

**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**

MARIA CAMILA CHINCHILLA URREA

LUIS FERNANDO VARGAS REMOLINA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2014**

**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**

MARIA CAMILA CHINCHILLA URREA

LUIS FERNANDO VARGAS REMOLINA

**Trabajo de grado modalidad Investigación
Para optar al título de Ingeniero Civil**

Director:

Ing. M. Sc. Ph. D. Hernán Porras Díaz
Profesor de la escuela de Ingeniería Civil
Universidad Industrial de Santander



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2014**

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darnos sabiduría, permitirnos alcanzar esta meta y acompañarnos a lo largo de nuestra carrera. Gracias a él todo es posible.

Agradecemos a todas las personas que nos han acompañado en nuestra formación y en nuestras vidas, a nuestras familias por su apoyo incondicional, especialmente a nuestros padres y hermanos, por estar día a día a nuestro lado y permitirnos lograr este éxito.

A la Universidad Industrial de Santander, la escuela de Ingeniería Civil y en especial al grupo de investigación Geomática por facilitarnos las herramientas tecnológicas necesarias para la realización de este proyecto y preocuparse por el desarrollo del mismo, a nuestro director, el ingeniero Hernán Porras Díaz por manifestarnos su interés en dirigir este trabajo de grado, por su confianza y apoyo, al ingeniero Yerly Fabián Martínez Estupiñan por su acompañamiento y asesoría y demás profesores de la escuela que nos han formado durante nuestra carrera.

Maria Camila Chinchilla Urrea

Luis Fernando Vargas Remolina

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	15
1. PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE	17
1.1. Modelos de Transporte.....	17
1.2. Etapas del modelo de transporte	18
1.2.1. Generación de Viajes	19
1.2.2. Distribución de Viajes	20
1.2.3. Reparto Modal.....	21
1.2.4. Asignación de Viajes	21
2. DEFINICIÓN DE LA ZONIFICACIÓN.....	23
3. IDENTIFICACIÓN DE VIAJES GENERADOS Y ATRAÍDOS PARA CADA UNA DE LAS ZONAS DEFINIDAS	26
3.1. Definición de periodo de modelación	26
3.2. Red vial nacional.....	26
3.3. Parque automotor del transporte de carga por carretera en Colombia.....	29
3.3.1. Nomenclatura y Designación	30
3.3.2. Parque automotor de carga actual	30
3.4. Análisis general encuesta O-D 2004.....	31
3.4.1. Datos generales	31
3.4.2. Movilización por sector y zonas origen y destino.....	32
3.5. Movilización de carga en los últimos años	34
3.6. Generación y atracción de viajes para cada zona	36

3.7. Modelación de la distribución del transporte de carga	41
3.7.1. Métodos de factor de crecimiento	41
3.7.1.1. Factor uniforme	42
3.7.1.2. Método de Fratar	42
3.7.2. Métodos sintéticos.....	43
3.7.2.1. Modelo gravitacional.....	43
3.7.3. Distribución de viajes.....	44
4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA ARTICULACIÓN DE LA MATRIZ CON UNA MALLA VIAL.....	47
5. TASA DE PROYECCIÓN PARA OBTENER ANÁLISIS EN ESCENARIOS FUTUROS	49
6. CONCLUSIONES	53
7. NOTACIONES Y DEFINICIONES	55
8. REFERENCIAS	56
BIBLIOGRAFIA	57
ANEXOS.....	59

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Modelos para la distribución de viajes	20
Tabla 2. Codificación de la zonificación.....	25
Tabla 3. Estado de la red vial mediante criterio técnico a Julio de 2013. INVIAS	27
Tabla 4. Estado de la red vial por departamento mediante criterio técnico a Julio de 2013. INVIAS	28
Tabla 5. Pesos brutos vehiculares y longitudes máximas para vehículos de carga en Colombia...	29
Tabla 6. Parque automotor colombiano de carga 2012.....	30
Tabla 7. Datos generales toneladas movilizadas	31
Tabla 8. Datos generales número de viajes.....	32
Tabla 9. Agrupación por Sectores de Producción	32
Tabla 10. Toneladas movilizadas por departamento origen	33
Tabla 11. Toneladas movilizadas por departamento destino.....	34
Tabla 12. Evolución del transporte de carga 1994 – 2012	35
Tabla 13. Datos para cálculo de viajes de Valle del C.	37
Tabla 14. Viajes generados y atraídos por zona basados en encuesta O-D 2004.....	38
Tabla 15. Viajes generados y atraídos por zona para el año 2012	40
Tabla 16. Resultados de la calibración del modelo	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del modelo de transporte.....	18
Figura 2. Esquema producción de la zona i y atracción de la zona j.....	19
Figura 3. Esquema distribución de viajes.....	20
Figura 4. Esquema repartición modal.....	21
Figura 5. Esquema asignación de viajes.....	21
Figura 6. Zonificación del área de estudio.....	24
Figura 7. Estado de la red vial Pavimentada mediante criterio técnico a Julio de 2013. INVIAS....	27
Figura 8. Estado de la red vial No Pavimentada mediante criterio técnico a Julio de 2013. INVIAS	28
Figura 9. Comportamiento del movimiento de carga	36
Figura 10. Línea de tendencia ajustada a los datos históricos de movilización de carga.....	51

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: MATRIZ ORIGEN – DESTINO PARA TRANSPORTE DE CARGA	59
ANEXO B: MATRIZ DE IMPEDANCIAS (DISTANCIAS).....	60
ANEXO C: DESIGNACIÓN DE VEHÍCULOS DE CARGA MÁS COMUNES.....	61

RESUMEN

TITULO: 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*

AUTORES: María Camila Chinchilla Urrea, Luis Fernando Vargas Remolina†

PALABRAS CLAVE: Modelos de transporte, matriz origen – destino, transporte de carga, distribución de viajes

DESCRIPCIÓN

En este artículo se presenta un planteamiento teórico referente al modelo clásico de transporte en sus cuatro etapas, haciendo especial énfasis en la segunda fase como tema central. Presenta además una mirada al estado actual de la red primaria nacional y del parque automotor colombiano especialmente el relacionado con el transporte de carga, esto como parámetros de importancia en la etapa de distribución de viajes.

