

**ESTRUCTURACIÓN DE LA RED VIAL NACIONAL PRIMARIA PARA SU USO
EN UN MODELO DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO**

MARLY VANESSA GÓMEZ TORRES

JOHN JAIRO BÁEZ LIZARAZO



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FALCULTAD DE INGENIERÍAS FISICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

**ESTRUCTURACIÓN DE LA RED VIAL NACIONAL PRIMARIA PARA SU USO
EN UN MODELO DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO**

MARLY VANESSA GÓMEZ TORRES

JOHN JAIRO BAEZ LIZARAZO

**Trabajo de grado presentado para optar al título de
Ingeniera e ingeniero civil**

Director

HERNÁN PORRAS DÍAZ

Ingeniero Civil, MSc, Ph,D

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FALCULTAD DE INGENIERÍAS FISICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2014

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro director, el ingeniero Hernán Porras Díaz por manifestarnos su interés en dirigir nuestro trabajo de grado, por su confianza y apoyo en el proceso de realización del mismo. Gracias al ingeniero Yerly Fabián Martínez Estupiñan y al ingeniero Andrés Julian Ulloa Moreno por su acompañamiento y asesoría, lo cual hizo posible que nuestro proyecto se desarrollara de manera satisfactoria.

Agradecemos al GRUPO DE INVESTIGACIÓN GEOMÁTICA, por facilitarnos las herramientas tecnológicas necesarias para la realización de este proyecto y preocuparse por desarrollar estudios de movilidad y transporte.

DEDICATORIA

Porque la muerte no es el fin del amor. Dedicado a la memoria de Nathalia Hernández Jaramillo y Don Jorge.

Natha gracias por seguir con tu recuerdo acompañando cada persona que te piensa, te quiere y desea estés feliz en la distancia.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. RED VIAL NACIONAL	16
2. PROYECTOS AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA (ANI)	21
2.1 PROYECTOS DE LAS TRONCALES	23
2.2 PROYECTOS DE LAS TRANSVERSALES	24
3. CLASIFICACIÓN DE LA RED VIAL PARA SU RESPECTIVA DEPURACIÓN	27
4. DEPURACIÓN DE LA MALLA	29
5. CREACIÓN DE LA TOPOLOGÍA	34
5.1 REGLAS DE LÍNEAS	35
5.1.1 <i>La distancia entre sus nodos debe ser mayor que la tolerancia clúster</i>	35
5.1.2 No deben superponerse	36
5.1.3 <i>No deben intersectarse</i>	37
5.1.4 <i>Deben ser cubiertas por la clase de entidad</i>	37
5.1.5 <i>No deben quedar nodos colgados</i>	37
5.1.6 <i>No deben tener pseudonodos</i>	38
5.1.7 <i>No debe superponerse a sí mismo</i>	38
5.1.8 <i>No debe intersectarse a sí misma</i>	39
5.1.9 <i>Debe ser de parte simple</i>	39
6. ATRIBUTOS DE LA MALLA	40
6.1 CAMPOS DE INFORMACIÓN PROVENIENTES DE LA RED NACIONAL	40
6.2 CAMPOS DE INFORMACIÓN PROVENIENTES DE LA RED DEPARTAMENTAL	41
6.3 CAMPOS DE INFORMACIÓN PROVENIENTES DE LA RED DEL IGAC	41
6.4 CAMPOS DE INFORMACIÓN PROVENIENTES DE LA RED SIGOT	42
7. ESTRUCTURACIÓN DE LA RED VIAL PRIMARIA Y SECUNDARIA CON LOS PROYECTOS ANI ESPACIALIZADOS	43
8. PROYECCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: ASIGNACIÓN DE LA MATRIZ ORIGEN – DESTINO A LA RED NACIONAL ESTRUCTURADA	46
8.1 ASIGNACIÓN DEL TRÁFICO	46
8.2 MÉTODOS DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO	46
<i>Primarios:</i>	47
<i>Secundarios:</i>	47
9. CONCLUSIONES	48
10. NOTACIONES Y DEFINICIONES	50
CITAS BIBLIOGRÁFICAS	51
BIBLIOGRAFIA	53

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Troncales.....	17
Tabla 2. Transversales	18
Tabla 3. Proyectos de la Troncal de Occidente	23
Tabla 4. Proyectos de la Troncal Medellín - Barranquilla	23
Tabla 5. Proyectos de la Troncal del Magdalena.....	24
Tabla 6. Proyectos de la Troncal Cordillera Oriental	24
Tabla 7. Proyectos de la Transversal Buenaventura – Bogotá.....	24
Tabla 8. Proyectos de la Transversal Occidente Magdalena	25
Tabla 9. Proyectos de la Transversal del Caribe	25
Tabla 10. Proyectos de la Transversal Magdalena – Cordillera Oriental.....	25
Tabla 11. Proyectos de la Transversal Cordillera Oriental – Llanos Orientales.....	26
Tabla 12. Clasificación de las vías según el IGAC	42
Tabla 13. Ahorro tiempos de recorrido	44
Tabla 14. Ahorro costos de operación vehicular.....	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Evolución dobles calzadas construidas en red concesionada	22
Figura 2. Esquema general cuarta generación de concesiones.....	22
Figura 3. Clasificación de la Red Vial de Colombia.....	28
Figura 4. Mallas base para la consolidación de la red definitiva	32
Figura 5. Bogotá y la red vial sin depurar.....	33
Figura 6. Error de tolerancia.....	36
Figura 7. Error: no debe superponerse	36
Figura 8. Error: no debe intersectar	37
Figura 9. Error: Debe ser cubierto por la clase de entidad.....	37
Figura 10. Error: Debe ser cubierto por la clase de entidad.....	38
Figura 11. Error: No debe tener pseudonodos	38
Figura 12. Error: No debe superponerse a sí mismo	38
Figura 13. Error: No debe intersectarse a sí mismo.....	39
Figura 14. Error: Debe ser de parte simple	39
Figura 15. Proyectos concesionados de la 4G vinculados a la red final.	45

TABLA DE ANEXOS

- Anexo A.** Depuración clasificada por cascos urbanos de las redes viales recopiladas.
- Anexo B.** Descripción de los campos de la red vial consolidada.
- Plano C.** Red vial estructurada para su uso en un modelo de asignación de tráfico.
- Plano D.** Red vial estructurada y clasificada según la fuente de información.
- Plano E.** Proyectos de la cuarta generación de concesiones viales.

RESUMEN

TÍTULO:

ESTRUCTURACIÓN DE LA RED VIAL NACIONAL PRIMARIA PARA SU USO EN UN MODELO DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO

AUTORES:

Gómez Torres Marly Vanessa

Báez Lizarazo John Jairo

PALABRAS CLAVES:

Malla base, Red Vial Nacional, proyectos concesionados, atributos.

CONTENIDO:

Esta investigación se orienta a presentar la estrategia para facilitar el desarrollo de un modelo de asignación de tráfico mediante la estructuración de la Red Vial Nacional primaria de Colombia, utilizando herramientas de sistemas de información geográfica. Se presenta una mirada al desarrollo del transporte terrestre en Colombia, la evolución de la red vial existente, y el desarrollo de nuevos proyectos de infraestructura a través del modelo de concesiones.

La planeación, gestión y crecimiento de un país tiene como parte fundamental el transporte terrestre y su infraestructura encaminada al estudio previo de modelos de tráfico. Dichos modelos utilizan capacidades espaciales importantes para su desarrollo como la representación de redes que a la realidad es la Red Vial Nacional y Departamental, siendo la red el punto de partida para futuros estudios de impacto en el sistema de transporte.

