
3.1.1 ARQUITECTURA HETEROGÉNEA INTEGRANDO LTE Y AD-HOC VANETS .....	60
3.2 ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA RED DE COMUNICACIÓN VEHICULAR INTELIGENTE .....	61
3.2.1 CENTRAL DE CONTROL DE TRÁFICO VEHICULAR .....	62
3.2.2 RED HETEROGÉNEA VANET-LTE.....	63
3.2.4 EQUIPO DE USUARIO.....	70
3.3 ANÁLISIS DE ESCENARIO CON UTILIZACIÓN DE SUMO Y NS3 .....	71
3.3.1. HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN.....	71
3.3.2. SIMULACION DEL ESCENARIO INTEGRANDO VANET Y LTE .....	73
CAPÍTULO 4.....	86
ANÁLISIS ECONÓMICO Y DE FACTIBILIDAD .....	86
4.1 BENEFICIOS DE LA RED DE COMUNICACIÓN VEHICULAR INTELIGENTE EN LA CIUDAD DE CUENCA INTEGRANDO LA TECNOLOGÍA AD-HOC Y LTE. ....	86
4.2 EQUIPOS PARA LA RED DE COMUNICACIÓN VEHICULAR INTELIGENTE. ....	88
4.2.1 ESTACIÓN BASE ENB .....	88
4.2.2 INTEGRACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS LTE Y VANET.....	88
4.2.3 ANCHO DE BANDA PARA EL DESPLIEGUE DE LA RED VEHICULAR ....	89
4.2.4 EQUIPO DE CENTRAL DE CONTROL DE TRÁFICO VEHICULAR .....	89
4.2.5 GAMA DE SMARTPHONES Y TABLES DE DISTINTAS OPERADORAS ....	89
4.3 ANALISIS ECONOMICO .....	90
4.4 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD .....	93
CAPITULO 5 .....	96
5.1 CONCLUSIONES .....	96
5.2 RECOMENDACIONES .....	97

BIBLIOGRAFÍA .....	98
ANEXO 1 .....	100
MANUAL DE CONFIGURACION DE VM-WARE, UBUNTU 12.04 LTS, SUMO, MOVE, NS2, NS3 CON LENA (LTE), PARA LA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE MOVILIDAD VANET. ....	100

## INDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Siniestros por Regiones en el año 2012 y 2013, Fuente: (2).....	1
Fig. 2 Provincias con alto índice de siniestros de 2012, Fuente: Autores.....	2
Fig. 3 Provincia con alto índice de siniestros del 2013, Fuente: Autores .....	3
Fig. 4 Siniestros por Provincia de Enero - Abril del 2014, Fuente: Autores .....	4
Fig. 5 Siniestros del Año 2012 y 2013 de la Provincia del Azuay, Fuente: Autores .....	6
Fig. 6 Representación gráfica de la Tabla 8, Fuente: Autores.....	7
Fig. 7 Sistema Integral de Seguridad, Fuente: (3) .....	9
Fig. 8 Justicia y Seguridad Ciudadana, Fuente: (3).....	10
Fig. 9 Distribución de la Red Vial de la Provincia del Azuay, Fuente: Autores.....	11
Fig. 10 Red Vial de la Provincia del Azuay, Fuente: (4) .....	12
Fig. 11 Red Vial Cantonal de Cuenca, Fuente: (4).....	13
Fig. 12 Flujo Vehicular En una calle central de la Ciudad de Cuenca, Fuente: (6) .....	15
Fig. 13 Estructura del Sistema de Seguridad Pública y del Estado, Fuente: (3).....	16
Fig. 14 Vinculación de EMOV EP con la Municipalidad, Fuente: (4).....	18
Fig. 15 Red Ad-Hoc, Fuente: (10).....	20
Fig. 16 Comunicación entre 2 nodos mediante red Ad-Hoc, Fuente: Autores .....	21
Fig. 17 Móvil ad-hoc Network constituida por 3células, Fuente: (15).....	22
Fig. 18 Topología Dinámica de una red VANET, Fuente: (17).....	24
Fig. 19 Escenario VANET, Fuente: (18) .....	25
Fig. 20 Representación General de los Elementos de una VANET, Fuente: (16) .....	28
Fig. 21 Arquitectura General del Sistema, Fuente: (20) .....	30
Fig. 22 Arquitectura VANET, Fuente: (19) .....	31
Fig. 23 Transmisión Broadcast de RREQ, Fuente: (15) .....	34
Fig. 24 Transmision Unicast de RREP, Fuente: (15) .....	34
Fig. 25 Releases del 3GPP, Fuente: (24).....	38
Fig. 26 Velocidades para enlace descendente y ascendente de HSPA y LTE, Fuente: (24) 39	
Fig. 27 Diseño de la Arquitectura LTE, Fuente: (25) .....	40
Fig. 28 Interfaces Definidas Para la S-GW, Fuente: (21) .....	44
Fig. 29 Funciones principales y las conexiones del MME, Fuente: (25).....	44
Fig. 30 Interfaces definidas para MME, Fuente: (22).....	45
Fig. 31 Conexiones del PG-W y funciones principales, Fuente: (25). .....	47
Fig. 32 Interfaces definidas para P-GW y PCRF, Fuente: (21).....	48
Fig. 33 Arquitectura LTE con E-UTRAN, Fuente: (24).....	50
Fig. 34 Conexiones del eNB con otros nodos lógicos y sus principales funciones, Fuente: (25).....	50
Fig. 35 Estados de Conexión del UE, Fuente: (25) .....	53
Fig. 36 Arquitectura Integrada VANET-LTE, Fuente: (Autores) .....	60
Fig. 37 Central de Control de Tráfico Vehicular, Fuente: (5).....	62
Fig. 38 Realización de small cells o clusterización, Fuente: (27) .....	65
Fig. 39 Arquitectura de Red Integrando IEEE 802.11p y LTE, Fuente: (Autores) .....	65
Fig. 40 Escenario de Simulación del Diseño de la Red Vehicular, Fuente: (Autores).....	67
Fig. 41 Estados de los nodos usando VMASC, Fuente: (Autores).....	68
Fig. 42 Clusterización de la infraestructura vial, Fuente: (autores).....	69
Fig. 43 Equipo de usuario apto para aplicaciones de ITS, Fuente: (28) .....	70
Fig. 44 Entorno de Sumo, Fuente: (Autores) .....	71

Fig. 45 Herramienta MOVE para generar el Archivo de SUMO, Fuente: (Autores).....	73
Fig. 46 Escenario exportado de la Universidad Politécnica Salesiana, Fuente: (Autores) ..	75
Fig. 47 Escenario de Simulación creada en Sumo, Fuente: (Autores).....	75
Fig. 48 Simulación del escenario en SUMO, Fuente: (Autores) .....	76
Fig. 49 Escenario Completo de VANET durante la simulación, Fuente: (Autores) .....	77
Fig. 50 Resultados de VANET, Fuente: (Autores).....	78
Fig. 51 Comportamiento de los nodos cuando aumenta el tráfico, Fuente: (Autores) .....	79
Fig. 52 Comportamiento de los paquetes cuando aumenta el tráfico, Fuente: (Autores) ....	79
Fig. 53. Nodos ubicados en cada intersección, Fuente (Autores).....	81
Fig. 54 Red con 6 nodos a 10 m, Fuente: (Autores) .....	82
Fig. 55 Diseño de red con 6 nodos a 50 m, Fuente: (Autores).....	82
Fig. 56 Diseño de Red con 6 nodos a 100 m, Fuente: (Autores).....	83
Fig. 57 Diseño de Red con 6 nodos a 200 m, Fuente: (Autores).....	83
Fig. 58 Entorno de VMWare 10 .....	100
Fig. 59 Configuración de VMWare. ....	101
Fig. 60 Imagen ISO UBUNTU 12.04. Fuente (Autores) .....	101
Fig. 61 Instalación de la maquina virtual. Fuente (Autores) .....	101
Fig. 62. Datos para el sistema GNU .....	102
Fig. 63. Característica de Capacidad de la maquina virtual. Fuente (Autores).....	102
Fig. 64. Imagen final de las Características de la maquina virtual. ....	102
Fig. 65. Ventana de ejecución de la maquina virtual Fuente (Autores).....	103
Fig. 66. Ventana Del Escritorio de Ubuntu Fuente (Autores).....	103
Fig. 67. Ventana de la Consola de Ubuntu.....	103
Fig. 68. Ventana se SUMO. Fuente (Autores) .....	105
Fig. 69. Inicio de Simulación para VANET .....	105
Fig. 70. Interfaz para Movilidad Vehicular Fuente(Autores).....	106
Fig. 71. Características del Mapa de Nodos Fuente (Autores).....	106
Fig. 72. Ventana para Guardar. Fuente (Autores) .....	106
Fig. 73. Descripción de los nodos.....	107
Fig. 74. Ventana para guardar el archivo .xml Fuente (Autores) .....	107
Fig. 75. Configuración del mapa con los archivos .nod .xml y edg.xml .....	107
Fig. 76. Generando el map. Fuente (Autores) .....	108
Fig. 77. Generación de flujos. Fuente (Autores) .....	108
Fig. 78 Ventana de Guarda el tráfico. Fuente (Autores).....	108
Fig. 79. Descripción del cruce de vías. Fuente (Autores) .....	109
Fig. 80. Ventana de guardar la descripción del tráfico. ....	109
Fig. 81. Generación de rutas automáticas de los vehículos. Fuente (Autores).....	109
Fig. 82. Generación de la Simulación del Trafico. Fuente (Autores).....	110
Fig. 83. Ventana para guardar el .sumo.cfg. Fuente (Autores) .....	110
Fig. 84. Simulación del tráfico en sumo. Fuente (Autores) .....	110
Fig. 85. Decisión Automática de los vehículos para las rutas. Fuente (Autores).....	111
Fig. 86. Resultados de Simulación. Fuente (Autores) .....	111
Fig. 87. Generación del trafico en trafic model. ....	111
Fig. 88. Generación de la estructura NS2. Fuente (Autores) .....	111
Fig. 89. Exportación de los datos de SUMO para generar la red VANET. Fuente (Autores) .....	112
Fig. 90.Respuesta de NS3. Fuente (Autores) .....	115

Fig. 91. Respuesta correcta de NS3. Fuente (Autores) .....	115
Fig. 92. Resultado Final de la Simulación. ....	120

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Siniestros por Región en el año 2012, Fuente: (2).....	1
Tabla 2 Índices por provincia T. L: Total de Lesionados, T. F: Total de Fallecidos, Fuente: (2).....	2
Tabla 3 Siniestros Región Costa Enero-Abril 2014, Fuente: (2).....	3
Tabla 4 Siniestros Región Sierra Enero - Abril 2014, Fuente: (2) .....	4
Tabla 5 Siniestros Región Oriente e Insular Enero-Abril del 2014, Fuente: (2).....	4
Tabla 6 Siniestros 2013 y 2014 en el Ecuador, Fuente: Informe Anual de la ANT .....	5
Tabla 7 Siniestros de la Provincia del Azuay, Fuente: (2).....	6
Tabla 8 Accidentes de tránsito por clase de vía en la Ciudad de Cuenca, años: 2011, 2012 y 2013, Fuente: Autores en base a datos de la Fiscalía del Azuay. ....	7
Tabla 9 Accidentes de Tránsito por Calle en la Ciudad de Cuenca, Fuente Autores en base a datos de la Fiscalía del Azuay .....	9
Tabla 10 Red Vial Provincial del Azuay, Fuente: (4).....	11
Tabla 11 Flujo de movilidad de personas en transporte público y privado, Fuente: (5; 6)....	14
Tabla 12 Características de redes Ad-Hoc, Fuente: (Autores) .....	55
Tabla 13 Característica de LTE, Fuente (Autores).....	56
Tabla 14 Características para Integrar IEEE 802.11p y LTE, Fuente: (Autores).....	57
Tabla 15 Parámetros para Simulación con NS3, Fuente: (Autores) .....	74
Tabla 16. Especificaciones de los nodos, Fuente: (Autores).....	76
Tabla 17 Parámetros para la simulación de VANET en SUMO, Fuente: (Autores) .....	77
Tabla 18. Análisis de pérdidas de paquetes por el CH, Fuente: (Autores) .....	84
Tabla 19. Oferta Técnica Económica Para Desarrollar una Red Vehicular Inteligente en la Ciudad de Cuenca, Fuente: (Autores).....	91
Tabla 20. Ingresos por año de aplicación vendida, Fuente: (Autores).....	92
Tabla 21. Ingresos y costos para 5 años, Fuente (Autores).....	94
Tabla 22 Valores de TIR y VAN, Fuente (Autores).....	94

## CAPÍTULO 1

### SEGURIDAD VIAL EN LA CIUDAD DE CUENCA

En la actualidad, el crecimiento acelerado de la demanda de transporte terrestre ha ocasionado que las infraestructuras existentes en las diferentes ciudades de nuestro país no tenga la capacidad de abarcar el gran número de transporte terrestre especialmente en el área urbana, presentando una gran serie de factores en contra de la población, como es: accidentes, congestionamiento, demoras y problemas ambientales.

En esta sección analizamos los factores que ocasionan el incremento del transporte en el Ecuador enfocado a la ciudad de Cuenca, comenzamos con el análisis de los accidentes de tránsito vial en los años 2012, 2013 y lo que va del año 2014 (con corte en abril), determinaremos como está estructurada la seguridad, la infraestructura y las instituciones encargadas de la vialidad enfocada en la parte urbana de la ciudad de Cuenca.

#### 1.1 ESTADÍSTICA DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN LAS VÍAS

En nuestro país el índice de accidentes de tránsito en las vías no es tan solo un número, estos sucesos eventuales, fortuitos, involuntarios ocurren en las vías, lugares públicos y privados abiertos al tránsito vehicular y peatonal, ocasionando pérdidas humanas, lesionados, heridos y daños materiales en vehículos, vías e infraestructura. El Ecuador ocupa el segundo lugar en mortalidad por accidentes de tránsito en América Latina, con una tasa de 28 muertes por cada 100.000 habitantes [1].

El reporte que presenta la AGENCIA NACIONAL DE TRANSITO (ANT), informa la cantidad de siniestros en el Ecuador durante el año 2012 y 2013 por provincia, [2]

Siniestros por Región en el año 2012		Siniestros por Región en el año 2013	
<b>Costa</b>	12624	<b>Costa</b>	14975
<b>Sierra</b>	6703	<b>Sierra</b>	12004
<b>Oriente</b>	1016	<b>Oriente</b>	1181
<b>Insular</b>	24	<b>Insular</b>	9
<b>Total</b>	20367	<b>Total</b>	28169

Tabla 1 Siniestros por Región en el año 2012, Fuente: [2].

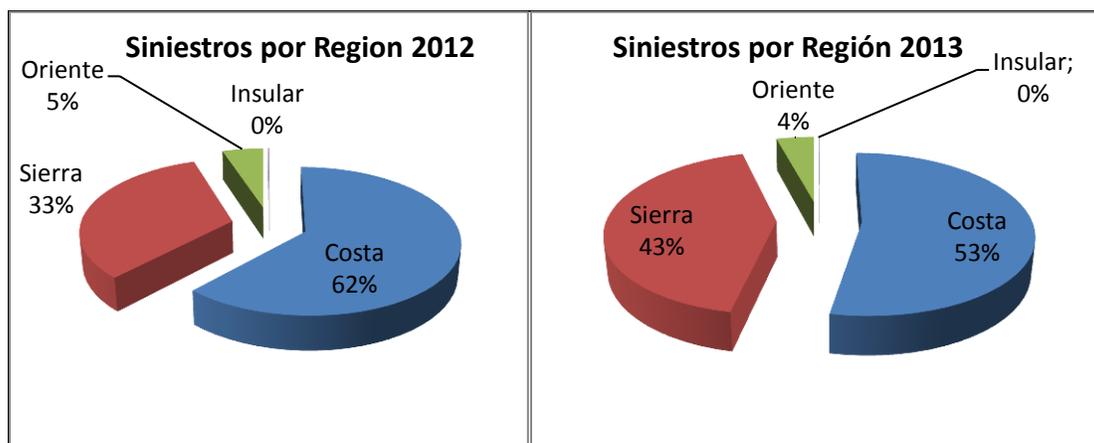


Fig. 1 Siniestros por Regiones en el año 2012 y 2013, Fuente: [2]

Los datos de siniestros obtenidos de la ANT se cuantificaron para representarlos por regiones y analizar el porcentaje por región, como observamos en la Fig. 1, en el año 2012 en la región Costa se dio el 62% de siniestros mientras que para el 2013 redujo al 53%, sin embargo, en la región Sierra se puede observar que existe un incremento, así, en el año 2012 fueron de 33% y para el 2013 incremento a 43%, en la región Oriente y Galápagos podemos observar que disminuye un 1% y se mantiene respectivamente. [2]

PROVINCIAS CON MAYOR INDICE DE ACCIDENTES EN EL 2012			
PROVINCIA	T. L	T. F	Total
GUAYAS	6089	530	9048
MANABI	1194	142	1151
AZUAY	770	77	1033
LOS RIOS	846	192	993
TUNGURAHUA	619	109	982
S. D. TSACHILAS	1032	97	838
IMBABURA	590	99	757
LOJA	399	33	744
CHIMBORAZO	657	93	633
EL ORO	470	95	629
COTOPAXI	493	110	516
PICHINCHA	556	89	477

PROVINCIAS CON MAYOR INDICE DE SINIESTROS EN EL 2013			
PROVINCIA	T. L	T. F	T.
GUAYAS	7879	594	10385
PICHINCHA	4244	301	5531
MANABI	1468	171	1398
LOS RIOS	1029	164	1137
AZUAY	736	53	1008
EL ORO	864	106	995
TUNGURAHUA	737	68	979
LOJA	453	53	864
IMBABURA	560	71	807
S. D. TSACHILAS	914	110	731
SANTA ELENA	691	37	709
COTOPAXI	440	149	685
CHIMBORAZO	556	82	680
OTROS			

Tabla 2 Índices por provincia T. L: Total de Lesionados, T. F: Total de Fallecidos, Fuente: [2]

En la Tabla 2 por capacidad de análisis representamos las provincias que tienen una muestra mayor a 500 siniestros que fueron expuestos en la Fig. 2 y Fig. 3.



Fig. 2 Provincias con alto índice de siniestros de 2012, Fuente: Autores



Fig. 3 Provincia con alto índice de siniestros del 2013, Fuente: Autores

Según la Fig. 2 y Fig. 3 de los siniestros en el año 2012 y 2013 respectivamente analizamos los porcentajes y podemos observar que el índice de los siniestros presenta un incremento en la mayoría de las provincias a pesar de la modificación de las leyes de tránsito de la ANT.

En el año 2014 (con corte al mes de Abril) la ANT del Ecuador presentó los datos de siniestros en las diferentes provincias, los mismos que están representados en la Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5 contabilizadas por regiones.

<i>COSTA</i>	<i>ENERO</i>	<i>FEBREO</i>	<i>MARZO</i>	<i>ABRIL</i>	<i>TOTAL</i>
<b>ESMERALDA</b>	28	32	43	24	127
<b>SANTA ELENA</b>	44	48	98	73	263
<b>EL ORO</b>	76	72	86	93	327
<b>LOS RIOS</b>	112	89	131	128	460
<b>MANABI</b>	163	135	174	152	624
<b>GUAYAS</b>	873	851	915	894	3533

Tabla 3 Siniestros Región Costa Enero-Abril 2014, Fuente: [2]

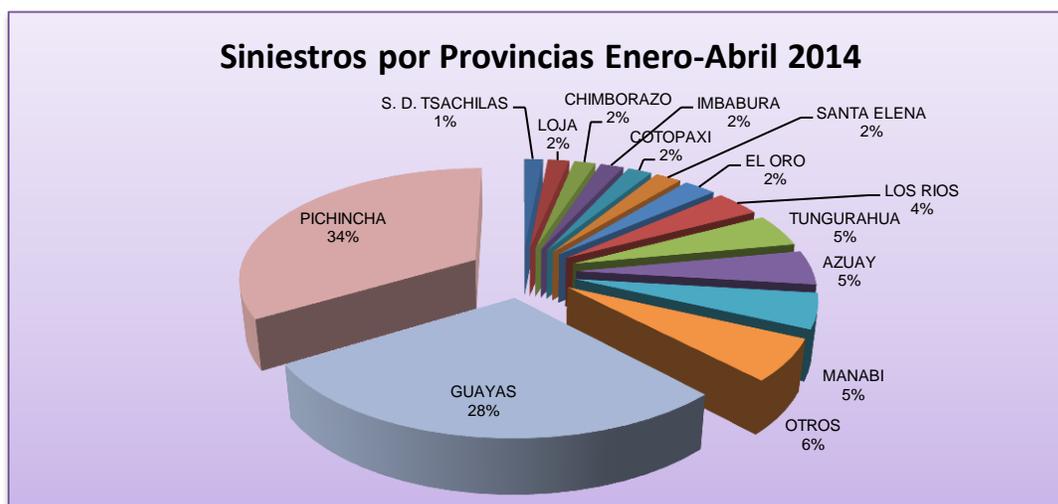
<i>SIERRA</i>	<i>ENERO</i>	<i>FEBRERO</i>	<i>MARZO</i>	<i>ABRIL</i>	<i>TOTAL</i>
<b>BOLIVAR</b>	6	14	25	14	59
<b>CARCHI</b>	15	15	17	13	60
<b>CAÑAR</b>	38	31	27	33	129
<b>LOJA</b>	51	58	52	55	216
<b>COTOPAXI</b>	55	52	85	48	240
<b>S. D.</b>	56	44	44	44	188
<b>TSACHILAS</b>					
<b>IMBABURA</b>	58	55	63	60	236
<b>CHIMBORAZO</b>	64	45	59	49	217
<b>TUNGURAHUA</b>	65	103	222	196	586
<b>AZUAY</b>	145	154	167	146	612
<b>PICHINCHA</b>	880	910	959	1435	4184

**Tabla 4 Siniestros Región Sierra Enero - Abril 2014, Fuente: [2]**

<i>ORIENTE</i>	<i>ENERO</i>	<i>FEBRERO</i>	<i>MARZO</i>	<i>ABRIL</i>	<i>TOTAL</i>
<b>SUCUMBIOS</b>	7	6	6	2	21
<b>ORELLANA</b>	12	10	22	11	55
<b>ZAMORA</b>	13	11	11	11	46
<b>CHINCHIPE</b>					
<b>NAPO</b>	11	17	35	14	77
<b>MORONA</b>	16	18	15	21	70
<b>SANTIAGO</b>					
<b>PASTAZA</b>	23	18	22	28	91
<b>INSULAR</b>					
<b>GALAPAGOS</b>	1	0	3	0	4

**Tabla 5 Siniestros Región Oriente e Insular Enero-Abril del 2014, Fuente: [2]**

De los datos presentados en la Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5 realizamos una reagrupación con las provincias con mayor índice de siniestros las que presentamos en la Fig. 4.



**Fig. 4 Siniestros por Provincia de Enero - Abril del 2014, Fuente: Autores**

En la Fig. 4 observamos las provincias con mayor índice de siniestros en el año 2014 (con corte a Abril), las mismas que son: Pichincha con 34% y Guayas con 28%. En cuarto lugar se encuentra la provincia del Azuay que presenta el 5% de siniestros.

<b>PROVINCIA CON ALTOS INDICES DE SINIESTROS ENERO-ABRIL 2014</b>		<b>PROVINCIAS CON MAYOR INDICE DE SINIESTROS ENERO-ABRIL 2013</b>	
<b>PICHINCHA</b>	4184	<b>GUAYAS</b>	3147
<b>GUAYAS</b>	3533	<b>PICHINCHA</b>	1314
<b>OTROS</b>	739	<b>MANABI</b>	422
<b>MANABI</b>	624	<b>LOS RIOS</b>	369
<b>AZUAY</b>	612	<b>EL ORO</b>	334
<b>TUNGURAHUA</b>	586	<b>TUNGURAHUA</b>	311
<b>LOS RIOS</b>	460	<b>AZUAY</b>	284
<b>EL ORO</b>	327	<b>IMBABURA</b>	277
<b>SANTA ELENA</b>	263	<b>S. D. TSACHILAS</b>	222
<b>COTOPAXI</b>	240	<b>COTOPAXI</b>	209
<b>IMBABURA</b>	236	<b>CHIMBORAZO</b>	207
<b>CHIMBORAZO</b>	217	<b>LOJA</b>	180
<b>LOJA</b>	216		
<b>S. D. TSACHILAS</b>	188		

**Tabla 6 Siniestros 2013 y 2014 en el Ecuador, Fuente: Informe Anual de la ANT**

Comparando los siniestros de la Tabla 6 vemos que los índices para este año en la mayoría de las provincias es alto como vemos en la provincia del Azuay durante Enero-Abril del año 2013 existieron 284 siniestros y de Enero a Abril del 2014 la totalidad de los siniestros es de 612.

### **1.1.1 ESTADÍSTICAS DE ACCIDENTES DE TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE CUENCA.**

Del estudio realizado anteriormente se desglosó el análisis de la provincia del Azuay el que se presenta a continuación.

En la provincia del Azuay se presenta una disminución de 25 siniestros en lo que respecta al año 2012 y 2013 que fueron representados en la Tabla 7, y para un mejor análisis en la Fig. 5.

Año	T. L	T. F	T. S
2012	770	77	1033
2013	736	53	1008

Tabla 7 Siniestros de la Provincia del Azuay, Fuente: [2]

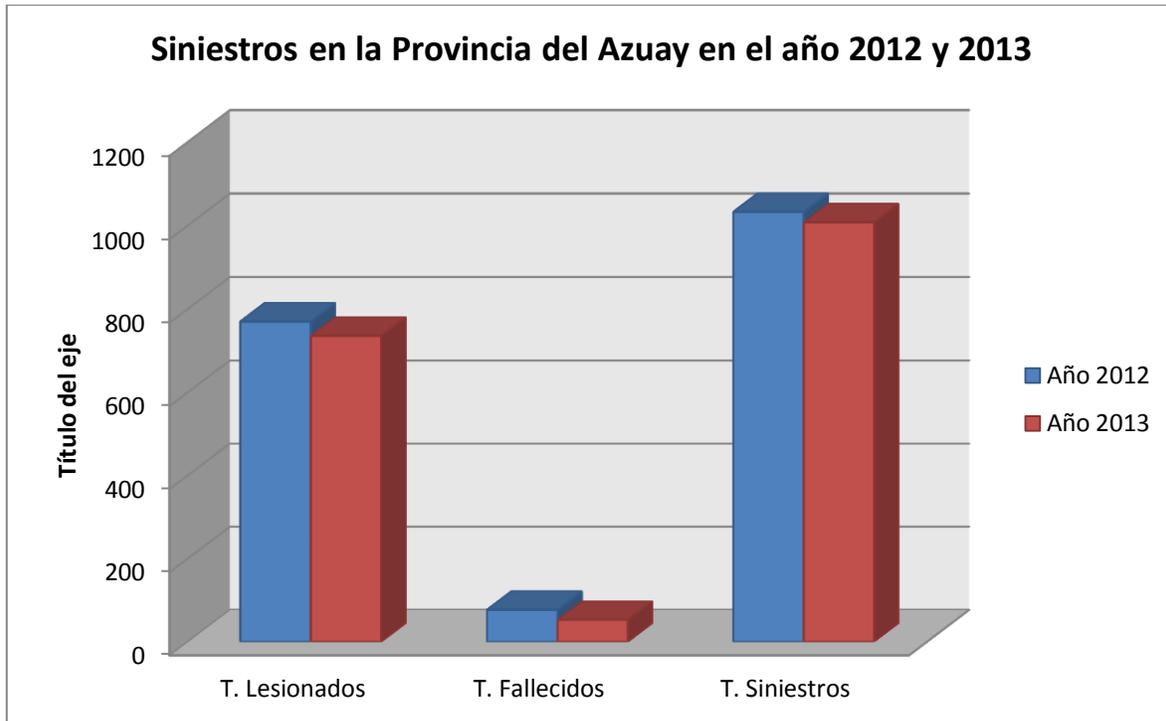


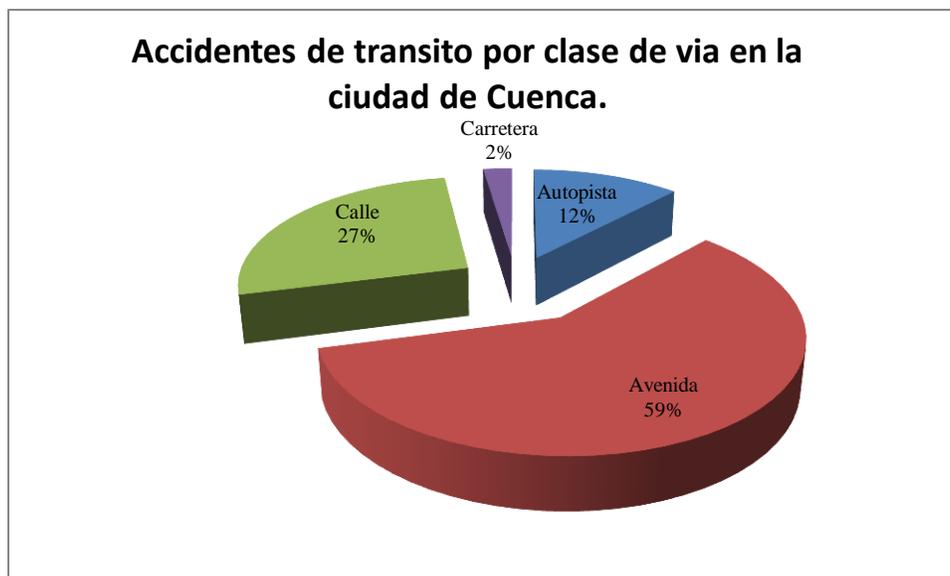
Fig. 5 Siniestros del Año 2012 y 2013 de la Provincia del Azuay, Fuente: Autores

Del análisis desarrollado de las provincias con mayor índice de accidentes de tránsito en el Ecuador, la provincia del Azuay se ubica en el cuarto lugar, de esto concluimos que la ciudad de Cuenca por ser el cantón más extenso de la provincia del Azuay presenta el mayor número de incidentes de tránsito.

Las tasas de accidentes de tránsito dependen en gran medida del trazado, la construcción y la pavimentación de la estructura vial, así como, de la densidad vehicular en las vías, condiciones de la infraestructura y las normas de seguridad vial. Por ello hemos visto la necesidad de analizar los accidentes de tránsito en las vías de la ciudad de Cuenca.

Tipo de calzada	2011		2012		2013		Total
	Cant.	%	Cant.	%	Cant.	%	
Autopista	80	10,05	110	9,81	175	14,38	365
Avenida	518	65,08	585	61,11	686	56,37	1786
Calle	183	22,99	302	26,94	324	26,62	809
Carretera	15	1,88	24	2,14	32	2,63	71
<b>Total</b>	<b>796</b>	<b>100,00</b>	<b>1021</b>	<b>100,00</b>	<b>1217</b>	<b>100,00</b>	<b>3031</b>

**Tabla 8 Accidentes de tránsito por clase de vía en la Ciudad de Cuenca, años: 2011, 2012 y 2013, Fuente: Autores en base a datos de la Fiscalía del Azuay.**



**Fig. 6 Representación gráfica de la Tabla 8, Fuente: Autores.**

De los datos de la Tabla 8 podemos evidenciar que el mayor índice de accidentes viales se produce en las avenidas. Mediante informes de partes policiales hemos podido indagar en que calles se producen el mayor de número de incidentes los cuales están representados en la Tabla 9, durante el año 2011, 2012 y 2013 como podemos evidenciar la mayor cantidad de incidentes se producen en la Avenida de las Américas y en la Panamericana Sur con 447 y 330 incidentes respectivamente.