El objetivo general de la investigación es presentar una propuesta de construcción de una matriz origen – destino para transporte de carga con el fin de emplearla en un modelo de asignación de tráfico utilizando la red vial nacional primaria. Para ello se propone una zonificación del área de estudio basada en la disponibilidad de información y en la división político-administrativa del país, de acuerdo a la información de viajes encontrada, se procede a la distribución de flujos de viajes, utilizando una herramienta de modelación de transporte como lo es el software TransCAD.

Finalmente, se determinan los parámetros que debe tener una malla vial para su posterior articulación con la matriz y así desarrollar el modelo de asignación. Además se propone una tasa de proyección para realizar análisis en escenarios futuros utilizando la propuesta del estudio.

* Proyecto de grado desarrollado en la modalidad de investigación.

† Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de ingeniería Civil.
Director. M.Sc, PhD. Hernán Porras Díaz.

ABSTRACT

TITLE: A PROPOSAL OF BUILDING AN ORIGIN MATRIX – DESTINATION FOR TRANSPORT OF CHARGE, FOR USE IN A MODEL FOR ALLOCATION OF TRAFFIC USING THE NATIONAL ROAD NETWORK[‡]

AUTHOR: Maria Camila Chinchilla Urrea, Luis Fernando Vargas Remolina[§]

KEY WORDS: Transport models, matrix origin – destination, freight transport, trip distribution

DESCRIPTION

In this article is presents a theoretical approach concerning to the classical model of transport in its four stages, with special emphasis on the second stage as the central theme. It also presents a look at the condition state of the national primary network and the Colombian fleet especially in relation to the carriage of charge, these as important parameters in the distribution stage travel.

The overall aim of the investigation is to present a proposal of building an origin matrix – destination for transport of charge, in order to employ it in a model for allocation of traffic using the primary national road network. To this end, it proposes a zoning of the area of study based on the availability of information and in the political-administrative division of the country, according to the travel information found, we proceed to the implementation of the distribution of travel flows, using a modeling tool such as the TransCAD software.

Finally, we determine the parameters that a road network must have for its articulation with the matrix and then developing to the mapping model. In addition it is proposed a rate of projection to perform analysis in future scenarios using the proposal of the study.

[‡] Final undergraduate Project developed in the research modality.

[§] Physics Mechanical Engineering Faculty, School of civil engineering.
Director. M.Sc, PhD. Hernán Porras Díaz.

INTRODUCCIÓN

La globalización de las economías exige que los países realicen un esfuerzo para optimizar sus procesos productivos, mejorando la disponibilidad y la accesibilidad de los productos para así lograr una mayor competitividad en el contexto internacional, siendo así el transporte un factor determinante en el alcance de este objetivo, a medida que el comercio mundial crece, también lo hacen las necesidades de un transporte eficiente y económico.

Los acuerdos comerciales que han sido una de las estrategias de la economía colombiana para lograr la internacionalización, son fundamentales en la integración del país al mundo en temas económicos, por esto se requiere que los objetivos como la facilitación de transporte y el comercio, la eficiencia en función de los costos y de los servicios de transporte, la seguridad de la cadena de suministro, se combinen en un marco de política global y estratégico que permita ofrecer a la economía nacional las condiciones adecuadas para aumentar la competitividad en los mercados internacionales. Bajo este contexto, el crecimiento de la economía nacional ha sido grande y aunque el comportamiento del Producto Interno Bruto (PIB) ha sido variable, presenta tendencia creciente en los últimos años, dentro de estos parámetros, el transporte de carga se considera fundamental en la economía del país, ya que es una de las herramientas básicas para mejorar la disponibilidad y accesibilidad de los productos al consumidor, tanto en el territorio nacional como en el extranjero. Según balances económicos, algunos de los sectores que más influyen en el crecimiento positivo de la economía son la construcción, el transporte, las comunicaciones y la industria, siendo así, el sector transporte (servicios de transporte y obras civiles) uno de los pilares fundamentales que dinamiza la economía del país.

En general, los beneficios que trae un sector de transporte avanzado son innumerables, razón por la cual es indispensable contar con elementos necesarios que permitan cuantificar esta actividad para valorar el papel que desempeña dentro del aparato productivo nacional, para la planeación hacia el futuro y la formulación de políticas de desarrollo, es por esto que los estudios de la movilización del transporte de carga, es un aspecto que aporta grandes ventajas y mejoras al transporte en general y a la economía nacional, ya que es posible evaluar situaciones actuales para un año base basados en diferentes escenarios propuestos, buscando siempre el mejoramiento del servicio en términos de calidad y eficiencia, permitiendo así tener elementos de juicio para evaluar situaciones y tomar decisiones en pro de su comercialización. Entre las herramientas utilizadas en dicho tipo de estudio, existe la aplicación de modelos de transporte, que mediante el proceso de diferentes ciclos, permite realizar un análisis completo al caso en estudio. En Colombia, el más aplicado para la realización de estudios de movilización de carga es el modelo clásico de transporte, que consta de cuatro etapas (generación, distribución, repartición

modal y asignación), este modelo permite dar una mirada completa a los diferentes factores que influyen en el transporte de carga.

Este trabajo se centra en la segunda etapa del modelo clásico de transporte, analizando la distribución de la carga movilizada en la red primaria de carreteras del país y presenta una propuesta para la construcción de una matriz O-D para el transporte de carga vial nacional.

Existen diferentes modelos de distribución de viajes que permiten la construcción de la matriz, y que exigen la determinación de factores de ajuste asociados a cada par de zonas O-D determinadas para el estudio, así como la calibración de parámetros que permitan determinar patrones geográficos de movilidad que parezcan razonables, esto obliga realizar una composición de marco teórico y recopilación de información asociada al tema, para poder hacer un análisis adecuado y detallado de la movilización de carga a nivel nacional por las vías primarias, haciendo énfasis en estudios ejecutados por el Ministerio de Transporte que permiten modelar la situación real del sector transporte.