Finalmente, se establece la Red Vial Nacional y Departamental completa y actualizada con los proyectos concesionados para proceder a su caracterización y así asignar la matriz origen - destino previamente realizada en otra tesis de grado. Completando los parámetros necesarios para desarrollar un modelo de asignación de tráfico en la línea de investigación de modelos de transporte a cargo del grupo de investigación Geomática.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ing. M.Sc Ph.D Hernán Porras Díaz.

ABSTRACT

TITLE:

STRUCTURE OF PRIMARY NATIONAL ROAD NETWORK FOR USE IN A TRAFFIC ASSIGNMENT MODEL

AUTHORS:

Gómez Torres Marly Vanessa

Báez Lizarazo John Jairo

KEYWORDS:

Malla base, Red Vial Nacional, proyectos concesionados, atributos.

CONTENT:

This investigation is orientated to present the strategy to facilitate the development of a model of terrestrial traffic assignment by means of the structure of the Road National primary Network of Colombia, using tools of information systems geographical. One presents in addition a look to the development of the terrestrial transport in Colombia, the evolution of the road existing network, and the development of new projects of infrastructure across the model of concessions

The planning, management and growth of a country is a fundamental part ground transportation and previous study aimed at modeling traffic infrastructure. These models use significant space capabilities for development as the representation of networks to reality is the National Road Network and Departmental network being the starting point for future studies of impact on the transportation system.

Finally, establishing the National Road Network and Departmental complete and updated concession projects to proceed to its characterization and thus allocate the array origin - destination previously performed in another thesis. Completing the parameters needed to develop a model of traffic assignment in the research of transport models by the Geomatics research group.

* Graduation Work

**School of Physics and Mechanical. School of Civil Engineering. Directed M.Sc Ph.D Ing Hernan Diaz Porras.

INTRODUCCIÓN

Un renglón tan importante dentro del desarrollo económico del país, como lo es el transporte terrestre, debe ser administrado de una manera eficiente y la planeación hace parte fundamental de dicho proceso.

La planeación del transporte tiene como herramienta fundamental el seguimiento de un modelo, que permita la toma de decisiones para lograr una proyección que a largo plazo evite situaciones como: la congestión, la contaminación, los accidentes, el déficit financiero de las empresas municipales de transporte público. Apareciendo como nuevos retos a resolver en un entorno de movilidad sostenible

El transporte terrestre en Colombia es uno de los indicadores fundamentales del desarrollo económico y social del país. Según la CAF (Corporación Andina de Fomento) cerca del 90 % de la carga, 135 millones de toneladas en el año 2012, que circulan por el territorio nacional, viaja por carretera, al igual que lo hicieron 116 millones de pasajeros de las rutas intermunicipales.[1]

La Red Vial Nacional se clasifica, a disposición del INVÍAS (Instituto Nacional de Vías) en tres tipos diferentes de infraestructura: primaria, secundaria, y terciaria. La Red Vial Nacional primaria está administrada por la nación, bajo la tutela del INVÍAS y la ANI (Agencia Nacional de Infraestructura), esta última encargada de los proyectos de infraestructura de transporte concesionados, ya que fueron desarrollados mediante alguna forma de vinculación con el capital privado, dentro del marco de lo que ahora se denominan Asociaciones APP (Asociaciones Público Privadas)

Este trabajo se centra en realizar la estructuración de la Red Vial Nacional teniendo en cuenta también los proyectos concesionados para el estudio. Siendo la red la representación de la oferta dentro del proceso de modelización.

Es fundamental, ya que no es muy razonable utilizar una red muy detallada junto con un sistema de zonificación menos precisa o al contrario, y por esta razón el nivel de jerarquía utilizado es la red nacional junto con la Red Departamental.

El proyecto “Estructuración de la Red Vial Nacional primaria para su uso en un modelo de asignación de tráfico” hace parte de una de las líneas del grupo de investigación Geomática, adscrito a la Escuela de ingeniería Civil en el área de modelos de transporte. Es el punto de partida para facilitar el desarrollo de un modelo que busca analizar el impacto del tránsito en la Red Vial Nacional del país, que junto con modelos de análisis económico permitirá evaluar la viabilidad de la construcción de los proyectos de infraestructura propuestos como estrategia Nacional de desarrollo.

Un modelo de asignación de tráfico permite estimar la distribución del flujo vehicular en una red de transporte, previo conocimiento de la demanda y los costos de viaje en la red. [2]

Dentro del desarrollo de un modelo de asignación de tráfico, surge la necesidad de estructurar una malla de la Red Vial Nacional con atributos que caractericen algunas de las variables que intervienen en el modelo. Dichos atributos son seleccionados basándose en modelos existentes, en la información disponible, y en el mayor o menor impacto que pudiesen tener sobre el producto final. Este proyecto de grado busca hacer frente a tal necesidad, es un proceso complejo si se tiene en cuenta que pese a los esfuerzos del Gobierno Nacional, aún no se ha estructurado ningún tipo de sistema de consulta para los datos de los que dispone el estado en materia de transporte, por eso mucha de la información necesaria para la estructuración de la red vial base fue recopilada, depurada, e incluso generada a través de análisis espaciales.

Para el estudio se tuvieron en cuenta aspectos como:

- Análisis de la información recopilada.
- Creación del mapa base.
- Depuración de la Red Vial Nacional y departamental.
- Creación de la topología.
- Definición de los proyectos concesionados.
- Selección de los atributos de la malla base.
- Estructuración de la Red Vial Nacional primaria y secundaria.
- Estructuración de la Red Vial con los proyectos ANI espacializados.

1. RED VIAL NACIONAL

La Red Nacional de Carreteras es la red vial de Colombia regulada por el Ministerio de Transporte colombiano mediante el INVIAS y sus direcciones territoriales y a veces delegadas a empresas privadas por concesión.

El sistema se compone por la Red Primaria (a cargo de la nación), Red Secundaria (a cargo de departamentos) y Red terciaria (compuesta por carreteras terciarias o caminos interveredales, a cargo de municipios o departamentos). [3]

De acuerdo con el último anuario estadístico, realizado por el Ministerio de Transporte en el 2010, Colombia cuenta con una red de aproximadamente 215.000 kilómetros, los cuales conforman la red total de carreteras del país, de estos, 17.423 son de la red primaria y están distribuidos así:

- 11.856 km a cargo del Instituto Nacional de Vías INVIAS.
- 5.262 km concesionados a 2012 (Agencia Nacional de Infraestructura).

- Otros 197.523 km entre redes secundarias y terciarias distribuidas.

El Instituto Nacional de Vías, actualiza permanentemente el estado de la Red Vial a su cargo, clasificándola en vías pavimentadas y no pavimentadas y estableciendo las condiciones en las cuales se encuentran, de esta manera mantiene un efectivo control y seguimiento que le permite adoptar las medidas preventivas necesarias para brindar un mejor servicio a los usuarios de las vías. [4]

A continuación se presentan las principales carreteras de la red primaria.

Las troncales son las vías que recorren al país de sur a norte constituyéndose en corredores principales para el comercio exterior del país.

Tabla 1. Troncales

Troncales				
N°	Nombres	Comienzo	Final	Recorrido
25	Troncal de Occidente	Puente Internacional de Rumichaca	Barranquilla (Atlántico)	1570.66 Km
29	Troncal del Eje Cafetero	Armenia	La Feliza (Caldas)	163.25 Km
45	Troncal del Magdalena	Puente Internacional de San Miguel	Y de Ciénaga (Magdalena)	1478.06 km
45A	Troncal Central	Bogotá	San Alberto (Cesar)	501.38 km
55	Troncal Central del Norte	Bogotá	Puerto Santander (Norte de Santander)	603.31 km

65	Carretera Marginal de la Selva	Villa Garzón (Putumayo)	Saravena (Arauca)	1073.10 km
	Troncal del Llano			
	Troncal de la Selva			
	Vía Villavicencio - San José del Guaviare	Villavicencio	San José del Guaviare	210 km

Fuente: Red Nacional de carreteras

Del total de los 6.075.97 km que constituyen las troncales 5.575.7 km se encuentran pavimentados y 500.27 en afirmado. Esto quiere decir que el 91.77% de las troncales que son las principales vías del país se encuentran pavimentadas y tan sólo el 8.23% se encuentran en afirmado. [3]

Las vías transversales son aquellas que van de oriente a occidente del país.