<b>TRAYECTO</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Avenida de las Américas</b>	108	149	190
<b>Panamericana Sur</b>	80	110	140
<b>Av. 12 de abril</b>	19	35	49
<b>Panamericana Norte</b>	34	25	36
<b>Vía Molleturo</b>	21	43	51
<b>Av. Ordoñez Lasso</b>	20	28	43
<b>Av. Huayna Capac</b>	17	27	40
<b>Av. Gonzales Suarez</b>	21	24	36
<b>Av. España</b>	12	27	35
<b>Av. Solano</b>	13	25	27
<b>Remigio Crespo</b>	14	24	26
<b>Av. Loja</b>	13	22	24
<b>Av. 10 de Agosto</b>	14	16	18
<b>Don Bosco</b>	11	20	22
<b>Av. Paseo de los Cañarís</b>	7	22	20
<b>Av. Hurtado de Mendoza</b>	14	17	16
<b>Av. Unidad Nacional</b>	20	14	15
<b>Vía al Cajas</b>	20	14	13
<b>Av. Héroes de Verdeloma</b>	15	15	14
<b>Turuhuayco</b>	15	11	13
<b>Mariscal Lamar</b>	10	16	17
<b>Av. 1 de Mayo</b>	16	13	10
<b>Av. 12 de Octubre</b>	11	19	15
<b>Luis Cordero</b>	8	13	16
<b>Gran Colombia</b>	9	22	20
<b>Av. 24 de Mayo</b>	14	17	19
<b>Antonio Muñoz Vega</b>	8	14	16
<b>Av. Gil Ramírez Dávalos</b>	13	9	9
<b>Tarqui</b>	9	16	14
<b>Vía al Valle</b>	8	11	13
<b>San Joaquín - Medio Ejido</b>	8	19	17
<b>Pio Bravo</b>	4	10	12
<b>Mariano Cueva</b>	11	13	10
<b>Simón Bolívar</b>	11	11	9
<b>Gaspar Sangurima</b>	8	10	11
<b>Ricardo Duran</b>	6	11	12
<b>Vía Girón</b>	8	11	13
<b>Vía a Loja</b>	9	10	12
<b>El Batan</b>	10	10	14
<b>Barrial Blanco</b>	9	9	8
<b>Panamericana Antigua</b>	10	8	9
<b>Calles S/N</b>	14	11	10
<b>Calle Vieja</b>	6	10	9
<b>Av. México</b>	6	7	9

<b>Av. Max Uhle</b>	5	6	7
<b>Presidente Córdova</b>	7	11	10
<b>Vía a Cumbe</b>	11	12	10
<b>Juan Montalvo</b>	6	10	8
<b>Isabela la Católica</b>	4	12	9
<b>Padre Aguirre</b>	6	4	6
<b>TOTAL</b>	<b>753</b>	<b>1023</b>	<b>1182</b>

**Tabla 9 Accidentes de Tránsito por Calle en la Ciudad de Cuenca, Fuente Autores en base a datos de la Fiscalía del Azuay**

## 1.2 ESTRUCTURA DE LA SEGURIDAD VIAL.

El presidente Constitucional de la república del Ecuador ha promulgado construir una seguridad con enfoque integral, indica que este enfoque hace referencia al sentido de un Sistema Integrado de Seguridad, que abarca todos los ámbitos del ser humano y del Estado, como observamos en la Fig. 7 que nos indica cómo está estructurada la Seguridad Integral en el Ecuador. [3]



**Fig. 7 Sistema Integral de Seguridad, Fuente: [3]**

### 1.2.1 JUSTICIA Y SEGURIDAD CIUDADANA.

Dentro de este ámbito existen dos esferas fundamentales:

Garantizar la justicia oportuna, independiente y de calidad para todas las personas en el Ecuador, acompañada por la promoción de la paz social, la plena vigencia de los Derechos Humanos, la garantía del libre ejercicio de cultos, y el mejoramiento del sistema de rehabilitación social [3].

Seguridad ciudadana y el orden público, la cual constituye una política de Estado destinada a fortalecer y modernizar los mecanismos necesarios para garantizar los derechos humanos, una vida libre de violencia y criminalidad, la disminución de los niveles de inseguridad y delincuencia, la protección a las víctimas del delito, un ambiente de orden y paz social y el mejoramiento de la calidad de vida de todos los habitantes de nuestro país [3].

La seguridad vial en el Ecuador es un factor vital en la seguridad ciudadana, debido a que los accidentes de tránsito constituyen una de las principales causas de muerte, para revertir esta situación el Plan Nacional de Seguridad Integral incorpora estrategias que intervienen de forma permanente en el comportamiento de los usuarios de la red vial nacional, y sobre los medios relacionados a la circulación vehicular, con la finalidad de prevenir y disminuir el número de accidentes de tránsito [3].



**Fig. 8 Justicia y Seguridad Ciudadana, Fuente: [3]**

Como vemos en la Fig. 8 la seguridad vial se encuentra dentro del bloque de Justicia y Seguridad Ciudadana para garantizar el bienestar de la ciudadanía.

### 1.3 INFRAESTRUCTURA VIAL TERRESTRE DE LA CIUDAD DE CUENCA

#### 1.3.1 INFRAESTRUCTURA VIAL TERRESTRE.

La infraestructura terrestre lo conforma todo el sistema vial nacional, el mismo que está compuesto por las vías nacionales, cantonales y parroquiales los mismos que se encuentran enlazados entre sí.

De acuerdo a la constitución de la Republica y el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD), en nuestro país los sistemas viales se encuentran conformados de acuerdo a las competencias de los diferentes niveles de gobierno que las planifican y les dan mantenimiento [4]. La longitud de vías a cargo del Gobierno Provincial del Azuay es de 3515 km, que se encuentra dividido de acuerdo a como se encuentra en la Tabla 10.

Red Vial de la Provincia del Azuay		
sistema vial	Distancia	%
Red Vial Provincial Secundario	192,08	5,46
Red Vial Provincial Terciario	1034,01	29,42
Red Vial Provincial Vecinal	2288,91	65,12
Total de vías a cargo de la Provincia	3515	100,00

Tabla 10 Red Vial Provincial del Azuay, Fuente: [4]

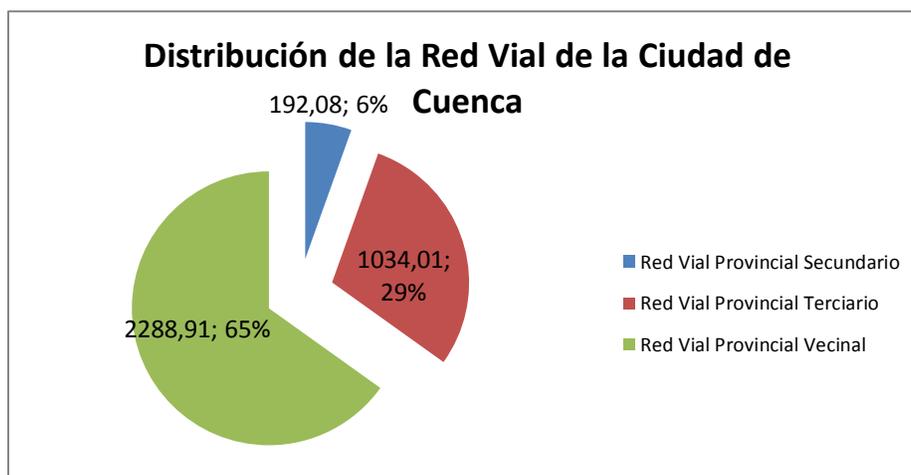
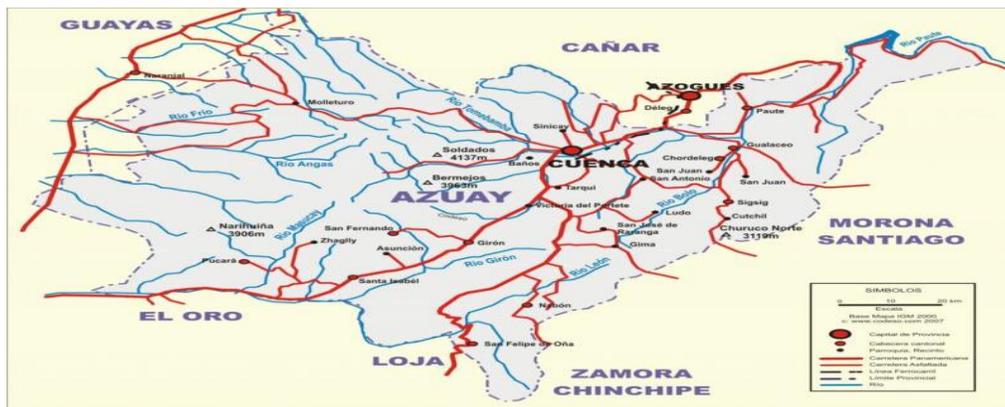


Fig. 9 Distribución de la Red Vial de la Provincia del Azuay, Fuente: Autores

De acuerdo a la Fig. 9 la red vial provincial secundaria consta de 192.08 Km contando con el 5,46% de las mismas en buen estado, estas vías secundarias conectan las cabeceras de parroquias y zonas

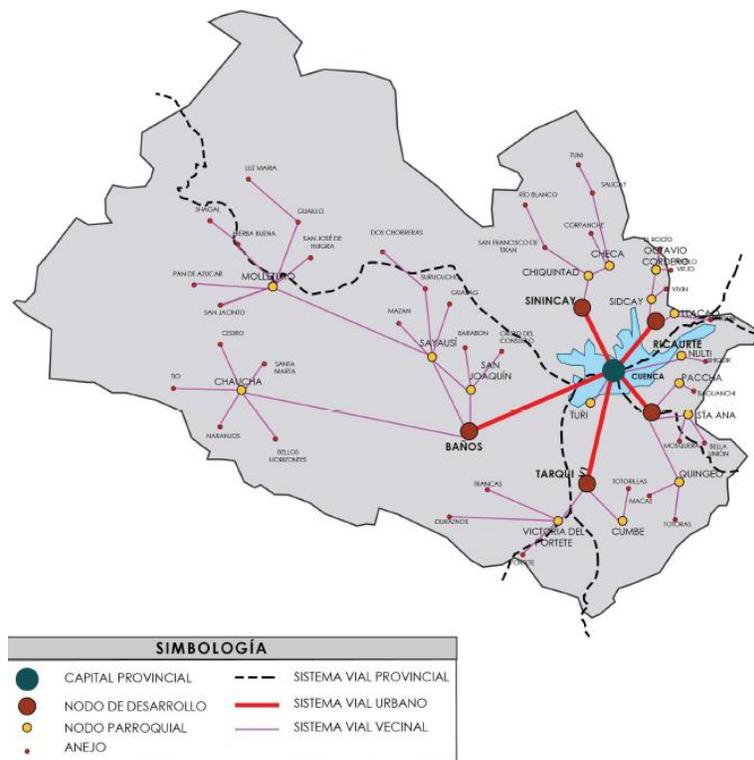
de producción con los caminos de la Red Vial Nacional y caminos vecinales. La red vial Terciara es aquella que enlaza los flujos desde las vías secundarias a los caminos vecinales; esta parte de la red contiene una longitud de 1034,01 Km. Por ultimo tenemos la red vial Provincial Vecinal que enlaza los flujos desde los predios hacia los caminos terciarios, este tipo de vías generalmente se encuentran en mal estado y de baja intensidad de tránsito, Azuay está conformada por el 2288,91 Km [4].



**Fig. 10 Red Vial de la Provincia del Azuay, Fuente: (4)**

De la Red vial que se observa en la Fig. 10, para nuestro estudio se tomó tan solo la red vial cantonal de la ciudad de Cuenca, la misma que está conformada por las vías de carácter urbano al interior de la ciudad, estas vías permiten el desplazamiento peatonal y vehicular entre los diferentes lugares y asentamientos del cantón, siendo así, la parte fundamental para el desarrollo físico de esta ciudad, la red vial cantonal está conformado por las vías urbanas e interparroquiales.

*Sistema Vial Cantonal Urbano.* - esta parte de la infraestructura lo conforman las vías que dan servicio al área urbana del Cantón, como a las que se localizan en las cabeceras de los centros poblados. Esta parte del sistema vial responde a una lógica de funcionamiento de la ciudad permitiendo mejorar las tendencias de movilidad, tiempos de traslado y servicio a los predios [4].



**Fig. 11 Red Vial Cantonal de Cuenca, Fuente: [4]**

En la Fig. 11 la red vial de la ciudad de Cuenca está compuesta por un total aproximado de 3904 Km dato que consta en el Plan de Ordenamiento Territorial de Cuenca en el año 2011, de los cuales el 10% está en un correcto estado, y con un 60% que se presenta en un estado regular-malo. No se incluye el 30% de la red vial del área interna de la ciudad de Cuenca, la misma que consta de las vías urbanas [5].

### 1.3.2 MOVILIDAD DE LA CIUDAD DE CUENCA.

La Ciudad de Cuenca está ubicada en el Austro del Ecuador es la capital de la Provincia del Azuay y cuenta con una superficie de 366.533 ha, posee una población de alrededor de 505.585 habitantes, el 65% de los habitantes se encuentran en la parte urbana y el 35% en el área rural.

Se estima que el 70% de la población hace uso del transporte público con un total de 410.000 pasajeros movilizados al día (incluido transporte interparroquial). El 80% de los viajes efectuados en el día (origen-destino) tienen como destino el Centro Histórico de la ciudad. [5]

La movilidad en la ciudad de Cuenca se da: desde las parroquias, desde los otros cantones y de otras provincias en la Tabla 11 se presenta de mejor manera cuantas personas se movilizan en la ciudad de Cuenca haciendo uso del transporte público y privado.

<b>Porcentaje de flujo de Movilidad (Origen Ciudad de Cuenca)</b>		
<b>Tipo de Movilidad</b>	<b>Número de Pasajeros por ruta por día</b>	<b>Porcentajes</b>
<b>Interparroquial</b>	62171	82.69
<b>Intercantonal</b>	4874	6.48
<b>Interprovincial</b>	8141	10.83
<b>Total</b>	75186	100.00

**Tabla 11 Flujo de movilidad de personas en transporte público y privado, Fuente: [5, 6]**

Como vemos en la Tabla 11 el mayor porcentaje de movilidad a la ciudad de Cuenca se da de las parroquias hacia la ciudad y viceversa en un 82.69%, las parroquias de las que proviene el mayor flujo de movilidad son: El Valle, Cumbe, Tarqui, Baños, Sinincay, Ricaurte y Octavio Cordero; mientras que desde los otros cantones y provincias se genera el 17.31% de movilidad [5].

De los porcentajes explicados anteriormente el 51.68% de las personas que se movilizan desde las parroquias rurales se dirigen a otras parroquias del área rural, mientras que el 48,32% se trasladan a la ciudad de Cuenca [5].

Ya sea en movilidad interparroquial o intercantonal las personas para movilizarse utilizan el transporte terrestre, de aquí que la Ciudad de Cuenca es la cuarta ciudad más grande del Ecuador y con la mayor tasa de propietarios de automóviles para el año 2012 existían más de 110000 automotores, la Unidad Municipal de Transporte (UMT) mediante cálculos realizados, sostiene que

para el año 2015, Cuenca tendrá un parque automotor sobre los 130 mil carros que circulen por las calles y avenidas. En el caso de la movilidad interprovincial las personas usan ya sea el transporte terrestre o aéreo. El uso del transporte terrestre genera congestión, mayor tiempo de traslado y contaminación en la Ciudad como podemos ver en la Fig. 12.



**Fig. 12 Flujo Vehicular En una calle central de la Ciudad de Cuenca, Fuente: [7]**

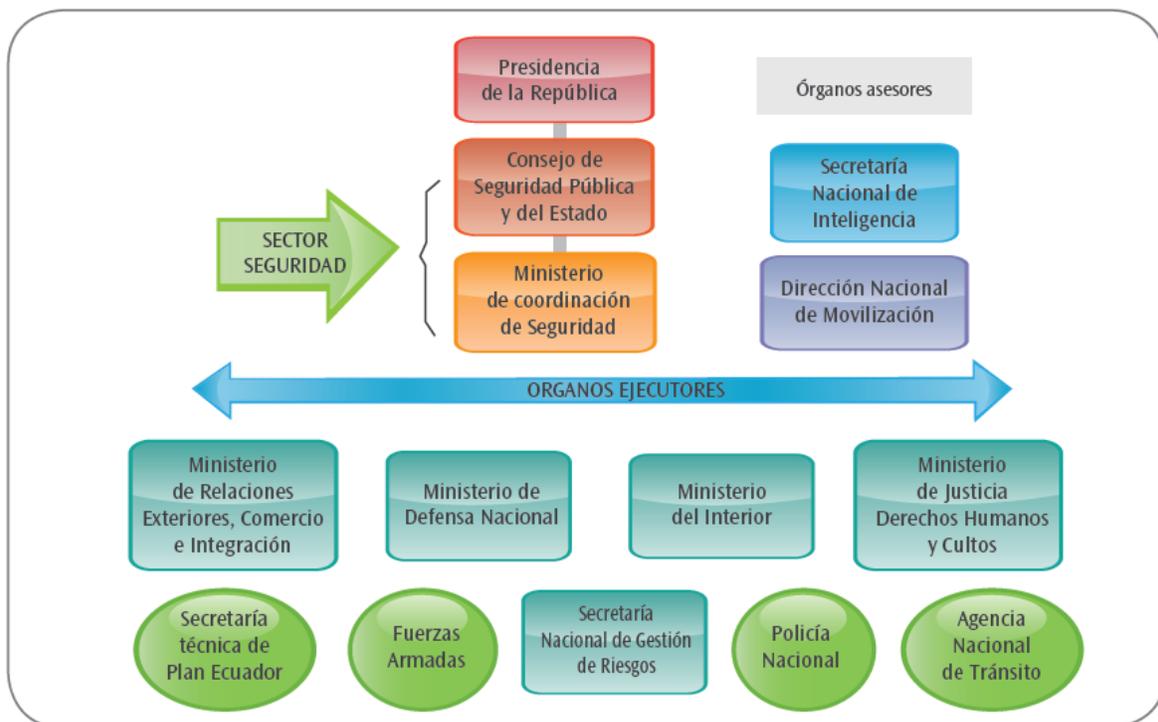
La Dirección Municipal de Tránsito (DMT), sostiene que las vías con mayor flujo de automotores son: la Avenida de las Américas, la Avenida Huayna Capac, la avenida Doce de abril y varias calles del Centro Histórico como la presidente Córdova, Sucre, Bolívar, Vega Muñoz, Gaspar Sangurima, Vargas Machuca y Benigno Malo [8].

#### **1.4 INSTITUCIONES INCLUIDAS EN SEGURIDAD VIAL**

En la constitución aprobada del año 2008, se realizó un cambio en el organigrama de la Seguridad Nacional a diferencia de la constitución del año 1998 en la que solo constaba la seguridad social, actualmente en la seguridad se abarca la parte humana-integral para garantizar los derechos del ser humano y la naturaleza.

El cambio de la seguridad abarca una nueva reinstitucionalización estructural y funcional con un modelo de planificación articulado a los objetivos de la Ley de Seguridad Pública y del Estado enfocada al Plan Nacional del Buen Vivir. [3]

En la actualidad el organigrama de la Seguridad Integral Nacional está estructurado como lo muestra la Fig. 13.



**Fig. 13 Estructura del Sistema de Seguridad Pública y del Estado, Fuente: [3]**

Como podemos observar en la Fig. 13, el Ministerio de Coordinación de Seguridad se adjudicó la Secretaría del más alto organismo del Estado en el área de seguridad, conocido como el Consejo de Seguridad Pública y del Estado (COSEPE), el cual tiene objetivos de consulta y asesoramiento en el diseño de planes, políticas, y estrategias de Seguridad, la misma que depende plenamente del asesoramiento de la Secretaría Nacional de Inteligencia.

#### 1.4.1 ESTRUCTURA DE LA SEGURIDAD VIAL EN LA CIUDAD DE CUENCA

En el año 2010 la Ciudad de Cuenca, mediante Ordenanza Municipal el Ilustre Consejo Cantonal de Cuenca constituye la Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca – EMOV EP la misma que tiene como misión gestionar, administrar, regular y controlar el sistema de movilidad sustentable apeándose a la calidad, seguridad, agilidad, oportunidad, disponibilidad, comodidad, accesibilidad de los ciudadanos para garantizar todo lo que se dispone en su misión realizan una gestión técnica, integral e integrada del transporte terrestre, tránsito y movilidad no motorizada, todo esto para precautelar la salud, mejorar la calidad de vida fortaleciendo la generación productiva y el desarrollo social y económico del Cantón [6].

La constitución, en el artículo 264 numeral 6, prescribe que es competencia exclusiva de los gobiernos municipales la planificación, regulación y control del tránsito y el transporte público dentro de su territorio cantonal [9]. En la ciudad de Cuenca la estructura organizacional está conformada por los siguientes organismos que se encuentran expuestos en la Fig. 14, esta organización se mantiene en visión con el Plan Estratégico de Cuenca y en la Reforma de Ordenanza que regula la Estructura Orgánica de la Ilustre Municipal de Cuenca.

En la Ciudad de Cuenca las técnicas de control enfocadas a la inseguridad vial y a sus respectivas medidas de prevención para disminuir los accidentes de tránsito, corresponden manejar a las siguientes instituciones: la Fiscalía Provincial del Azuay, Empresa Municipal de Movilidad, Transporte y Tránsito de Cuenca, Consejo de la Judicatura del Azuay, Policía Nacional y la Subdirección de Investigación de Accidentes de Tránsito. Además de las Instituciones a cargo de los incidentes de tránsito la empresa EMOV EP tiene vínculos con diferentes Comisiones del Municipio de Cuenca en materia de movilidad, tal como lo muestra la Fig. 14.

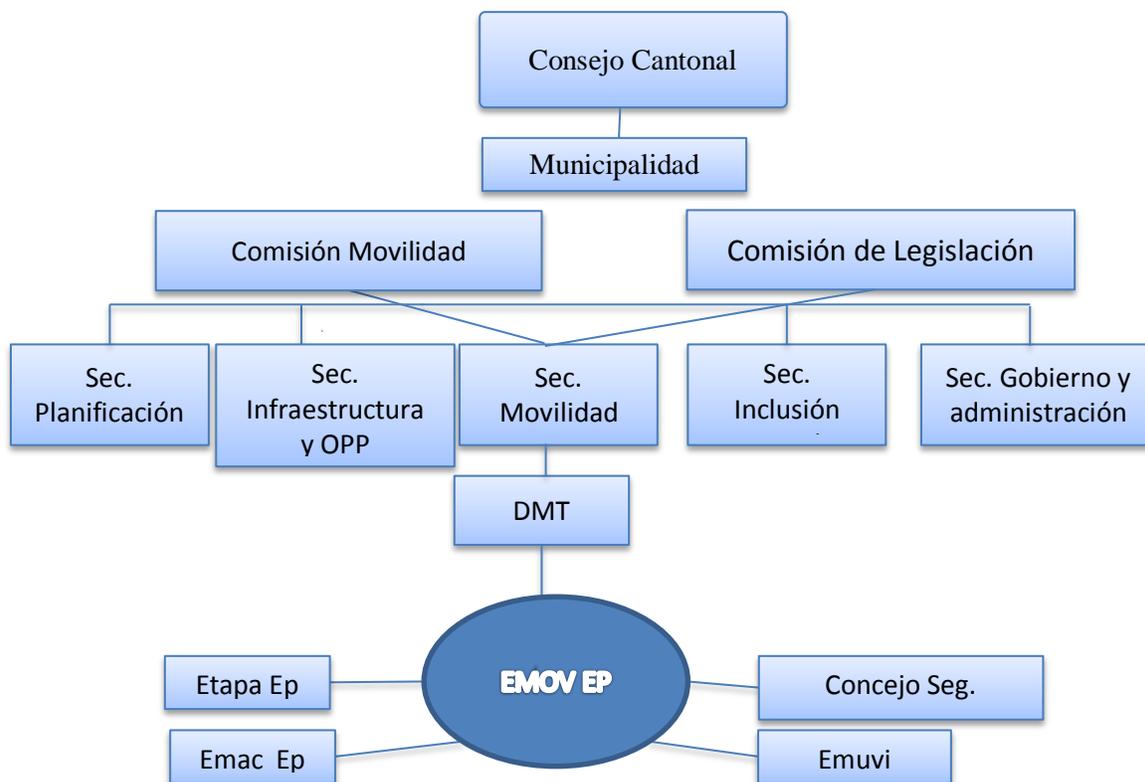


Fig. 14 Vinculación de EMOV EP con la Municipalidad, Fuente: [4]

## CAPÍTULO 2

### **ESTUDIO DEL ARTE DE LA TECNOLOGÍA AD-HOC Y LONG TERM EVOLUTION (LTE)**

La necesidad del ser humano de comunicarse e intercambiar información viene desde tiempos remotos, es así que las comunicaciones han tenido una constante evolución mejorando el intercambio de información, desde el conocido chasqui, telégrafo, teléfono, la computadora, el internet , el celular, hasta llegar en la actualidad a poder estar conectados en cualquier parte y a cualquier hora, con estos avances el estilo de vida de las personas a tomado un rumbo distinto; así como el interés de buscar la manera de que dispositivos nunca imaginados útiles para la comunicación puedan formar redes de transmisión de información, tal es el caso de los vehículos que pueden formar redes de comunicación vehicular.

Las redes de comunicación vehicular son sistemas de transporte acondicionados para formar dichas redes, permitiendo mejorar la calidad de tiempo empleado para movilizarse de un lugar a otro, así como brindando seguridad y confort en su traslado. El mantenimiento en la infraestructura vial, los accidentes de tránsito en las vías, la falta de sincronización en los semáforos y la difícil movilización por las vías; son factores que de alguna manera influyen directamente sobre el tráfico en las ciudades, estos factores han incrementado en los últimos tiempos en la ciudad de Cuenca.

Las comunicaciones inalámbricas son una opción factible para la comunicación vehicular, dado que no requiere el despliegue de infraestructura fija para su funcionamiento, de aquí nace una arquitectura descentralizada basada en Comunicación Vehículo a Vehículo (V2V) y Vehículo a Infraestructura Vial (V2I), esta tecnología toma como nombre Vehicular Ad hoc Network

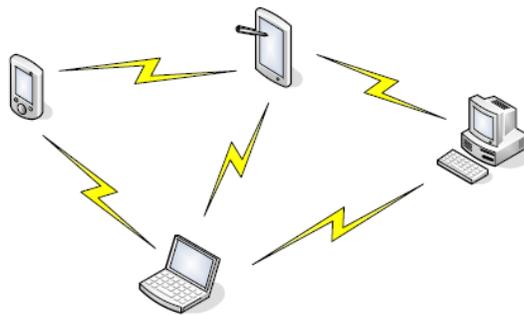
(VANET) que permiten dotar a los vehículos la capacidad de comunicarse entre sí y a través de esta arquitectura nos permite mejorar el tráfico en la ciudad de Cuenca.

En esta sección analizaremos el estado de arte de la tecnología Ad-Hoc con su despliegue en redes VANET, así como la tecnología LTE dentro del Ecuador para su integración en el uso de la comunicación vehicular y su implementación en la Ciudad de Cuenca.

## 2.1. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA AD-HOC

Una red ad-hoc es una red conformada con terminales fijos y móviles o solo móviles como se muestra en la Fig. 15, estas redes no dependen de una infraestructura preexistente ya que se la puede desarrollar en un entorno inalámbrico; sin descartar que alguno pueda tener conectividad con cable.

Dentro de este tipo de redes se puede establecer una red entre dispositivos aislados sin requerir estación base, routers fijos, etc., o tener un administrador del propio sistema por motivo de que son un tipo de red adaptativa, de bajo costo y auto configurables que en ocasiones se requiere de dos o tres nodos para su despliegue [10].

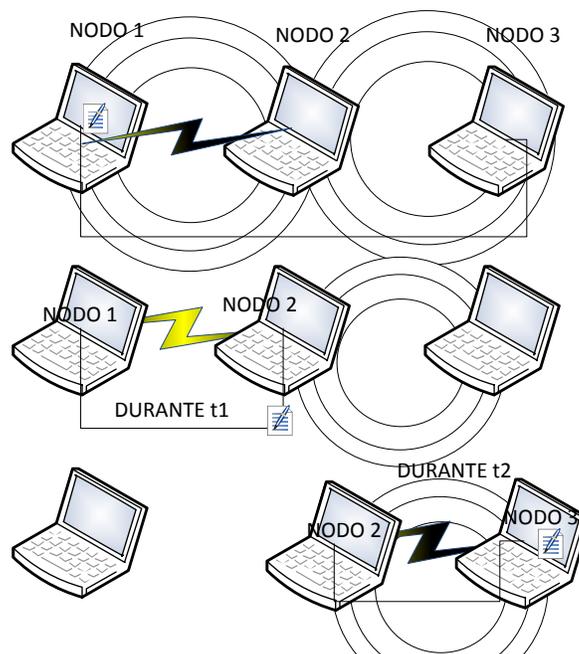


**Fig. 15 Red Ad-Hoc, Fuente: [10]**

Cada uno de los nodos pueden funcionar como transmisores receptores o enrutadores, según sea el requerimiento sin poseer un punto de acceso centralizado, esto quiere decir que cada uno de los nodos que ingresen a la red deben tener la capacidad de adaptarse a la red para transmitir y recibir

información, así como, apoyo para que se comuniquen dos nodos que no están dentro del radio de cobertura [11]. A más de transmitir información los nodos de las redes Ad-Hoc permiten la conexión con la más grande de las redes como es el Internet, los dispositivos móviles entre ellos: laptops, teléfonos inteligentes, sensores, entre otros, han incrementado el estudio de este tipo de redes para su utilización en comunicaciones vehiculares, redes personales, redes de sensores, operaciones de emergencia y búsqueda, control de tránsito, aplicaciones militares, etc., [12].

Las redes Ad-Hoc como ya definimos anteriormente el principio de funcionamiento se desarrolla como se muestra en la Fig. 16, la misma que describe como se envía la información de un nodo a otro; se desea enviar información entre los nodos 1 y 3 que no se encuentran dentro del mismo radio de cobertura por lo que se necesita utilizar al nodo 2 como enrutador y así llevar la información que requerimos, para un tiempo  $t_1$  en el que el nodo 1 y el nodo 2 se encuentran dentro del mismo radio de cobertura, el nodo 1 intercambia la información al nodo 2 el mismo que lo almacena para en un tiempo  $t_2$  en la que el nodo 2 y el nodo 3 se encuentren dentro del mismo radio de cobertura, el nodo 2 retransmita la información almacenada, logrando así el intercambio de información entre el nodo 1 y el nodo 3 [13].

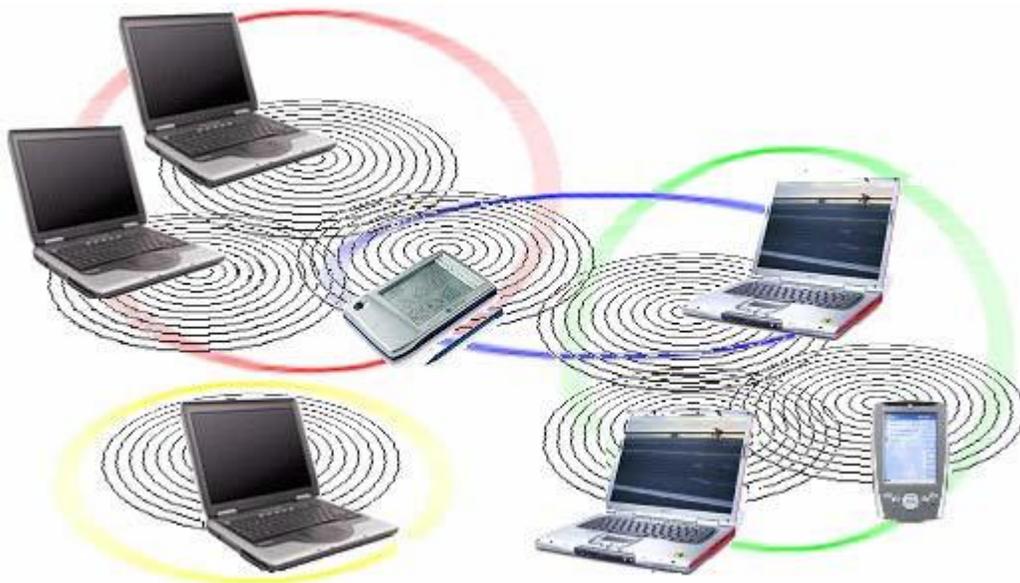


**Fig. 16 Comunicación entre 2 nodos mediante red Ad-Hoc, Fuente: Autores**

Los nodos de la red Ad-Hoc actúan de forma activa o pasiva en la red, esencialmente cuando trabajan como enrutadores se produce un desgaste de energía proporcional a la cantidad de recursos que comparten los equipos que forman parte de la red inalámbrica, esto ocasiona que ciertos nodos dejen de participar dentro de la red dando como resultado pérdidas o retraso de paquetes de información. [13].

## 2.2 REDES MOBILE AD-HOC NETWORK (MANET)

Con el avance de los medios de transmisión inalámbricos se dio cabida a los nodos, que presentan como principal característica la movilidad y su fácil acceso con el usuario, formando topologías dinámicas para intercambiar información, estos nodos han dado origen al estudio y desarrollo de las MANETs (Mobile Ad-Hoc Networks) [14], la infraestructura de este tipo de red lo conforman los dispositivos móviles de cada usuario



**Fig. 17 Móvil ad-hoc Network constituida por 3 células, Fuente: [15]**

Las redes MANETs permiten que los nodos se conecten mediante enlaces que son inestables por lo que los nodos móviles pueden aislarse y formar grupos de servidores que evolucionan

independientemente organizándose en celdas (cluster) [15]. Las principales características de las redes MANETs son las que se presentan a continuación:

- Los dispositivos móviles de los usuarios presentan un alto consumo de energía por lo que al ser parte de una red este consumo aumentaría, disminuyendo el tiempo de trabajo de los dispositivos [14] [16].
- Variabilidad en los enlaces de comunicación que permiten que los nodos distantes se comuniquen a través de terminales intermedios. Como el entorno es muy variable se debe tener en cuenta las pérdidas de propagación, tasas de error de bit y demás alteraciones que son factores que intervienen en la calidad de servicio [14] [16].
- De acuerdo a la aplicación se debe permitir la conectividad del mayor número de dispositivos, cuidando que la información sea válida [14].
- Debido al movimiento constante de los nodos la topología de red es dinámica permitiendo a los nodos conectarse con otros cuando sea posible. Los protocolos de enrutamiento para las redes WLAN (OSPF, RIP, EIGRP O BGP) no son de utilidad en las redes MANET por lo que los protocolos deben ser más flexibles [16] [14].