Este trabajo de grado surge como parte de un proyecto investigativo para desarrollar un modelo de asignación de tráfico utilizando la red vial nacional, llevado a cabo por el grupo de investigación Geomática para proponer opciones de estudio a la movilidad del transporte en el país y evaluar la influencia de la construcción de diferentes proyectos de infraestructura vial desarrollados en el territorio nacional.

En general, para la realización del proyecto se tuvieron en cuenta aspectos como:

- Análisis de la información recopilada.
- Actualización y proyección de variables y datos de carga.
- Definición del año base.
- Criterios para realizar la zonificación.
- Definición del parque automotor de carga.
- Determinación de los flujos entre zonas O-D.
- Proyección de los flujos O-D.
- Calibración del modelo.
- Obtención de la Matriz O-D para la zonificación realizada.

1. PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE

La planificación es la fase fundamental del proceso de desarrollo y organización del transporte, pues es la que permite conocer los problemas, diseñar o crear soluciones y, en definitiva, optimizar y organizar los recursos para enfocarlos a atender la demanda de movilidad; ésta busca básicamente, analizar el comportamiento del transporte, conocerlo, entenderlo y modelarlo de modo que, a partir de ello, sea posible prever su comportamiento frente a diferentes escenarios futuros y tener estrategias para solucionar problemas que afectan las condiciones de funcionamiento del mismo.

La planificación es un campo importante, ya que cada vez se hace más necesario en la toma de decisiones y en la determinación de factores que coadyuven a la organización del transporte.

1.1. Modelos de Transporte

Un modelo de transporte de carga estudia la movilización de productos y mercancías desde varias fuentes hasta los respectivos destinos, teniendo en cuenta diferentes factores como las condiciones de las zonas de movilización y los costos de operación. Básicamente la aplicación de un modelo de transporte ayuda, entre otras cosas a predecir impactos relacionados con cambios en los viajes y flujos, en los tiempos de viaje, en costos y mejoras en la red.

La complejidad de los sistemas de transporte ha mostrado la conveniencia de contar con herramientas analíticas que permitan simplificación de la realidad y un conocimiento adecuado del sistema, para poder hacer predicciones y evaluar parámetros de diseño con los que se pueda estudiar diferentes alternativas o variantes y así obtener resultados con mayor precisión. En Colombia, el estudio y la planificación del transporte de carga se hace mediante la implementación del modelo clásico de transporte que consta de cuatro etapas.

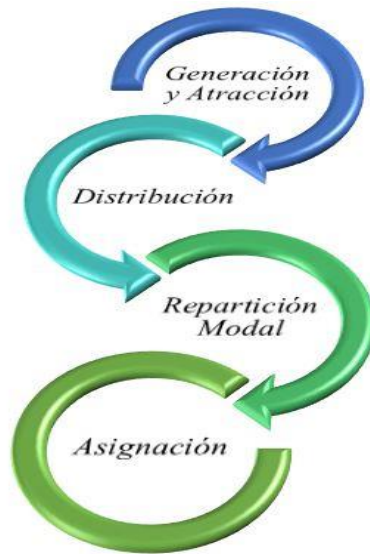


Figura 1. Etapas del modelo de transporte
Fuente: Elaboración Propia

1.2. Etapas del modelo de transporte

En el caso de la modelación del transporte de carga, las etapas no dependen del transportador directamente, ya que están sujetas a las condiciones del productor o las industrias y a las necesidades del consumidor.

La cantidad y tipos de viajes son estimados en la etapa de Generación y Atracción para cada zona de análisis. En la etapa de Distribución, se sintetizan los enlaces de viajes entre orígenes y destinos. La fase de Repartición Modal explica la elección del modo de viaje y la Asignación determina las vías de circulación de los viajes. En el presente documento se analiza la segunda etapa correspondiente a la distribución.

Para poder llevar a cabo estos procesos se requiere la aplicación de una sucesión de algoritmos matemáticos. Las expresiones matemáticas se determinan a partir de modelos que correlacionan variables o modelos probabilísticos.

1.2.1. Generación de Viajes

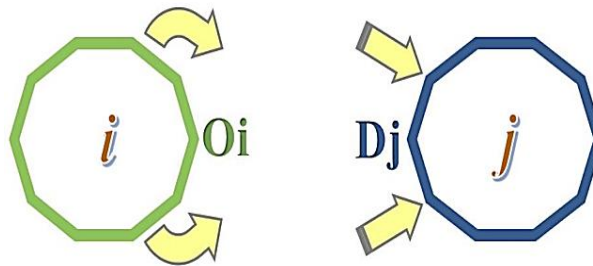


Figura 2. Esquema producción de la zona i y atracción de la zona j
Fuente: Elaboración Propia

En esta etapa se identifican los viajes generados desde la zona i y los viajes que atrae la zona j , es el proceso en el que se cuantifican los viajes para posteriormente realizar la distribución.

Los modelos de generación son necesarios para predecir el total de viajes futuros que fluyen a o desde diferentes áreas de acuerdo a las variables asociadas como zona de producción y requerimientos de consumo. Las técnicas desarrolladas, utilizan relaciones observadas entre características del viaje, uso del suelo y factores socio-económicos. [1]

El objetivo de la etapa de generación de viajes es el de obtener una adecuada identificación y cuantificación de los viajes que tienen como extremo las distintas zonas en que fue dividida el área de estudio. [2]

La generación de viajes es función de:

- El uso del suelo
- Factores socio-económicos
- Disponibilidad y calidad de los medios de transporte disponibles en el área

La generación puede dividirse en dos pasos:

- i. La determinación del número de viajes originados en cada zona.
- ii. La determinación del número de viajes destinado o atraídos por cada zona.