Tabla 2. Transversales

Transversales				
N°	Nombres	Comienzo	Final	Recorrido
10	Transversal Tumaco-Leticia	Tumaco	El Pepino (Putumayo)	379.42 Km
20	Circuito Ecoturístico de Huila y Cauca	Popayán	La Portada (Huila)	155.70 km
	Conexión Costa	Playón Machado	Popayán	58.1 km
	Pacífica-Troncal de Occidente	Altamira	Florencia	130.57 km

30	Transversal Neiva-San Vicente	Neiva	Mina Blanca (Caquetá)	164.94 km
40	Transversal Buenaventura- Puerto Carreño	Buenaventura	Puerto Carreño (Vichada)	999.8 km
50	Transversal Las Ánimas- Bogotá Vía Manizales- Bogotá Vía al Chocó (En Risaralda) Vía a La Calera (en Bogotá)	Nuquí (Chocó) Bogotá	Bogotá El Salitre	399 km 280 km 12 km
60	Vía Quibdó- Medellín Vía Medellín- Bogotá (parcial) Transversal de Boyacá	Quibdó Medellín Puerto Boyacá	Primavera (Antioquia) Caño Alegre (Boyacá) Páez (Boyacá)	218.47 km 187 km 380.3 km
62	Troncal de Urabá Vía Medellín- Puerto Berrío	Turbo Hatillo	Medellín Troncal del Magdalena Tunja	353.18 km 174 km 198.95km

	Transversal del Carare Acceso a Yopal	Puerto Araujo Duitama	Aguazul (Casanare)	138.12 km
70	Conexión a Cúcuta	Agua clara (Cesar)	Puente Internacional Simón Bolívar	258.70 km
78	Transversal de la Depresión Momposina	Puerta de Hierro (Sucre) (Troncal de Occidente)	El Burro (Cesar) (Troncal del Magdalena)	223.4 km
80	Transversal del Norte	Carmen de Bolívar (Troncal de Occidente)	San Juan del Cesar	273.4 km
90	Transversal del Caribe Troncal del Caribe	Turbo (Antioquia)	Paraguachón (La Guajira)	841.14 km

Fuente: Red Nacional de carreteras

De los 6.217 km, 4.029.37 se encuentran pavimentados equivalentes al 64.81% y 2.187.63 en afirmado que corresponden al 35.19%. [3]

2. PROYECTOS AGENCIA NACIONAL DE INFRAESTRUCTURA (ANI)

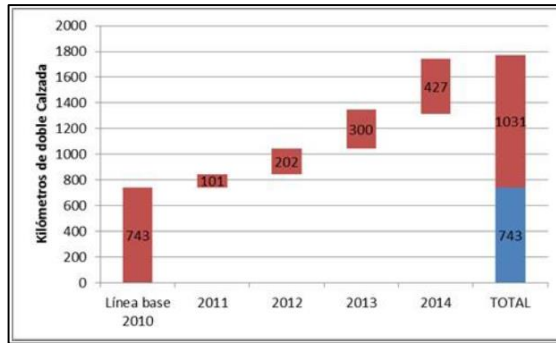
El desarrollo de infraestructura vial en el país con vinculación de participación privada, se remonta a mediados de la década de los años 90, con el lanzamiento de la primera generación de concesiones viales. Desde entonces, la participación privada en infraestructura vial se ha mantenido, producto de la oferta de proyectos a través de los programas de segunda y tercera generación de concesiones que buscaron recoger los aciertos alcanzados y mejorar algunos aspectos presentados durante la ejecución de los contratos.

Esta investigación quiere (aunque su finalidad es estructurar la red vial para su uso en un modelo de asignación de tráfico) destacar la importancia de los nuevos proyectos de infraestructura que adelanta el Estado, en especial, la cuarta generación de concesiones viales. Uno de los objetivos específicos es por lo tanto, espacializar algunos de los proyectos propuestos e incluirlos en la red vial nacional, para a futuro evaluar su impacto en los modelos desarrollados.

De acuerdo con un estudio elaborado en el 2012 por Fedesarrollo [11], Colombia debería invertir cada año y sostenidamente durante una década, un monto equivalente al 3,1% del PIB, para cerrar la brecha de infraestructura y atender los requerimientos que le impondrá el crecimiento de la demanda productiva y de servicios de transporte en sus puertos, vías férreas y carreteras. [12]

A continuación se presenta la evolución de dobles calzadas construidas en red concesionada.

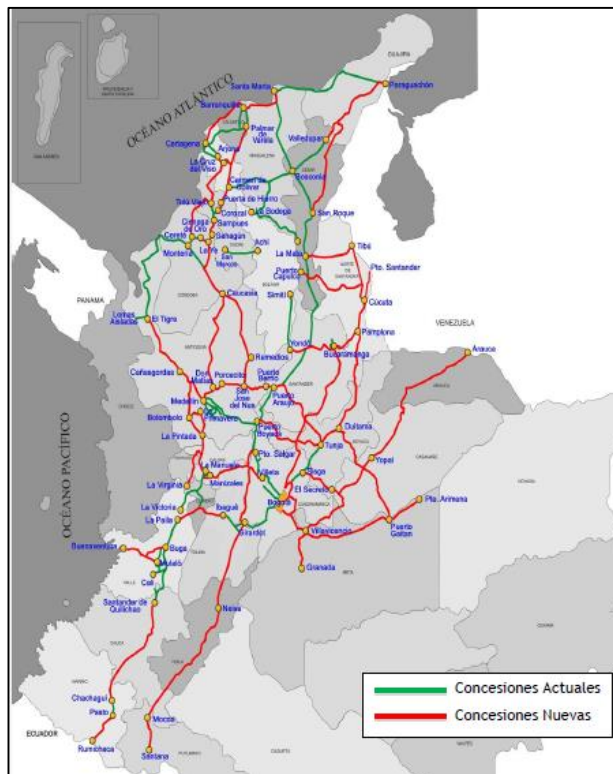
Figura 1. Evolución dobles calzadas construidas en red concesionada



Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura

Con la ejecución del programa presentado en el documento Conpes la Red Vial Nacional concesionada, quedaría de la siguiente manera:

Figura 2. Esquema general cuarta generación de concesiones



Fuente: Agencia Nacional de Infraestructura

A continuación se presentan los grupos de proyectos que a la fecha vienen siendo estructurados por la ANI y que conforman el programa de cuarta generación de concesiones viales. Como se mencionó anteriormente con estos proyectos y la matriz origen – destino ya estructurada se genera el impacto que tienen y tendrán más adelante.