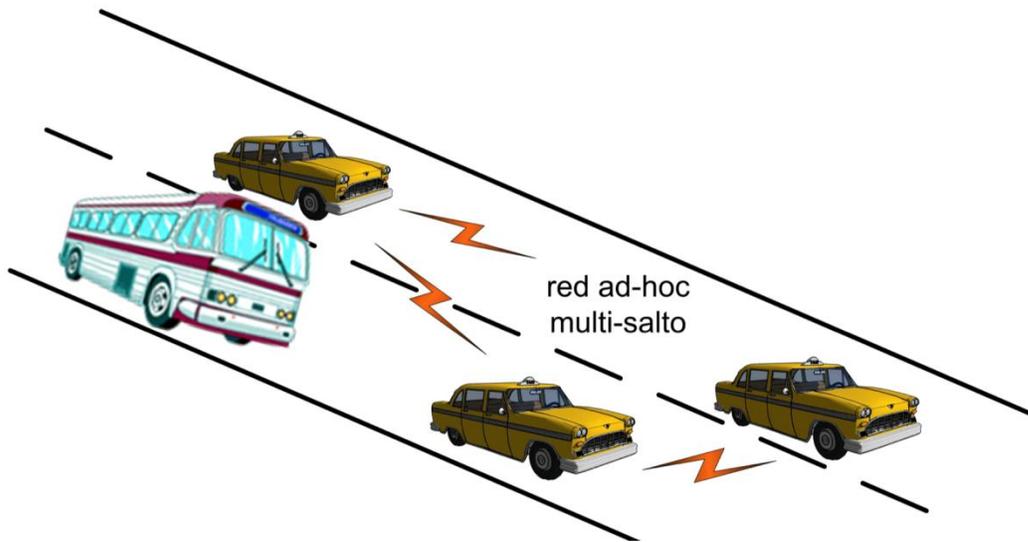
### 2.3 REDES VANET

La red VANET es un tipo particular de red ad-hoc en esta red los vehículos pasan a ser los nodos que forman la red en pleno movimiento permitiendo a los vehículos comunicarse localmente sin necesidad de ninguna infraestructura fija la comunicación podría darse V2V pudiendo tener también un equipo fijo próximo que forme parte de la red y que permita una conexión a internet por ejemplo V2I [16].

Se conoce que las redes VANETs pertenecen a una subdivisión de las redes MANETs. Además se debe de conocer que la infraestructura de este tipo de red ad-hoc depende en su totalidad de los

vehículos, de esta manera provee la funcionalidad de la red, por lo tanto el desarrollo de este tipo de redes se espera que sea la primera razón para que se desarrollen nuevas aplicaciones y funciones en las vías públicas como por ejemplo: mensajes de emergencia, localización de lugares alarmas de condiciones climáticas de la vía, y muchas más [16] [12].

Como anteriormente se conoció las redes VANETs, es una red particular que no posee una infraestructura predispuesta, al contrario depende de la posición de los vehículos, como se observa en la Fig. 18.



**Fig. 18 Topología Dinámica de una red VANET, Fuente: [17]**

## **2.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES VANET**

Las características de esta red son semejantes a los escenarios clásicos Ad-hoc, debido a que la topología de la red cambia rápidamente en proporción del movimiento que los vehículos experimentan. Pero poseen diferencias notables con las redes tradicionales Ad-hoc, como por ejemplo: la fuente energética de las redes VANETs no se limita debido a que los vehículos poseen una fuente de energía recargable potente, además los vehículos se mueven siempre dentro de una carretera en un mismo carril la mayoría del tiempo, esto potencializa a la red VANET. [17]

Para que la comunicación de la red VANET se de en el escenario propuesto como se indica en la Fig. 19 se debe cumplir con las siguientes condiciones:



**Fig. 19 Escenario VANET, Fuente: [18]**

#### 2.4.1 ALTA MOVILIDAD DE LOS NODOS.

La topología de las redes VANETs siempre están cambiando debido a la alta velocidad con la que los vehículos se mueven en las carreteras, este movimiento es aleatorio ya que no sigue ningún patrón definido dependiendo de los factores del medio en el que se encuentre el vehículo [19] [14].

#### 2.4.2 CANALES DE RADIO VARIABLES.

Debido a la misma razón de topología dinámica resultado del movimiento y velocidad cambiante de los vehículos es frecuente que la red se desconecte, especialmente cuando la densidad vehicular es baja o la distribución de las calles, edificios y demás objetos que son obstáculos variables en el tiempo [19] [14].

### 2.4.3 SEGURIDAD.

La transmisión de información en las redes VANETs se debe garantizar para que sea válida [19] [14].

### 2.4.4. ENERGÍA SUFICIENTE Y ALMACENAMIENTO

Los nodos VANETs presentan una característica como lo definimos anteriormente recarga energética gracias a la fuente de energía de los vehículos.

### 2.4.5. COMUNICACIÓN DE TIPO GEOGRÁFICO

Las redes VANETs presentan otro tipo de comunicación a diferencia de otras redes que usan ID o grupos de ID para definir los puntos finales de comunicación, esta red tiene en cuenta la posición geográfica de los nodos intermedios y el nodo destino.

### 2.4.6. MODELO DE MOVILIDAD

Con el alto movimiento de los nodos que dan una topología dinámica, los modelos de movilidad y predicción son factores importantes en el diseño de protocolos para redes VANETs; estos nodos son limitados por el diseño de la infraestructura vial que están formadas por: autopistas, carreteras y calles.

### 2.4.7. VARIOS ENTORNOS DE COMUNICACIÓN

Las VANETs son redes que operan en dos entornos: un entorno de movimiento en una sola dimensión que se da en las autopistas y el otro entorno que es un poco más complejo que se

desarrolla en las ciudades, ya que dentro de la misma intervienen las construcciones de edificios, árboles y otros obstáculos que se presentan propios de las ciudades.

#### 2.4.8. LIMITE POR ALTO RETARDO

A pesar de que en algunas aplicaciones VANETs las redes no requieren de una alta velocidad de datos se presenta una limitación por el alto retardo que presenta la red para ello se requiere de aplicaciones de seguridad.

#### 2.4.9. INTERACCIÓN CON SENSORES DE A BORDO.

Los sensores en los nodos vehiculares deben actuar para proveer información que puede ser de utilidad para formar enlaces de comunicación y para propósitos de enrutamiento.

A parte de la comunicación V2V si se requiere proporcionar conectividad a Internet a los nodos de una VANET es decir a un escenario V2I entonces se debe tener en cuenta el descubrimiento de una pasarela a Internet la misma que otorga un nodo especial conocido como Internet Gateway (Pasarela a Internet) que permite conectar a un nodo ad-hoc con la infraestructura [17].

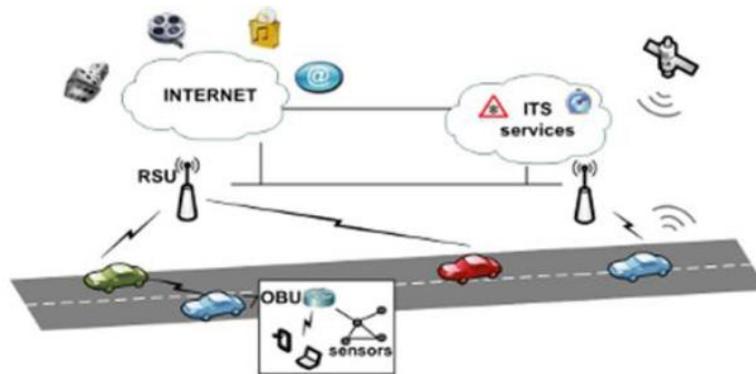
### 2.5 ARQUITECTURA DE UNA RED VANET

Como ya conocemos la topología cambiante de las redes VANETs debido a la ruta que los vehículos adquieran, en ocasiones esta ruta puede ser establecida hacia su destino o puede ser de forma aleatoria según los factores externos como son: accidentes de tránsito, paradas intermedias o espontánea de vehículos pesados, buses y tráfico excesivo que ocasionan que los vehículos salgan de la ruta predefinida en busca de una ruta alterna, es por ello que la arquitectura de la red VANET

se da en tres dominios distintos que son: dominio en vehículo, dominio ad-hoc y dominio infraestructura [13] [19] [20].

En los tres dominios definidos anteriormente se dan las siguientes generalidades:

Las redes VANETs se muestran como en la Fig. 20 están formados por los nodos fijos conocido como Road Side Unit (RSU) y los nodos móviles que son los vehículos dotados de un dispositivo electrónico conocido como. Los nodos fijos deben estar ubicados a lo largo de las carreteras para que se encarguen de enviar, recibir y retransmitir paquetes para incrementar el rango de cobertura de la red y los nodos móviles permiten la comunicación con otros vehículos o con las RSU [16].



**Fig. 20 Representación General de los Elementos de una VANET, Fuente: [16]**

### 2.5.1 DOMINIO IN-VEHICLE.

Se refiere a una red local dentro de cada vehículo, esta red lógica está compuesta por una (OBU) y Unidades de Aplicación (AUs). La AU es una parte integrante del vehículo que puede ser un dispositivo portátil como un ordenador portátil o una *Personal Digital Assistant* (PDA) que está en constante contacto con las OBU su conexión puede ser mediante cable o inalámbrica y ejecuta una o un conjunto de aplicaciones utilizando las capacidades de comunicación de la OBU [20] [19].

### 2.5.2 DOMINIO AD-HOC.

En este dominio la red está compuesta por los vehículos equipados con OBUs y unidades fijas a lo largo de la carretera RSU. Las OBUs son dispositivos que se encargan de la seguridad vial comunicándose de forma inalámbrica, estos dispositivos forman una red MANET permitiendo una comunicación distribuida entre nodos sin tener una instancia de coordinación centralizada, mientras exista conectividad inalámbrica entre los OBUs se comunican de manera directa cuando no existe esta conectividad dependen de los protocolos de enrutamiento para una comunicación multi-hop donde los datos son transmitidos de una OBU a otra hasta llegar al destino [19] [20].

Las RSUs tienen como papel principal mejorar la seguridad vial empleando aplicaciones especiales y encargándose del envío, recepción o transmisión de los datos en el dominio ad-hoc ampliando así la cobertura de esta red, los RSU pueden conectarse a una red de infraestructura fija por la cual a su vez se conecta a Internet, este proceso permite que los OBUs accedan a la infraestructura de la red y las AUs se comuniquen con cualquier host en Internet [19] [20].

En el dominio ad-hoc dos o más RSUs pueden comunicarse entre sí directamente o a través de multihop usando los mismos protocolos de enrutamiento para la comunicación entre OBUs y RSUs. Una OBU también puede estar equipada con tecnologías inalámbricas alternativas como se muestra en la Fig. 21 que las OBU pueden comunicarse con nodos de internet o servidores públicos o hot spot privados o hot spot WiFi (HS). Lo expuesto anteriormente da como resultado que cuando los RSUs o los HS no tengan acceso a internet las OBUs pueden utilizar esa capacidad de conectarse mediante redes de radio celular como: Global System for Mobile Communications (GSM), General packet radio service (GPRS), Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), High Speed Downlink Packet Access (HSDPA), WiMAX, 4G si la OBU está integrada a una de estas redes [20].

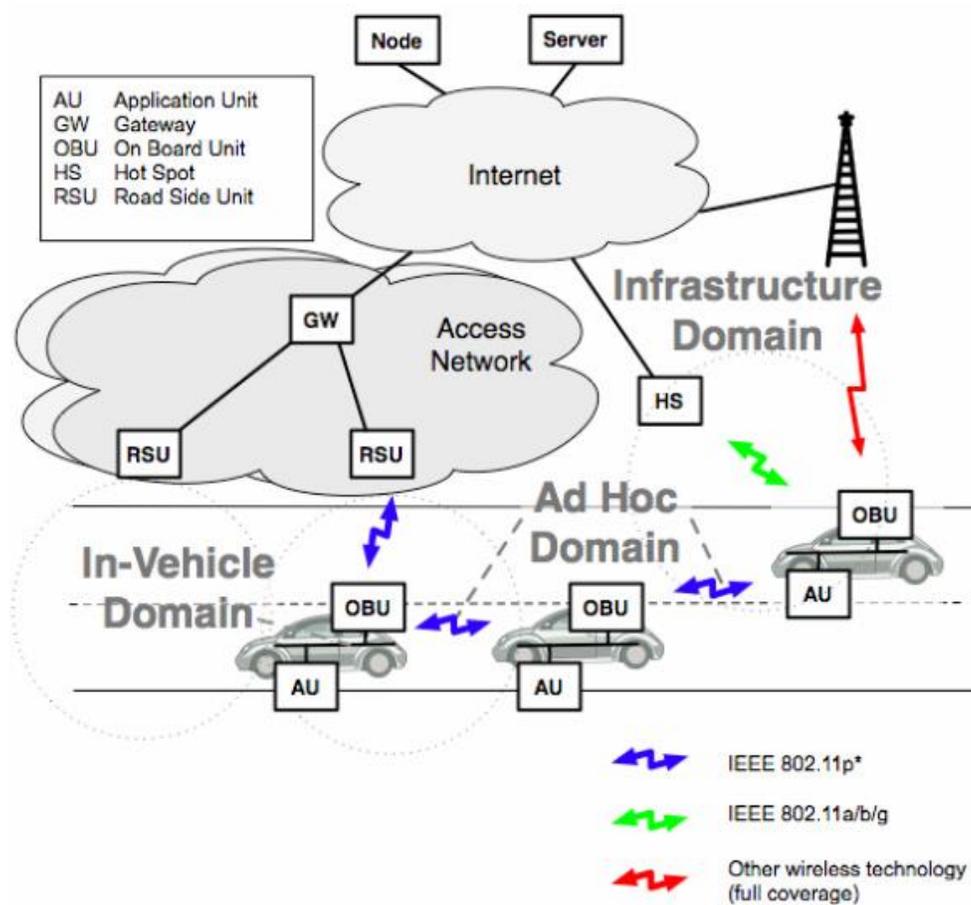
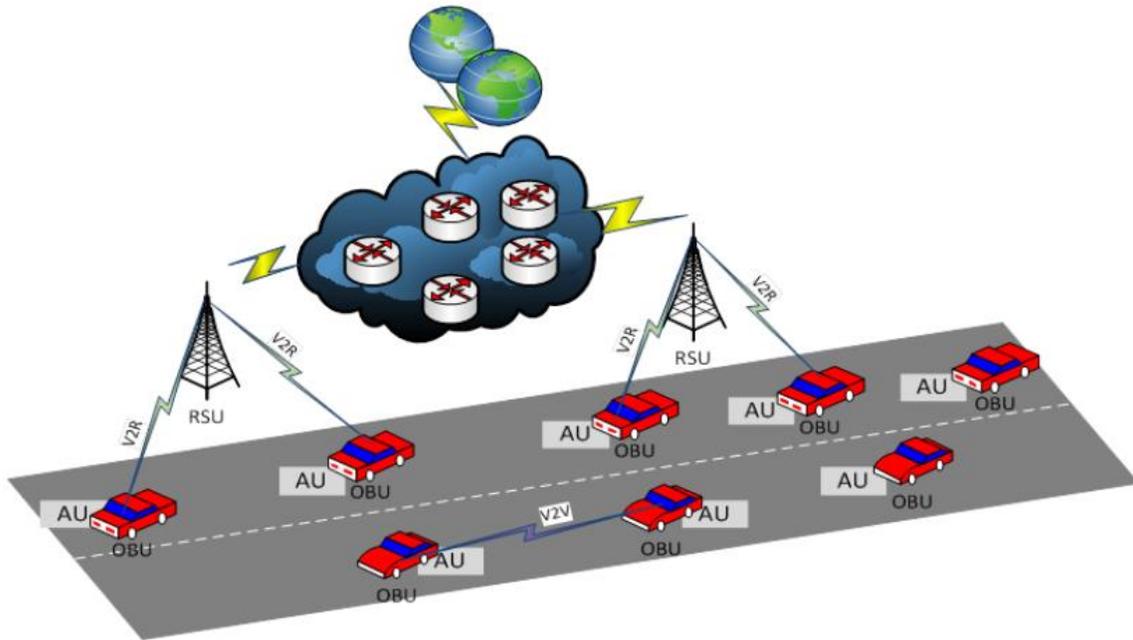


Fig. 21 Arquitectura General del Sistema, Fuente: [20]

### 2.5.3 DOMINIO INFRA-STRUCTURE.

Este dominio se forma en las carreteras o en las autopistas, es una parte importante para los sistemas de redes vehiculares ya que pueden servir para la provisión de seguridad y la privacidad de aplicaciones sobre VANETs.



**Fig. 22 Arquitectura VANET, Fuente: [19]**

En la Fig. 22 vemos la arquitectura de una red VANET la misma que está constituida por los nodos móviles o vehículos, los nodos fijos que son los dispositivos que se encuentran en las rutas, los AU o dispositivos que permiten el uso de aplicaciones estos pueden ser los dispositivos portátiles o una PDA toda esta infraestructura pueden comunicarse entre sí e incluso conectarse mediante protocolos o redes de enlace celular a la red global llamada Internet.

## **2.6 PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS REDES VANET**

La movilidad de los vehículos está limitada por los diferentes factores como: calles, semáforos, límites de velocidad, etc., así como también la existencia de sistemas de transporte: buses, busetas, servicios de taxis y camionetas, vehículos de Instituciones Públicas, vehículos, etc. Esto permite que la red sea predecible.

El rango de cobertura de los radios usados es de 100 a 300 metros para que exista una correcta conectividad para el intercambio eficiente de información entre vehículos, esto permite establecer

redes de mediano y largo alcance, con este tipo de redes se podría llegar a tener redes urbanas que ayuden a solucionar los problemas de seguridad y tráfico en las distintas calles dentro del perímetro urbano de la ciudad de Cuenca [13] [16]

### 2.6.1 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN PARA REDES VANET

Las redes VANETs trabajan en una determinada frecuencia que son las bandas no licenciadas de 2.4 GHz, 5 GHz y 914 MHz, estas bandas manejan velocidades de transmisión de información aceptables entre vehículos que están dentro del perímetro establecido para la red inalámbrica.

### 2.6.2 PROTOCOLOS DE ENRUTAMIENTO PARA REDES VANET

El protocolo de comunicación utilizado para la comunicación entre redes VANETs debe ser eficiente para garantizar una óptima calidad del servicio, para ello revisamos los principales protocolos de enrutamiento que son: Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing. (HDSDV), Ad-Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) y Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA).

#### *a) Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing. (DSDV)*

Este protocolo es de tipo proactivo y utiliza un vector distancia basado en el algoritmo de BellmanFord es un protocolo que posee un número medio de nodos, en cada nodo se encuentra la tabla de encaminamiento que consta de un numero de secuencia, número de saltos y los posibles destinos [16].

La actualización de la tabla de encaminamiento se debe hacer en forma constante y propagarse mediante difusión, de acuerdo al cambio de la topología debido al movimiento de los vehículos los

nodos poseen un número de secuencia que les ayuda a determinar las nuevas rutas, de las rutas antiguas es por ello que en este tipo de red la posibilidad de que se formen bucles es mínima [16].

Si existen dos rutas con el mismo destino se usa la ruta con el número de secuencias más actual, si dos rutas presentan igual número de secuencias lo que prevalece es el número de saltos al destino mientras este número sea menor esa es la ruta escogida [16].

### *b) Ad-Hoc On-Demand Distance Vector (AODV)*

Es un protocolo de enrutamiento de tipo *reactive* que se basa en el algoritmo del *Distance Vector* este tipo de protocolo es apto para un gran número de nodos [16]. Los nodos destino antes de proporcionar información de direccionamiento, crean un número de secuencia de destino que proporciona al resto de nodos información para que de esa manera evalúen cuanto se ha actualizado un recorrido evitando la formación de loop (lazos). Los nodos siempre escogerán la ruta hacia el destino que presente un número mayor de secuencias que corresponde a la información de un routing más actual [15]

AODV soporta el enrutamiento multicast, disminuye el overead de control, el gasto de memoria en comparación con DSDV y las rutas se quedan en la memoria cache mientras son necesarias. Este protocolo permite a los nodos usar mensajes como Route Request (RREQ), Route Replies (RREP) y Route Errors (RERR) para encontrar una ruta hacia otro nodo, para ello aplica el siguiente proceso:

1. Envía en broadcast un mensaje del tipo RREQ como se ve en la Fig. 23

2. Atiende una respuesta del destinatario o de otro nodo que posee una ruta de enrutamiento actualizada hacia el destino. Esta respuesta llega como un mensaje RREP como se ve en la Fig. 24 confirmando que la ruta buscada está disponible.

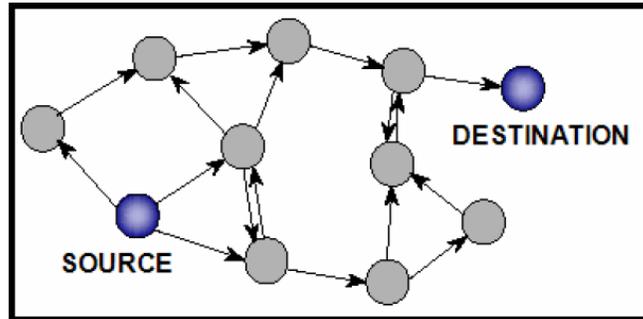


Fig. 23 Transmisión Broadcast de RREQ, Fuente: [15]

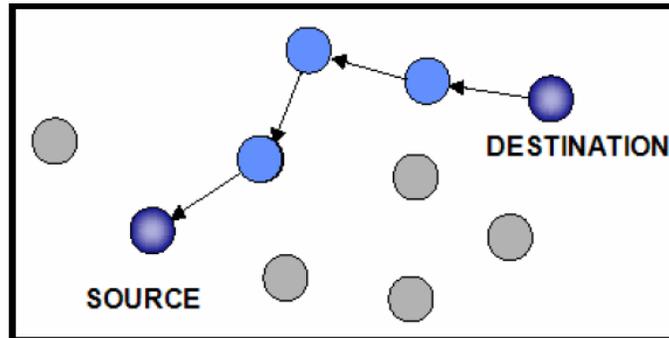


Fig. 24 Transmisión Unicast de RREP, Fuente: [15]

### c) *Temporally Ordered Routing Algorithm (TORA)*

Este protocolo es de tipo reactivo, y se caracteriza por proporcionar múltiples rutas para llegar al destino y establece los enlaces a través de redes de malla inalámbricas, asignando una dirección lógica para mantener un grafo definido y sin ciclos. El objetivo principal de este protocolo es disminuir la carga en la red al ocurrir un cambio en la topología de la red. Las rutas escogidas por este tipo de protocolo no siempre es la más corta al destino de comunicación [16] [15].

El procedimiento para este protocolo es el siguiente [15]:

1. Cada nodo realiza una copia de TORA para cada destino y el protocolo crea, mantiene y cancela los trayectos de enrutamiento.
2. El TORA asocia un peso a cada nodo de la red respecto a un destino, y los mensajes se desplazan desde un nodo con mayor peso hacia uno con peso menor; mientras los caminos descubiertos con paquetes de tipo Query (*QRY*) vienen actualizados con aquellos de tipo Update (*UDP*).
3. Si un nodo necesita conocer un trayecto hacia un destino manda en broadcast un paquete *QRY* que se propaga, hasta que no alcanza el nodo destinatario o a un nodo que posea un trayecto válido hacia el destino.
4. El nodo que responda se servirá a su vez de un paquete *UDP* que agregará también su peso. Los paquetes *UDP* se enviarán en broadcast de modo que permitan a todos los nodos intermedios modificar su peso convenientemente.
5. Se deriva, por tanto, que los nodos que quieran alcanzar destinos lejanos o directamente inalcanzables, aumentan su peso local hasta el máximo valor consentido, mientras que el nodo que encuentre un nodo cercano con un peso que tienda a infinito, cambiará el trayecto.

El paquete de tipo Clear (*Clear*) interviene en algunos casos para resetear todos los estados de direccionamiento de una porción de red cuando el destino sea completamente inalcanzable.

El protocolo TORA se apoya en el protocolo para redes MANET llamado Internet MANET Encapsulation Protocol (*IMEP*) que proporciona un servicio de expedición fiable para protocolos de enrutamiento.

## 2.7 INTRODUCCION A LA TECNOLOGIA LTE.

El gran avance que presentan las tecnologías inalámbricas el cambio en las telecomunicaciones con la evolución de las tecnologías de tercera generación 3G que con cada avance buscan brindar eficiencia en las redes reduciendo costos y mejorando la calidad de servicio, es por ello que la evolución en las tecnologías de telecomunicaciones han llegado a la cuarta generación o 4G más conocida como Long Term Evolution (LTE), la misma que presenta grandes alternativas en comunicación como velocidad de transmisión de datos, eficiencia del espectro, baja latencia, etc., dando apertura a una gran variedad de servicios y aplicaciones como es el caso de las comunicaciones vehiculares que presentamos en este proyecto para facilitar la comunicación entre vehículos y vehículos con la infraestructura.

Los proveedores de comunicaciones en la actualidad ofrecen servicios hasta triple play que es la integración de los servicios de: voz (telefonía), video (televisión) y datos (internet) sobre una misma infraestructura. Pero con el avance de las nuevas tecnologías se pretende que avance a servicios de cuádruple-play (voz, video, datos y movilidad), esta integración permitirá que los proveedores de servicios móviles y de servicios de telefonía fija ofrezcan servicios fijo-móvil permitiendo así que se pueda acceder a cualquier servicio en cualquier dispositivo y sin importar el lugar en el que se encuentre el usuario [21].

Para las futuras tecnologías de las telecomunicaciones un aspecto importante es la banda ancha móvil que se compone de dos dimensiones: movilidad y banda ancha, los inicios de la movilidad se dio con la aparición de la telefonía celular y la banda ancha con la no movilidad. La banda ancha hace referencia a la conexión a Internet que permite soportar voz, datos y video a altas velocidades. Se considera Banda Ancha Móvil porque múltiples servicios pueden viajar a través de la banda ancha mediante el uso de dispositivos móviles [21].

Las tecnologías de acceso inalámbrico han ido evolucionando para conseguir alto rendimiento y eficiencia en un ambiente de movilidad comenzó con la primera generación (1G) en la que se transmitía voz móvil, en la segunda generación (2G) se introdujo capacidad y cobertura, para la tercera generación (3G) se dio paso a la transferencia de datos a altas velocidades para llegar a la cuarta generación (4G) con un servicio de Banda Ancha Móvil esta tecnología hace uso de una arquitectura de red basada en el Protocolo de Internet (IP) con División de Frecuencia Ortogonal Múltiple u Orthogonal Frequency Division Multiple (OFDMA) [22].

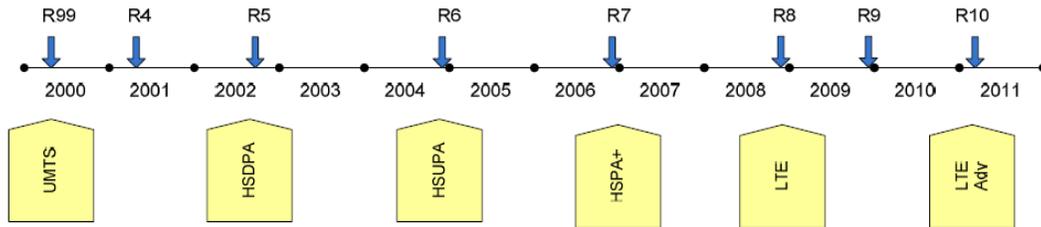
## **2.9 ESTANDARIZACIÓN DE LA TECNOLOGÍA LTE**

El Proyecto de Asociación de la Tercera Generación o Third Generation Partnership Project (3GPP) publica cada cierto tiempo las publicaciones o Release que son documentos con continuas evoluciones y revisiones sobre las tecnologías, permite a los desarrolladores contar con las plataformas estables para implementaciones.

En el Release 8 se proporcionó mejoras a la tecnología de Acceso de Paquetes a alta velocidad o High Speed Packet Access (HSPA +) para ofrecer mayores velocidades de datos y baja latencia para el usuario mediante OFDMA, así como se estableció una red de tipo IP para mejorar la eficiencia espectral en este reléase se definió también una nueva tecnología llamada LTE.

En el Release 9 se amplía la funcionalidad de características y rendimientos de HSPA y LTE para HSPA se introduce una multiportadora o multicarrier y un sistema múltiple entradas múltiples salidas o Múltiple Input Múltiple Output (MIMO), para LTE se centra en la evolución de la arquitectura IP y los subsistemas de multimedia IP o Multimedia Subsystem (IMS) y se mejora los servicios de localización y de radiodifusión. En este reléase se establece también que el siguiente

paso para la evolución de LTE es *LTE – Advanced* [23]. El avance de los reléase en la tecnología de comunicación se muestra en la Fig. 25, como vemos se muestra el avance desde el año 2000 con su respectivo reléase y la tecnología que ha ido evolucionando.



**Fig. 25 Releases del 3GPP, Fuente: [24]**

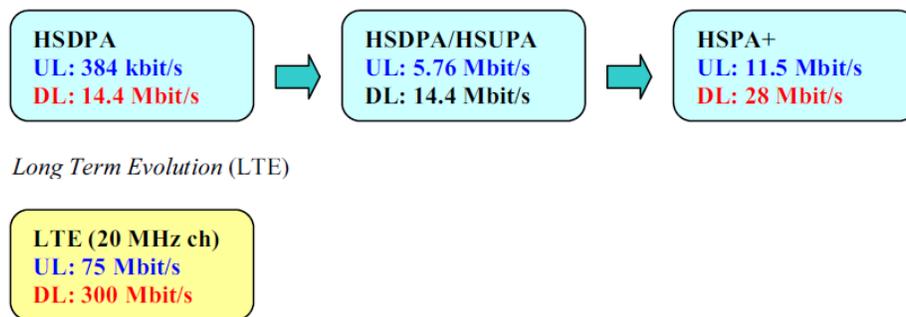
Como expusimos en los párrafos anteriores la tecnología LTE se desplego en el reléase 8 que fue el siguiente paso a Sistemas Universales de Telecomunicaciones Móviles o Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) [21].

Esta tecnología también se la conoce como Envolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) y cuyo objetivo es proporcionar una alta tasa de datos, baja latencia y optimización de paquetes con una tecnología de acceso de radio con un ancho de banda flexible [22]. LTE utiliza para el enlace descendente o downlink el método de Acceso Múltiple por División de Frecuencia o Frequency Division Multiple Access (OFDMA) y para el enlace ascendente o uplink el Acceso Múltiple por División de Frecuencia con Portadora Única o Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) cuya utilización ofrece a los usuarios la reducción de la interferencia y mejor capacidad de la red.

Otra característica de esta tecnología es la eficiencia espectral ya que utiliza una modulación de 64 (QAM) que es una modulación en amplitud por cuadratura que requiere utilizar 2 bits de nivel y un bit de polaridad, el mecanismo de corrección de errores denominado Forward Error Correction (FEC) y técnicas complementarias de radio como MIMO [24].

Utiliza una velocidad de transmisión de 100 Mbps en enlace descendente y 50 Mbps para enlace ascendente en un ancho de banda de 20 MHz y opera en modos FDD y TDD, posee una latencia reducida de 10 mseg entre el equipo de usuario y la estación base.

LTE posee un ancho de banda que va desde 1.4 MHz a 20 MHz lo que permite presentar una alta flexibilidad para operar en una amplia variedad de anchos de banda usando la tecnología en un core IP.



**Fig. 26 Velocidades para enlace descendente y ascendente de HSPA y LTE, Fuente: [24]**

En la Fig. 26 tenemos las especificaciones para transferencia de información tanto para enlace descendente como para enlace ascendente en HSDPA y LTE.

## 2.10 ARQUITECTURA DE LTE

La arquitectura de la tecnología LTE denominada Evolved Packet System (EPS) trabaja con la conmutación de paquetes por lo que su arquitectura se derivada de lo que es la tecnología GSM y UMTS, para su arquitectura se compone de la red de acceso conocida como (E-UTRAN) Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network y el Evolved Packet Core (EPC) como se muestra en

la Fig. 27 esta arquitectura permite que la conmutación de paquetes tenga más movilidad y sin fisuras, calidad de servicio y mínima latencia [25] [21].