Entre los métodos más utilizados para modelar la generación de viajes están los siguientes:

- Método de la tasa de generación
- Método del factor de crecimiento
- Método de regresión lineal múltiple
- Método de clasificación cruzada o análisis de categorías

1.2.2. Distribución de Viajes

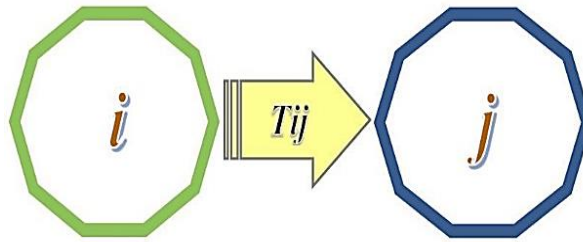


Figura 3. Esquema distribución de viajes
Fuente: Elaboración propia

La etapa de distribución de viajes recibe como entrada las cantidades de viajes producidos y atraídos por zona, calculadas en la etapa anterior de generación.

El resultado de la etapa de distribución de viajes es la producción de las denominadas *matrices de origen y destino de viajes*. Dichas matrices contienen en sus celdas la cantidad de viajes por unidad de tiempo (por hora, por día, etc.) entre las zonas del área de estudio. Existirán tantas matrices como propósitos de viaje se hayan definido y por lo tanto el proceso de distribución debe ser realizado para cada uno de ellos. [2]

Los procedimientos matemáticos de distribución se pueden agrupar en dos grandes grupos como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1. Modelos para la distribución de viajes

MODELO	MÉTODO
Modelos análogos o de factor de crecimiento	Método de factor uniforme
	Método del factor promedio
	Método de Fratar
	Método de Detroit
	Método de Furness
Modelos sintéticos	Modelo gravitacional
	Modelo electrostático
	Modelo de oportunidades
	Modelo de regresión lineal múltiple

Fuente: Elaboración Propia

En el capítulo 5.7 se profundiza sobre los modelos implementados en este estudio.

1.2.3. Reparto Modal

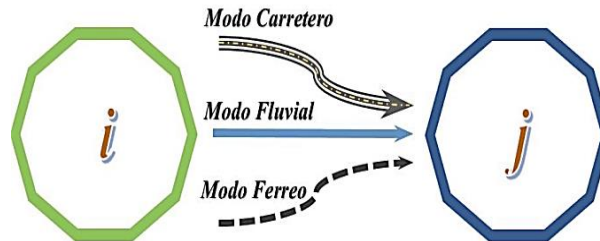


Figura 4. Esquema repartición modal
Fuente: Elaboración Propia

Determinación de la proporción en que los usuarios seleccionan el modo de transporte para la realización de sus viajes. [2]

Los modelos de reparto (o selección modal) pueden llevarse a cabo bien sea a nivel agregado o desagregado de zona. Los modelos a nivel agregado buscan predecir las cuotas zonales de viajes por modo y se calculan de manera típica por medio de la utilización de cuotas según modo, por pares de origen – destino y de promedios de datos demográficos por zona. Los modelos desagregados se basan en datos a nivel individual obtenidos de encuestas. A nivel individual la elección es discreta –una persona elige una entre un conjunto de alternativas modales-. Los modelos logit se estiman con frecuencia con base en datos a nivel individual, y entonces se elaboran pronósticos basados en variables agregadas explicativas. [3]

1.2.4. Asignación de Viajes

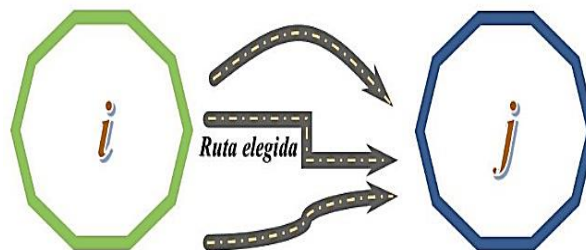


Figura 5. Esquema asignación de viajes
Fuente: Elaboración Propia

En esta etapa se estiman los flujos de viajes en una red vial, tomando como insumo principal la matriz origen – destino (O-D), y considerando factores de impedancia como costos de viaje, distancias y tiempos de viajes, etc.

Los métodos más sencillos de asignación no se basan en el equilibrio pero son de gran utilidad ya que su uso iterativo permite encontrar soluciones razonables con menos esfuerzo que el requerido por otros métodos más complejos que exigen la estimación de parámetros como la capacidad y los coeficientes de las funciones volumen-demora. El método de asignación “todo o nada” es el más simple de todos, ya que los flujos son asignados a la ruta más corta que conecta cada par O-D; la búsqueda de las rutas más cortas se hace con el algoritmo de Dijkstra. [4]

2. DEFINICIÓN DE LA ZONIFICACIÓN

Para implementar un modelo de transporte, se requiere ejecutar una serie de etapas sucesivas, primero, se debe realizar una recolección de datos del área de estudio, en esta tesis fue necesario, iniciar con los parámetros relacionados con la determinación de la zonificación y como primer objetivo esta establecer la misma.

Para lograr un estudio minucioso de la movilización de carga, es necesario fraccionar el área de estudio en zonas, para cada una de estas se debe tener los volúmenes de carga movilizados, para posteriormente consolidar esta información en la matriz Origen – Destino. Al determinar la zonificación se deben tener en cuenta parámetros que ayuden a que el estudio sea detallado, pero que tampoco sea muy complejo, entonces se deben tener zonas que no sean muy pequeñas (por ejemplo el total de municipios) pues el estudio se hace demasiado complejo y crea muchas dificultades a la hora de obtener la información de viajes, ni pocas zonas muy amplias (cada departamento como un todo) pues se pierde exactitud, y las tablas O-D podrían solo reflejar el movimiento de regiones principales. Se debe por lo tanto encontrar un punto de equilibrio que ayude a realizar un estudio preciso, pero que a la vez se puedan obtener datos significativos para cada una de las zonas definidas.