2.1 PROYECTOS DE LAS TRONCALES

Tabla 3. Proyectos de la Troncal de Occidente

Troncal de Occidente
Rumichaca – Pasto
Chachagüí – Popayán
Popayán - Santander de Quilichao
La Virginia y La Manuela - La Pintada (Autopista Conexión Pacífico 3)
Bolombolo – La Pintada – Primavera (Autopista Conexión Pacífico 2)
Túnel de Occidente y Bolombolo - Cañasgordas (Autopista al Mar 1)
Cañasgordas - El Tigre (Autopista al Mar 2)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Proyectos de la Troncal Medellín - Barranquilla

Troncal Medellín - Barranquilla
Don Matías – Caucasia
Remedios – Zaragoza – Caucasia (Autopista Conexión Norte)
Caucasia - Planeta Rica - La Ye
Ciénaga de Oro - La Ye; Sahagún - Sampues; Corozal - Puerta de Hierro; Cruz

del Viso – Arjona
Puerta de Hierro - Carreto - Palmar de Varela; Carreto - Cruz del Viso

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Proyectos de la Troncal del Magdalena

Troncal del Magdalena
Santana - Mocoa – Neiva
Neiva – Girardot
Girardot - Honda - Puerto Salga

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Proyectos de la Troncal Cordillera Oriental

Troncal Cordillera Oriental
Bogotá – Bucaramanga
Bucaramanga – Pamplona
Pamplona - Cúcuta - Frontera con Venezuela
Duitama – Pamplona

Fuente: Elaboración propia

2.2 PROYECTOS DE LAS TRANSVERSALES

Tabla 7. Proyectos de la Transversal Buenaventura – Bogotá

Transversal Buenaventura – Bogotá
Buenaventura – Buga
Loboguerrero – Mulaló
La Paila – Cajamarca
Túnel #2 de la Línea

Cajamarca – Ibagué

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Proyectos de la Transversal Occidente Magdalena

Transversal Occidente Magdalena
Manizales – Mariquita
Honda – Villeta
Bolombolo – Camilo Cé – Ancón Sur (Autopistas Conexión Pacífico 1)
Porcesito – San Jose del Nus – Alto de Dolores (Autopista al Río Magdalena 1)
Remedios – Alto de Dolores – Puerto Berrío – Conexión RDS2 (Autopista al Río Magdalena 2)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Proyectos de la Transversal del Caribe

Transversal del Caribe
Cereté – Lórica – Tolúviejo – Cruz del Viso
Cartagena – Barranquilla; Circunvalar de la Prosperidad
Barranquilla – Santa Marta

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Proyectos de la Transversal Magdalena – Cordillera Oriental

Transversal Magdalena – Cordillera Oriental
Puerto Boyacá – Chiquinquirá – Tunja
Puerto Araujo – Barbosa – Tunja

Yondó – Barrancabermeja – Bucaramanga
Gamarra – Ocaña
Ocaña – Cúcuta
La Mata – Convención – Tibú
San Roque – Paraguachón

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Proyectos de la Transversal Cordillera Oriental – Llanos Orientales

Transversal Cordillera Oriental- Llanos Orientales
Bogotá – Villavicencio (Sector 1)
Bogotá – Villavicencio (Sector 3)
Perimetral de Oriente
Malla vial del Meta
Sisga – El Secreto
Villavicencio – Yopal
Yopal– Arauca
Sogamoso – Aguazul – Puerto Gaitán

Fuente: Elaboración propia

Es indudable que la mencionada inversión tendrá efectos en el crecimiento de la economía por la vía de una mayor acumulación de capital fijo, lo cual traerá consigo aumentos en la tasa de inversión de la economía frente al escenario actual. Por otra parte, estas inversiones conllevarán a aumentos en la Productividad Total de los Factores - PTF por cuenta de la reducción del tiempo de los recorridos por carretera y una mayor disponibilidad de red vial que aumentará los flujos de comercio de bienes y servicios entre regiones y con el exterior. [12]

3. CLASIFICACIÓN DE LA RED VIAL PARA SU RESPECTIVA DEPURACIÓN

Una decisión fundamental en la preparación de una red es determinar los niveles de jerarquía viaria que han de incluirse. Si se incluyen más calles, mejor será la representación de la realidad, pero de nuevo aparecerá el problema de los costes del estudio frente al realismo, lo cual puede conducir al modelador a prescindir de algunos arcos. Además, no tiene mucho sentido incluir un número elevado de vías en la red para después realizar hipótesis más generales sobre giros y demoras en las intersecciones. Tampoco es muy razonable utilizar una red muy detallada junto con un sistema de zonificación menos preciso, ya que los errores de agregación espacial (en términos de conexión de centroides a la red) reducen el valor de todo el proceso. Esto es especialmente importante en el caso de redes de transporte público. [2]

Lo que más importa es que la elección de rutas y flujos sea lo más realista posible dentro de las limitaciones del estudio.

Debe tenerse en cuenta que el proceso de depuración es realmente importante, ya que es el punto de partida para realizar correctamente la estructuración de la red vial necesaria para el desarrollo del modelo de asignación de tráfico. Por este motivo se clasificó la información recopilada en cuatro grandes puntos de partida.

Se encuentra la Red Vial Nacional estructurada por el INVIAS, ente encargado de la ejecución de las políticas, estrategias, planes, programas y proyecto de la infraestructura no concesionada de la Red Vial Nacional de carreteras primaria y terciaria, férrea, fluvial y de la infraestructura marítima, de acuerdo con los lineamientos dados por el Ministerio de Transporte. [4]

Esta malla está compuesta por las carreteras con dirección predominante nortesur, denominadas Troncales, que inician su recorrido en las fronteras

internacionales y terminan en los puertos del Mar Caribe o en fronteras internacionales. Las carreteras que unen las troncales anteriores entre sí, denominadas Transversales, cuyo volumen de tránsito esté justificado, y que comuniquen con los países limítrofes o con los puertos de comercio internacional.

Figura 3. Clasificación de la Red Vial de Colombia.



Fuente: Red Nacional de Carreteras

Del INVIAS se obtuvo también tramos de la Red Departamental, conformada por las carreteras que unen las capitales de departamento con la Red Nacional, conformada con los anteriores criterios, de acuerdo con su factibilidad técnica y económica. Esta conexión puede ser de carácter intermodal. [5]

Cabe resaltar que esta malla vial se obtuvo gracias a la gestión del grupo de investigación Geomática, quien facilitó su uso.

La segunda fuente es la malla vial consolidada por el IGAC, entidad encargada de producir el mapa oficial y la cartografía básica de Colombia, elaborar el catastro nacional de la propiedad inmueble, realizar el inventario de las características de los suelos, adelantar investigaciones geográficas como apoyo al desarrollo territorial, capacitar y formar profesionales en tecnologías de información geográfica y coordinar la ICDE. [6]

La malla esta cartografiada a escala 1:100.000, y hace parte de la geodatabase oficial de la entidad, alimentada por las investigaciones geográficas que se llevan a cabo a lo largo de todo el territorio nacional.

La cuarta y última fuente es la malla vial disponible en el SIGOT (Sistema de Información Geográfica para la planeación y el Ordenamiento Territorial), entidad cuyo objetivo central es contribuir a una eficiente y oportuna toma de decisiones, apoyando a los actores - autoridades e instancias - en el sistema de planeación a nivel nacional, regional y local, con una herramienta tecnológica que soporte la gestión y evaluación de las políticas públicas, con información político-administrativa, socio-económica y ambiental georreferenciada que permita orientar adecuadamente los recursos. [7]

4. DEPURACIÓN DE LA MALLA

Como se mencionó anteriormente, la depuración es una fase de gran importancia para la creación de la malla, ya que es el punto de partida para realizar correctamente la estructuración de la red vial necesaria para el desarrollo del modelo de asignación de tráfico.

La palabra depurar es un término muy utilizado cuando hablamos de software. Consiste en desarrollar una acción para detectar y solucionar los problemas que presenta un producto antes de que ser utilizado en algún proceso o publicar una versión definitiva.

El desarrollo de un modelo de asignación de tráfico a nivel nacional precisa de consolidar también la Red Departamental y conectarla a la Red Vial Nacional. Es por eso que en debe proponerse un proceso sencillo y práctico para la depuración de la malla vial que permita desarrollar tal labor de forma ágil y sistemática.