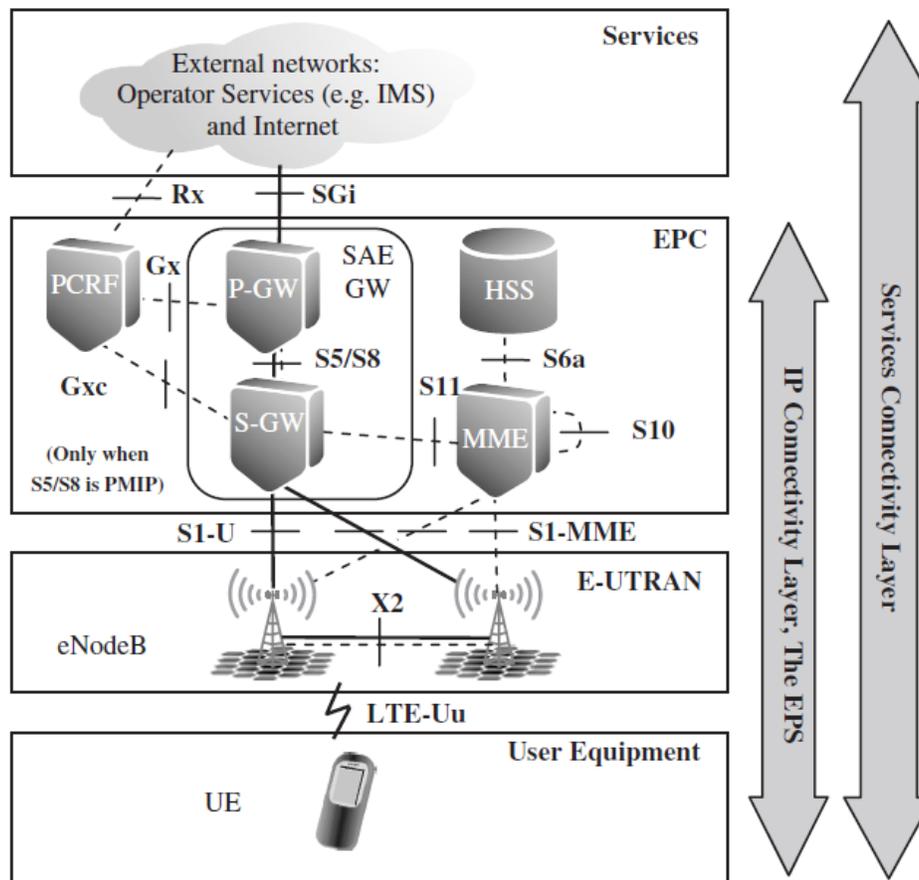


Fig. 27 Diseño de la Arquitectura LTE, Fuente: [25]

Como muestra la Fig. 27 la arquitectura de la tecnología LTE muestra cuatro dominios principales de alto nivel:

- Dominio de Servicios
- Involved Packet Core Network (EPC)
- Interfaz Aire (E-UTRAN)
- Equipo de Usuario (UE)

Esta arquitectura se limita al acceso de radio y al Core Network que hacen referencia a las áreas E-UTRAN y el EPC respectivamente. El conjunto de la UE, E-UTRAN y el EPC representa la capa de conectividad del IP, a esta parte de la red se le conoce como el EPS.

### 2.10.1 DOMINIO DE SERVICIOS

Esta parte de la arquitectura está formada por varios subsistemas los cuales pueden también contener varios nodos lógicos. Entre los servicios que pueden prestar se encuentran los siguientes:

- Servicios basados en IP Multimedia Subsystem (IMS) que es una maquinaria de servicios que el operador puede utilizar para brindar servicios a través del protocolo Session Initiation Protocol (SIP) en donde el usuario accede a servicios mediante un servidor que el operador coloca en su red usando la arquitectura 3GPP, por ejemplo video streaming y servicios de internet para acceder a servicios como navegación web o a un servidor SIP para establecer una llamada de voz (VoIP) [21] [24] [25].
- Servicios no basados en IMS: consta de un servidor el mismo que puede ser colocado por el operador y mediante protocolos establecidos los User Equipment UEs, en este caso los UE serían los vehículos que se encuentren dentro del radio enlace los que se conectarían con este servidor siendo soportados con alguna aplicación en el UE, por ejemplo el servicio de streaming de video proporcionado por un servidor de streaming [21] [24] [25].
- Entre otros servicios se encuentran los que el operador de red móvil prestaría, por ejemplo los servicios de Internet. Esta arquitectura no responde al estándar 3GPP y su arquitectura depende del servicio. En esta configuración el UE se conectaría a un servidor de Internet,

por ejemplo a un servidor web para la navegación web se servicios o en un servidor SIP para telefonía usando servicios de Internet (es decir VoIP) [21] [24] [25].

### 2.10.2 ENVOLEDDED PACKET SYSTEM (EPS)

El EPS está conformado por el núcleo de red llamado Evolved Packet Core (EPC), por la red de acceso Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) y el equipo de usuario que forman la capa de conectividad IP, esta parte de la arquitectura se incorporó al ser eliminado el nodo Radio Network Controller (RCN) y sus funciones fueron implementadas en el eNodeB reduciendo retrasos y optimizando la red.

#### *a) Red Troncal de Paquetes Evolucionada o Evolved Packet Core (EPC)*

El EPC está basado en protocolos TCP/IP, que permite la interconexión entre redes fijas e inalámbricas, mediante esta parte de la arquitectura se aprovechara las ventajas de las tecnologías y permitirá la coexistencia de tecnologías con arquitecturas de paquetes. Los elementos que forman el EPC son:

- Serving Gateway (SGW)
- Mobility Management Entity (MME)
- Packet Data Network Gateway (PDNGW/PGW)

Loa tres componentes de este núcleo de red en conjunto con la base de datos principal del sistema denominado Home Subscriber Server (HSS) constituyen los elementos principales para la prestación del servicios de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados al sistema a

través de la red de acceso E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la red troncal EPC [25] [24].

Esta arquitectura del EPC está guiada por el principio de separación lógica de la señalización y las redes de transporte de datos. El núcleo de red está separado por un plano de usuario que está conformado por el elemento S-GW y el plano de control que lo conforma el elemento MME. El plano de usuario une directamente la red de acceso con el núcleo de red [26].

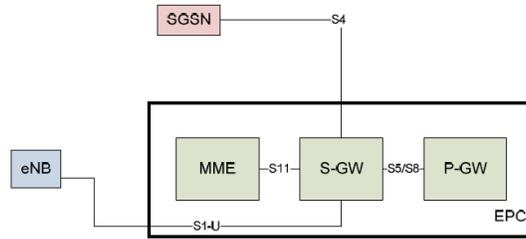
- *Serving Gateway (SGW)*

El SGW permite la conexión de la red de acceso con el núcleo de la red permitiendo el enrutamiento y reenvío de paquetes de datos al usuario mediante la interfaz S1-U. Para cada terminal de usuario que esté relacionado con el EPC existe un único S-GW [25].

S-GW se conecta al P-GW con la interfaz S5 cuando el usuario no está en roaming y con la interfaz S8 si el usuario está en roaming y recibe las instrucciones de la MME a través de la interfaz S11.

Actúa como un asegurador de movilidad entre LTE y otras tecnologías 3GPP mediante la interfaz S4, entre las funciones que cumple este nodo son las siguientes [24]:

- Envía el tráfico móvil a Internet y a otras redes IP.
- Punto de anclaje local de movilidad para el handover inter-eNodeB
- Anclaje para movilidad inter-3GPP (reinstalación del tráfico entre sistema 2G/3G y el Gateway PDN).
- Mediante el interfaz S4, es la entidad involucrada con el tráfico de usuario.



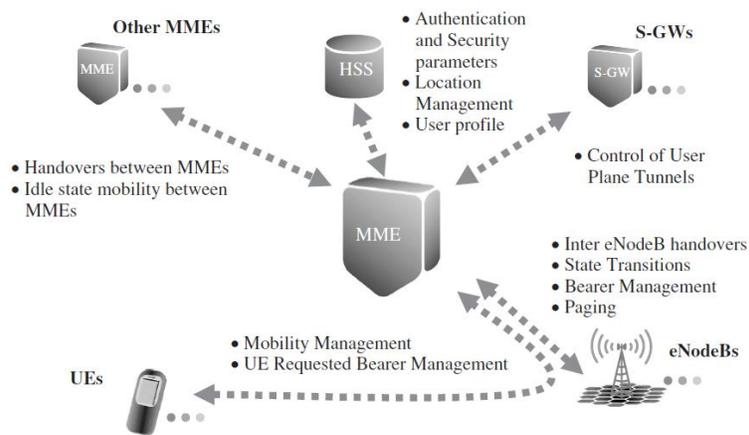
**Fig. 28 Interfaces Definidas Para la S-GW, Fuente: [21]**

Este nodo es responsable de las rutas de los datos y de la comprensión de encabezados IP, encriptación de los streams de datos del usuario y terminación de rutas de datos y de los disparadores de paginación (triggers paging) cuando el UE entra en modo idle, así como almacena el contenido del UE.

- *Mobility Management Entity (MME)*

Este elemento gestiona el acceso de los usuarios a través de E-UTRAN, la movilidad y los parámetros de seguridad, los terminales registrados en la red LTE que poseen acceso mediante E-UTRAN contienen una entidad MME asignada. MME realiza tareas como la autenticación, autorización y señalización y el tráfico de manera independiente.

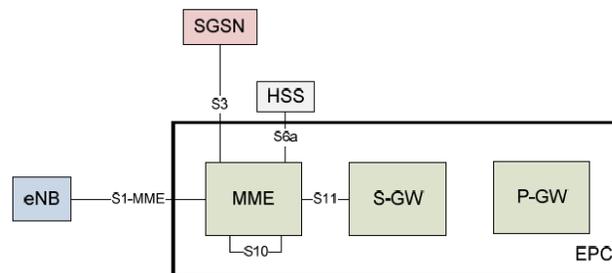
La selección de MME depende de varios aspectos como: la ubicación geográfica del terminal en la red, criterios de balanceo de carga. En la Fig. 29 se observan las funciones de MME:



**Fig. 29 Funciones principales y las conexiones del MME, Fuente: [25]**

- Autenticación y autorización del acceso de los usuarios a través de E-UTRAN.
- Gestión de los servicios portadores EPS (EPS Bearer Service), la que gestiona la señalización que se necesita para establecer, mantener, modificar y liberar los servicios portadores.
- Gestión de movilidad de los usuarios en modo idle que están registrados en la red pero no han establecido conexión.
- Señalización para el soporte de movilidad entre EPS y otras redes externas.

Los protocolos para gestión de movilidad y la administración de sesiones se realizan en esta parte de la arquitectura a través del Nonaccess Stratum (NAS), los mismos que son llevados entre el UE y el MME sobre el Stream Control Transmission Protocol (SCTP) [25] [21] [24].



**Fig. 30 Interfaces definidas para MME, Fuente: [22]**

MME para realizar sus funciones posee varias interfaces como lo muestra la Fig. 30 que se conectan a los eNBs mediante la interfaz S1-MME y la S-GW a través de la interfaz S11.

- *Packet Data Network Gateway (PDNGW/PGW)*

Proporciona conectividad entre la red LTE y las redes externas, es decir, un paquete IP generado en la red LTE es invisible en la red externa por medio de la entidad P-GW, desde el momento en que

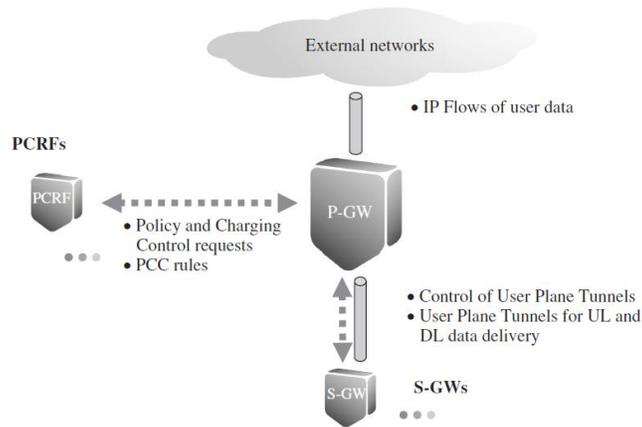
se registra en la red LTE. La principal función del P-GW es actuar como soporte de movilidad entre las tecnologías 3GPP y las tecnologías no 3GPP como WIMAX, EGPP2 y WLAN mediante interfaces de comunicación [25], esta parte de la arquitectura es la que nos permitirá desarrollar nuestro estudio para el diseño de la red de comunicación vehicular ya que los datos que nos entregue la comunicación vehicular ad-hoc serán emitidos a través de la tecnología LTE a un centro de servicio.

Si un usuario está accediendo a múltiples redes PDN puede haber más de un P-GW asignado para dicho usuario lo que le permitirá movilizarse hacia redes no-3GPP, la conexión con las redes externas se realizan por medio de la interfaz SGi y es conectado mediante la interfaz S7 al Policy and Charging Rules Function (PCRF) quien brinda la información de las políticas de tarificación y calidad de servicio [26].

Esta parte de la arquitectura presenta soporte de carga, filtrado de paquetes para los usuarios, Lawful Interception, detección de paquetes y soporte de QoS en los usuarios finales de servicios IP.

Detallamos algunas de las funciones que ejerce esta parte de la arquitectura, así como lo indica la Fig. 31:

- Soporte para la interconexión entre tecnologías
- Interfaz entre la red de acceso y las diferentes redes de paquetes
- Mediante la interfaz S7 transfiere las políticas de calidad de servicio y tarificación.

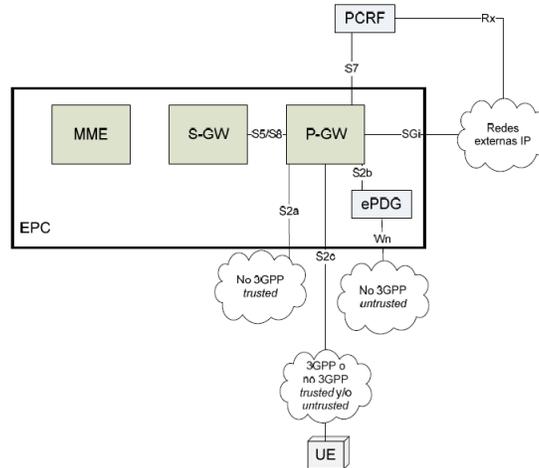


**Fig. 31 Conexiones del PG-W y funciones principales, Fuente: [25].**

*b) Policy and Charging Rule Function (PCRF)*

No es precisamente un nodo específico de la nueva arquitectura, fue definido en el Release 7 para 3GPP, es el encargado de la política y el control de carga, de esta manera gestiona los servicios QoS y la tarificación aplicada al tráfico de usuario. La información que envía al P-GW son reglas conocidas como reglas PCC [25] [21].

El PCRF envía información de servicio los mismos que están conformados por los requerimientos y parámetros relacionados con el flujo IP y se conecta a los servidores de aplicaciones externas mediante la interfaz Rx. En la Fig. 32 se observan las interfaces definidas para P-GW y para el PCRF.



**Fig. 32 Interfaces definidas para P-GW y PCRF, Fuente: [21]**

**c) Evolved Packet Data Gateway (ePDG)**

Es la evolución del PDG, elemento definido en versiones anteriores del 3GPP, su función principal es establecer un túnel seguro para transmisión de datos con el terminal usando IPsec y un filtro para el tráfico no autorizado. Usa la interfaz Wm la misma que cumple con el propósito de intercambiar información del usuario desde el 3GPP AAA Server al ePDG [21].

**d) Home Subscriber Server (HSS)**

El HSS es el encargado de almacenar la información de suscripción y datos de autorización que necesita el usuario para acceder al sistema, como es, información de localización de seguridad (autenticación y autorización), perfil de usuario (servicios del usuario a los que tiene acceso), con esta información puede gestionar sesiones para el usuario [24]. Para que el HSS realice las funciones antes mencionadas, está conformada por el Home Location Register (HLR) y el Authentication Center (AuC), funciones registradas en versiones anteriores del 3GPP [21].

El HLR es el que almacena y actualiza la base de datos que contiene toda la información de suscripción del usuario, cuando sea necesario. El AuC genera la seguridad de la información, la cual

es dada al HLR y su vez es comunicada a las otras entidades de la red. La información que genera el AuC sirve para la autenticación entre los terminales y la red, así como, para el cifrado y protección de la integridad de la ruta de radio, con esto asegura la señalización y los datos transmitidos entre la red y el terminal [25] [21].

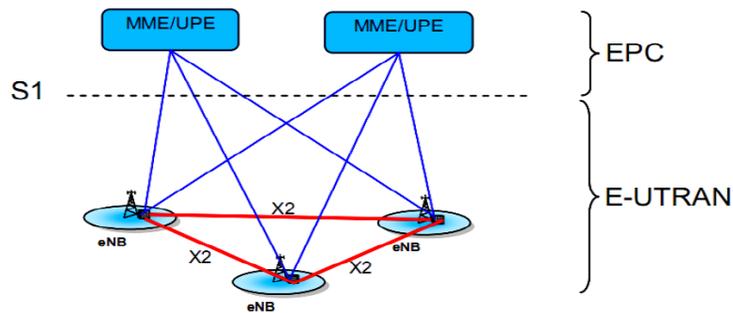
### 2.10.3 EVOLVED UNIVERSAL TERRESTRIAL RADIO ACCESS NETWORK (E-UTRAN)

Se considera la interfaz de aire de LTE, que está constituida por varios Evolved Node B (eNB) que están conectados entre sí mediante la interfaz X2 y conectados al núcleo de la red EPC mediante la interfaz S1, son considerados como estaciones base de LTE que están junto a las antenas de radio y es el elemento que interconectan equipos de usuarios con la red [24] [25] [21].

La interfaz S1 se divide en dos planos; de usuario y de control, el plano de usuario se interconecta con S-GW, mediante la interfaz S1-U y al plano de control, se interconecta con el MME, mediante la interfaz S1-MME [24] [25] [21].

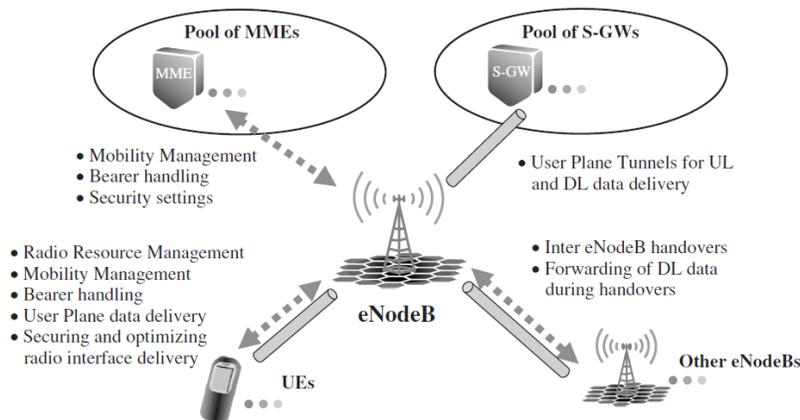
La interfaz X2 con la que interconectan los eNB minimizan la pérdida de paquetes causada por la movilidad del usuario a través de la red de acceso [24] [25] [21].

En la Fig. 33, se muestra la estructura de la arquitectura LTE con E-UTRAN, constan las conexiones de los eNB con sus respectivas interfaz X2, esto elimina el redireccionamiento de los datos a la RNC que existía en las versiones anteriores de los estándares 3GPP, de esta manera E-UTRAN integra todas las características del RNC de manera distribuida entre el eNB y las entidades MME y S-GW [24] [25] [21].



**Fig. 33 Arquitectura LTE con E-UTRAN, Fuente: [24]**

Entre las funciones que desempeña son las que se observan en la Fig. 34 y los detallaremos a continuación [21] [22]:



**Fig. 34 Conexiones del eNB con otros nodos lógicos y sus principales funciones, Fuente: [25]**

- Transferencia de datos del usuario a través de la E-UTRAN entre las interfaces S1 y Uu.
- Canal de radio cifrado y descifrado, protege la información transmitida, de terceros no autorizados.
- Protección de integridad, protege la información transmitida de la alteración de terceros no autorizados.
- Compresión de cabecera, proporciona una compresión de cabecera de la capa de red, transporte o una combinación de protocolos de capas superiores como TCP/IP y RTP/UDP/IP.
- Funciones de control de movilidad: Handover, Paging y Posicionamiento.

- Handover: gestiona la movilidad de la interfaz de radio manteniendo la calidad de servicio.
- Paging: permite al UE contactar la E-UTRAN cuando el UE está en modo idle.
- Posicionamiento: proporciona información sobre la ubicación física del usuario.
- Mantiene en control la interferencia entre celdas.
- Gestiona y mantiene la conexión y desconexión de extremo a extremo.
- Balanceo de carga.
- Distribución segura de los mensajes NAS para los protocolos Radio Resource Control (RRC) y S1 Application (S1-AP).
- Selección del nodo NAS, MME/S-GWs para el UE.
- Mantiene la sincronización entre los nodos de red.
- Dirige al UE a una adecuada Public Land Mobile Networks (PLMNs) por lo que permite la compartición de redes de acceso.
- Transmite los mismos datos a múltiples receptores.
- Seguimiento a los equipos del abonado iniciando en el núcleo de la red.

El eNB es una entidad única que interactúa con UE usando la interfaz LTE-Uu. Para esta interconexión requiere las siguientes capas [22] [21] [25]:

#### *a) Capa 1*

Permite que las demás capas accedan a la información ya que en esta capa se encuentra el soporte para la interfaz de radio.

#### *b) Capa 2*

Se encuentran las siguientes subcapas:

- *Medium Access Control (MAC)*

Efectúa el mapeo de los canales lógicos y los canales de transporte, reporta el volumen de tráfico, corrección de errores, prioridades entre el usuario y los canales lógicos y la selección del formato de transporte.

- *Radio link Control (RLC)*

Transfiere PDUs realiza la segmentación de acuerdo al tamaño de TB de los mismos y permite la re-segmentación de los PDUs que requieren ser retransmitidos, aquí también realiza corrección de errores.

- *Packet Data Convergence Protocol (PDCP)*

Comprensión y descomprensión de cabecera, en el plano de control realiza cifrado, transferencia de datos en este plano.

- *Radio Resource Control (RRC)*

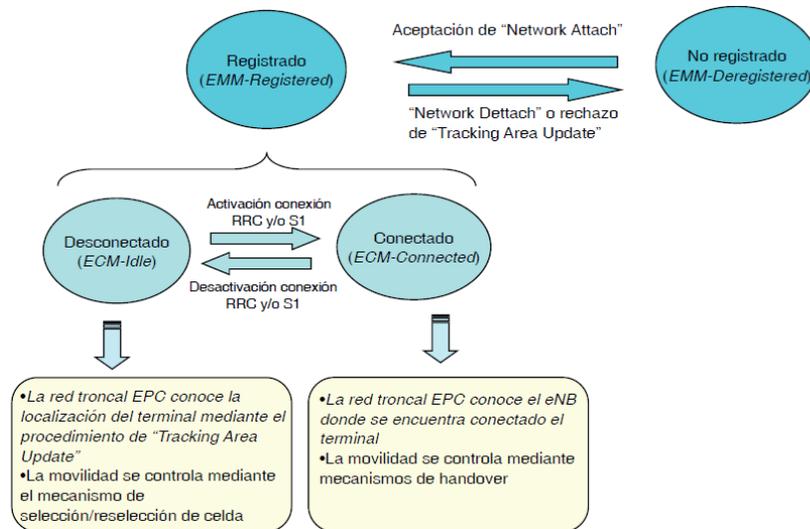
Establece, mantiene y libera la conexión RRC entre el UE y E-UTRAN, maneja portadoras de señales de radio, asiste en el campo de la seguridad, movilidad, activa el modo handover y gestión de QoS.

#### 2.10.4 USER EQUIPMENT (UE)

UE es el dispositivo que el usuario utiliza para la comunicación con la red, en nuestro trabajo de tesis este equipo sería un dispositivo móvil portátil como un teléfono inteligente o una tarjeta de datos que estarían dentro de los vehículos para el envío y recepción de datos. Estos dispositivos deben contener el módulo de identificación denominado Universal Subscriber Identity Module

(USIM) que es una aplicación que se ejecuta en una tarjeta Universal Integrated Circuit Card (UICC), este módulo sirve para identificar y autenticar al usuario mediante claves de seguridad proporcionando protección a las comunicaciones [21] [24] .

En la tecnología LTE el UE puede estar en uno de los siguientes tres estados, descritos en la Fig. 35 [21] [22]:



**Fig. 35 Estados de Conexión del UE, Fuente: [25]**

#### *a) LTE\_Detached*

Estado en la que el equipo se encuentra encendido con un proceso de búsqueda y registro de red, permanece en este estado un tiempo transitorio.

#### *b) LTE\_Active*

El UE ya está registrado en la red y tiene una conexión RRC con el eNB. La red conoce la celda a la cual el UE pertenece y puede transmitir y recibir datos del UE.

*c) LTE\_Idle*

Registra el UE un estado de conservación de energía por lo que no está transmitiendo o recibiendo paquetes, cuando se encuentra en este estado ningún contenido se almacena en el eNB, solo se conoce la ubicación del UE en el MME.

## 2.11 MARCO COMPARATIVO DE LA TECNOLOGÍA AD-HOC Y LTE.

Como ya se analizó en este capítulo las redes VANETS trabajan en dos escenarios de comunicación vehicular: la comunicación inter-vehicular (V2V) y la comunicación vehículo a infraestructura (V2I) de las cuales se determinan las siguientes características principales, como lo indica la Tabla 12.

CARACTERISTICAS DE LAS REDES VANETS	
<b>Topología Dinámica</b>	
<b>Canales variables en tiempo y frecuencia</b>	
<b>Autonomía</b>	Libertad de los nodos, las OBU y las RSU acceden al medio, transmiten, enrutan y reciben paquetes libremente.
<b>Suministro de energía ilimitado</b>	La batería de los vehículos proporciona energía a las OBU y/o AU.
<b>Alta capacidad computacional.</b>	
<b>En una VANET, los vehículos son los nodos de la red y dentro de ellos existirá una unidad de comunicación denominada OBU y una unidad de aplicación AU</b>	
<b>La OBU intercambiar información con otros vehículos o con puntos de accesos estacionarios en las carreteras, llamados RSU</b>	
<b>La AU es el dispositivo que muestra la información al usuario.</b>	
<b>Operan en dominios de acuerdo a su funcionamiento.</b>	

**Dominio Vehículo.-** lo forma la OBU y las AU del nodo, es una comunicación bidireccional dentro del vehículo, su conexión es alámbrica o inalámbrica.

**Dominio Ad-Hoc.-** es la comunicación inalámbrica que se usa para enlazar los nodos entre sí o los nodos con las RSU. Puede utilizar el estándar IEEE 802.11, o mediante otras tecnologías inalámbricas (Wi-Fi, WiMax, 3 G, LTE, etc.)

**Dominio Infraestructura.-** formado por las redes de acceso y la infraestructura que soporta el acceso a internet que solicitan los nodos y/o las RSU. Comunicación por tecnologías cableadas y/o inalámbricas.

#### Tecnologías inalámbricas usadas en redes VANET

<b>IEEE 802.11 WiFi</b>	Opera en bandas libres Alcance de 500m Ancho de Banda de hasta 54 Mbps
<b>802.11p Wireless Access for the Vehicular Environment (WAVE)</b>	Alcance de 100 a 500m Técnica de Modulación se base en IEEE 802.11a utilizando OFDM Tasas de transmisión de 3, 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24, y 27 Mbps en canales de 10 MHz. Utiliza 52 sub-portadoras moduladas en BPSK, QPSK, 16-QAM y 64-QAM. En canalización usa 7 canales no solapados de 10 MHz en la banda de 5.9GHz: 6 canales de servicio y uno de Control.
<b>WiMAX (802.16e)</b>	Alcance de 50Kms Una tasa de transmisión de 75Mbps
<b>Bluetooth (802.15.1)</b>	Alcance de 20m Tasa de transmisión de 2 Mbps
<b>UWB (802.15.3)</b>	Alcance menor a 10m Tasa de transmisión de 480 Mbps
<b>Zigbee (802.15.4)</b>	Alcance de 75m Y una tasa de transmisión de 250 Kbps

**Tabla 12 Características de redes Ad-Hoc, Fuente: (Autores)**

En la Tabla 13 se muestra las especificaciones de la tecnología LTE, esta tecnología trabaja en una banda entre 1,25 y 20 MHz, por lo que posee mayor flexibilidad en la elección del ancho de banda.

<b>Espectro</b>	<b>1.25-20MHz</b>	
<b>Modos de Transmisión</b>	FDD, TDD, Half-duplex FDD	
<b>Movilidad</b>	Hasta 350 km/h	
<b>Acceso Radio</b>	Downlink	OFDMA
	Uplink	SC-FDMA
<b>MIMO</b>	Downlink	2*2,4*2,4*4
	Uplink	1*2,1*4
<b>Peak velocidad 20 MHz</b>	Downlink	173 Mbps 2*2,326 Mbps 4*4
	Uplink	86Mbps 1*2
<b>Modulación Adaptativa</b>	QPSK, 16QAM y 64 AM	

**Tabla 13 Característica de LTE, Fuente (Autores)**

Del análisis realizado durante este capítulo hemos reducido las características más importantes y relevantes para integrar las dos tecnologías en el diseño de la red Vehicular inteligente para la ciudad de Cuenca, en la Tabla 14 tenemos características de ancho de banda, frecuencia y otros de Movilidad.

<b>Característica</b>	<b>802.11p</b>	<b>LTE</b>	<b>LTE-A</b>
<b>Ancho de Canal</b>	10 MHz	1.4 MHz 3-5-10-15-20 MHz	Mayor a 100 MHz
<b>Banda de frecuencia</b>	5.86-592 GHz	700-2690 MHz	450 MHz - 4.99 GHz
<b>Rango de Bits</b>	3-27 Mbps	Sobre los 300 Mbps	Sobre los 1 Gbps
<b>Alcance</b>	Mayor a 1 Km	Mayor a 30 Km	Mayor a 30 Km
<b>Capacidad</b>	Medio	Alta	Muy Alta
<b>Cobertura</b>	Intermitente	Ubicuo	Ubicuo
<b>Soporte en Movilidad</b>	Medio	Muy Alto sobre los 350 Km/h	Muy Alto sobre los 350 Km/h
<b>Soporte de QoS</b>	Acceso de Canal Distribuido Mejorado (EDCA)	Identificador de Clase QoS (QCI) y selección de Portadora	Identificador de Clase QoS (QCI) y selección de Portadora

<b>Soporte en Broadcast/Multicast</b>	Broadcast Nativo	A través de Servicio evolucionado Multimedia Broadcast/Multicast (eMBMS)	A través de Servicio evolucionado Multimedia Broadcast/Multicast (eMBMS)
<b>Soporte de V2I</b>	Si	Si	Si
<b>Soporte de V2V</b>	Nativo Ad- Hoc	No	Potencialmente a través de dispositivo a dispositivo (D2D)
<b>Penetración en el Mercado</b>	Bajo	Potencialmente Alto	Potencialmente Alto

**Tabla 14 Características para Integrar IEEE 802.11p y LTE, Fuente: (Autores)**

## CAPÍTULO 3

### DISEÑO DE LA RED DE COMUNICACIÓN VEHICULAR INTELIGENTE EN LA CIUDAD DE CUENCA

El aumento desmedido de la tasa vehicular en la Ciudad de Cuenca ha ocasionado inseguridad, congestionamiento y tiempos de transporte más extensos, afectando todo esto a la productividad y al desarrollo de la ciudad. Es por eso que hemos visto la necesidad de buscar soluciones para mejorar la movilidad vehicular aplicando los avances de la tecnología en materia de comunicaciones y tecnología de la información.

Los problemas que ha generado el transporte terrestre han llevado a estudiar los Sistemas Inteligentes de Transporte que es una de las vías a utilizar para solucionar los problemas de movilidad ya que permiten elaborar o diseñar arquitecturas de movilidad vehicular y evitar la creación de más infraestructura vial así como, el ensanchamiento de las mismas.

En este capítulo expondremos el diseño de nuestra red vehicular, así como, el uso de las herramientas de simulación tanto para red como para movilidad, iniciaremos con el diseño de la red de comunicación vehicular analizando las partes esenciales de la red, especificaremos los componentes necesarios que deberían tener los vehículos para que cumplan el papel de las OBU, los elementos que cumplen la función del RSU para que se despliegue la comunicación, los protocolos necesarios para integrar Ad-Hoc con LTE y permitir que la información llegue de los vehículos a la central y de la central a los vehículos.

### 3.1 INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA AD-HOC Y LTE PARA LA RED DE COMUNICACIÓN VEHICULAR INTELIGENTE.

De acuerdo a las características ya estudiadas de las tecnologías Ad-hoc VANET y LTE, estas dos tecnologías pueden integrarse para tener mayor acceso a los datos en cualquier lugar sin inconvenientes, es por ello que el diseño de la red vehicular que planteamos es integrando estas dos tecnologías.

Las redes Ad-Hoc VANET presentan múltiples aplicaciones al momento de hablar de sistemas inteligentes de transporte, con el uso de estas redes es posible que dentro de los vehículos se tenga información de seguridad vial, congestión, entretenimiento, ubicación de lugares, publicidad, etc. Como vimos en el Capítulo 2 VANET utiliza tecnologías inalámbricas como IEEE Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) para nuestro diseño utilizaremos esta tecnología y la integraremos con 3GPP LTE.