En términos generales se deben tener criterios de zonificación tales como:

- Adaptación a la división administrativa del país, con el doble objetivo de facilitar la obtención de información necesaria para la construcción de la matriz y en posibles proyecciones a escenarios futuros.
- Adaptación en lo posible a la zonificación utilizada en encuestas anteriores u otros estudios que facilite las comparaciones de escenarios temporales de actuación.
- La accesibilidad a la red vial primaria nacional a cargo del Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

El objetivo general de este estudio es coadyuvar en la elaboración de un modelo de asignación de tráfico terrestre para la red vial primaria de Colombia, a través de la construcción de una matriz Origen - Destino para el transporte de carga, para lograr un análisis con precisión se divide el país en 42 zonas internas y se tendrán en cuenta 2 zonas externas consideradas importantes para las cargas de exportación e importación, y que están conectadas al país por medio de la red vial nacional. Para el interior del país, se tienen zonas cuya área corresponde solo a un municipio como el caso de la capital Santa Fe de Bogotá D.C., las ciudades portuarias más importantes (Buenaventura, Barranquilla...), o zonas que se determinaron como focos de generación y atracción de carga, y zonas que comprenden todo un departamento (Cauca, La Guajira, Chocó...).

La zonificación está limitada a la disponibilidad de datos y a la conexión con la red vial primaria de Colombia, la cual es el eje del estudio. Hay regiones que no se tuvieron en cuenta por la ausencia de información como el caso de Vaupés y otras que no tienen ligadura directa con la red vial primaria como Amazonas.

Posteriormente, se realizó un análisis cartográfico, donde se consideró la división política y administrativa del país, también se observó la accesibilidad o cobertura vial de las zonas consideradas y analizando la información recopilada y siguiendo el alcance del proyecto, se definió la zonificación definitiva, la cual consta, como ya se mencionó anteriormente de 42 zonas internas y 2 externas. En la figura 6, se observa la división política del país, resaltando las zonas definidas para el estudio:

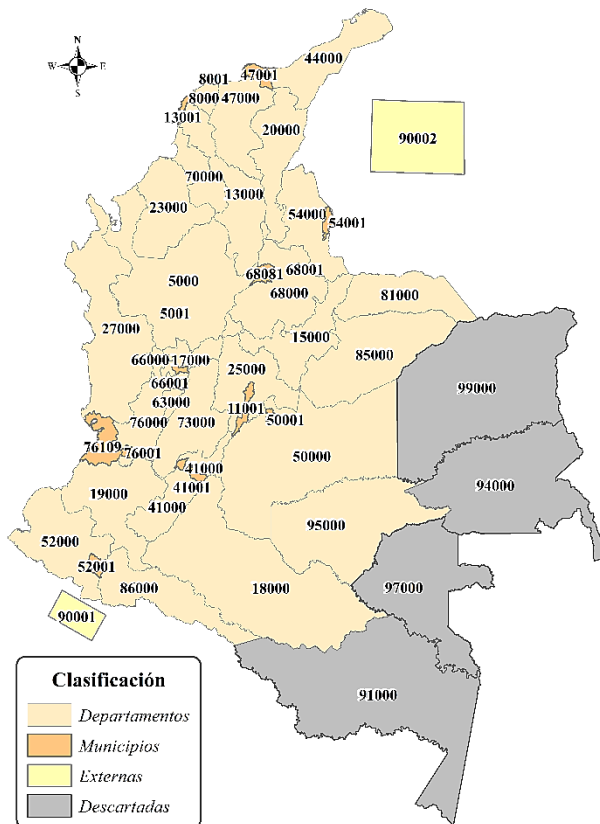


Figura 6. Zonificación del área de estudio
Fuente: Elaboración Propia

Los códigos asignados a cada una de las zonas están basados en la codificación del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), esto con el fin de lograr un mejor manejo de la información y en la construcción de la matriz poder identificar los orígenes y los destinos fácilmente. En la tabla 2 se muestra detalladamente la codificación.

Tabla 2. Codificación de la zonificación

CÓDIGO ZONA	NOMBRE	TIPO DE ZONA
5000	Antioquia	Internas
5001	Medellín	
8000	Atlántico	
8001	Barranquilla	
11001	Bogotá D.C.	
13000	Bolívar	
13001	Cartagena	
15000	Boyacá	
17000	Caldas	
17001	Manizales	
18000	Caquetá	
19000	Cauca	
20000	Cesar	
23000	Córdoba	
25000	Cundinamarca	
27000	Chocó	
41000	Huila	
41001	Neiva	
44000	La Guajira	
47000	Magdalena	
47001	Santa Marta	
50000	Meta	
50001	Villavicencio	
52000	Nariño	
52001	Pasto	
54000	Norte de Santander	
54001	Cúcuta	
63000	Quindío	
66000	Risaralda	
66001	Pereira	
68000	Santander	
68001	Bucaramanga	
68081	Barrancabermeja	
70000	Sucre	
73000	Tolima	
76000	Valle del cauca	
76001	Cali	
76109	Buenaventura	
81000	Arauca	
85000	Casanare	
86000	Putumayo	
95000	Guaviare	
90001	Ecuador	Externas
90002	Venezuela	
91000	Amazonas	Descartadas
94000	Guainía	
97000	Vaupés	
99000	Vichada	

Fuente: Elaboración Propia

3. IDENTIFICACIÓN DE VIAJES GENERADOS Y ATRAÍDOS PARA CADA UNA DE LAS ZONAS DEFINIDAS

3.1. Definición de periodo de modelación

La recopilación de información fue extensa, se encontraron datos de diferentes años y se tuvieron en cuenta, principalmente, estudios y documentos realizados y publicados por el Ministerio de Transporte.

Para el estudio se utilizan datos de los diagnósticos del sector transporte realizados anualmente y los análisis estadísticos, además el presente proyecto tiene una gran participación de los datos de la movilización de carga de la encuesta O-D del Ministerio de Transporte para el año 2004, ya que fue la encuesta a la cual se pudo acceder y que cuenta con información veraz y precisa del transporte de carga en el país.

La información referenciada más reciente es del año 2012, por lo cual se considera dicho año como base para el periodo de modelación; además todos los datos recopilados se actualizaron y se proyectaron con las tasas de crecimiento encontradas anualmente hasta el año determinado y con esta información se estimaron los viajes generados y atraídos para cada una de las zonas definidas.