Dicho anteriormente, identificamos cuatro puntos de partida claros de tres distintas fuentes, la Red Vial Nacional y la Red Departamental del INVIAS, la red de la geodatabase a escala 1:100.000 del IGAC y la red que hace parte del SIGOT.

Los sistemas de información geográfica (SIG) permiten coleccionar, almacenar, recuperar, transformar y desplegar datos espaciales del mundo real para un grupo particular de propósitos [8]. Utilizando herramientas de sistemas de información geográfica, concretamente el software ArcGIS de ESRI, se parte de las cuatro mallas base, en formato ESRI Shapefile, o también conocido como shape o shp, para consolidar una única red.

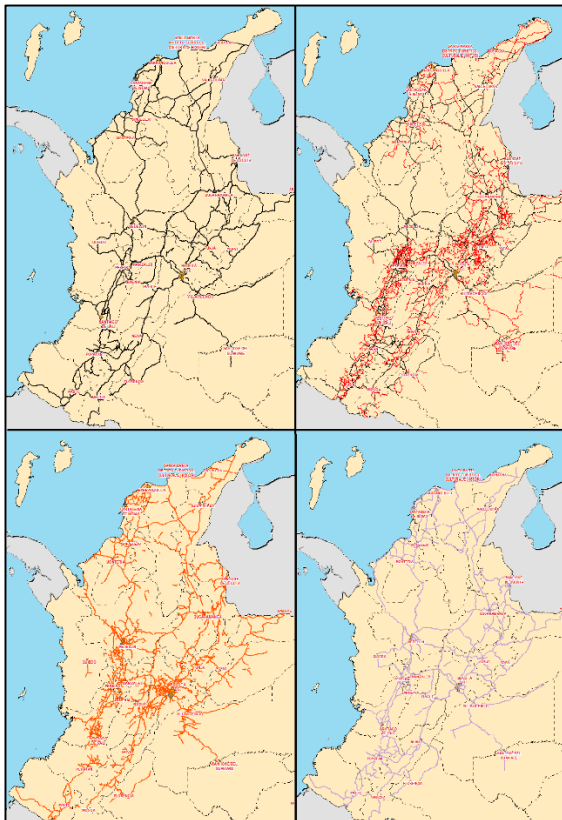
Las ventajas de utilizar SIG sobre alguna otra herramienta ofimática o de dibujo asistido por computador es que nos permite manejar y presentar distintos niveles de datos, relacionar los datos espaciales y analizar e implementar modelos que representan la realidad. [9]

Además la información está vinculada espacialmente a los distintos tramos de vía y puede ser consultada y utilizada para desarrollar el modelo de asignación de tráfico, y herramientas SIG como las uniones basadas en atributos, las uniones espaciales, la creación de topologías, las proyecciones geográficas, y la edición gráfica son fundamentales para estructurar la red y cumplir con el objetivo general de esta investigación.

El proceso de depuración se llevó a cabo de la siguiente manera:

1. Creación del campo "ORIGEN" en cada uno de los archivos shp originales, el cual describirá el origen de cada tramo al momento de fusionar las cuatro mallas. Haciendo esto, se garantiza poder relacionar la información asociada de cada fuente con los tramos que van a conformar el producto final. Así que el campo origen tomará alguno de los siguientes valores, según corresponda:
 - Red Nacional
 - Red Departamental
 - Cartografía 100k
 - Red SIGOT
2. Proyección y transformación geográfica de cada una de las fuentes a un único sistema coordinado. Para fusionar las cuatro mallas, todas deben estar en el mismo sistema coordinado. El estándar según el IGAC es el sistema coordinado proyectado MAGNA Colombia con origen Bogotá, así que se hacen las transformaciones geográficas pertinentes a cada shp para llevarlo a dicho sistema.
3. Al hacer la unión se conservan los campos que permiten identificar cada uno de los tramos de las distintas fuentes para poder relacionar la información original de cada tramo con el producto definitivo. Por ello se conservan los campos "OBJECTID" de la Red Nacional y la Cartografía 100k, el campo "OBJECTID_1" de la Red Departamental y el campo "COD_VIA_1" de la Red SIGOT. El identificador único y el atributo del campo ORIGEN permiten identificar cada elemento lineal con un código único.
4. La unión resultante se llama "Red_Union".

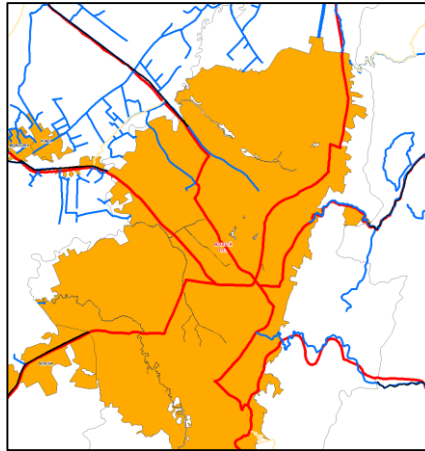
Figura 4. Mallas base para la consolidación de la red definitiva. Red Vial Nacional y Red Departamental del INVIAS (arriba), Malla de la cartografía 1:100.000 del IGAC (abajo, izquierda), Malla del SIGOT (abajo, derecha).



Fuente: Elaboración Propia

5. Se crean cuatro réplicas (capas, solo visualización) de la Red_Union con el objetivo de ver en orden jerárquico las distintas fuentes para su edición. Se les asigna un grosor de menor a mayor, según el orden de visualización.
6. El resultado final es el siguiente:

Figura 5. Bogotá y la red vial sin depurar.



Fuente: Elaboración Propia

En esta imagen se puede apreciar la ciudad de Bogotá y las distintas mallas iniciales que ya hacen parte de una sola identidad clasificada por un código de colores y grosores. En la ciudad de Bogotá (polígono irregular naranja) convergen entonces la red SIGOT, representada con una línea roja, la red de la cartografía 1:100.000 del IGAC (línea azul), la Red Departamental (línea amarilla) y la Red Nacional (línea negra) del INVIAS.

Con este resultado final debe comenzar a realizar una depuración manual que consiste en:

Eliminar tramos duplicados. Deben eliminarse los tramos redundantes según el orden jerárquico, para no tener duplicidad y garantizar la conectividad.

En la imagen por ejemplo, deben eliminarse los tramos amarillos, azules y rojos que están por debajo de los tramos negros (Red Nacional), los tramos azules y rojos por debajo de los amarillos (Red Departamental) y así sucesivamente. Se elimina solo el trozo de tramo que está por debajo de otra fuente, ya que si no tiene algún tramo de un orden superior encima, es la única fuente de información y por lo tanto garantizará la conectividad en ese punto.

Conectar la malla. La malla se conectará utilizando la fuente pertinente en cada caso, según el orden jerárquico de las fuentes. Para conectar los distintos tramos debe editarse en lo posible solo la conexión para alterar la fuente de la menor manera posible. En la imagen de ejemplo, para conectar toda la red es necesario conectar los tramos negros (Red Nacional) con los tramos rojos (Red SIGOT) en la parte izquierda, así que se une el vértice final del tramo negro con el vértice inicial del tramo rojo, que ya debe haber sido cortado en ese punto cuando se eliminó el tramo que quedaba debajo de la Red Nacional. En el costado derecho de la imagen puede apreciarse que debe conectarse el tramo negro con el tramo azul primero, y después el tramo azul con el tramo rojo, siguiendo siempre el orden jerárquico de las fuentes.

Eliminar tramos no conectados a la red. Los tramos sueltos que no se conectan a la red por ninguno de sus extremos deben ser eliminados. Un ejemplo puede ser el tramo azul en la parte izquierda de la imagen al norte de Soacha. El tramo no se conecta a la red por ninguno de sus extremos, así que es descartado.