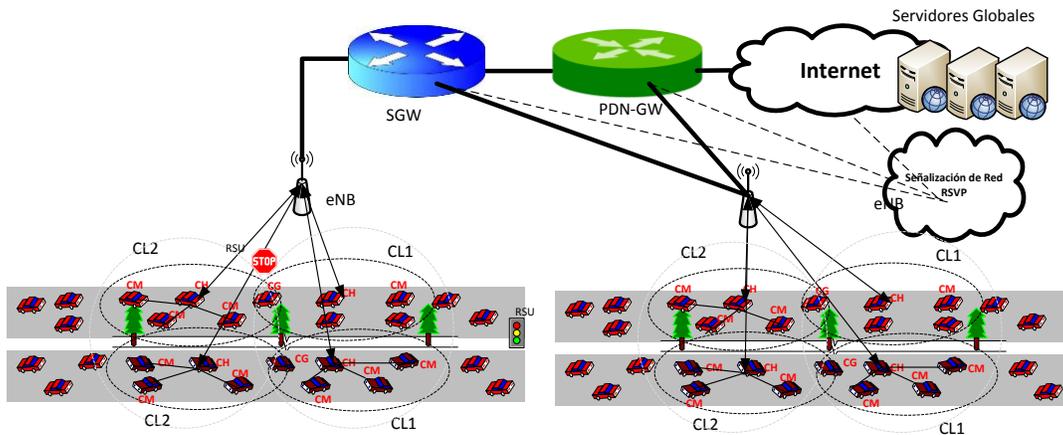
WAVE trabaja en modo Ad-Hoc con el protocolo IEEE 802.11p, permite una comunicación V2V y V2I, así como, 3GPP LTE es una tecnología de última generación para comunicaciones móviles que presenta una infraestructura celular, con esta integración lo que queremos obtener en nuestro diseño es una tasa mayor de datos con IEEE 802.11p y mayor amplitud de cobertura con 3GPP LTE, la decisión de integrar las dos tecnologías es debido a las características de los vehículos, como: velocidad y dirección, así como, las características de los ambientes de la infraestructura vehicular, entre ellos: edificaciones, árboles, etc., y las características de los dispositivos móviles.

En redes integradas se requiere la selección y la gestión de los nodos gateways que servirán de enlaces entre VANETS y LTE, para que estas permitan tener y llevar la información que necesitan de la central de control de tráfico a los vehículos y viceversa.

### 3.1.1 ARQUITECTURA HETEROGÉNEA INTEGRANDO LTE Y AD-HOC VANETS

Nuestra propuesta de diseño para sistemas vehiculares es integrar la tecnología LTE y VANETS, para ello partimos del modelo de una red heterogénea donde, tanto LTE y VANETS trabajan simultáneamente. En la Fig. 36 tenemos el diseño de nuestra red aplicado a un grupo de vehículos en una calle con una dirección de movimiento y realizados cluster de vehículos.

Para sustentar este escenario hemos realizado cluster con los vehículos tomando en cuenta ciertas características como: la dirección de movimiento y la velocidad promedio, para una arquitectura heterogénea los vehículos están dotados de dos interfaces IEEE 802.11p y LTE. Una estación base eNB está ubicado en el centro de la vía y la VANET está considerada dentro de la región de cobertura del eNB.



**Fig. 36 Arquitectura Integrada VANET-LTE, Fuente: (Autores)**

Se requiere que los paquetes de datos se reenvían con eficacia y eficiencia a través de múltiples saltos de red, agrupando los nodos en una red a gran escala con la ayuda de LTE. Los vehículos son agrupados usando la técnica de múltiples saltos; Vehicular Multi-Hop Algorithm for stable clustering in VANETs o algoritmo vehicular múltiple saltos para cluster estables en VANETs (VMASC). La técnica de agrupación lo realizamos ya que los vehículos no presentan características idénticas, en esta técnica en cada cluster de vehículos dotamos a un vehículo como el cluster

cabecera o principal basado en la posición geográfica de los vehículos quien establecerá la comunicación con los vehículos agrupados en ese rango de cobertura.

En la Fig. 36 se muestra la topología con dos calles de distinta dirección en cada calle se presenta una red VANET los vehículos de las VANET están dotados de la interfaz de radio IEEE 802.11p. Además cuenta con un estación base eNB para cada región de cobertura permitiendo que las redes VANETs que se encuentran bajo la misma tengan acceso a los componentes básicos de LTE, mediante la interfaz (E-UTRAN).

### **3.2 ANÁLISIS DE LA INFRAESTRUCTURA DE LA RED DE COMUNICACIÓN VEHICULAR INTELIGENTE**

El desarrollo de las ciudades en el mundo ha llevado a investigaciones y a desarrollar sistemas inteligentes de transporte (ITS). Cuando hablamos de transporte confortable deseamos tener menos tiempo de traslado de un lugar a otro, las construcciones o mejoras en las vías, los accidentes en las principales calles, la falta de sincronización en los semáforos y cruces importantes de las ciudades, son factores que influyen de manera directa en los traslados.

En el capítulo 2 analizamos dos tecnologías importantes las redes Ad-Hoc con su despliegue en VANETs y la red LTE que en nuestro proyecto las unimos y permitirán a los vehículos se comuniquen entre sí.

La infraestructura de la red de comunicación vehicular inteligente parte desde una central de control de tránsito en donde reposara toda la información que se recolecte de la red, por ejemplo, congestión, reparación de vías, ubicación de lugares, control de parqueo, etc. Esta información poseerán los vehículos en un equipo de usuario que puede ser un Smartphone, Tablet o

dispositivos que accedan a internet. La infraestructura de nuestra red consta de las dos tecnologías estudiadas en el capítulo 2 que trabajaran en forma simultánea, los vehículos se conectarán a través de VANETs, la información se enviará a los eNB la misma que se encargará de enviar y recibir información a la central de control de tránsito.

### 3.2.1 CENTRAL DE CONTROL DE TRÁFICO VEHICULAR

La Central de control de tráfico vehicular debe ser capaz de monitorear, gestionar y sincronizar los semáforos de una ciudad, debe brindar información de congestión, vías en mantenimiento, sistema de parqueo, información del entorno donde se encuentra, aplicaciones extras como: compras en líneas, ofertas en diversas tiendas, etc. Obteniendo así una comunicación vehicular inteligente, el diseño de red que proponemos es una red capaz de brindar todos estos servicios.

En nuestro diseño de la red a la central de tráfico vehicular debe llegar información del estado de la infraestructura vial, ambiente de manejo, información vehicular del entorno y sistema de ayuda. La central estaría equipada como se muestra en la Fig. 37.



**Fig. 37 Central de Control de Tráfico Vehicular, Fuente: [5]**

Los datos en la central de control de tráfico son monitoreados y enviados a los vehículos en las diferentes zonas de la ciudad de Cuenca, por ejemplo: se presenta un accidente de tránsito en una

vía con congestión a una hora pico, la central de control de tráfico conjuntamente con el diseño de la red de comunicación vehicular debe tener la capacidad:

- Identificar la magnitud del accidente
- Comunicar a los servicios de emergencia oportunamente
- Priorizar los vehículos de emergencia en las señales de tráfico
- Mantener la circulación vehicular por zonas distantes del accidente
- Comunicar a las operadoras de transporte público sobre el incidente
- Organizar desviaciones vehiculares y comunicar a los conductores para su prevención
- Informar a los viajeros antes de emprender el viaje para modificar sus planes.

Todas las tareas antes mencionadas deben ser desarrolladas de forma coordinada y para ello entra en juego el diseño de la red ya que el flujo de información debe ser rápido y fiable entre todas las partes de la infraestructura vehicular. El flujo de información en nuestro diseño de red se acelera integrando las tecnologías VANET y LTE, para que la información se intercambie de la central de control de tráfico vehicular de la ciudad a las operadoras y usuarios de transporte público y privado, de esta manera se visualizarán en los paneles de mensajes, sistemas de a bordo de vehículos, teléfonos móviles, tablets, servicios de información de transporte en entorno web, etc.

### 3.2.2 RED HETEROGÉNEA VANET-LTE

La integración heterogénea de las dos tecnologías VANET y LTE, es la que permitirá que nuestra red proporcione a los vehículos acceso a los datos en cualquier lugar y momento ininterrumpidamente debido al sistema extendido de red 3G.

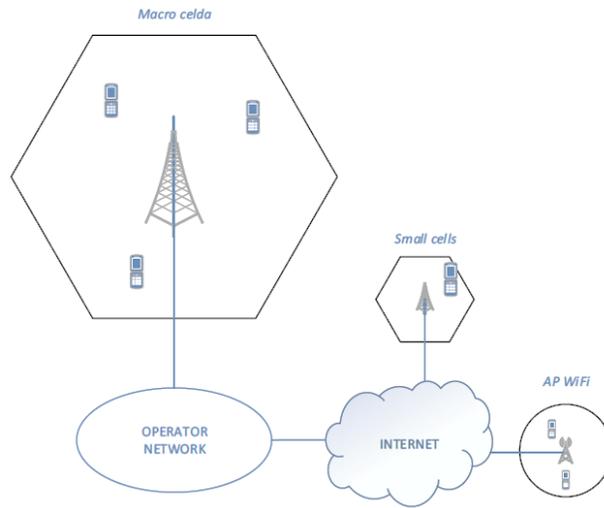
La tecnología IEEE 802.11p (WAVE) es una versión mejorada de la IEEE 802.11 utilizada para acceso inalámbrico en entornos vehiculares, la misma que proporciona un ancho de banda de 5,9 GHz con velocidades de datos entre 6 Mbps y 27 Mbps, la tecnología 3GPP LTE proporciona tasas de datos de enlace ascendente y descendente de al menos 50 Mbps y 100 Mbps respectivamente en un intervalo de tiempo de ida y vuelta de unos 10 ms; se pretende tener con la integración de las dos tecnologías tasas de datos más altos para utilizarlo en aplicaciones multimedia sensibles al retardo con un mayor ancho de banda.

El rendimiento mejorado, la confiabilidad, la escalabilidad y el soporte que se da a la movilidad son características esenciales de la red LTE, estas características son indispensables cuando se presenta baja latencia en la red especialmente cuando existe un alto tráfico dentro de la red.

Los parámetros de ajustes para IEEE 802.11p y LTE radica en la frecuencia de transmisión, la densidad de vehículos y la velocidad media de los mismos para el rendimiento de la red, como se dijo anteriormente se requiere cumplir ciertos requerimientos de comunicación para aplicaciones de redes vehiculares para seguridad vial, eficiencia de viaje, información y entretenimiento. Es por ello que partiendo del marco comparativo realizado en el capítulo 2 hemos decidido unir estas dos tecnologías y diseñar una red vehicular inteligente integrando la tecnología Ad-Hoc VANETS en el estándar IEEE 802.11p con la Tecnología LTE.

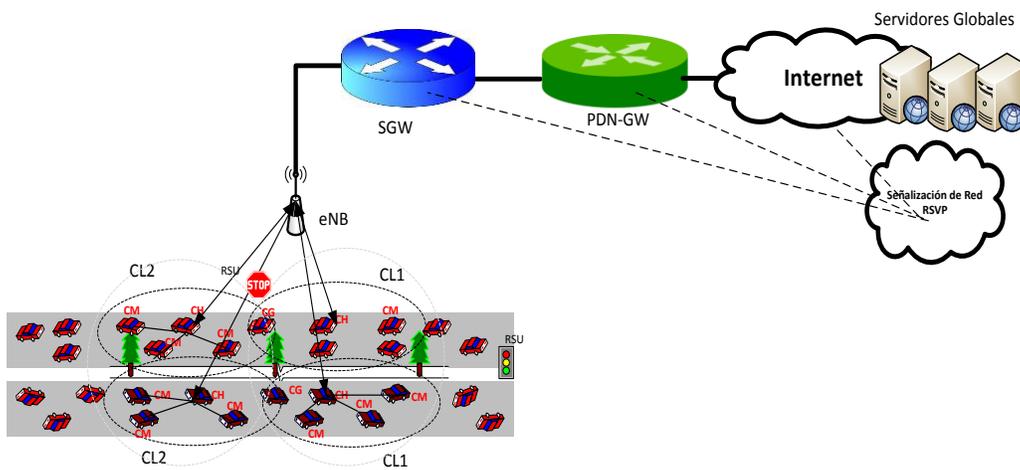
La clusterización en las vías solventa dos grandes problemas, la cobertura: debido a problemas como la difracción, absorción y penetración que afecta a la calidad de la señal, con la clusterización de las vías las estaciones bases se encontrarías cerca de los móviles por lo que la señal no vendría de afuera sino desde el interior de la red como nos indica la Fig. 38, cubriendo espacios donde la señal es baja o nula; la capacidad: con la clusterización las estaciones base son de corto alcance por

lo que se puede reutilizar más veces las frecuencias y por consecuencia se aumentaría la capacidad del sistema [27].



**Fig. 38 Realización de small cells o clusterización, Fuente: [27]**

Nuestra red propuesta es la que se muestra en la Fig. 39, Basada en la Arquitectura descrita en la Fig. 36 ya en la Fig. 36 en la que se observa un escenario de vehículos en dos dirección, los vehículos están organizados en cluster que dependen de la dirección de movimiento y la velocidad, los vehículos deben estar dotados de la interfaz para IEEE 802.11p y para LTE con la cual puedan operar simultáneamente.



**Fig. 39 Arquitectura de Red Integrando IEEE 802.11p y LTE, Fuente: (Autores)**

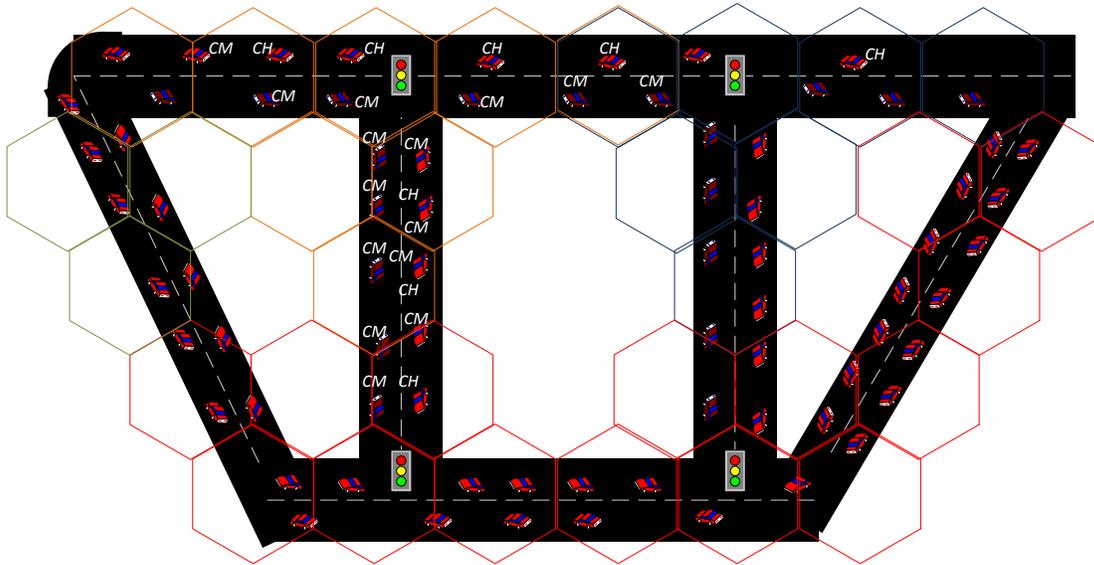
La parte de la red LTE está formada por los eNB que administran los recursos de radio y eventos de transferencia, el núcleo de la red consta de tres unidades principales que se observan en la Fig. 39 conocidos como MME que es el encargado de los procedimientos de control, tales como la autenticación, seguridad y almacenamiento de la información; el S-GW es responsable del enrutamiento, transmisión de datos y acoplamiento de datos con la PCFR; la P-GW es la entidad de salida que permite la comunicación con la IP y las redes de conmutación de circuitos.

Los vehículos están agrupados utilizando la técnica de múltiples saltos VMaSC considerando la estabilidad del cluster y el costo de realizar la clusterización, los vehículos deben encontrarse bajo la cobertura de eNB, el mismo que deberá estar ubicado en el centro de la carretera para nuestro diseño. Para el diseño de esta red se utiliza los recursos EUTRAN y eNB para tener una excelente comunicación de extremo a extremo, tanto para VANETs y LTE.

Contando con el despliegue de la red podemos utilizar para la realización de la red integrada entre IEEE 802.11p y LTE para esta integración de las 2 tecnologías usamos VMASC que consiste en clusterizar los vehículos.

- *Algoritmo Vehicular multi-salto por cluster estable para redes vehicular ad hoc (VMASC).*

En VMASC para la clusterización existe un cluster jefe o cluster Head (CH) al que todos los nodos pueden comunicarse en una serie de saltos como vemos en la Fig. 40 al vehículo jefe se denota por (CH) los vehículos que no están muy lejos del cluster jefe son denotados por cluster miembros (CM), es por ello que el algoritmo diseñado debe ser capaz de minimizar el número de CH en la red para reducir costos de la red a través de la red celular.



**Fig. 40 Escenario de Simulación del Diseño de la Red Vehicular, Fuente: (Autores)**

Explicaremos los estados que pueden optar los vehículos, el algoritmo para la formación de cluster, el mantenimiento y el mecanismo de agrupación multi-hop. Cada vehículo puede operar en uno de estos cinco estados.

**INITIAL:** es el estado inicial del vehículo, los vehículos permanecen en este estado recibiendo y enviando paquetes de conexión o ping, conocidos como HELLO\_PACKET con los atributos relacionados con la clusterización.

**STATE\_ELECTION:** en este estado los vehículos toman la decisión acerca del siguiente estado basándose en el algoritmo de elección de estado usan el LOCAL\_KNOW el cual es creado sobre la recepción de paquetes.

**CLUSTER\_HEAD:** es el estado del vehículo con menos velocidad con respecto a los vehículos vecinos.

CLUSTER\_MEMBER: estado donde el vehículo es conectado a una clusterización.

CLUSTER\_GUEST: es el estado que se habilita únicamente en escenarios de un salto ya que se utiliza para prevenir al sistema de la selección innecesaria de un CH cuando un vehículo no escucha los mensajes de alerta y se declara un nuevo CH. El vehículo en este estado es considerado como un CM que tiene acceso al grupo con la ayuda de un CM.

Los estados que pueden tomar los vehículos mediante VMASC en la integración sirven para realizar la comunicación y el establecimiento de los cluster, la respuesta rápida de un nodo al mensaje de HELLO\_PACKET determina el CH, y cada cierto instante de tiempo la red envía este paquete para verificar si tiene o no que cambiar de CH cuando un nodo no responde al mensaje HELLO\_PACKET la red determina que es CM, la designación de cluster se realiza como lo muestra la Fig. 41. En redes con un solo salto, la red envía un paquete CLUSTER\_GUEST que es el que realiza una actualización de la red para evitar designar un CH innecesario.

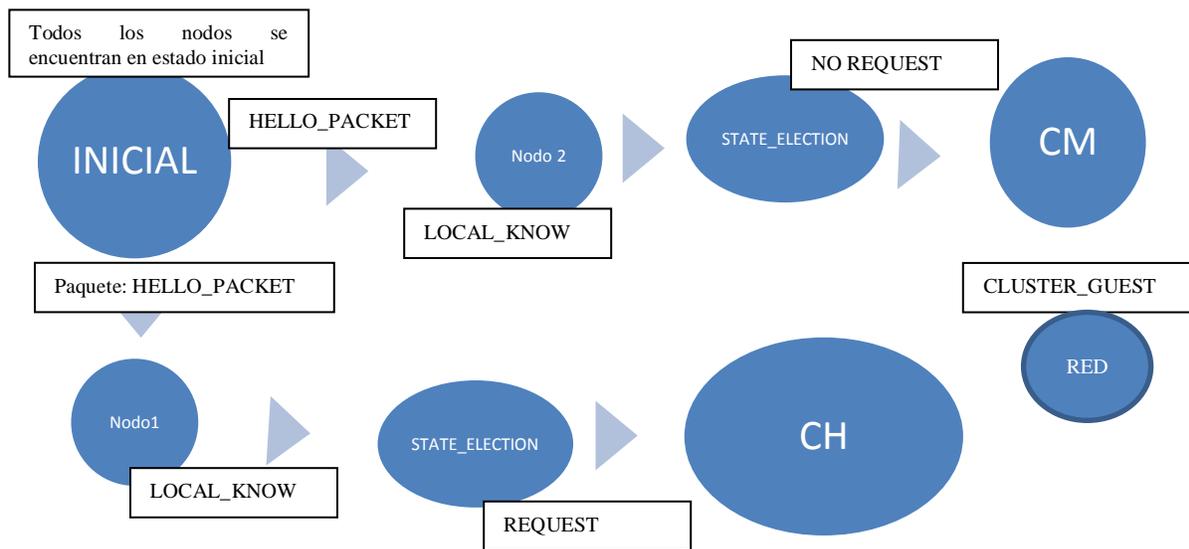
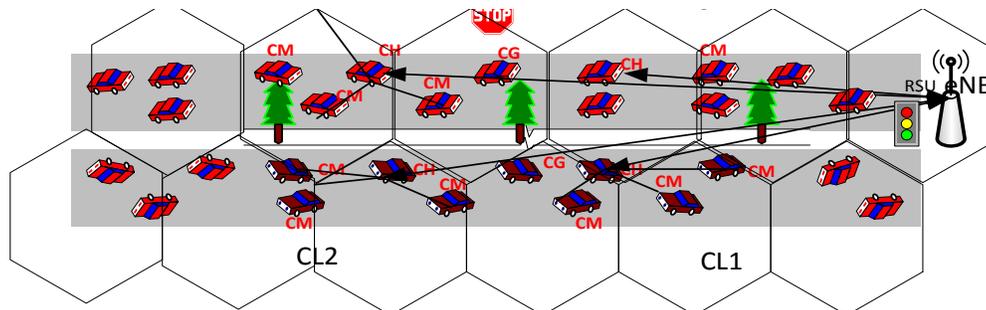


Fig. 41 Estados de los nodos usando VMASC, Fuente: (Autores)

Los vehículos de la red VANET que se encuentran dentro de la región activa 4G y equipadas con la interfaz de E-UTRAN se llama candidatos Gateway o CM. La interfaz de E-UTRAN está habilitado en los CM. Dentro de la red vehicular pueden existir vehículos que puede o no estar dentro de la región activa 4G que estén o no equipados con la interfaz LTE E-UTRAN, son considerados como vehículos ordinarios VO.

Para el cálculo de la cobertura partimos del cálculo del radio de cobertura para la sectorización de la infraestructura vehicular, el eNB va a estar ubicado en las intersecciones de las vías, ya sea en un semáforo, una señalización de tránsito o en una cámara para control de tráfico vehicular, como lo vemos en la Fig. 42. Que abarcara a las redes VANET que están dentro de su radio de cobertura. Y el eNB debe estar conectado directamente con el (EPC), que apoyara la gestión de movilidad, el manejo de QoS y la interoperabilidad de tecnologías 3GPP y las no 3GPP.



**Fig. 42 Clusterización de la infraestructura vial, Fuente: (autores)**

Para la clusterización de la infraestructura vehicular lo realizamos como se muestra en la Fig. 42 donde los vehículos se dividen en grupos en base a su dirección de desplazamiento, y luego se seleccionan los nodos jefes para reenviar los paquetes de datos. Para la selección del nodo jefe se basan en la recepción satisfactoria de mensajes de invitación de jefe, si un vehículo no recibe los mensajes en un tiempo determinado la red automáticamente designa a otro vehículo como el nuevo cluster jefe. La formación y el mantenimiento de la clusterización se llevan a cabo por el proceso

combinado de los nodos vecinos existentes, la conectividad y la movilidad, la red analiza la idoneidad del cluster jefe para su mantenimiento en la red.

### 3.2.4 EQUIPO DE USUARIO

Los vehículos son los nodos de la red vehicular así que el equipo de usuario es el que se encontrara en la parte interna del vehículo, pudiendo ser estos una Tablet, un Smartphone, una OBU o un dispositivo que se conecte a internet como se muestra en la Fig. 43.



**Fig. 43 Equipo de usuario apto para aplicaciones de ITS, Fuente: [28]**

El equipo de usuario deberá poseer el software de aplicación para la red vehicular inteligente, el software o interfaz de integración para VANET-LTE y las aplicaciones de movilidad, para que el usuario pueda utilizar para su bienestar.

Con la integración de las dos tecnologías lo que queremos obtener es que la transmisión de los datos sea segura y de forma rápida, así como que las conexiones entre los vehículos sean más robustas pudiendo así tener mayor tiempo de comunicación en las vías.

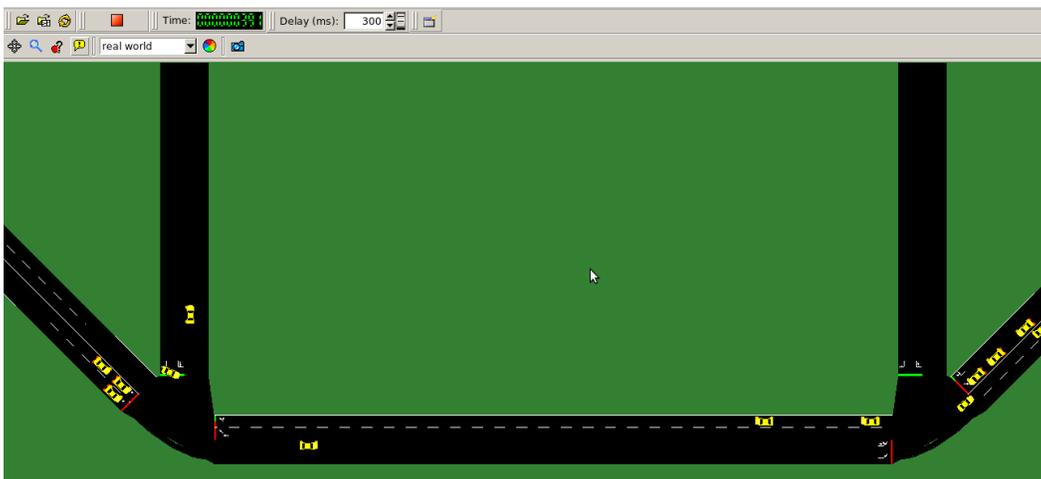
### 3.3 ANÁLISIS DE ESCENARIO CON UTILIZACIÓN DE SUMO Y NS3

#### 3.3.1. HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN.

Las herramientas escogidas para la simulación son SUMO como simulador de tráfico, NS3 como simulador de red y Generador de Modelo de Movilidad Vehicular (MOVE) este nos permitirá realizar la conexión entre NS3 y SUMO haciendo posible la simulación de nuestra red Heterogénea, todo este entorno bajo el sistema operativo Linux 12.04, todas las especificaciones están en el anexo 1.

##### *a) Simulación para movilidad urbana (SUMO)*

Para el desarrollo de nuestra tesis utilizamos SUMO un ejemplo de su apariencia la tenemos en la Fig. 44 ya que es una herramienta que sirve para la simulación microscópica de grandes redes vehiculares, aquí definimos los parámetros que definen a un vehículo como: identificación, capacidad de aceleración, velocidad, así como, el comportamiento del vehículo con respecto a otro que permiten la simulación armónica de gran cantidad de vehículos en los escenarios.



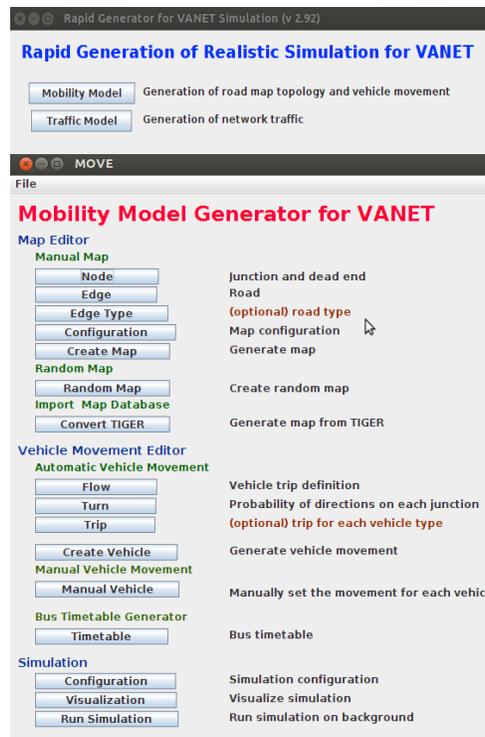
**Fig. 44 Entorno de Sumo, Fuente: (Autores)**

Entre las características de esta herramienta tenemos:

- Simulador microscópico que se basa en la emulación individual del movimiento de cada vehículo, lo que permite que los escenarios puedan ser más próximos a un entorno real.
- Nos permite conocer la posición exacta de cada vehículo en un instante determinado.
- Es una herramienta portable basada en lenguaje C++ que utiliza librerías también portables
- El movimiento del vehículo lo genera sin provocar colisiones
- Se puede simular diferentes tipos de vehículos.
- Enrutamiento de vehículos individualmente.
- Definición de vías con varios carriles y doble sentido
- Cruces con preferencias a la derecha
- Cruces con diferentes niveles de prioridad jerárquica.
- Rápida interfaces grafica basada en OpenGL.
- Enrutamiento dinámico.
- Administración de redes con más de 10000 vías
- Velocidad rápida de ejecución de 100000 vehículos en una maquina con un procesador de 1 GHz.
- Soporta la importación de distintos formatos de redes (Visum, Vissim, ArcView).
- Es una herramienta que se puede trabajar ya sea en Windows y Linux.

*b) Generador de modelo de movilidad vehicular (MOVE)*

Es una interfaz gráfica basada en JAVA que presenta dos segmentos: en el uno generamos el escenario de vehículos con el uso de SUMO y otro dedicado a convertir este escenario en un script TCL para ser interpretado con NS-3. Esta herramienta nos sirve en la transición para la conversión de un escenario con vehículos a una red con nodos. La interfaz gráfica es la que se encuentra en la Fig. 45.



**Fig. 45 Herramienta MOVE para generar el Archivo de SUMO, Fuente: (Autores).**

Para llegar a esta herramienta iniciamos con sumo en donde se maneja el editor de mapas, de movilidad y la simulación de un entorno vehicular, una vez diseñado esta parte en el NS2 se desarrolla un fichero ejecutable que es el simulador de redes telemáticas. Con los archivos obtenidos, MOVE administra la totalidad de vehículos que pasan a ser los nodos que componen la red y nos permite definir los parámetros del protocolo VANET.

### 3.3.2. SIMULACION DEL ESCENARIO INTEGRANDO VANET Y LTE

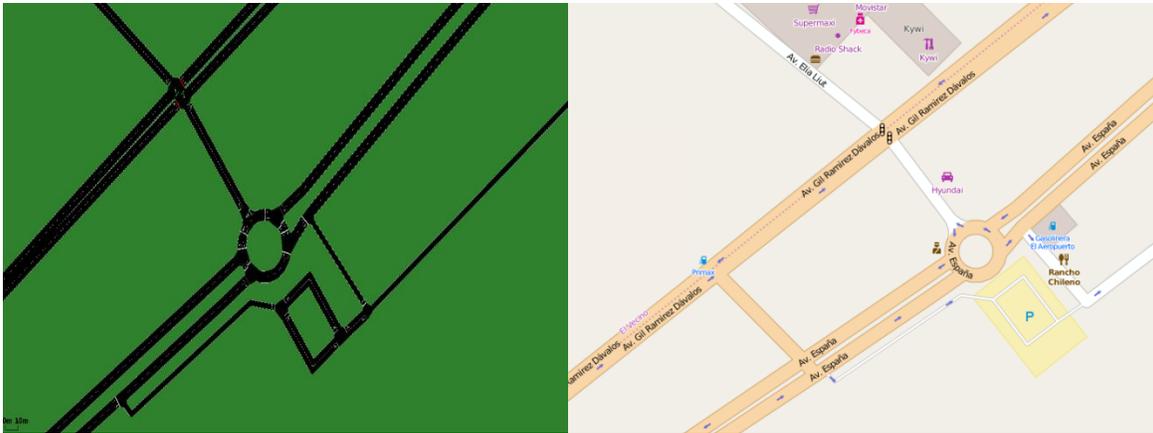
Las herramientas de simulación que utilizamos son SUMO y NS3 en Linux/Ubuntu 12.04, ya que son software libre que permitan simular movilidad para analizar diferentes características de una red diseñada, permitiéndonos de esta manera visualizar las ventajas y desventajas de utilizar cierta tecnología para aplicaciones de sistemas inteligentes de transporte.

El ambiente seleccionado para realizar la demostración es un área de 0.08 km, las carreteras tienen una longitud de 200 m de esquina a esquina, tienen dos carriles con direcciones distintas como se muestran en la Fig. 47, las rutas y los patrones de movimiento se generan utilizando la herramienta de SUMO. Con el fin de estudiar el impacto de la densidad del vehículo, el número de vehículos se fluctuó entre 25 y 150 con un incremento de 25, en la Tabla 15 se muestra más detalladamente los parámetros para la integración de VANET con LTE para realizar la simulación.