3.2. Red vial nacional

Dado que se analiza la movilización de carga por modo terrestre, se considera la red vial nacional primaria.

De acuerdo con el último anuario estadístico, realizado por el Ministerio de Transporte, Colombia cuenta con una red vial 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 (Inst. Nal. de Concesiones INCO, ahora ANI)
- Otros 197.523 km entre redes secundarias y terciarias distribuidas así:
 - 43.327 km de vías secundarias a cargo de los departamentos
 - 27.577 km de vías terciarias a cargo del INVIAS
 - 114.368 de vías terciarias a cargo de los departamentos y los municipios
 - 12.251 km de los privados

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. [5]

Tabla 3. Estado de la red vial mediante criterio técnico a Julio de 2013. INVIAS

Total Red Nacional		
<i>Red Pavimentada</i>	Longitud (Km)	Porcentaje (%)
<i>Red Pavimentada</i>	Longitud (Km)	Porcentaje (%)
<i>Muy Bueno</i>	1.578,08	18,91
<i>Bueno</i>	2.705,43	32,42
<i>Regular</i>	2.249,47	26,95
<i>Malo</i>	1.715,95	20,56
<i>Muy Malo</i>	97,13	1,16
TOTAL	8.346,06	75,12
<i>Red No Pavimentada</i>	Longitud (Km)	Porcentaje (%)
<i>Muy Bueno</i>	26,00	0,98
<i>Bueno</i>	259,27	9,81
<i>Regular</i>	853,72	32,29
<i>Malo</i>	1.176,51	44,5
<i>Muy Malo</i>	328,07	12,41
TOTAL	2.643,57	23,79
<i>En Intervención</i>	Longitud (Km)	Porcentaje (%)
TOTAL	120,51	1,08

Fuente: Instituto Nacional de Vías

En el caso de las vías pavimentadas, se pueden considerar como un mecanismo eficaz para administrar los recursos y ofrecer un mejor servicio al usuario en cuanto a seguridad y confort, así como disminuir los costos de viaje, considerando las restricciones económicas y políticas existentes en cada municipio. Por esta razón es importante conocer el estado en el que se encuentran esta red vial pavimentada mediante datos estadísticos recientes proporcionados por el INVIAS.

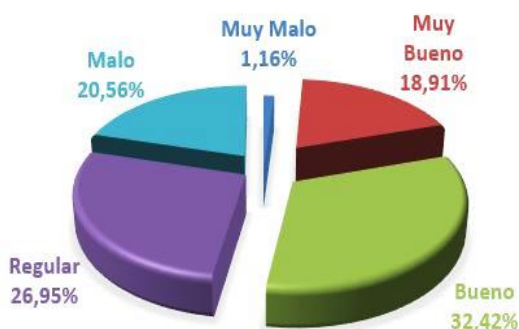


Figura 7. Estado de la red vial Pavimentada mediante criterio técnico a Julio de 2013. INVIAS

Fuente: Instituto Nacional de Vías

Por otro lado, se encuentran las vías no pavimentadas las cuales están directamente vinculadas con una correcta gestión de la Infraestructura Vial; esta requiere inversión, planificación, disciplina y evaluaciones periódicas.

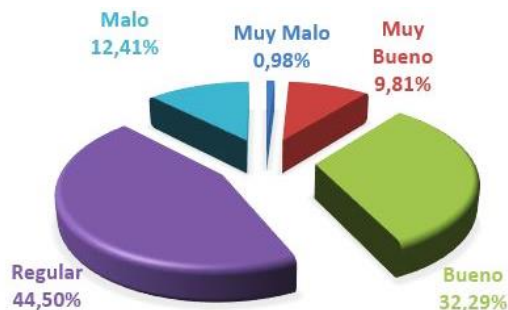


Figura 8. Estado de la red vial No Pavimentada mediante criterio técnico a Julio de 2013. INVIAS
Fuente: Instituto Nacional de Vías

Esta es la información sectorizada por Direcciones Territoriales para la Red Vial Nacional a cargo del INVIAS e incluye únicamente la Red Vial Primaria, no la Red Terciaria. [5]

El instituto nacional de vías basado en el estado de la red vial con criterio técnico 2013, expone un resumen del mismo por algunos departamentos.

Tabla 4. Estado de la red vial por departamento mediante criterio técnico a Julio de 2013. INVIAS

Departamento	Pav. (Km)	Sin Pav. (Km)
Antioquia	922,23	12,01
Atlántico	92,60	61,20
Bolívar	197,11	0,00
Boyacá	597,61	227,10
Caldas	249,24	0,00
Caquetá	357,71	72,15
Casanare	723,75	141,73
Cauca	499,83	708,49
Cesar	320,68	42,20
Choco	126,83	151,99
Córdoba	335,01	53,73
Cundinamarca	254,31	29,70
Guajira	132,48	10,70
Huila	480,38	202,93
Magdalena	37,32	85,98
Meta	224,95	174,71
Nariño	603,97	49,66
Norte De Santander	364,46	137,30
Putumayo	229,68	181,82
Quindío	89,28	0,00
Risaralda	172,14	60,04
Santander	510,04	232,65
Sucre	128,90	0,35
Tolima	299,07	0,00

<i>Valle</i>	248,05	0,00
<i>Ocaña</i>	148,42	7,15
TOTAL	8.346,05	2.643,59

Fuente: Instituto Nacional de Vías

3.3. Parque automotor del transporte de carga por carretera en Colombia

La clasificación de vehículos de carga en Colombia, normatividad legal (Norma Técnica Colombiana NTC 4788 expedida en el año 2000 por el Instituto Colombiano de Normalización y Certificación ICONTEC), técnica vigente a nivel nacional, está determinada de acuerdo con su sistema de propulsión (vehículos automotores y no automotores), esta clasificación fue asignada a través de la resolución 4100 del 28 de diciembre de 2004, la cual toma la tipología establecida en la norma técnica Colombiana NTC 4788.

La tabla 5 muestra datos estadísticos de las especificaciones normalizadas en Colombia para vehículos de carga.