5. CREACIÓN DE LA TOPOLOGÍA

La topología es una colección de reglas que, acopladas a un conjunto de herramientas y técnicas de edición, permite a las geodatabases modelar relaciones geométricas con mayor precisión. ArcGIS implementa una topología a través de un conjunto de reglas que definen cómo las entidades pueden compartir un espacio geográfico y un conjunto de herramientas de edición que trabajan con entidades que comparten geometría de manera integrada.

La topología se almacena en una geodatabase como una o más relaciones que definen cómo las entidades en una o más clases de entidad comparten geometría. Las entidades que participan en una topología siguen siendo clases de entidad

simples; en vez de modificar la definición de la clase de entidad, la topología describe cómo las entidades se pueden relacionar espacialmente. [10]

ArcGIS incluye una serie de métodos para crear y definir una nueva topología. El método más utilizado implica el uso de herramientas en la ventana ArcCatalog. Al crear una topología se puede automatizar parte de la identificación y corrección de errores mediante un conjunto de herramientas de geoprocésamiento.

En el proceso de creación es normal que se presenten una serie de errores que anteriormente se definieron con las reglas topológicas de las geodatabases. Dependiendo de las relaciones que sean más importantes mantener para la depuración de la malla se debe planear rigurosamente y con mucho cuidado las relaciones espaciales que se aplicarán a las entidades.

5.1 REGLAS DE LÍNEAS

Cabe recordar que se pueden hacer topologías de polígonos, líneas y puntos, pero en este caso es una topología específicamente para estructurar la Red Vial Nacional y completar el proceso de depuración y asignación de la malla. La topología se encargará de detectar los siguientes errores:

5.1.1 La distancia entre sus nodos debe ser mayor que la tolerancia clúster

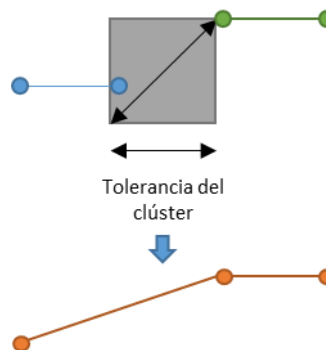
La creación de relaciones topológicas implica analizar la ubicación de las coordenadas de los vértices de entidad entre las entidades de la misma clase de entidad así como entre las clases de entidad que participan en la topología. Se supone que los que están dentro de una distancia determinada de otros representan la misma ubicación y tienen asignado un valor de coordenadas común.

Una tolerancia clúster se utiliza para integrar los vértices. Todos los vértices que están dentro de la tolerancia clúster pueden moverse ligeramente en el proceso de

validación. La tolerancia clúster predeterminedada se basa en la precisión definida para el dataset.

Esta regla es obligatoria para una topología y se aplica a todas las clases de entidad de línea y poligonal. En los casos en los que se infringe esta regla, la geometría original permanece sin cambios. [11]

Figura 6. Error de tolerancia



Fuente: Elaboración propia

5.1.2 No deben superponerse

Este error se trató de corregir en su mayoría cuando se hizo el proceso de depuración de la malla. Requiere que las líneas no se superpongan con las líneas en la misma clase de entidad.

En la mayoría de los casos se tiene 3 o 4 líneas superpuestas donde se encontraba la red nacional, departamental, la red del IGAC y la red SIGOT. La topología permite identificar y remediar los errores que no fueron resueltos.

Figura 7. Error: no debe superponerse

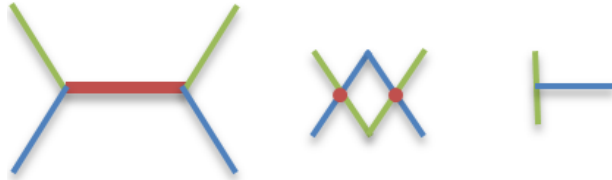


Fuente: Elaboración propia

5.1.3 No deben intersectarse

La topología permite identificar los tramos donde se intersectan dos o más líneas. En el proceso de depuración no se tuvo en cuenta esta regla pero con el uso de algoritmos SIG los errores de este tipo pueden remediarse automáticamente.

Figura 8. Error: no debe intersectar

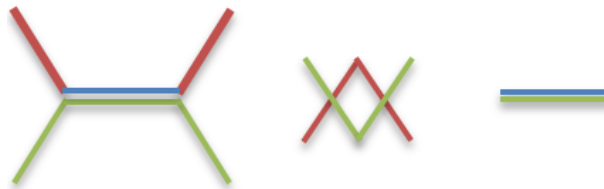


Fuente: Elaboración propia

5.1.4. Deben ser cubiertas por la clase de entidad

Una línea de una capa debe coincidir con las líneas de otra capa. Cualquier línea en la primera capa que no coincida con las líneas de la segunda será un error.

Figura 9. Error: Debe ser cubierto por la clase de entidad



Fuente: Elaboración propia

5.1.5 No deben quedar nodos colgados

Una línea de una capa debe tocar líneas de la misma capa en ambos extremos. Cualquier extremo donde la línea no toque línea será un error.

Este error, fue uno de los más comunes al momento de crear la topología, ya que ninguna red se conectaba con la otra y en el proceso de depuración era difícil

revisar manualmente cada nodo de intersección, por lo cual la topología arrojó como resultado un gran número de errores.

Figura 10. Error: Debe ser cubierto por la clase de entidad



Fuente: Elaboración propia

5.1.6 No deben tener pseudonodos

Una línea de una capa debe tocar más de una línea de la misma capa en sus extremos. Cualquier extremo donde la línea toque solo otra línea será un error.

Esta regla, aunque se utilizó en la topología cabe resaltar que se creó una serie de excepciones para suprimir el error generado en el extremo libre de la vía departamental.

Figura 11. Error: No debe tener pseudonodos



Fuente: Elaboración propia

5.1.7 No debe superponerse a sí mismo

Una entidad de línea de una capa no debe intersectarse o superponerse consigo misma. Cualquier línea donde la entidad se superponga a si misma será un error.

Figura 12. Error: No debe superponerse a sí mismo

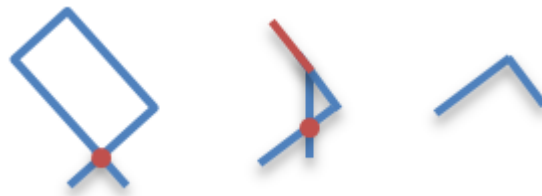


Fuente: Elaboración propia

5.1.8 No debe intersectarse a sí misma

Una entidad de línea de una capa no debe intersectarse a sí misma. Cualquier línea donde la entidad se superponga a sí misma o cualquier punto donde la entidad se intersecte s sí misma será un error.

Figura 13. Error: No debe intersectarse a sí mismo



Fuente: Elaboración propia

5.1.9 Debe ser de parte simple

Una entidad de línea de una capa no debe tener más de una parte. Cualquier entidad de línea con más de una parte será un error.

Figura 14. Error: Debe ser de parte simple



Fuente: Elaboración propia

6. ATRIBUTOS DE LA MALLA

El modelo de asignación se basa en el uso de una red de transporte, y permite, entre otras cosas, evaluar niveles de servicio, consecuencias de nuevas rutas, estimar demandas de transporte. En general consiste en reproducir matemáticamente la estructura y funcionamiento del sistema de transporte y la movilidad; para lograr esto el modelo integra la red vial y la matriz de movilidad del área de estudio. [12]

Al tener la red vial ya depurada y estructurada se procede a su caracterización. Se hace una selección de los atributos a incluir en cada opción, elección de la unidad de medida de cada atributo, y especificación del número y magnitud de los niveles de cada atributo.

El conjunto y naturaleza de los atributos debe también elegirse de forma que se aseguren realistas. Deben estar presentes los atributos más importantes y ellos han de ser suficientes para describir las alternativas tecnológicamente factibles.