<b>Parámetros de Simulación para NS3</b>		
<b>Número de Vehículos</b>	25, 50, 75, 100, 125, 150	
<b>Rango de Velocidad Vehicular</b>	10, 15, 25, 35, 40 km/h	
<b>Frecuencia de Transmision Beacon</b>	1, 4l 8, 10, 20 Hz	
<b>Tipo de Antena</b>	Isotrópica/Omnidireccional	
<b>Área de Simulación</b>	0.08 Km cuadrados	
<b>Duración de Simulación</b>	100 s	
<b>Número de Vehículos incremento del trafico</b>	25	
<b>Tamaño de paquetes Tráfico Vehicular</b>	256 B	
<b>Tamaño de paquetes Background traffic</b>	1,203 B	
<b>Rango de datos Background Traffic</b>	440 Kbps	
	<b>IEEE 802.11 p</b>	<b>LTE</b>
<b>Frecuencia</b>	5.8 GHz	DL 2110 MHz UL 1710 MHz
<b>Ancho de Banda</b>	10 MHz	10 MHz
<b>Potencia de Transmision</b>	25 dBm	eNB (40dBm)/UE (20 dBm)

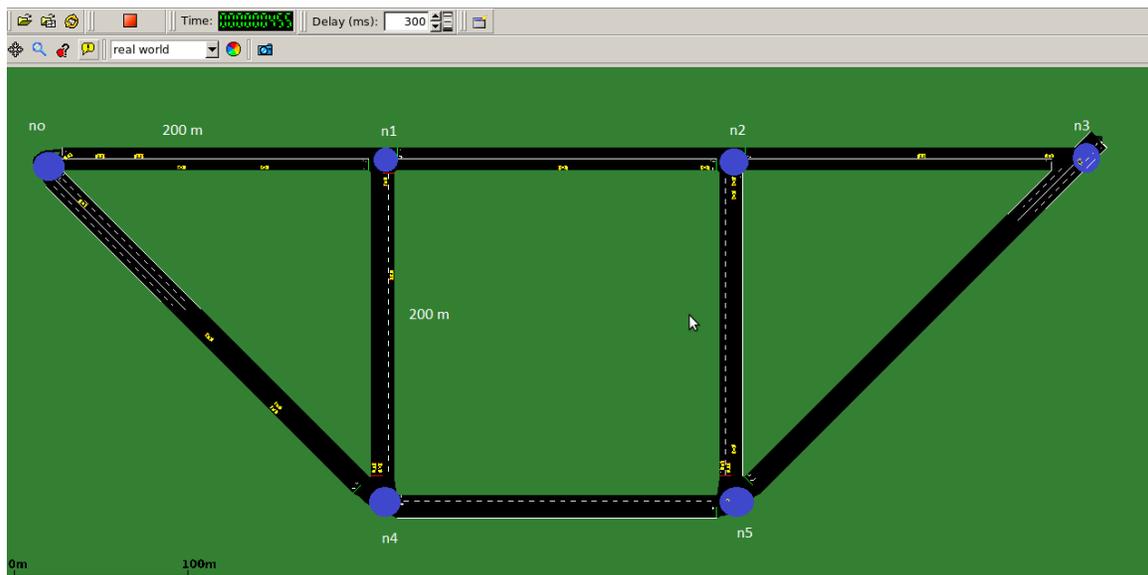
**Tabla 15 Parámetros para Simulación con NS3, Fuente: (Autores)**

Los escenarios se pueden importar desde OpenStreetMap como tenemos en la Fig. 46 con las respectivas coordenadas geográfica o como en nuestro caso crearlo en SUMO y simular las coordenadas partiendo de un plano cartesiano, ajustar la red vial al escenario de simulación y generar patrones de tráfico que nos permitan obtener el modelo de movilidad, para ello utilizamos la herramienta MOVE, la misma que cuenta con un editor de mapas que permite la creación de una red vial de forma automática, así como también, genera los patrones de tráfico que se ajusten a una realidad y se integren con la red vial previamente creada en SUMO.



**Fig. 46 Escenario exportado de la Universidad Politécnica Salesiana, Fuente: (Autores)**

Se pueden exportar múltiples escenarios dependiendo del lugar en donde queremos analizar la red vehicular, en la mostramos otra exportación desde OpenStreetmap.



**Fig. 47 Escenario de Simulación creada en Sumo, Fuente: (Autores)**

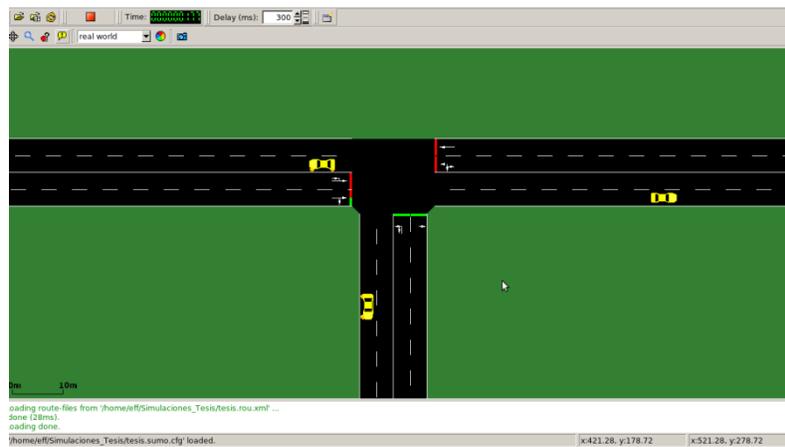
Para analizar el impacto de la velocidad, se coloca al vehículo una velocidad promedio entre 20 y 60 km/h tomando en consideración las leyes de tránsito colocamos 40 km/h.

Nodo	X	Y	Semáforo
n0	100	300	No
n1	300	300	Si
n2	500	300	Si
n3	700	300	No
n4	300	100	Si
n5	500	100	Si

**Tabla 16. Especificaciones de los nodos, Fuente: (Autores)**

Utilizamos un alcance de transmisión de 250 m y el vehículo desplegado en un área total de 0.08  $km^2$  es una apreciación de un área con intersecciones en las que se podría visualizar congestión a las horas picos. En redes que utilizan la tecnología IEEE 802.11p el alcance de la comunicación se da hasta los 250 m o 25dBm.

Se analizó la movilidad en sumo con un tiempo estimado de simulación de 1000s con un delay de 300 ms en la Fig. 48 podemos observar la simulación durante un tiempo.



**Fig. 48 Simulación del escenario en SUMO, Fuente: (Autores)**

El ambiente que necesitamos generar es uno próximo a un escenario real por lo que las características para que se genere el tráfico es aleatorio ya que los vehículos proceden de dos nodos que son el nodo 0 en la dirección de la vía D04 y desde el nodo uno en la dirección R12 y son ellos quienes deciden que ruta tomar al llegar a un cruce de vías.

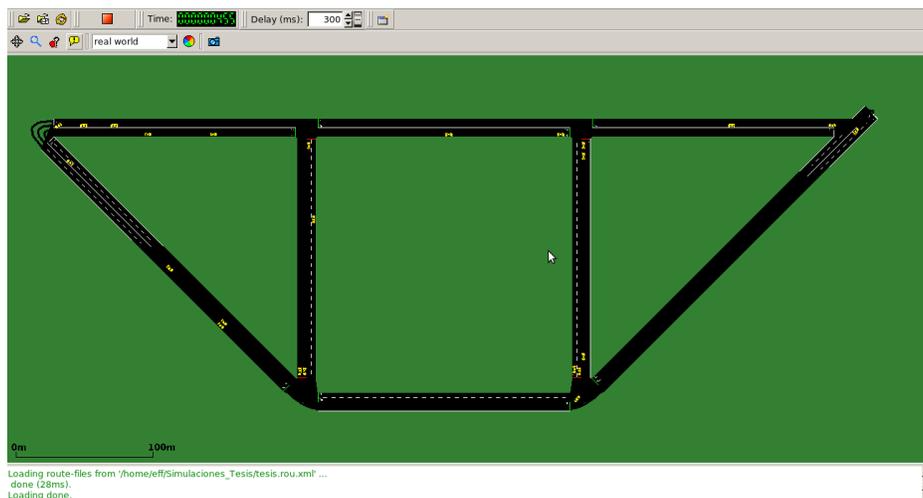
Cada vehículo transmite 256 B en capacidad de paquete en la variación de la frecuencia de transmisión usando una aplicación basada en UDP, los vehículos se comunican directamente sin la ayuda de los RSU. Para la parte de LTE se utilizó el NS-3. La parte de la red LTE constituye un único nodo eNB que se encuentra en la esquina de la zona y representa la única celda de LTE. Los parámetros generales de simulación de movilidad están en la Tabla 17 siguiente:

Parámetro	Valor
<b>Tiempo de Simulación</b>	2000ms
<b>Área de Simulación</b>	0.08 km <sup>2</sup>
<b>Velocidad Máxima</b>	40 km/h
<b>Número de Vehículos</b>	150
<b>Numero de Nodos</b>	6
<b>Rango de transmisión</b>	200ms
<b>Nº Max. De CH</b>	3
<b>Periodo del paquete HELLO_PACKET</b>	20ms
<b>Periodo del DATA_PACKET</b>	1s

**Tabla 17 Parámetros para la simulación de VANET en SUMO, Fuente: (Autores)**

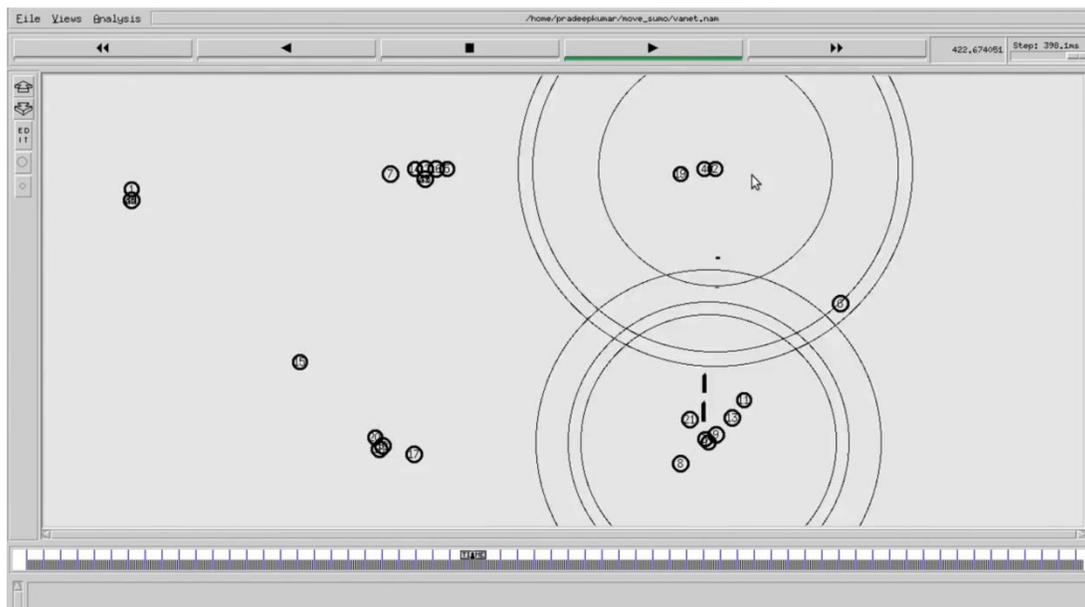
Durante el tiempo de la simulación van presentados mayor cantidad de vehículos que en un momento presentan un nivel de congestionamiento medio. Colocamos nodos en cada intersección para analizar el rendimiento de la red en materia de movilidad, como podemos visualizar en la Fig.

49.



**Fig. 49 Escenario Completo de VANET durante la simulación, Fuente: (Autores)**

Una vez generado los patrones de movilidad y haberlos simulados en MOVE obtenemos resultados de los móviles durante la simulación los móviles determinan que ruta escoger, si escoger una ruta alterna o una ruta principal, analizando tiempos de llegada de un lugar a otro. En este entorno de simulación podemos simular varios escenarios para analizar diferentes estados de la red. En la Fig. 50 podemos observar varios nodos que mediante el Protocolo AODV realizan el envío de paquetes cada paso de la simulación. Mediante este protocolo en redes VANET como vemos en la simulación la red pierde menos paquetes en los escenarios que presenta menos movilidad debido a que AODV utiliza el mecanismo de local repair que permite reparar un enlace perdido no obstante en los ambientes de alto tráfico vehicular existen paquetes que si se pierden. De aquí parte el análisis del Diseño de la Red Vehicular integrando VANET y LTE.



**Fig. 50 Resultados de VANET, Fuente: (Autores)**

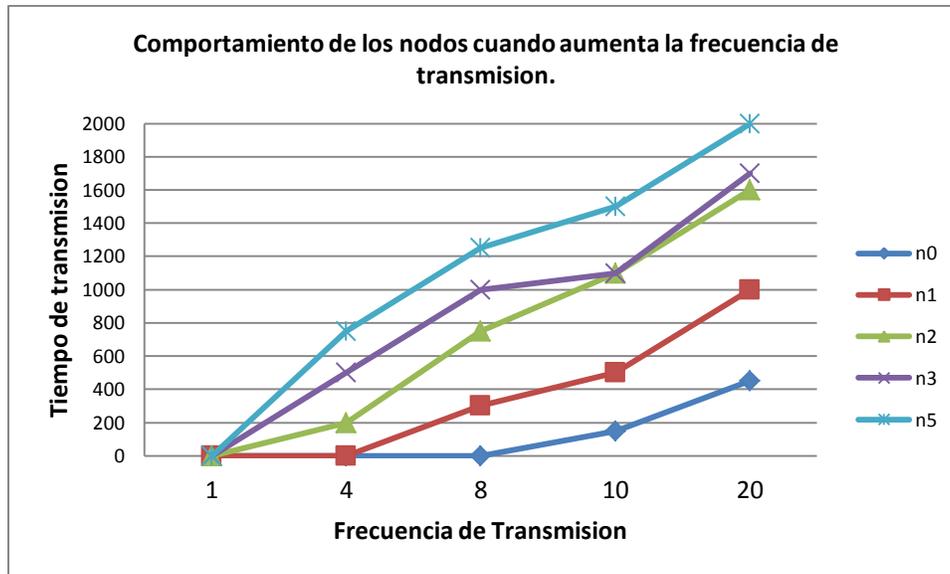


Fig. 51 Comportamiento de los nodos cuando aumenta el tráfico, Fuente: (Autores)

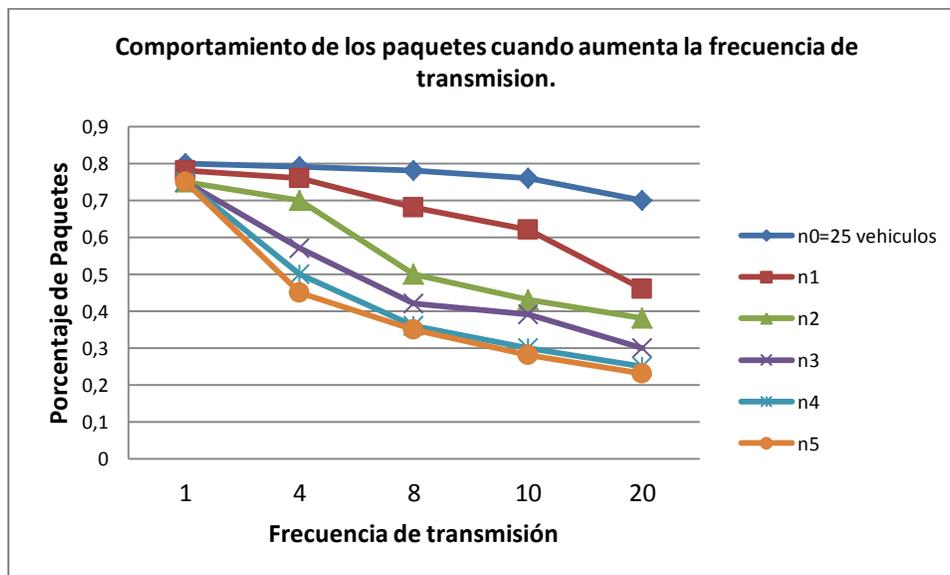


Fig. 52 Comportamiento de los paquetes cuando aumenta el tráfico, Fuente: (Autores)

Bajo el análisis realizado en la simulación de SUMO y NS2 que al momento de presentarse un alto tráfico los paquetes empiezan a perderse como lo visualizamos en la Fig. 51, convirtiéndose esto en un problema en la comunicación, así como el tiempo de envío de paquetes de un nodo a otro aumenta conforme aumenta el tráfico en la red como lo podemos ver en la Fig. 52, es por ello que

decidimos integrar las tecnologías IEEE 802.11p de VANET con WAVE en LTE. Conociendo las características de robustez de LTE.

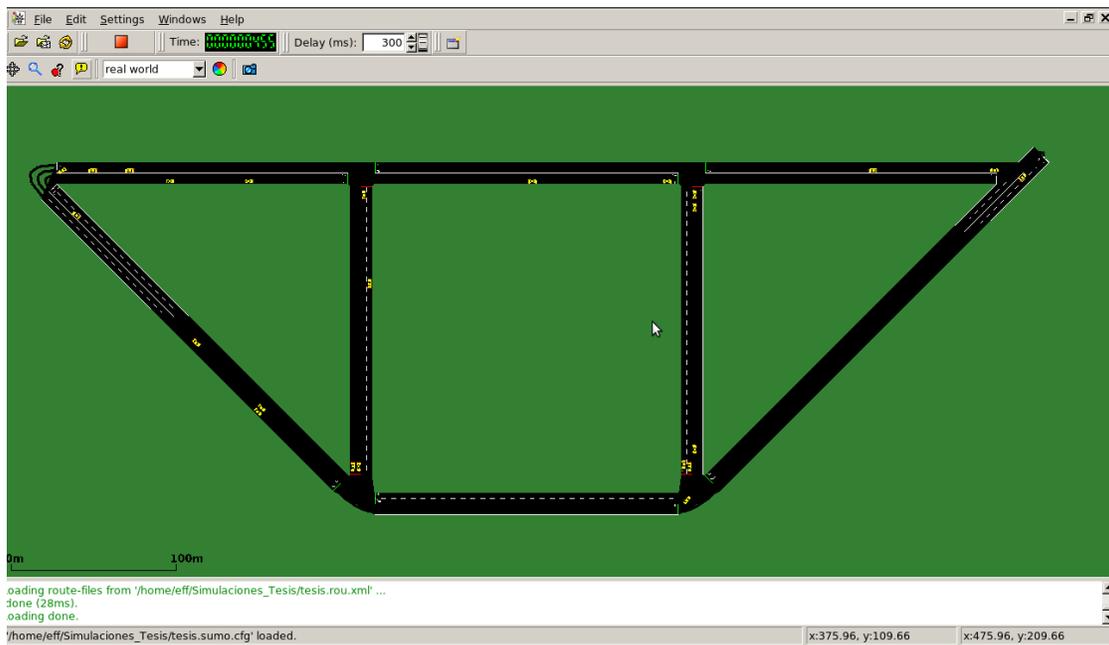
Para la simulación del escenario integrando las dos tecnologías antes mencionadas requerimos SUMO para que nos entregue el archivo TCL que será cargado en NS3 y de esta manera analizar las características de realizar diseños de movilidad más eficientes. Una de las herramientas esenciales en esta simulación es la aplicación LENA que trabaja con líneas de código en C++. Esta herramienta es la que vamos a utilizar en nuestro diseño para el análisis de la tecnología LTE.

Para el análisis de parámetros de la tecnología LTE utilizamos el modulo LENA de NS3 que realiza lo concerniente a la tecnología LTE. Sabemos que la estación base o eNB consta de la red de acceso de radio (RAN) de la arquitectura de red LTE que se encarga de todo el control del acceso y las funcionalidades de gestión y de interacción entre el equipo de usuario y el núcleo de red LTE. El eNB se conecta directamente con el EPC quien apoya la gestión de la movilidad, el manejo QoS y la interoperabilidad con las tecnologías 3GPP y no 3GPP.

El estándar LTE a más de la utilización de un ancho de banda autentico permite a los operadores de redes móviles (MNO) para ofrecer servicios sofisticados de una manera eficaz, tomando en cuenta las características de LTE se pretende explotar sus características ya que apoya a las aplicaciones de redes vehiculares ya sea con el uso de teléfonos inteligentes y OBU con conexión LTE.

Para la simulación de LTE usamos la distribución de LENA de NS3, La simulación de la integración de la topología de SUMO propuesta en nuestra simulación tiene los siguientes parámetros, como por ejemplo:

Para el análisis colocamos 6 nodos que están separados con una distancia de 200 metros como se muestra en la Fig. 53, ubicados en cada intersección de vías el análisis.



**Fig. 53. Nodos ubicados en cada intersección, Fuente (Autores).**

Usamos el algoritmo de NS3 AODV-LENA que se encuentra en el anexo1 para obtener las características de la red vehicular integrada con LTE. Con el software utilizado realizamos 4 ambientes de simulación que cumplen los siguientes factores, en esta simulación pudimos observar el envío efectivo de paquetes de datos. El análisis esta desarrollo entre nodos que se encuentran a distancias distintas.

```

untu: ~/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17
eff@ubuntu:~/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17$ ./waf --run scratch/myaodv
Waf: Entering directory `/home/eff/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17/build'
Waf: Leaving directory `/home/eff/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17/build'
'build' finished successfully (2.779s)

*****
***** UPS *****
***** SIMULACION TESIS MOVILIDAD *****
***** AUCANCELA-ESPINOZA *****
*****

DISENO DE RED CON 6 NODOS A 10 m DE DISTANCIA.

Inicio de Simulacion AODV-LTE 10 seg ...
PING 10.0.0.6 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=1 ttl=64 time=2 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=0 ttl=64 time=1003 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=2 ttl=64 time=0 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=3 ttl=64 time=0 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=4 ttl=64 time=0 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=5 ttl=64 time=0 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=6 ttl=64 time=0 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=7 ttl=64 time=0 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=8 ttl=64 time=0 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=9 ttl=64 time=0 ms
--- 10.0.0.6 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9999ms
rtt min/avg/max/mdev = 0/100.5/1003/317.1 ms
eff@ubuntu:~/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17$ █

```

Fig. 54 Red con 6 nodos a 10 m, Fuente: (Autores)

```

untu: ~/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17
eff@ubuntu:~/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17$ ./waf --run scratch/myaodv
Waf: Entering directory `/home/eff/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17/build'
Waf: Leaving directory `/home/eff/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17/build'
'build' finished successfully (2.835s)

*****
***** UPS *****
***** SIMULACION TESIS MOVILIDAD *****
***** AUCANCELA-ESPINOZA *****
*****

DISENO DE RED CON 6 NODOS A 50 m DE DISTANCIA.

Inicio de Simulacion AODV-LTE 10 seg ...
PING 10.0.0.6 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=0 ttl=62 time=8 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=1 ttl=62 time=2 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=2 ttl=62 time=2 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=3 ttl=62 time=2 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=5 ttl=62 time=8 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=6 ttl=62 time=2 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=7 ttl=62 time=2 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=8 ttl=62 time=2 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=9 ttl=62 time=2 ms
--- 10.0.0.6 ping statistics ---
10 packets transmitted, 9 received, 10% packet loss, time 9999ms
rtt min/avg/max/mdev = 2/3.333/8/2.646 ms
eff@ubuntu:~/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17$ █

```

Fig. 55 Diseño de red con 6 nodos a 50 m, Fuente: (Autores)

```

ntu: ~/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17
eff@ubuntu:~/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17$ ./waf --run scratch/myaadv
Waf: Entering directory `/home/eff/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17/build'
Waf: Leaving directory `/home/eff/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17/build'
'build' finished successfully (2.842s)

*****
***** UPS *****
***** SIMULACION TESIS MOVILIDAD *****
***** AUCANCELA-ESPINOZA *****
*****

DISENO DE RED CON 6 NODOS A 100 m DE DISTANCIA.

Inicio de Simulacion AODV-LTE 10 seg ...
PING 10.0.0.6 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=0 ttl=60 time=12 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=1 ttl=60 time=4 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=2 ttl=60 time=4 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=3 ttl=60 time=4 ms
--- 10.0.0.6 ping statistics ---
10 packets transmitted, 4 received, 60% packet loss, time 9999ms
rtt min/avg/max/mdev = 4/6/12/4 ms
eff@ubuntu:~/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17$ █

```

Fig. 56 Diseño de Red con 6 nodos a 100 m, Fuente: (Autores)

```

ntu: ~/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17
eff@ubuntu:~/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17$ ./waf --run scratch/myaadv
Waf: Entering directory `/home/eff/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17/build'
Waf: Leaving directory `/home/eff/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17/build'
'build' finished successfully (2.784s)

*****
***** UPS *****
***** SIMULACION TESIS MOVILIDAD *****
***** AUCANCELA-ESPINOZA *****
*****

DISENO DE RED CON 6 NODOS A 200 m DE DISTANCIA.

Inicio de Simulacion AODV-LTE 10 seg ...
PING 10.0.0.6 56(84) bytes of data.
--- 10.0.0.6 ping statistics ---
10 packets transmitted, 0 received, 100% packet loss, time 9999ms
eff@ubuntu:~/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17$ █

```

Fig. 57 Diseño de Red con 6 nodos a 200 m, Fuente: (Autores)

En las Fig. 54, Fig. 55, Fig. 56 y Fig. 57 se observan los resultados de las simulaciones pudiendo observar cómo se comportan los paquetes dependiendo de la distancia de los nodos.

Distancia entre CH	Porcentaje de Paquetes perdidos	Observación
<b>10 m</b>	No se pierden paquetes	El CH realiza la comunicación.
<b>50 m</b>	10% de pérdida de paquetes	El CH pierde un porcentaje menor
<b>100m</b>	60% de pérdida de paquetes	El CH comienza a salir de la zona de cobertura
<b>200m</b>	Se pierden el 100% de paquetes	El CH ha salido completamente de la zona de cobertura.

**Tabla 18. Análisis de pérdidas de paquetes por el CH, Fuente: (Autores)**

En la Tabla 18 tenemos los datos obtenidos en las simulaciones, aquí analizamos la efectividad del envío de paquetes en redes vehiculares integrando VANET y LTE en cada simulación vemos la eficiencia en el envío de paquetes, cuando los nodos se encuentran a distancias distintas. De acuerdo a los resultados podemos ver que para los escenarios simulados con la carga de tráfico específico la tecnología LTE ofrece una capacidad de red superior y soporte de movilidad a diferencia de utilizar una única red VANET en el estándar IEEE 802.11p, por lo que la integración de las dos tecnologías son sostenibles para simular o desarrollar aplicaciones para Sistemas Inteligentes de transporte.

Nuestro estudio sugiere que la simulación en el estándar LTE presenta mejor escalabilidad, entrega datos de forma fiable, y cumple con los requisitos de latencia planteados por varias aplicaciones de redes vehiculares, su fiabilidad se presenta cuando: acrecienta el tráfico vehicular, aumenta la velocidad de los vehículos o la distancia entre los nodos porque para cuando los nodos se alejan le soporta el uso de VMASC o la clusterización que se puntualizó anteriormente.

Con forme los CH se alejan a distancias mayores a 200 metros los paquetes se pierden completamente por la única razón de que así funciona una red móvil normal pero si se tiene una clusterización utilizando el entorno VMASC cuando los nodos se alejen y ya no exista respuesta de uno de los CH la red automáticamente designara un nuevo CH. Este trabajo queda abierta para

futuras investigaciones acerca de la integración de las tecnologías IEEE 802.11p con LTE con la aplicación en QoS o con VMASC. Todo lo establecido para las simulaciones se encuentra en el anexo 1.

## **CAPÍTULO 4**

### **ANÁLISIS ECONÓMICO Y DE FACTIBILIDAD**

Una vez realizado el estudio del arte de la movilidad en la ciudad de Cuenca, el despliegue de las tecnologías LTE y VANET realizamos el análisis económico para demostrar si la aplicación de un ITS con la red diseñada es factible o no en la zona urbana de la ciudad de Cuenca.

En este apartado iniciaremos explicando los beneficios de tener una red vehicular inteligente en la ciudad de Cuenca integrando Ad-Hoc y LTE, analizaremos cada uno de mejor manera en el avance de este capítulo, conoceremos los equipos necesarios que se requerirían para implementar la red así como para brindar la aplicación de control de tráfico. Con los datos obtenidos de beneficios de servicios y equipos cuantificaremos en un análisis económico.

#### **4.1 BENEFICIOS DE LA RED DE COMUNICACIÓN VEHICULAR INTELIGENTE EN LA CIUDAD DE CUENCA INTEGRANDO LA TECNOLOGÍA AD-HOC Y LTE.**

Como hemos analizado en el capítulo 1 y capítulo 3 una aplicación para sistema inteligente de transporte debe tener la capacidad de garantizar un transporte de personas y mercancías correcto y eficiente para promover una economía sostenible y moderna dentro de las diferentes ciudades, provincias y países. Recordemos que en el capítulo 1 hablamos de la infraestructura vehicular en la ciudad de Cuenca así como su movilidad, teniendo como resultado que en las horas picos las vías principales y algunas adyacentes como: Av. Huayna Capac, Av. De las Américas, Av. España, Gran Colombia, Simón Bolívar y algunas otras más se congestionan y provocando un tráfico insostenible.

Entre los beneficios que podemos tener al implementar una aplicación de los sistemas inteligentes de transporte tenemos:

- Una reducción importante de accidentes de tránsito.
- Un aumento de la capacidad vial sin nuevas construcciones.
- Ahorro de tiempo en el viaje.
- Una reducción significativa de productos contaminantes de los vehículos, por ejemplo, las emisiones de CO2
- Gestión del tráfico de manera automatizada
- Apoyo a las operaciones de transporte público
- Gestión de la demanda vehicular.
- Información al viajero y servicios de planificación de viajes
- Gestión de la carga y flota
- Gestión de incidencias y apoyo a los servicios de emergencia
- Servicios de pago electrónico y de cobro.
- Tecnologías avanzadas en el vehículo.
- Servicios de información de tiendas, eventos, etc.

Los beneficios que se pueden obtener al implementar un sistema inteligente de transporte son múltiples ya que estos sistemas poseen una gran gama de herramientas y servicios que se derivan de las tecnologías de la información y la comunicación.

En resumidas cuentas estos sistemas tienen el potencial de ofrecer beneficios importantes en materia de eficiencia operacional, fiabilidad de los servicios, gestión de la infraestructura, mayor

seguridad, reducción del impacto ambiental y servicios de información útil para los usuarios del servicio.

En cuanto en materia de red de comunicaciones los beneficios al integrar las dos tecnologías es que no se requiere implementación de cableado para la red, así como con el uso únicamente de las interfaces de comunicaciones para integrar una tecnología con otra.

## **4.2 EQUIPOS PARA LA RED DE COMUNICACIÓN VEHICULAR INTELIGENTE.**

En el capítulo 3 se desarrollo es estudio para el diseño de la red vehicular inteligente integrando las tecnologías Ad- Hoc y LTE, de esta información se obtuvo datos de los equipos necesarios para el diseño de la red en materia de implementación.

### **4.2.1 ESTACIÓN BASE ENB**

Para el despliegue de una red vehicular inteligente integrando la tecnología LTE y VANET se requiere que la red LTE esté en funcionamiento en la Ciudad de Cuenca, con la red funcionando para la comunicación vehicular se requiere que se realice micro celdas por lo que se requiere sectorizar y clusterizar los móviles vehiculares, de aquí que se necesita las estaciones bases conocidas como eNB, para esta diseño de red requerimos antenas Isotrópicas/Omnidireccionales ya que irradian en todas las direcciones por igual.

### **4.2.2 INTEGRACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS LTE Y VANET**

Para la integración como ya lo analizamos en el capítulo 3 se requiere solo de software libres por lo que esta parte del diseño no demanda un costo para elaborar la red. Por lo que los paquetes y simuladores los hemos descargado de internet y hemos elaborado diseño de la red de movilidad

aplicada a la realidad de la ciudad de Cuenca. Como lo elaboramos en el capítulo 3 el software que se requieren son: SUMO, MOVE y NS3 todo este software soportado en Linux 12.04.

#### 4.2.3 ANCHO DE BANDA PARA EL DESPLIEGUE DE LA RED VEHICULAR

En la ciudad de Cuenca contamos con dos operadoras que trabajan en materia de redes de comunicación, por lo que es conveniente para el despliegue de nuestra red alquilar a estas operadoras la infraestructura de red para nuestro diseño y cancelar este rubro como lo establece la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL).

#### 4.2.4 EQUIPO DE CENTRAL DE CONTROL DE TRÁFICO VEHICULAR

Toda central de control de tráfico requiere equipo de monitoreo, como pantallas de visualización, servidores de red y base de datos, computadoras, teléfonos, equipo de red en la central, cableado eléctrico, materiales adicionales para la implementación de la central de control de tránsito. Un equipo de control de tráfico es el de Siemens Sitraffic C800.