Tabla 5. Pesos brutos vehiculares y longitudes máximas para vehículos de carga en Colombia

Vehículos	Designación	Long. Max (kg)	PBV. Max (kg)
<i>Camiones Rígidos</i>	2	10,8	16000
	3	12,2	28000
	4	12,2	31000 (1)
			36000 (2)
32000 (3)			
<i>Tractocamión con Semirremolque</i>	2S1	18,5	27000
	2S2	18,5	32000
	2S3	18,5	40500
	3S1	18,5	29000
	3S2	18,5	48000
	3S3	18,5	52000
<i>Camión con Semirremolque</i>	R2	18,5	16000
	2R2	18,5	31000
	2R3	18,5	47000
	3R2	18,5	44000
	3R3	18,5	48000
	4R2	18,5	48000
	4R3	18,5	48000
	4R4	18,5	48000
<i>Camión con Remolque Balanceado</i>	2B1	18,5	25000
	2B2	18,5	32000
	2B3	18,5	32000
	3B1	18,5	33000
	3B2	18,5	40000
	3B3	18,5	48000
<i>Remolque Balanceado</i>	B1	10	8000
	B2		15000
	B3		15000

<i>Remolque</i>	R	10	
<i>Semirremolque</i>	S	13	

Fuente: Parque automotor 2005 – Ministerio de Transporte

Nota:

1. Caso de un eje direccional y un tridem.
2. Caso de dos ejes direccionales y uno tándem.
3. Caso de dos ejes delanteros de suspensión independiente.

3.3.1. Nomenclatura y Designación

Los vehículos de carga se designan de acuerdo a la configuración de sus ejes, de la siguiente manera:

- Con el primer dígito se designa el número de ejes del camión o del tractocamión (Cabezote).
- La letra S significa semirremolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.
- La letra R significa remolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.
- La letra B significa remolque balanceado y el dígito inmediato indica el número de sus ejes.

La clasificación y designación detallada para los vehículos automotores y no automotores de carga más comunes en Colombia, se pueden observar en el anexo C de acuerdo a las resoluciones 4100 de 2004 y 2888 del 2005.

3.3.2. Parque automotor de carga actual

El número de vehículos de carga según su configuración, es tomado de la federación colombiana de transportadores de carga por carretera (COLFECAR), quienes están a cargo del periódico institucional El Container, en donde exponen los indicadores más relevantes del sector transporte, con base en el análisis de datos recopilados de diferentes organizaciones vinculadas al medio. En la tabla 6 se muestra detalladamente este estudio para cada trimestre del año 2012.

Tabla 6. Parque automotor colombiano de carga 2012

Año 2012	Cantidad	Configuración					Total
		c2	c3	c4	c2s	c3s	
I trimestre	vehículos	259.566	19.253	323	5.355	41.881	326.378
	%	79,53	5,90	0,10	1,64	12,83	100
II trimestre	vehículos	274.702	20.542	340	5.818	44.108	345.510
	%	79,51	5,95	0,10	1,68	12,77	100
III trimestre	vehículos	278.939	20.904	345	5.947	44.731	350.866
	%	79,50	5,96	0,10	1,70	12,75	100
IV trimestre	vehículos	286.059	23.685	351	6.095	40.568	356.757
	%	80,18	6,64	0,10	1,71	11,37	100

Fuente: Estudios Económicos, Balance Sectorial 2012- COLFECAR

3.4. Análisis general encuesta O-D 2004

3.4.1. Datos generales

Con el objetivo de conocer las principales características de movilización de carga por carreteras nacionales, el Ministerio de Transporte ha realizado anualmente desde 1985 (con excepción de 2008 y 2010) encuestas origen – destino a vehículos de transporte de carga en las carreteras nacionales. La información contenida en estas encuestas es expandida con base en los datos de Transito Promedio Diario (TPD) del INVIAS, para así caracterizar la movilización de carga en el país.

Para los años 2002 a 2004, el ministerio ha producido tablas anexas que presentan las principales características de movilización de carga en el país. [6]

La aplicación de la encuesta se hace a los vehículos de transporte de carga que, vacíos o con carga, recorren la vía en ambos sentidos y tienen una capacidad superior a las dos (2) toneladas. Esta se realizó durante cinco (5) días de una semana normal entre las 06:00 horas hasta las 18:00 horas. [7]

Para el año 2004, se realizaron 10'302.634 viajes totales, se cargaron 7'252.498 (70.39%) viajes, en los cuales se movilizaron 117'597.341 toneladas: de este tonelaje, 109'635.391 toneladas (93,23%), se movilizaron en vehículos de servicio público. [7]

Tabla 7. Datos generales toneladas movilizadas

Configuración	TONELADAS TRANSPORTADAS			
	SERVICIO PÚBLICO	SERVICIO PARTICULAR	SERVICIO OFICIAL	TOTAL
<i>2 <= 4 ton</i>	2.499.882	735.142	31.513	3.266.537
<i>2 > 4 ton <= 8 ton</i>	5.987.418	1.226.420	87.801	7.301.639
<i>2 > 8 ton</i>	7.957.712	1.323.117	108.842	9.389.671
SUBTOTAL 2	16.445.012	3.284.679	228.156	19.957.847
2	16.445.012	3.284.679	228.156	19.957.847
3	9.025.565	554.016	200.738	9.780.319
4	1.127.637	80.018	97.287	1.304.942
2S1	305.754	42.027	6.021	353.802
2S2	735.194	45.316	8.084	788.594
3S2	26.247.176	796.297	343.847	27.387.320
3S3	55.749.023	1.764.898	510.593	58.024.514
TOTAL	109.635.361	6.567.251	1.394.726	117.597.338