En esta fase debe tenerse especial cuidado a la hora de establecer las diferentes combinaciones de atributos; por ejemplo, una alternativa de alta calidad, con frecuencia elevada y de bajo coste puede ser ignorada por poco realista, reduciendo así el valor de todo el ejercicio. Al mismo tiempo conviene cuidar que el número de atributos no sea excesivo (en general no más de cuatro) [2]

Al trabajar con la malla previamente depurada, se consolida toda la información recopilada de las 4 fuentes utilizadas.

La información asociada a cada una de las fuentes originales, y consignada en el producto final es la siguiente:

6.1 CAMPOS DE INFORMACIÓN PROVENIENTES DE LA RED NACIONAL

- Código de la vía en el inventario del INVIAS

- Nombre geográfico de las vía
- Nombre de la vía relacionando origen – destino
- Longitud de la vía nacional descrita en el inventario del INVIAS
- Número de ruta nacional a la que pertenece el tramo de vía
- Nombre de la concesión que administra la vía al año 2013
- Observaciones del INVIAS
- Código único que relaciona los elementos de la red final con los elementos de la red inicial

6.2 CAMPOS DE INFORMACIÓN PROVENIENTES DE LA RED DEPARTAMENTAL

- Longitud de la vía departamental medida con u odómetro
- Código de la vía en el inventario del instituto Nacional de Vías
- Nombre geográfico de la vía
- Departamento encargado de la administración de la vía
- Clasificación de la vía departamental según su funcionalidad
- Ente estatal encargado de la administración de la vía departamental
- Tipo de estado de la superficie de la vía
- Nombre del tramo
- Observaciones del INVIAS
- Código único que relaciona los elementos de la red final con los elementos de la red inicial

6.3 CAMPOS DE INFORMACIÓN PROVENIENTES DE LA RED DEL IGAC

- Estado de la superficie de la vía
- Describe la vía como carretera de dos o más carriles, o como carretera angosta

- Nombre geográfico de la vía
- Si la vía es transitable todo el año o solo en tiempo seco
- Departamento encargado de la administración de la vía
- Código único que relaciona los elementos de la red final con los elementos de la red inicial

Tabla 12. Clasificación de las vías según el IGAC

Clasificación según el IGAC
• Vías Tipo 1: 5-8 metros de ancho pavimentadas.
• Vías Tipo 2: 5-8 metros de ancho sin pavimentar.
• Vías Tipo 3: 2-5 metros de ancho pavimentadas.
• Vías Tipo 4: 2-5 metros de ancho sin pavimentar.
• Vías Tipo 5: Transitables en tiempo seco.
• Vías Tipo 6: Camino.
• Vías Tipo 7: Sendero

Fuente: Elaboración propia

6.4 CAMPOS DE INFORMACIÓN PROVENIENTES DE LA RED SIGOT

- Departamento encargado de la administración de la vía
- Origen del tramo de vía
- Destino del tramo de vía
- Describe el tramo como vía nacional o urbana según corresponda
- Tipo de estado de la superficie de la vía
- Estado de la vía en términos generales al año 2006
- Departamento encargado de la administración de la vía
- Código único que relaciona los elementos de la red final con los elementos de la red inicial

El nivel de detalle asociado a los atributos de los arcos depende del nivel general de resolución de la red y del tipo de modelo utilizado.

Teniendo en cuenta los parámetros ya mencionados y que se tiene una zonificación no muy detallada se establece que en el nivel mínimo de análisis se requieren los siguientes atributos para caracterizar cada tramo de la red que se utilizará en el desarrollo de un modelo nacional de asignación de tráfico:

- Código único del tramo (Identifica cada uno de los tramos de vía y permite asociar la información consolidada en la red final).
- Fuente original del tramo de vía (Según metodología propuesta).
- Código según inventario del INVIAS (Permite asociar la información de las encuestas de tránsito promedio diario).
- Longitud (Calculada geoméricamente utilizando herramientas de sistemas de información geográfica)
- Longitud total de cada vía según encuestas de tránsito promedio diario del INVIAS.
- Velocidad de flujo libre (Tomada del código de Transporte)
- TPD (Transito Promedio diario) [15]

7. ESTRUCTURACIÓN DE LA RED VIAL PRIMARIA Y SECUNDARIA CON LOS PROYECTOS ANI ESPACIALIZADOS

La inversión en infraestructura realizada por el Estado en la cuarta generación de concesiones viales busca un desarrollo significativo del crecimiento socioeconómico del país, incidiendo según la información suministrada por la ANI en 4 indicadores básicos:

- Ahorro en tiempos de viaje: Estimados entre las principales ciudades y zonas portuarias del país, pueden resumirse en la siguiente tabla:

Tabla 13. Ahorro tiempos de recorrido

Recorrido	Ahorro tiempo
Bogotá - Medellín	28,28%
Bogotá - Cali	26,83%
Bogotá - Buenaventura	27,27%
Bogotá - Cartagena	26,48%
Medellín - Cali	46,67%
Medellín - Cartagena	25,00%
Cali - Cartagena	33,33

Fuente: Documento Conpes 3760

- Reducción de Costos Operacionales de los Vehículos: Estimado en un total de \$2.3 billones. A continuación se resume el porcentaje de reducción de costos operacionales para varios recorridos:

Tabla 14. Ahorro costos de operación vehicular

Recorrido	Reducción COV por viaje
Bogotá - Medellín	18,00%
Bogotá - Cali	17,71%
Bogotá - Buenaventura	17,32%
Bogotá - Cartagena	16,57%
Medellín - Cali	29,73%
Medellín - Cartagena	15,67%

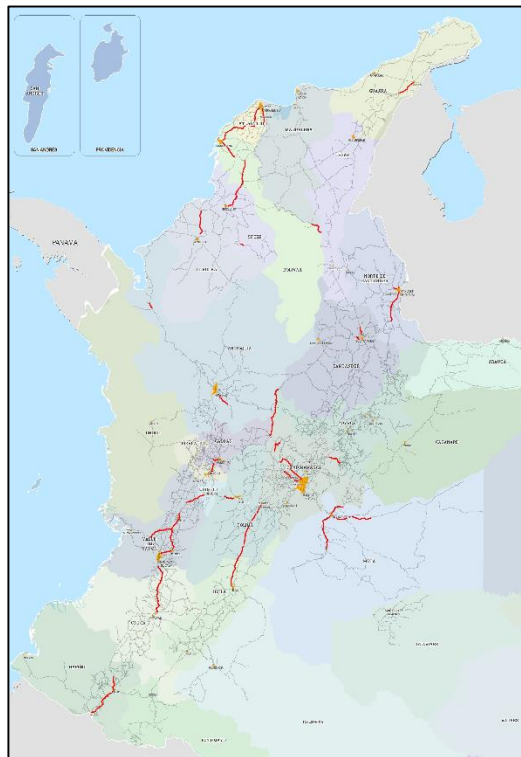
Fuente: Documento Conpes 3760

- Análisis Costo – Beneficio: De acuerdo a los cálculos realizados, la relación beneficio costo de los proyectos es en promedio de 1.56. Así que por cada peso invertido el país obtendrá beneficios adicionales de 0.56 pesos.

- Beneficios ambientales: La emisión de CO2 se reduce como producto de las mejoras en la infraestructura vial, generando ahorros principalmente por un menor consumo de combustibles fósiles. Estas ganancias ambientales se estiman en aproximadamente \$15 billones con base en los precios internacionales de tonelada de CO2.[14]

Esos indicadores y estadísticos pueden validarse con modelos de transporte, evaluando el impacto en la movilidad y conectividad de los distintos puntos de interés a nivel nacional. Por ello se incluyen dentro de la malla vial los proyectos concesionados de cuarta generación que pueden apreciarse en la imagen que se muestra a continuación:

Figura 15. Proyectos concesionados de la 4G vinculados a la red final.