#### 4.2.5 GAMA DE SMARTPHONES Y TABLETS DE DISTINTAS OPERADORAS

Las aplicaciones que pueden desplegarse de este trabajo se pretende comercializar con las operadoras existentes en la ciudad de Cuenca como son: CNT, Etapa, Movistar y Claro para que puedan ofrecer a los usuarios un servicio adicional de movilidad sostenible y seguridad vial, siendo aplicación muy útiles en la actualidad. La meta es llegar a que los usuarios tengan seguridad al momento de conducir sin necesidad de adquirir un nuevo teléfono sino más bien utilizando los teléfonos, Tablet u OBU que los conductores puedan ya poseer.

### 4.3 ANALISIS ECONOMICO

Para calcular los costos hay que considerar toda los costos de la inversión, de operación y mantenimiento, así como otros gastos necesarios que deberíamos tener en cuenta para la implementación u operación de la red de comunicación vehicular inteligente, así como, de las tecnologías analizadas.

Entre los costos de capital tenemos a aquellos rubros que son considerados como gastos de capital al tratarse de red de comunicación se considera la red vehicular inteligente y la red de acceso. Para ello la determinación del costo del equipamiento necesario utilizando valores de las tecnologías. Entre los costos adicionales tenemos el costo de la concesión de acuerdo a la reglamentación y resoluciones del CONATEL. El costo de los set que se deberán implementar en los móviles a que funciones.

Entre los costos de operación están considerados los costos por operación, mantenimiento y administración, aquí incluye personal técnico, equipos informáticos, energía eléctrica, materiales. En la Tabla 20 se analiza cada una de las tecnologías que son utilizadas,

En la Tabla 14 expuesta en el capítulo 2 se muestra las características de las tecnologías a utilizar en el desarrollo de la red de comunicación vehicular. La tecnología IEEE 802.11p que es la tecnología en que trabaja las redes VANET usa un ancho de canal de 10 MHz con una banda de frecuencia de 5.86 a 5.92 GHz, la tecnología LTE para la integración trabaja en un ancho de canal de 1.4 MHz a 20 MHz con una banda de frecuencia de 700 – 2690 MHz y la tecnología LTE –A trabaja con un ancho de canal mayor a 100 MHz con una frecuencia ente 450-4.99 GHz.

Para la concesión de tecnologías se pretende trabajar con las operadoras existentes en la ciudad de Cuenca, las mismas que son CNT, etapa, movistar y claro a quienes se les brindara la aplicación de movilidad para que en sus paquetes de aplicaciones ofrezcan a los usuarios la aplicación de movilidad como una alternativa a una movilidad sostenible. De acuerdo a lo establecido en el apartado 4.2 sobre equipos para la red desplegamos la Tabla 19 en la que detallamos el costo de implementar el diseño de red de comunicación vehicular inteligente, tomando en cuenta cada uno de los equipos a usar y las especificaciones que requerimos para nuestro diseño.

<b>EQUIPOS PARA COMUNICACIÓN VEHICULAR</b>						
<b>ITEM</b>	<b>NOMBRE DE EQUIPO</b>	<b>MODELO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>	
<b>1</b>	<b>Antena</b>	<b>Omnidireccional/Isotrópica</b>	<b>18</b>	120	<b>2160</b>	
<b>COSTOS SISTEMA</b>						
<b>ITEM</b>	<b>NOMBRE DEL SOFTWARE</b>	<b>MODELO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>	
<b>1</b>	<b>Software EFFDA</b>		<b>1</b>	<b>1000</b>	1000	
<b>2</b>	<b>Portafolio de Servicios</b>		<b>1</b>	<b>2000</b>	<b>2000</b>	
<b>CENTRO DE DATOS</b>						
<b>ITEM</b>	<b>Nombre Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>		
<b>3</b>	ROUTER		3825	2	5000	10000
4	SGW	WS-C4507R		1	8000	8000
5	PDNGW	CISCO 2960		2	1600	3200
6	SERVIDORES_ CLON	CLON		4	1100	4400
7	COMPUTADORAS	CLON		5	800	4000
8	PANTALLAS	LED HD		4	1200	4800
9	BANCO DE BATERIAS DE RESPALDO	5KVA		1	1500	1500
10	INSTALACIONES ELECTRICAS EN GENERAL			1	1000	1000
11	CABLEADO ESTRUCTURADO DE LA CENTRAL			1	2000	2000
12	HERRAMIENTAS			1	2500	2500
<b>COSTO TOTAL DE INVERSION ENEQUIPOS E INFRAESTRUCTURA</b>					<b>44400</b>	
<b>PROVEEDORES DE COMUNICACIONES MENSUAL</b>						
<b>ITEM</b>	<b>Nombre Equipo</b>	<b>Modelo</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO MENSUAL</b>		
13	CNT-LTE	PLAN DE DATOS CORPORATIVOS		1	240	240
14	CNT-LTE	TELEFONIA		1	100	100
<b>COSTO ANUAL DE ALQUILER DE SERVICIOS DE CONECTIVIDAD</b>					<b>340</b>	

**Tabla 19. Oferta Técnica Económica Para Desarrollar una Red Vehicular Inteligente en la Ciudad de Cuenca, Fuente: (Autores)**

En la Tabla 19 podemos observar una vez realizado el análisis de costo tenemos que la implementación del diseño de red con las características establecidas tendría un costo de 44.740 \$.

Determinamos los gastos en la Tabla 20 que son el costo mensual de pagos que se tiene que hacer.

PERSONAL	SUELDO	CANTIDAD	TOTAL
GERENTE	1191,67	1,00	1191,67
SECRETARIA	378,95	1,00	378,95
ING. SISTEMAS	715,00	1,00	715,00
ASISTENTE SISTEMAS	536,25	1,00	536,25
JEFE TÉCNICO	871,05	1,00	871,05
FINANCIERO	953,33	1,00	953,33
RELACIONISTA PUBLICO	672,89	2,00	1345,78
ASISTENTES DE MONITOREO (3 PERSONAS)	519,37	3,00	1558,10
<b>TOTAL SUELDOS</b>			7550,13
ARRIENDO			1000,00
COMUNICACIÓN			2065,77
VARIOS			138,00
COSTOS DE TELECOMUNICACIONES			190,42
PAGO DE SERVICIOS BÁSICOS (AGUA, LUZ)			100,00
GASTO MENSUAL			11044,33
INVERSIÓN EN EQUIPOS DE SISTEMAS Y REDES			67260,00
INVERSIÓN EN EQUIPOS DE IMPLEMENTACIÓN			51279,40
<b>TOTAL</b>			118539,40
AÑOS			10,00
DEPRECIACIÓN ANUAL			11853,94
DEPRECIACIÓN MENSUAL			987,83
GASTO MENSUAL TOTAL			12032,16
			144385,8779

**Tabla 20. Ingresos por año de aplicación vendida, Fuente: (Autores)**

Entre los pagos tenemos los pagos mensuales de gestión de personal, costos de comunicación, servicios de publicidad, observamos también la depreciación anual y mensual de los equipos de trabajo. Teniendo un total de 144385,8779 \$ de pagar.

#### 4.4 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

Con los datos de la Tabla 19 y la Tabla 20 analizamos para un periodo de 5 años, tomando en consideración el aumento de usuarios al servicio, analizamos ingresos netos menos los gastos anuales, dándonos como resultados el flujo anual de fondos netos, con estos fondos determinaremos el estudio de la tasa interna de retorno (TIR) y del valor actual neto (VAN) con el cálculo de estos valores lo que determinaremos es la rentabilidad del proyecto de implementar el diseño de la red de comunicación vehicular inteligente en la ciudad de Cuenca.

AÑOS		AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
<b>INGRESOS</b>							
<b>INSTALACION</b>	Paquetes de servicios vendidos		1200,00	1320,00	1452,00	1598,00	1758,00
	CRECIMIENTO	10%					
	Precio de Penetración por maletín de servicios	12,00		57,58			
	Ingreso por servicio entregado	57,58	14400,00	76000,59	83600,64	92006,77	101218,96
<b>MONITOREO</b>	N° de vehículos con comunicación vehicular		1200,00	2511,00	3943,00	5509,00	7223,00
	N° de vehículos que renovaron el servicio			1190,40	2491,00	3911,00	5465,00
	TASA POR RENOVACIÓN	8,00		8,00	8,33	8,68	9,04
	INGRESO POR RENOVACIÓN ANUAL			9523,20	20757,00	33945,31	49406,38
	PRECIO ANUAL DE servicios	74,81	74,81	77,92	81,16	84,54	88,05
	INGRESO POR venta de servicios	74,81	89767,59	195652,77	320012,56	465708,32	636003,95
	INGRESO POR ENVÍO DE usuarios a operadoras		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>TOTAL DE INGRESOS</b>		0,00	104167,59	281176,55	424370,21	591660,40
<b>COST. FIJOS</b>							
<b>COSTO POR MALETIN DE SERVICIOS</b>		15,00	15,00	15,62	16,27	16,95	17,66
Costo de arrendamiento de Infraestructura	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
INTERNET	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>COST. INDIRECTOS</b>							
Gerente	14300,00	14300,00	14894,88	15514,51	16159,91	16832,16	
Secretaria	4547,40	4547,40	4736,57	4933,61	5138,85	5352,63	
Programador - DBA	8580,00	8580,00	8936,93	9308,70	9695,95	10099,30	
Asistente - Programador	6435,00	6435,00	6702,70	6981,53	7271,96	7574,47	

Jefe técnico	11440,00	11440,00	11915,90	12411,61	12927,93	13465,73
Contador	11440,00	11440,00	11915,90	12411,61	12927,93	13465,73
Relacionista publico	16149,42	16149,42	13829,78	14458,37	15150,35	15911,01
Arriendo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Comunicación	24789,28	24789,28	25820,51	26894,65	28013,46	29178,82
Varios	1656,00	1656,00	1724,89	1796,65	1871,39	1949,24
Plan de Datos	2833,30	2833,30	2951,17	3073,93	3201,81	3335,00
Depreciación	49225,45	49225,45	30412,36	16180,73	6530,55	1461,82
PAGO DE SERVICIOS BÁSICOS (AGUA Y LUZ)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		<b>151395,85</b>	<b>133841,60</b>	<b>123965,89</b>	<b>118890,08</b>	<b>118625,91</b>
<b>TOTAL EGRESOS</b>	<b>0</b>	<b>151.395,85</b>	<b>133.841,60</b>	<b>123.965,89</b>	<b>118.890,08</b>	<b>118.625,91</b>
<b>FLUJO DE FONDOS</b>	0,00	-47.228,26	147.334,96	300.404,32	472.770,31	668.003,38
<b>INVERSIONES</b>	Costo					
Infraestructura	78620	78620				45919,40
Instalación Equipos de Oficina	0	0				
préstamo	16200	16200				
		240620	0	0	0	0
						45919,40

**Tabla 21. Ingresos y costos para 5 años, Fuente (Autores).**

Determinamos el estudio del servicio para un análisis de 5 años, tiempo en el que se analizara si el proyecto resulta factible de realizarlo así como para determinar su rentabilidad, con los datos de la Tabla 21 , determinamos el TIR y VAN, el mismo que se encuentra en la Tabla 22.

<b>Flujo de fondos netos</b>		
<b>Año 0</b>		<b>(\$ 240.620,00)</b>
<b>Año 1</b>		<b>(\$ 47.228,26)</b>
<b>Año 2</b>		<b>\$ 147.334,96</b>
<b>Año 3</b>		<b>\$ 300.404,32</b>
<b>Año 4</b>		<b>\$ 472.770,31</b>
<b>Año 5</b>		<b>\$ 622.083,98</b>
	<b>WACC</b>	<b>TASA INTERES</b>
<b>COSTO DE OPORTUNIDAD</b>	<b>-1,62%</b>	<b>9,33%</b>
<b>TIR</b>	<b>59%</b>	<b>59%</b>
<b>VAN</b>	<b>\$ 1.358.796,57</b>	<b>\$ 798.460,36</b>

**Tabla 22 Valores de TIR y VAN, Fuente (Autores)**

Una vez realizado el cálculo de los flujo de fondos netos del proyecto para un periodo de 5 años podemos indicar que el proyecto es factible, tomando varias consideraciones durante todo el desarrollo de este trabajo, ya que toda persona que tiene un vehículo y lo maneja requiere seguridad al momento de manejar, optimizar tiempos de recorrido y evitar los tediosos congestionamientos, partiendo de las características principales del trabajo es rentable realizar proyectos de investigación e implementación de aplicaciones en materia de movilidad, en cuanto a la rentabilidad económica con el análisis del TIR y del VAN también nos resulta un proyecto rentable con las consideraciones establecidas, de acuerdo a la Tabla 22 para este proyecto el TIR es de 59% teniendo como VAN 1.358.796,57 dólares en los 5 años. Valor que es considerable para el proyecto estudiado.

## CAPITULO 5

### 5.1 CONCLUSIONES

- El aumento considerable de vehículos en la ciudad de Cuenca, ocasionan que la movilidad no sea eficiente, tomando en cuenta los factores que esto conlleva como: congestión, contaminación, tiempos largos de recorrido, etc., todo esto son situaciones que hay que considerar para tomar en cuenta, y realizar técnicas para desarrollar una movilidad sostenible utilizando los Sistemas Inteligentes de transporte.
- Los sistemas inteligentes de transporte ofrecen una tecnología prometedora para transporte de nueva generación, que ayude a la humanidad de una manera multidimensional, permitiendo a los conductores estar conectados a una red de comunicaciones durante todo el recorrido, para que el usuario pueda estar informado y su vez tenga seguridad al momento de conducir.
- A partir de esta investigación llegamos a la conclusión de que mediante el uso de las solo redes VANET en el estándar IEEE 802.11 la comunicación vehicular se puede dar pero presenta muchos inconvenientes especialmente cuando aumente la cantidad de nodos en la red, o cuando la velocidad de los nodos es muy alta la comunicación se vuelve inconsistente, y esta tecnología es aceptable para las topologías de red dispersas y con frecuencias de transmisión típicas con soporte de movilidad limitada, es extremadamente sensibles a densidades más grandes de vehículos, carga de tráfico y velocidad del vehículo. Con el uso de la red LTE se pudo observar que se puede realizar aplicaciones de comunicación vehicular, pero cuando los nodos se alejan del área de cobertura se pierde la comunicación, así como, cuando aumenta la carga de la red empieza a presentar retardo en la transmisión pero este retardo es permitido en la red, de aquí concluimos que trabajar solo

con VANET o solo con la red LTE el entorno de red tiene limitaciones, y en la integración de VANET y LTE mediante las simulaciones se pudo obtener resultados en términos de retardo, jitter y la entrega de paquetes que demostró que esta integración ayudara en la transferencia de datos origen destino por lo que concluimos es un buen camino para comunicaciones vehiculares y se presta a investigaciones futuras.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Para desarrollar esta tesis se requiere utilizar Ubuntu ya que algunos paquetes en Windows no existen, este fue uno de los problemas que se nos presentó al realizar la simulación, es recomendable actualizar bien todos los paquetes de Ubuntu.
- El ambiente para la simulación se debe desarrollar en LINUX ya que se realizó SUMO en la plataforma de Windows pero nos presentó problemas por lo que no se pudo generar la comunicación entre SUMO y NS2 por no existir el archivo .exe de MOVE, todo el procedimiento de instalación y simulación se encuentra en el anexo 1.
- En este trabajo se desarrolló un entorno a ser simulado el mismo que se lo hizo tanto para VANET como para LTE para obtener los resultados, se obtuvo la integración de las tecnologías mediante simulación obteniendo resultados muy favorables, por lo que sugiero como trabajos futuros investigar a cerca de las redes en la ubicación del usuario que puede ser triangulado a través del cual los datos se pueden transferir al usuario a través de las unidades de bordo RSU que deben estar al borde de la carretera que pueden también conectarse al entorno de red LTE.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] JPA, «Ecuador es el segundo país en muertes por accidentes de tránsito,» *LA HORA NACIONAL*, 2013.
- [2] AGENCIA NACIONAL DE TRANSITO , «SINIESTROS TOTALES EN EL AÑO 2012,» 2013.
- [3] Ministerio de Coordinacion de Seguridad, «Plan Nacional de Seguridad Integral,» Quito, 2011.
- [4] A. E. Flores, «La Ordenacion de la Red Vial del Canton Cuenca,» Universidad de Cuenca, Cuenca, 2013.
- [5] I. M. d. Cuenca, «Plan de Ordenamiento territorial,» Cuenca, 2011.
- [6] L. A. P. Crespo, «Análisis de los Accidentes de Tránsito en la Ciudad de Cuenca para los años 2010- 2011 - 2012,» Universidad de Cuenca, Cuenca, 2014.
- [7] F. Minchala, «Uso de vehículo particular crece de forma constante,» *El Tiempo*, 2015.
- [8] J. L. Ilivisaca, «Diez mil carros entran cada año al parque automotor de Cuenca,» *El Telégrafo*, 2013.
- [9] R. D. Tapia, «RENDICIÓN DE CUENTAS,» Empresa Pública, Cuenca, 2013.
- [10] R. C. H. Juliana Andrea Gálvez Serna, «Las Redes Inalámbricas Ad-Hoc En La Comunicación Vehicular,» 2009. [En línea]. Available: [http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/%28A%29\\_Las\\_Redess\\_Inalambricas\\_AdHoc\\_en\\_la\\_Comunicacion\\_Vehicular\\_M4wG4\\_.pdf](http://kosmos.upb.edu.co/web/uploads/articulos/%28A%29_Las_Redess_Inalambricas_AdHoc_en_la_Comunicacion_Vehicular_M4wG4_.pdf).
- [11] E. M. Reyes, «<http://eciencia.urjc.es>,» 25 Mayo 2009. [En línea]. Available: [http://eciencia.urjc.es/bitstream/10115/2425/1/TesisDoctoral\\_EduardoMorgado.pdf](http://eciencia.urjc.es/bitstream/10115/2425/1/TesisDoctoral_EduardoMorgado.pdf). [Último acceso: 31 Enero 2014].
- [12] E. S. J. Hurtado, «Análisis Del Uso De Nodos Móviles Virtuales Para Procesos De Encaminamiento En Redes Vehiculares Ad- Hoc,» Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2013.
- [13] J. D. Alba Cruz, «Estudio y simulación de una red AD-HOC vehicular VANET,» SANGOLQUÍ / ESPE /, Quito, 2011.
- [14] H. A. Samaniego Armijos, «SIMULACIÓN DE REDES VEHICULARES / VANET EN ENTORNOS REALES,» Universidad de Málaga, Málaga, 2012.
- [15] investigar2, «Redes móviles ad\_Hoc 111111111».
- [16] L. A. Caldas y J. C. Zaruma, «Implementación de un Ambiente de Simulación Basado en Software Libre Para el Estudio de la Provisión de Servicios de Comunicaciones En Redes Vehiculares AD-HOC Mediante El Uso de Nodos Móviles Virtuales,» Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2013.
- [17] C. J. Bernardos Cano, «OPTIMIZACIÓN DE LAS COMUNICACIONES ENTRE REDES MÓVILES VEHICULARES,» Universidad Carlos III De Madrid, Leganés, 2006.
- [18] R. Santos Leiva, «Simulación de VANETS (Vehicular Ad-Hoc Network),» Universidad Politécnica de Catalunya, Catalunya, 2007.
- [19] L. F. Urquiza Aguiar, «Design and Implementation of routing protocols with anonymity for vehicular Ad-Hoc networks in urban environments,» Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 2012.
- [20] M. Rodríguez García, «Comunicaciones Entre Vehículos Car to Car,» Universidad Pontificia Comillas Madrid, Madrid, 2010.

- [21] K. A. Muñoz Vera, «Análisis de la Tecnología Long Term Evolution LTE Para Su Implementación en el Ecuador,» Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí - Ecuador, 2011.
- [22] R. A. Comis, F. Alvarez, F. Palacio, R. Ferré, J. Perez y R. Oriol, «LTE NUEVAS TENDENCIAS EN COMUNICACIONES MÓVILES,» FUNDACION VODAFONE ESPAÑA, Catalunya, 2010.
- [23] R. & Schwarz, «LTE (Long Term Evolution),» 2010.
- [24] C. G. Hurtado Ati, «Estudio de Factibilidad Para la Implementación de LTE (Long Term Evolution) en el Ecuador,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2011.
- [25] H. Harri y T. Antti, «LTE for UMTS Evolution to LTE-Advanced,» Nokia Siemens Networks, Finland, 2011.
- [26] I. E. M. I. O. Mgt., «La telefonía móvil de cuarta generación y Long Term Evolution,» 2011.
- [27] J. M. Koo, J. P. Espino, I. P. Armuelles y B. Perez, «Metodología para Evaluación de Técnicas de Data Offloading en una Red LTE,» Guayaquil, 2014.
- [28] Telefonica, «El futuro de las redes móviles al integrar Wifi con 4g,» 2013.
- [29] CONSEJO NACIONAL DE TRANSITO , «SINIESTROS POR PROVINCIA A NIVEL NACIONAL EN 2013,» 2013.
- [30] Universidad Pontificia Bolivariana, «eav,» 2012. [En línea]. Available: <http://eav.upb.edu.co/banco/sites/default/files/files/04CAPITULOS.pdf>. [Último acceso: febrero 2014].
- [31] Universidad del Azuay, «PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTON CUENCA,» CUENCA, 2011.
- [32] GOJ, «Arranca Taller de Seguridad Vial,» *El Tiempo*, 2012.
- [33] Asamblea Nacional del Ecuador 2011, «Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial,» Montecristi, 2011.
- [34] A. Constituyente, «Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial,» de *Reglamento*, 1998.
- [35] E. I. K. Gómez, «Estudio de las prestaciones de una red Ad- Hoc Wi-fi,» 2010.
- [36] N. M. P. María del Pilar Salamanca, «Evaluación del estimador de capacidad AdHoc PRobe en redes MANET con tráfico cursado auto similar,» 2006.
- [37] F. Perez, «Redes Móviles Terrestres 4G,» 2010.
- [38] R. S. Leiva, *Simulación de Vanets (Vehicular Ad Hoc Network)*, Cataluña, 2007.
- [39] R. Murguet, «Comunicaciones Móviles, GSM, GPRS, EDGE,» UDA, Cuenca.

## ANEXO 1

### MANUAL DE CONFIGURACION DE VM-WARE, UBUNTU 12.04 LTS, SUMO, MOVE, NS2, NS3 CON LENA (LTE), PARA LA SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE MOVILIDAD VANET.

Para iniciar con la simulación se debe preparar el entorno de trabajo en el cual se va a desarrollar nuestra simulación. Se debe de tomar en cuenta los aspectos primordiales de las características del Sistema Operativo Maestro:

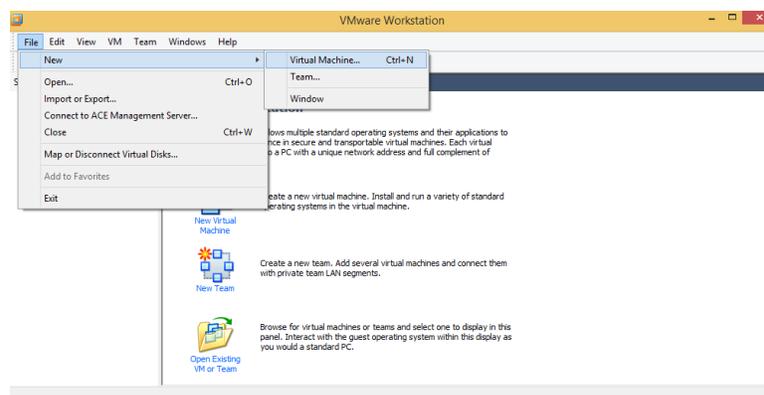
Contamos con las siguientes características:

- Sistema Operativo, 32 bits X64, Windows 8.1
- Memoria RAM 4gb

Características básicas para poder, instalar la máquina virtual, la cual descargaremos de la siguiente dirección:

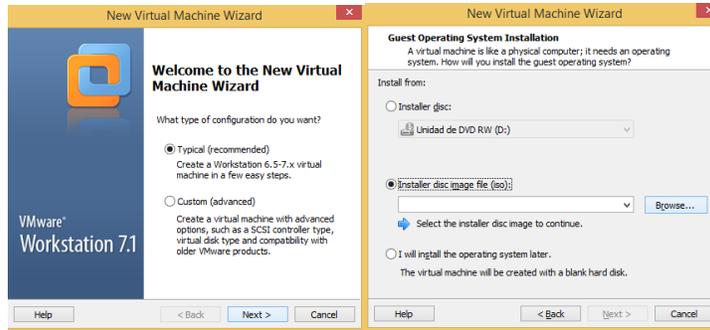
- <https://my.vmware.com/web/vmware/downloads>

Desde la cual descargaremos la versión VMware10 y realizamos la instalación, Para agregar una máquina virtual, nos dirigimos al menú File-New-Virtual Machine como se observa en la Fig1.



**Fig. 58 Entorno de VMWare 10**

Escogemos la instalación (Typical), recomendada, y en lo posterior se explora la imagen de Ubuntu 12.04



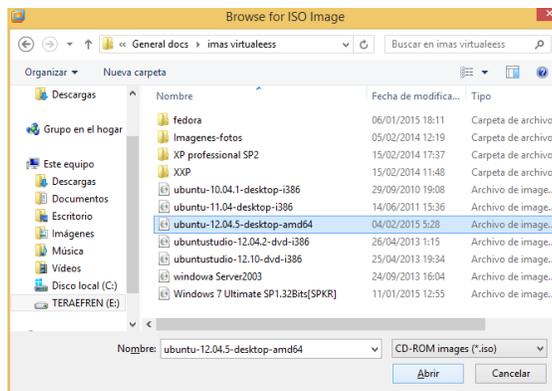
**Fig. 59 Configuración de VMWare.**

Se debe de tener en cuenta que previo a este paso se debe de descargar la versión de Ubuntu 12.04

LTS de la siguiente dirección: <http://releases.ubuntu.com/12.04/>

En la cual se debe de escoger la opción de opción Desktop (versión de escritorio)

Escogemos la imagen ISO de UBUNTU 12.04 amd64



**Fig. 60 Imagen ISO UBUNTU 12.04. Fuente (Autores)**

Luego procedemos a instalar la máquina virtual, desde la imagen ISO



**Fig. 61 Instalación de la máquina virtual. Fuente (Autores)**

Procedemos a Darle nombre, usuario y la contraseña que todo Sistema GNU debe de tener.

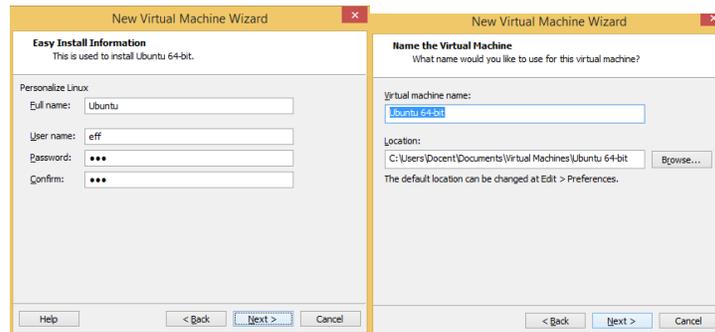


Fig. 62. Datos para el sistema GNU

Designamos la capacidad de disco duro que la máquina virtual tendrá, en este caso designamos 20gb.



Fig. 63. Característica de Capacidad de la máquina virtual. Fuente (Autores)

Para Finalizar la creación de la máquina Virtual, se expondrá las características designadas.

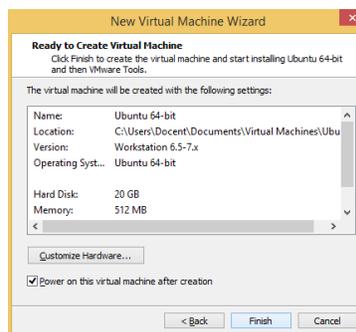


Fig. 64. Imagen final de las Características de la máquina virtual.



```
$ cd
$ cd Downloads
```

- Instalamos las librerías necesarias para instalar SUMO

```
$ sudo apt-get install libgdal1-dev proj libxerces-c2-dev
$ sudo apt-get install libfox-1.6-dev libgl1-mesa-dev libglu1-mesa-dev
```

- Para Ubuntu 12.04 usamos la librería libgdal.so

```
$ sudo ln -s /usr/lib/libgdal1.7.0.so /usr/lib/libgdal.
```

- Descargamos el paquete mediante la función tar:

```
$ tar -xzvf sumo-src-0.22.0.tar.gz
```

- Movemos el archivo descomprimido al directorio '/usr/local/src':

```
$ sudo mv -v sumo-0.22.0 /usr/local/src
```

- Ingresamos en el directorio y realizamos las siguientes acciones: configure, make and make install:

```
$ cd /usr/local/src/sumo-0.22.0
```

```
$ ./configure --with-fox-includes=/usr/include/fox-1.6 \
--with-gdal-includes=/usr/include/gdal --with-proj-libraries=/usr \
--with-gdal-libraries=/usr --with-proj-gdal
```

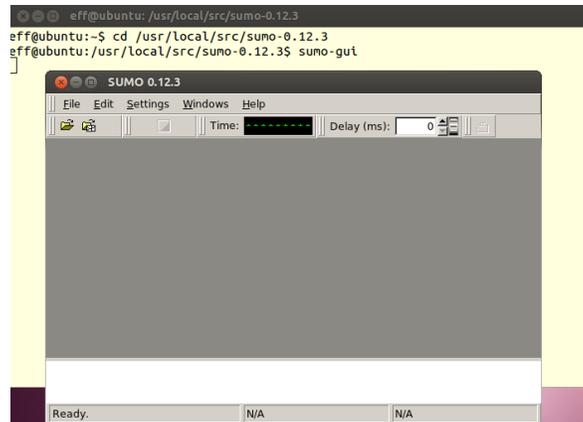
- Después de esta acción realizamos la acción de make

```
$ make
$ sudo make install
```

- Llamamos a SUMO mediante la siguiente línea de comando:

```
$ sumo-gui
```

Y nos aparece a ventana de SUMO como se muestra en la Fig. 68



**Fig. 68. Ventana se SUMO. Fuente (Autores)**

- Ahora el paquete MOVE que es el que posee la aplicación NS-2 se descargará de la siguiente dirección: <http://lens1.csie.ncku.edu.tw/MOVE/download.php>
- Luego de llenar los parámetros de Name, Organization, tema, e-mail, se descargará el paquete MOVE .jar

MOVE  
 java -jar MOVE.jar

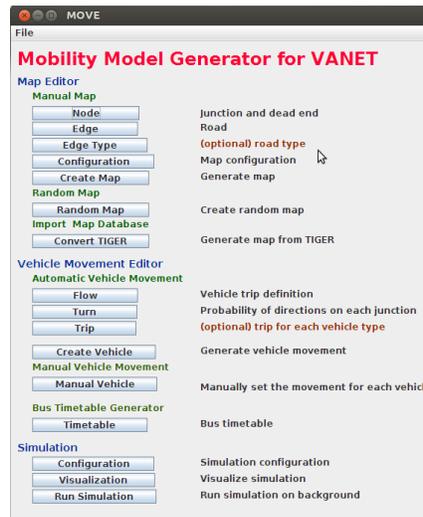
- Dentro de la dirección cd /usr/local/src/sumo-0.22.0

NS2  
 correr ns, sale el signo % y exit  
 y nam



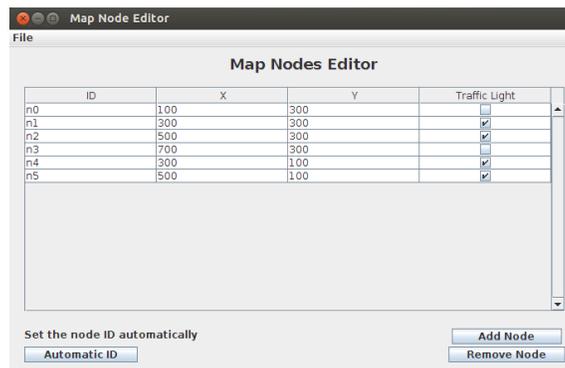
**Fig. 69. Inicio de Simulación para VANET**

- Para lo cual usamos “Mobility model”



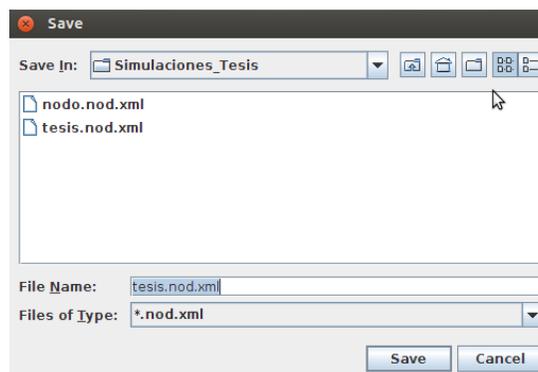
**Fig. 70. Interfaz para Movilidad Vehicular Fuente(Autores)**

Y generamos la simulación del escenario de SUMO en donde tendremos 6 Nodos que se encuentra en el capítulo 3, numerando des n0 al primer nodo y n5 al último nodo.



**Fig. 71. Características del Mapa de Nodos Fuente (Autores)**

Guardamos con la extensión nod.xml, como se observa en la siguiente Figura



**Fig. 72. Ventana para Guardar. Fuente (Autores)**

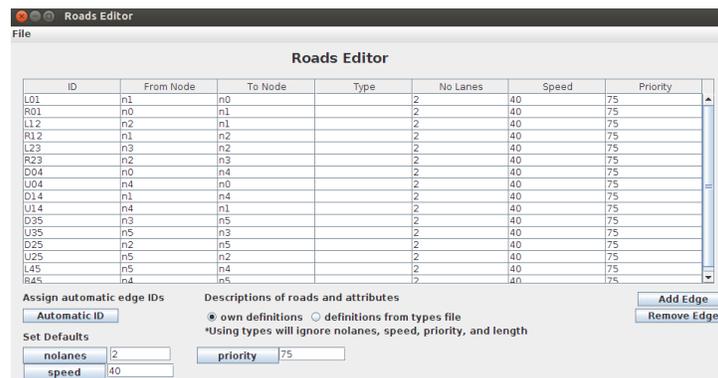
Generamos las rutas de la Siguiete manera:

L01 la ruta en la dirección izquierda, desde el nodo n1 hasta el nodo n0.

R01 la ruta en la dirección derecha, desde el nodo n0 hasta el nodo n1.

La ruta D14 será la ruta en la dirección de arriba hacia abajo desde el nodo n1 hasta el nodo n4

La ruta U14 será la ruta en la dirección de abajo hacia arriba desde el nodo n4 hasta el nodo n1.



ID	From Node	To Node	Type	No Lanes	Speed	Priority
L01	n1	n0		2	40	75
R01	n0	n1		2	40	75
L12	n2	n1		2	40	75
R12	n1	n2		2	40	75
L23	n3	n2		2	40	75
R23	n2	n3		2	40	75
D04	n0	n4		2	40	75
U04	n4	n0		2	40	75
D14	n1	n4		2	40	75
U14	n4	n1		2	40	75
D35	n3	n5		2	40	75
U35	n5	n3		2	40	75
D25	n2	n5		2	40	75
U25	n5	n2		2	40	75
L45	n5	n4		2	40	75
R45	n4	n5		2	40	75

Assign automatic edge IDs:  Automatic ID

Descriptions of roads and attributes:  own definitions  definitions from types file

Set Defaults: nolanes: 2, speed: 40, priority: 75

Buttons: Add Edge, Remove Edge

Fig. 73. Descripción de los nodos.

Se graba con la extensión .edg.xml



Fig. 74. Ventana para guardar el archivo .xml Fuente (Autores)

Realizamos la configuración del mapa con los archivos .nod.xml y edg.xml

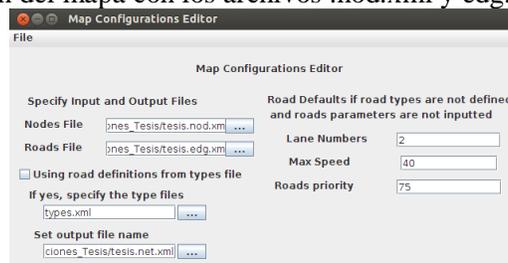
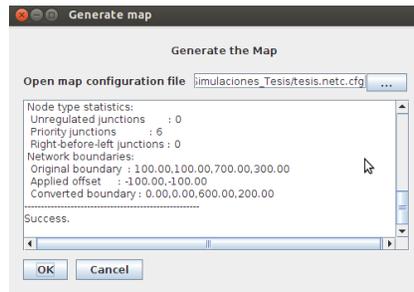


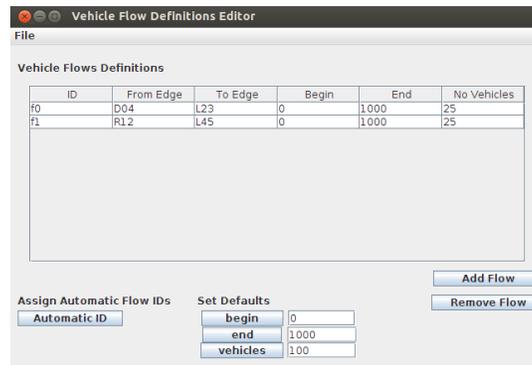
Fig. 75. Configuración del mapa con los archivos .nod.xml y edg.xml

Generamos el map con los archivos anteriormente generados.



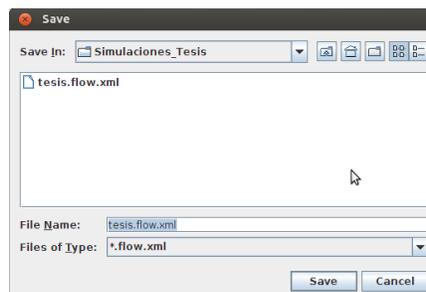
**Fig. 76. Generando el map. Fuente (Autores)**

Ahora definimos los flujos desde donde se generarán los vehículos y el número de los mismos. Como flujo f0 se generará desde D04 y desde f1 se generará desde el nodo R12, con una generación de 50 vehículos.



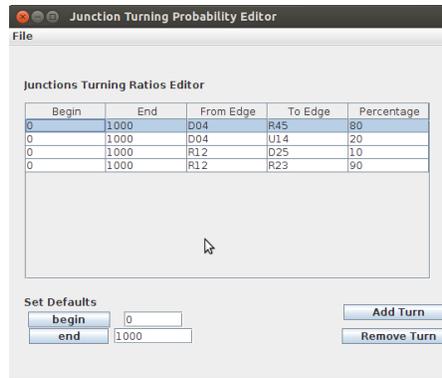
**Fig. 77. Generación de flujos. Fuente (Autores)**

Grabamos con extensión .flow.xml como se observa la figura a continuación:



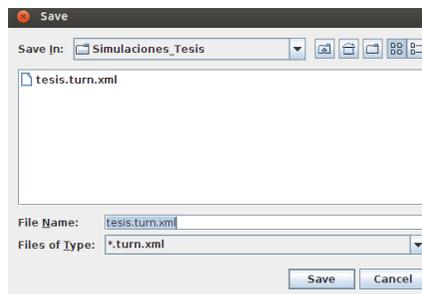
**Fig. 78 Ventana de Guarda el tráfico. Fuente (Autores)**

Se realiza la descripción del cruce de vías como se observa desde el nodo D04 a R45 con 80%. Y de D04 a U14 con un 20% de probabilidades. Y de R12 hacia D25 y R23, en el cruce de vías.



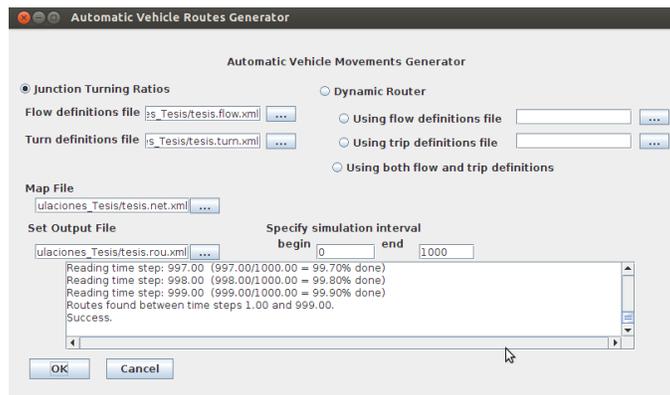
**Fig. 79. Descripción del cruce de vías. Fuente (Autores)**

Se guardará con la extensión .turn.xml



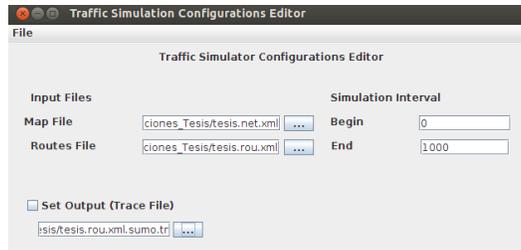
**Fig. 80. Ventana de guardar la descripción del tráfico.**

Se generará las rutas automáticas de vehículos.



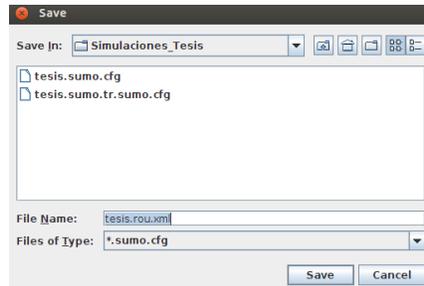
**Fig. 81. Generación de rutas automáticas de los vehículos. Fuente (Autores)**

Se genera la simulación de tráfico de partiendo desde los archivos anteriores de map file y routes files.



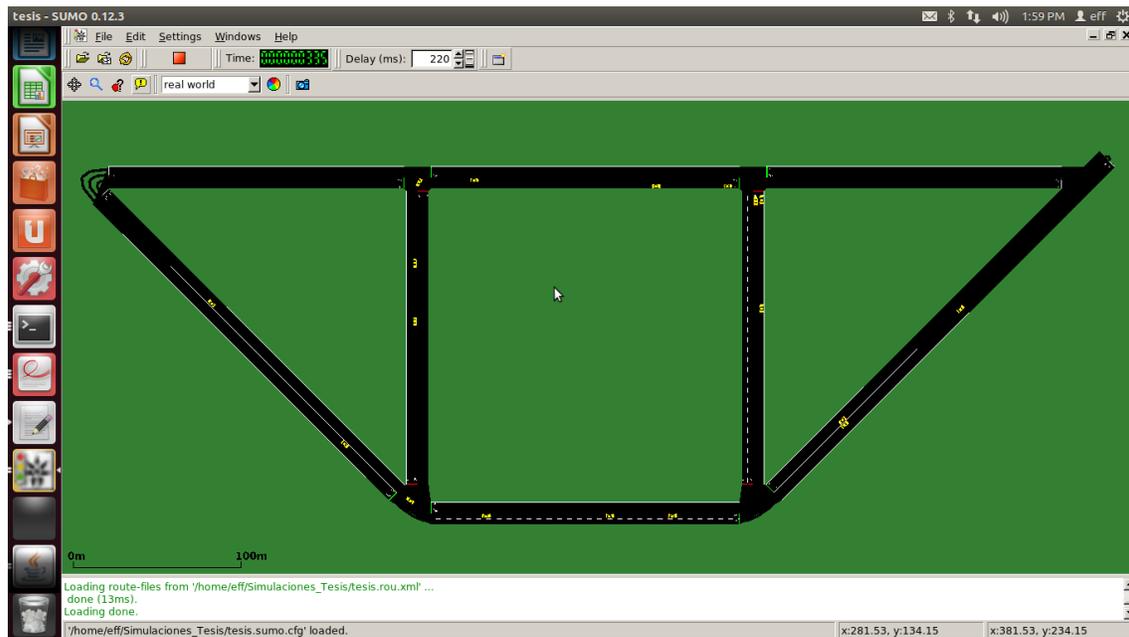
**Fig. 82. Generación de la Simulación del Trafico. Fuente (Autores)**

El archivo se guardará bajo la extensión .sumo.cfg



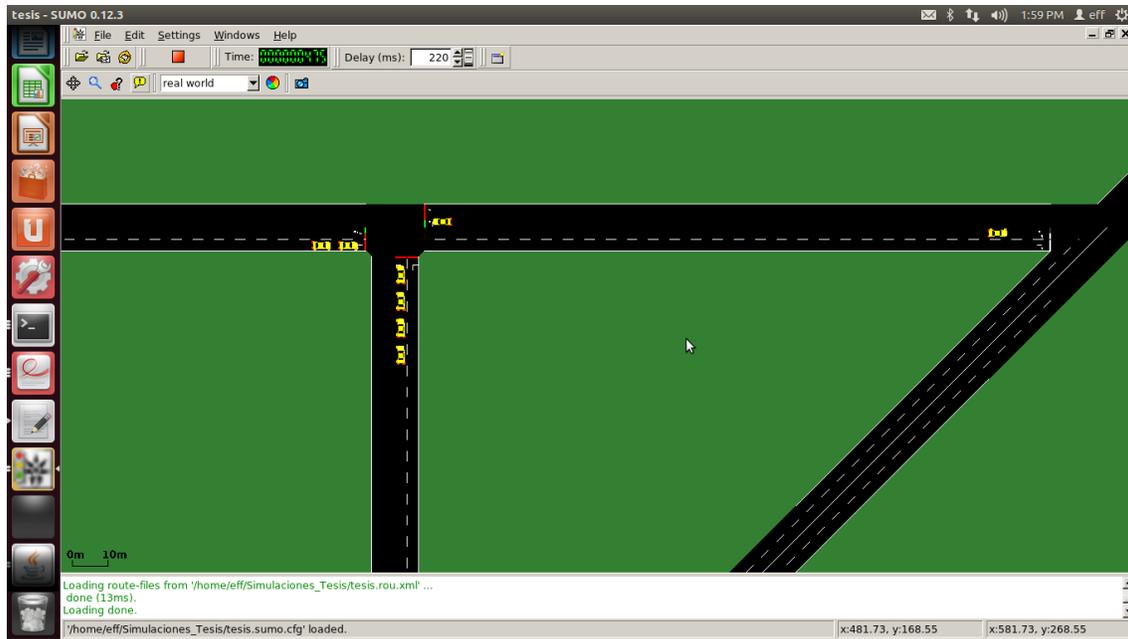
**Fig. 83. Ventana para guardar el .sumo.cfg. Fuente (Autores)**

Con estos archivos se puede generar la visualización de la simulación en SUMO 0.12.3



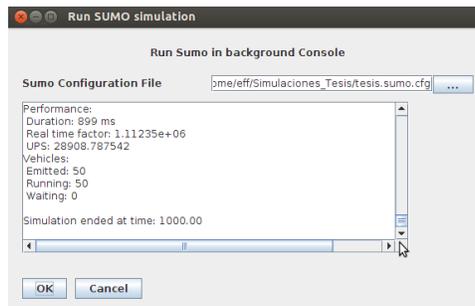
**Fig. 84. Simulación del tráfico en sumo. Fuente (Autores)**

Como se estableció una simulación para 1000 ms durante este tiempo de simulación se observa como los vehículos automáticamente definen su ruta a seguir.



**Fig. 85. Decisión Automática de los vehículos para las rutas. Fuente (Autores)**

Y se visualiza los resultados de visualización de la red SUMO a continuación:



**Fig. 86. Resultados de Simulación. Fuente (Autores)**

Ahora generaremos el modelo de tráfico (Traffic Model)



**Fig. 87. Generación del tráfico en traffic model.**

En la opción Static Mobility generamos la red NAM mediante la estructura NS-2



**Fig. 88. Generación de la estructura NS2. Fuente (Autores)**

Desde la cual exportamos los datos de SUMO y generamos la red Vanet

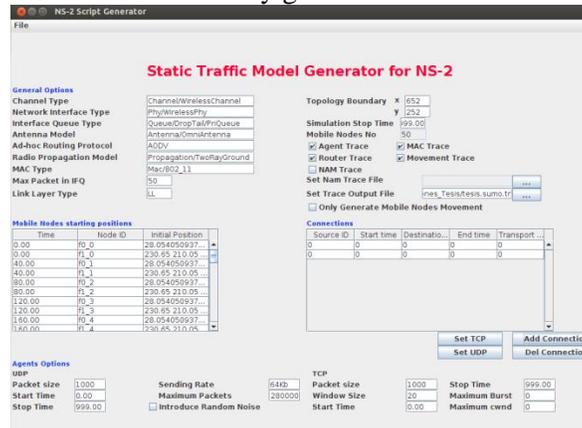
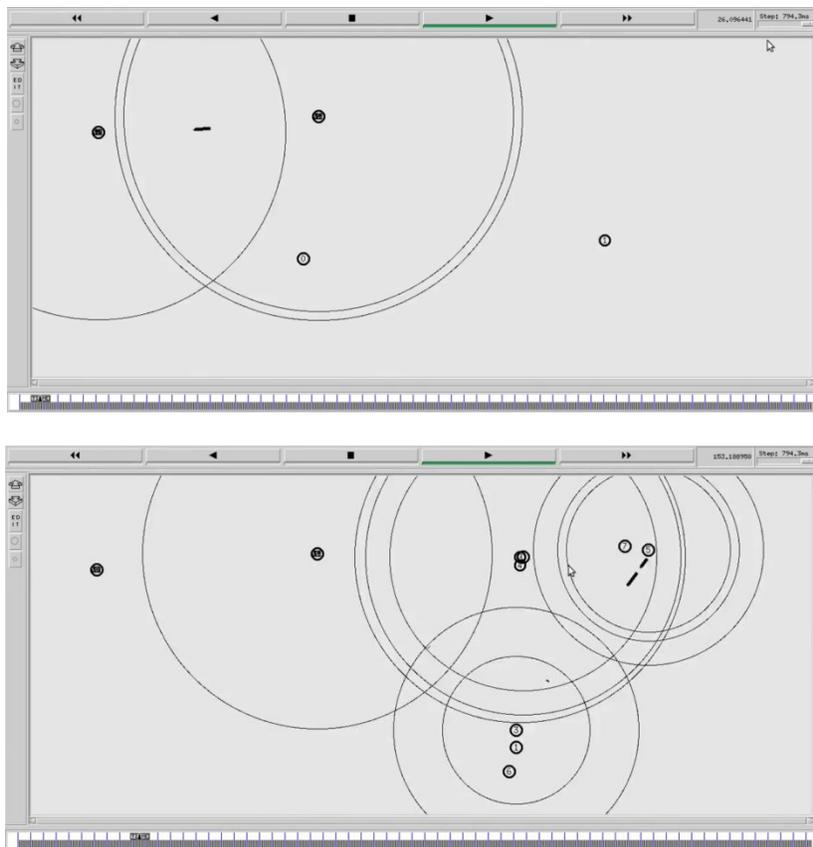
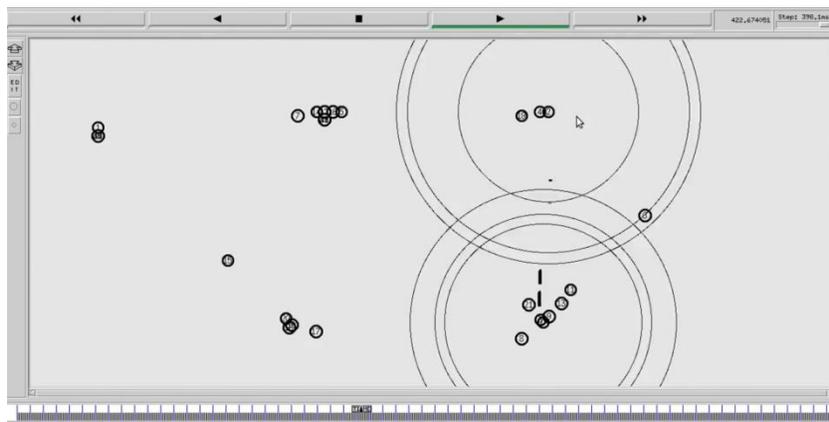
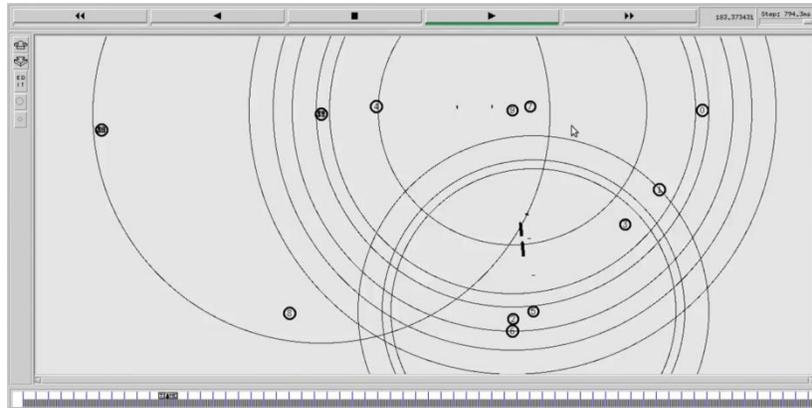


Fig. 89. Exportación de los datos de SUMO para generar la red VANET. Fuente (Autores)

Resultados de la simulación NS-2, en la cual se puede ver numerado a los vehículos que se comunican entre sí con el protocolo AODV.





### *INTEGRANDO LTE Y VANET USANDO EL LENA.*

- Para la instalación de NS3 y el modulo LENA realizaremos los siguientes pasos

Instalar los siguientes paquetes

```

sudo apt-get install gcc g++ python
sudo apt-get install gcc g++ python python-dev
sudo apt-get install mercurial
sudo apt-get install bzip2
sudo apt-get install gdb valgrind
sudo apt-get install gsl-bin libgsl0-dev libgsl0ldbl
sudo apt-get install flex bison libfl-dev
sudo apt-get install g++-4.4 gcc-4.4
sudo apt-get install tcpdump
sudo apt-get install sqlite sqlite3 libsqlite3-dev
sudo apt-get install libxml2 libxml2-dev
sudo apt-get install libgtk2.0-0 libgtk2.0-dev
sudo apt-get install vtun lxc
sudo apt-get install uncrustify
sudo apt-get install doxygen graphviz imagemagick
sudo apt-get install texlive texlive-extra-utils texlive-latex-extra
sudo apt-get install python-sphinx dia

```

```
sudo apt-get install python-pygraphviz python-kiwi python-pygoocanvas libgoocanvas-dev
sudo apt-get install libboost-signals-dev libboost-filesystem-dev
sudo apt-get install openmpi1.5-*
```

- Descargamos ns-3 de <https://www.nsnam.org/>
- Vamos a la carpeta donde fue descargado ns-3 y ejecutar el siguiente comando para descomprimir.

```
tar xjf ns-allinone-3.17.tar.bz2
```

- Con lo cual se creará el directorio ns-allinone-3.17
- Entrar en la carpeta descomprimida de ns-3 (ns-allinone-3.17)

```
./build.py
```

- Se procede a configurar ns-3, para lo cual hay que ir dentro del directorio ns-3.17

```
./waf distclean
```

```
./waf configure --enable-examples --enable-tests
```

```
./waf build
```

- Para comprobar el funcionamiento de ns-3 ejecutar

```
./test.py
```

- Como resultado debe mostrar que se ha pasado todas las pruebas realizadas (PASS)
- Para probar el funcionamiento ejecutar

```
./waf --run hello-simulator
```

- Y se debe demostrar como respuesta Hello Simulator confirmando que el simulador fue instalado correctamente.
- En nuestro caso como el programa C++ editamos la base de datos y se obtuvo la siguiente respuesta en NS3

```

hello-simulator.cc (-/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17/examples/tutorial) - gedit
hello-simulator.cc
/* -*- Mode:C++; c-file-style:"gnu"; indent-tabs-mode:nil; -*- */
/*
 * This program is Free software; you can redistribute it and/or modify
 * it under the terms of the GNU General Public License version 2 as
 * published by the Free Software Foundation;
 *
 * This program is distributed in the hope that it will be useful,
 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
 * GNU General Public License for more details.
 *
 * You should have received a copy of the GNU General Public License
 * along with this program; if not, write to the Free Software
 * Foundation, Inc., 59 Temple Place, Suite 330, Boston, MA 02111-1307 USA
 */

#include "ns3/core-module.h"

NS_LOG_COMPONENT_DEFINE ("HelloSimulator");

using namespace ns3;

int
main (int argc, char *argv[])
{
    NS_LOG_UNCOND ("TESIS UPS MOVILIDAD BY DIANA Y EFREN");
}

```

**Fig. 90. Respuesta de NS3. Fuente (Autores)**

➤ Y la ejecución del archivo C++

```

eff@ubuntu: ~/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=2 ttl=64 time=0 ns
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=3 ttl=64 time=0 ns
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=4 ttl=64 time=0 ns
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=5 ttl=64 time=0 ns
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=6 ttl=64 time=0 ns
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=7 ttl=64 time=0 ns
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=8 ttl=64 time=0 ns
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=9 ttl=64 time=0 ns
--- 10.0.0.6 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9999ms
rtt min/avg/max/mdev = 0/100.5/1003/317.1 ms
eff@ubuntu:~/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17$ ./waf --run hello-simulator
Waf: Entering directory `~/home/eff/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17/build'
Waf: Leaving directory `~/home/eff/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17/build'
'build' finished successfully (3.964s)
TESIS UPS MOVILIDAD BY DIANA Y EFREN
eff@ubuntu:~/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17$ █

```

**Fig. 91. Respuesta correcta de NS3. Fuente (Autores)**

Para nuestra simulación se usa el siguiente archivo:

```

/* -*- Mode:C++; c-file-style:"gnu"; indent-tabs-mode:nil; -*- */
/*

*/

#include "ns3/aodv-module.h"
#include "ns3/core-module.h"
#include "ns3/network-module.h"
#include "ns3/internet-module.h"
#include "ns3/mobility-module.h"
#include "ns3/point-to-point-module.h"
#include "ns3/wifi-module.h"
#include "ns3/v4ping-helper.h"
#include <iostream>

```

```

#include <cmath>

using namespace ns3;

/**
 * \brief Test script.
 *
 * This script creates 1-dimensional grid topology and then ping last node from the first one:
 *
 * [10.0.0.1] <-- step --> [10.0.0.2] <-- step --> [10.0.0.3] <-- step --> [10.0.0.4]
 *
 * ping 10.0.0.4
 */
class AodvExample
{
public:
    AodvExample ();
    /// Configure script parameters, \return true on successful configuration
    bool Configure (int argc, char **argv);
    /// Run simulation
    void Run ();
    /// Report results
    void Report (std::ostream & os);

private:
    ///\name parameters
    /\{
    /// Number of nodes
    uint32_t size;
    /// Distance between nodes, meters
    double step;
    /// Simulation time, seconds
    double totalTime;
    /// Write per-device PCAP traces if true
    bool pcap;
    /// Print routes if true
    bool printRoutes;
    /\}

    ///\name network
    /\{
    NodeContainer nodes;
    NetDeviceContainer devices;
    Ipv4InterfaceContainer interfaces;
    /\}

private:
    void CreateNodes ();
    void CreateDevices ();
    void InstallInternetStack ();
    void InstallApplications ();

```

```

};

int main (int argc, char **argv)
{
    AodvExample test;
    if (!test.Configure (argc, argv))
        NS_FATAL_ERROR ("Configuration failed. Aborted.");

    test.Run ();
    test.Report (std::cout);
    return 0;
}

//-----
AodvExample::AodvExample () :
    size (6),
    step (10),
    totalTime (10),
    pcap (true),
    printRoutes (true)
{
}

bool
AodvExample::Configure (int argc, char **argv)
{
    // Enable AODV logs by default. Comment this if too noisy
    // LogComponentEnable("AodvRoutingProtocol", LOG_LEVEL_ALL);

    SeedManager::SetSeed (12345);
    CommandLine cmd;

    cmd.AddValue ("pcap", "Write PCAP traces.", pcap);
    cmd.AddValue ("printRoutes", "Print routing table dumps.", printRoutes);
    cmd.AddValue ("size", "Number of nodes.", size);
    cmd.AddValue ("time", "Simulation time, s.", totalTime);
    cmd.AddValue ("step", "Grid step, m", step);

    cmd.Parse (argc, argv);
    return true;
}

void
AodvExample::Run ()
{
    // Config::SetDefault ("ns3::WifiRemoteStationManager::RtsCtsThreshold", UIntegerValue (1)); //
    // enable rts cts all the time.
    CreateNodes ();
    CreateDevices ();
    InstallInternetStack ();
    InstallApplications ();
}

```

```

std::cout << "Inicio de Simulacion AODV-LTE " << totalTime << " seg ... \n";

Simulator::Stop (Seconds (totalTime));
Simulator::Run ();
Simulator::Destroy ();
}

void
AodvExample::Report (std::ostream &)
{
}

void
AodvExample::CreateNodes ()
{
    std::cout << "\n";
    std::cout << "*****\n";
    std::cout << "***** UPS *****\n";
    std::cout << "***** SIMULACION TESIS MOVILIDAD *****\n";
    std::cout << "***** AUCANCELA-ESPINOZA *****\n";
    std::cout << "*****\n";
    std::cout << "\n";
    std::cout << "DISENO DE RED CON " << (unsigned)size << " NODOS A " << step << " m DE
DISTANCIA.\n";
    std::cout << "\n";
    nodes.Create (size);
    // Name nodes
    for (uint32_t i = 0; i < size; ++i)
    {
        std::ostringstream os;
        os << "node-" << i;
        Names::Add (os.str (), nodes.Get (i));
    }
    // Create static grid
    MobilityHelper mobility;
    mobility.SetPositionAllocator ("ns3::GridPositionAllocator",
        "MinX", DoubleValue (0.0),
        "MinY", DoubleValue (0.0),
        "DeltaX", DoubleValue (step),
        "DeltaY", DoubleValue (0),
        "GridWidth", UintegerValue (size),
        "LayoutType", StringValue ("RowFirst"));
    mobility.SetMobilityModel ("ns3::ConstantPositionMobilityModel");
    mobility.Install (nodes);
}

void
AodvExample::CreateDevices ()
{
    NqosWifiMacHelper wifiMac = NqosWifiMacHelper::Default ();

```

```

wifiMac.SetType ("ns3::AdhocWifiMac");
YansWifiPhyHelper wifiPhy = YansWifiPhyHelper::Default ();
YansWifiChannelHelper wifiChannel = YansWifiChannelHelper::Default ();
wifiPhy.SetChannel (wifiChannel.Create ());
WifiHelper wifi = WifiHelper::Default ();
wifi.SetRemoteStationManager ("ns3::ConstantRateWifiManager", "DataMode", StringValue
("OfdmRate6Mbps"), "RtsCtsThreshold", UIntegerValue (0));
devices = wifi.Install (wifiPhy, wifiMac, nodes);

if (pcap)
{
    wifiPhy.EnablePcapAll (std::string ("aodv"));
}
}

void
AodvExample::InstallInternetStack ()
{
    AodvHelper aodv;
    // you can configure AODV attributes here using aodv.Set(name, value)
    InternetStackHelper stack;
    stack.SetRoutingHelper (aodv); // has effect on the next Install ()
    stack.Install (nodes);
    Ipv4AddressHelper address;
    address.SetBase ("10.0.0.0", "255.0.0.0");
    interfaces = address.Assign (devices);

    if (printRoutes)
    {
        Ptr<OutputStreamWrapper> routingStream = Create<OutputStreamWrapper> ("aodv.routes",
std::ios::out);
        aodv.PrintRoutingTableAllAt (Seconds (8), routingStream);
    }
}

void
AodvExample::InstallApplications ()
{
    V4PingHelper ping (interfaces.GetAddress (size - 1));
    ping.SetAttribute ("Verbose", BooleanValue (true));

    ApplicationContainer p = ping.Install (nodes.Get (0));
    p.Start (Seconds (0));
    p.Stop (Seconds (totalTime) - Seconds (0.001));

    // move node away
    Ptr<Node> node = nodes.Get (size/2);
    Ptr<MobilityModel> mob = node->GetObject<MobilityModel> ();
    Simulator::Schedule (Seconds (totalTime/3), &MobilityModel::SetPosition, mob, Vector (1e5, 1e5,
1e5));
}

```

- La ejecución del archivo se realiza de la siguiente manera en el terminal
- Construcción y cambio de directorio

```
cp src/aodv/examples/aodv.cc scratch/myaodv.cc
```

- Construcción de paquetes

```
./waf
export NS_LOG=
Construcción de Programa myaodv
./waf --run scratch/myaodv
```

Resultados de la Simulación.

```

eff@ubuntu:~/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17$ ./waf --run scratch/myaodv
waf: Entering directory `~/home/eff/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17/build'
waf: Leaving directory `~/home/eff/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17/build'
'build' finished successfully (2.835s)

*****
***** UPS *****
***** SIMULACION TESIS MOVILIDAD *****
***** AUCANCELA-ESPINOZA *****
*****

DISENO DE RED CON 6 NODOS A 50 m DE DISTANCIA.

Inicio de Simulacion AODV-LTE 10 seg ...
PING 10.0.0.6 56(84) bytes of data.
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=0 ttl=62 time=0 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=1 ttl=62 time=2 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=2 ttl=62 time=2 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=3 ttl=62 time=2 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=4 ttl=62 time=8 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=5 ttl=62 time=2 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=6 ttl=62 time=2 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=7 ttl=62 time=2 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=8 ttl=62 time=2 ms
64 bytes from 10.0.0.6: icmp_seq=9 ttl=62 time=2 ms
--- 10.0.0.6 ping statistics ---
10 packets transmitted, 9 received, 10% packet loss, time 9999ms
rtt min/avg/max/mdev = 2/3.333/8/2.646 ms
eff@ubuntu:~/Downloads/ns-allinone-3.17/ns-3.17$ █

```

**Fig. 92. Resultado Final de la Simulación.**