Fuente: Elaboración propia

8. PROYECCIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: ASIGNACIÓN DE LA MATRIZ ORIGEN – DESTINO A LA RED NACIONAL ESTRUCTURADA

Para enmarcar este proyecto dentro de la línea de investigación en movilidad y transporte del grupo de investigación Geomática, se hace necesario mencionar que utilizando la red vial nacional estructurada espera desarrollarse una planificación de transporte mediante un modelo nacional de asignación de tráfico. Para ello se hace a continuación una breve introducción a la asignación de la matriz origen – destino construida en otro proyecto de investigación.

Una vez se tiene la información suficiente de la red de tráfico para su uso y la matriz origen – destino para una zonificación específica, se procede a la construcción del modelo en el software TransCAD, ya que este software está desarrollado en una plataforma SIG que facilita el ingreso, procesamiento y presentación de la información requerida y obtenida por el modelo de asignación de tráfico.

8.1 ASIGNACIÓN DEL TRÁFICO

La red de transporte es una representación matemática de la malla vial que recopila toda la información geográfica y de tráfico asociada a dicha malla, y que junto a las matrices O-D constituyen los elementos necesarios para realizar la asignación de tráfico

8.2 MÉTODOS DE ASIGNACIÓN DE TRÁFICO

Durante la aplicación del clásico proceso de asignación de tráfico se utilizan una serie de reglas y principios para cargar una determinada matriz de viajes a la red y obtener así una serie de flujos en los arcos. Sin embargo, éstos no sólo son resultados interesantes en el proceso de asignación; tal proceso tiene diferentes objetivos que es importante tener en cuenta en detalle, aunque no todos reciben la

misma atención en todas las situaciones y no todos pueden ser logrados con un mismo grado de exactitud. [2]

Los principales objetivos son:

Primarios:

- Obtener buenos resultados agregados de red, es decir, por ejemplo, flujos totales sobre autopistas, beneficios totales por servicios de autobús.
- Estimar costes (tiempos) de viaje entre zonas para un nivel dado de demanda.
- Conseguir valores razonables de flujos en los arcos e identificar los arcos más congestionados.

Secundarios:

- Estimar los recorridos utilizados entre cada par O/D.
- Analizar qué pares O/D utilizan arcos o rutas o recorridos particulares.
- Obtener los flujos de vehículos que realizan giros para diseñar futuras intersecciones.

9. CONCLUSIONES

- La planeación del transporte tiene como herramienta fundamental el seguimiento de un modelo que permita la toma de decisiones. El desarrollo de un modelo a nivel nacional requiere estructurar una red de transporte que recopile toda la información geográfica y de tráfico asociada a dicha malla.
- Pese a los esfuerzos del gobierno nacional no ha sido posible consolidar toda la información recopilada por las distintas dependencias en materia de planeación, gestión, y administración de proyectos de infraestructura. La información base para la estructuración de la red fue recopilada de distintas bases de datos, y depurada mediante herramientas de sistemas de información geográfica.
- El desarrollo de un modelo de transporte precisa incluir en la malla vial al menos un nivel por debajo de los tramos de estudio según la bibliografía consultada. Por eso siendo este un proyecto que busca estructurar una red a nivel nacional, es necesario acoplar la red departamental.
- La caracterización de la red vial mediante los atributos que permiten la generación de modelos de transporte, es un proceso complejo que requiere de un gran volumen de información con la que actualmente no se cuenta. En base a la información recopilada fue posible definir atributos a un nivel mínimo de análisis.

- La creación de una topología hace posible automatizar parte de la depuración de información espacial mediante herramientas de geoprocésamiento que evalúan las relaciones geométricas de las entidades mediante un conjunto de reglas predefinidas.
- Los proyectos concesionados de carreteras de la cuarta generación buscan modernizar la infraestructura existente y darle un impulso económico al país utilizando el modelo de asociación público – privada. La espacialización de los proyectos y su vinculación con la red existente es de gran importancia para el desarrollo de modelos de transporte que permitan realizar análisis técnicos y económicos.

10. NOTACIONES Y DEFINICIONES

- INVIAS: Instituto Nacional de Vías
- IGAC: Instituto geográfico Agustín Codazzi
- SIGOT: Sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial
- ANI: Agencia Nacional de Infraestructura
- APP: Asociaciones público privadas
- ICDE: Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales.
- CAF: Corporación andina de Fomento
- PIB: Producto interno bruto
- Conpes: Consejo Nacional de Política Económica y Social

CITAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Datos de la Asociación para el Desarrollo Integral del Transporte intermunicipal (Addit)
- [2] Ortuzar J. y Willumsen L. Modelos de Transporte, Vol 3, Ed Universidad de Cantabria, 2008.
- [3] Nélide Zamora y Oscar Barrera, Diagnóstico de la infraestructura vial actual en Colombia [Tesis de especialización], Universidad EAN, Bogotá, 2012.
- [4] Instituto Nacional de Vías – INVIAS. Disponible en: <http://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/10-objetivos-y-funciones> [citado 5 de Julio de 2014].
- [5] Ley No. 105 del 30 de diciembre de 1993. Ministerio de transporte.
- [6] Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC. Disponible en: <http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/nuestraentidad> [Citado 5 de Julio de 2014].
- [7] Sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial. Disponible en: <http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/> [Citado 5 de Julio de 2014].
- [8] Burrough, P.A. 1986. Principles of geographic information systems for land resource assessment. Claredon Press, Oxford, 1986.

[9] Rosete Fernando y Bocco Gerardo. Los sistemas de información geográfica y la percepción remota. Herramientas integradas para los planes de manejo en comunidades forestales, Gaceta Ecológica [online], 2003. [citado 8 de Julio de 2014].

[10] Fundamentos de topología. Disponible en: <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.2/index.html#//006200000002000000>. [citado 8 de Julio de 2014].

[11] Reglas topológicas de las geodatabases y soluciones a los errores de topología. Disponible en: <http://resources.arcgis.com/es/help/main/10.2/index.html#//006200000002000000>. [citado 8 de Julio de 2014].

[12] Luis Fernando Vargas y Camila Chinchilla, propuesta de construcción de una matriz origen – destino para transporte de carga para su uso en un modelo de asignación de tráfico utilizando la Red Vial Nacional [Tesis de grado], Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2014

[13] Infraestructura de Transporte en Colombia: ¿Luz al final del túnel? Presentación de Fedesarrollo en el 9º Congreso Nacional de la Infraestructura de la Cámara Colombiana de la Infraestructura. 2012.

[14] Proyectos viales bajo el esquema de asociaciones público privadas: cuarta generación de concesiones viales, Bogotá D.C., Agosto de 2013

[15] Estadísticas de Movilización de Carga por Carretera, Ministerio de Transporte, Enero 2011.

BIBLIOGRAFIA

- CASTILLO, Miguel y MARTÍNEZ, Yerly (2011). Modelo de asignación de tráfico y su uso en la priorización de proyectos viales del área metropolitana de Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Instituto Nacional de Vías – INVIAS “Estado de la Red Vial”. Disponible en: <http://www.invias.gov.co/index.php/seguimiento-inversion/57-estado-de-la-red-vial>
- Ortuzar J. y Willumsen L. Modelos de Transporte, Vol. 3, Ed. Universidad de Cantabria, 2008.
- PUBLICACIONES SEMANA S.A. (2013). Así se mueve Colombia. Especiales Semana. Bogotá D.C., Colombia.
- República de Colombia, Ministerio de Transporte, Oficina Asesora de Planeación, Grupo Planificación Sectorial, Transporte en Cifras – Estadísticas 2012, Septiembre 2013.