Fuente: Encuesta O-D 2004 – Ministerio de Transporte

Tabla 8. Datos generales número de viajes

CONFIGURACIÓN	NÚMERO DE VIAJES		
	VIAJES VACÍOS	VIAJES CARGADOS	TOTAL
2 <= 4 ton	678.781	1.358.063	2.036.844
2 > 4 ton <= 8 ton	553.009	1.106.426	1.659.435
2 > 8 ton	414.674	829.654	1.244.328
SUBTOTAL 2	1.646.464	3.294.143	4.940.607
2	1.646.464	3.294.143	4.940.607
3	302.442	747.596	1.050.038
4	28.096	89.609	117.705
2S1	11.372	26.027	37.399
2S2	21.669	53.003	74.672
3S2	449.868	1.107.884	1.557.752
3S3	590.226	1.934.236	2.524.462
TOTAL	3.050.137	7.252.498	10.302.635

Fuente: Encuesta O-D 2004 – Ministerio de Transporte

3.4.2. Movilización por sector y zonas origen y destino

Por agrupación de productos, el sector manufacturero transportó 63'535.369 toneladas, equivalentes al 54,03%. En segundo lugar aparecen los productos agrícolas con 25'303.572 toneladas correspondientes al 21,52% le siguen los productos mineros con 22'359.719 toneladas, equivalentes al 19,01%, a continuación los productos pecuarios con 4'634.638 toneladas y una participación de 3,94% y productos no identificados en las encuestas son 1'764.043 toneladas con el 1,50% [7]. Los resultados se muestran a continuación en la tabla 9:

Tabla 9. Agrupación por Sectores de Producción

Sector	Toneladas	Viajes	% Toneladas	% Viajes
Agrícolas	25.303.572	1.478.430	21,52%	20,39%
Manufactura	63.535.369	3.985.486	54,03%	54,95%
Mineros	22.359.719	946.422	19,01%	13,05%
Pecuarios	4.634.638	615.468	3,94%	8,49%
Otros	1.764.043	226.686	1,50%	3,13%
TOTAL	117.597.341	7.252.492	100,00%	100,00%

Fuente: Encuesta O-D 2004 - Ministerio de Transporte

Por departamento de origen, el que más genera carga es el departamento del Valle del Cauca, luego esta Antioquia y posteriormente Bogotá. En cuanto a destinos de sectores de producción, Bogotá es el primer receptor de carga del país, en segundo lugar está el departamento del Valle del Cauca y le sigue Antioquia como tercer receptor de carga. En las tablas 10 y 11, se presentan las toneladas movilizadas según el origen y el destino, respectivamente.

Tabla 10. Toneladas movilizadas por departamento origen

ORIGEN	TOTAL
<i>Valle del Cauca</i>	23.062.288
<i>Antioquia</i>	10.698.085
<i>Bogotá D.C.</i>	10.335.920
<i>Atlántico</i>	9.331.088
<i>Bolívar</i>	8.340.689
<i>Guajira</i>	7.192.083
<i>Santander</i>	5.063.708
<i>Cesar</i>	4.798.987
<i>Tolima</i>	4.644.492
<i>Norte de Santander</i>	4.197.648
<i>Magdalena</i>	3.858.504
<i>Boyacá</i>	3.481.914
<i>Nariño</i>	3.131.050
<i>Caldas</i>	2.922.778
<i>Córdoba</i>	2.480.719
<i>Huila</i>	2.316.057
<i>Cundinamarca</i>	2.018.545
<i>Risaralda</i>	1.984.884
<i>Meta</i>	1.690.888
<i>Cauca</i>	1.494.834
<i>Casanare</i>	1.169.138
<i>Sucre</i>	1.139.382
<i>Arauca</i>	633.307
<i>Quindío</i>	489.522
<i>Caquetá</i>	307.886
<i>Choco</i>	229.071
<i>Putumayo</i>	222.010
<i>Venezuela</i>	164.397
<i>Ecuador</i>	113.884
<i>Perú</i>	26.920
<i>Guaviare</i>	23.496
<i>Vichada</i>	16.670
<i>Guainía</i>	9.020
<i>Panamá</i>	7.431
<i>Amazonas</i>	47
TOTAL	117.597.342

Fuente: Encuesta O-D 2004 – Ministerio de Transporte

Tabla 11. Toneladas movilizadas por departamento destino

DESTINO	TOTAL
<i>Bogotá D.C.</i>	19.810.906
<i>Valle del Cauca</i>	16.792.552
<i>Antioquia</i>	14.716.549
<i>Magdalena</i>	9.756.167
<i>Atlántico</i>	7.614.867
<i>Bolívar</i>	7.417.010
<i>Santander</i>	4.838.420
<i>Nariño</i>	4.085.809
<i>Norte De Santander</i>	3.872.661
<i>Córdoba</i>	2.849.093
<i>Tolima</i>	2.733.246
<i>Cesar</i>	2.540.124
<i>Caldas</i>	2.527.555
<i>Huila</i>	2.388.508
<i>Risaralda</i>	2.253.970
<i>Boyacá</i>	2.238.325
<i>Cauca</i>	2.178.239
<i>Meta</i>	1.578.371
<i>Cundinamarca</i>	1.549.544
<i>Casanare</i>	1.169.040
<i>Sucre</i>	1.018.368
<i>Guajira</i>	568.540
<i>Arauca</i>	564.963
<i>Venezuela</i>	519.125
<i>Putumayo</i>	498.641
<i>Quindío</i>	495.556
<i>Caquetá</i>	353.356
<i>Choco</i>	331.915
<i>Ecuador</i>	227.622
<i>Guaviare</i>	58.964
<i>La Guajira</i>	36.418
<i>Guainía</i>	4.918
<i>Perú</i>	3.423
<i>San Andrés</i>	2.377
<i>Panamá</i>	1.070
<i>Vichada</i>	659
<i>Amazonas</i>	471
TOTAL	117.597.342

Fuente: Encuesta O-D 2004 – Ministerio de Transporte

3.5. Movilización de carga en los últimos años

La movilización de carga de un país puede dar una noción, a gran modo, de su nivel de desarrollo, de productividad y de su economía, así como sus índices de competitividad. Colombia en los

últimos años ha registrado un aumento en la movilización de carga y el comportamiento cada vez es más positivo, ya que se ha entendido que la economía del país se hace más dinámica con dicha actividad y se están dando las condiciones para que esta registren cifras crecientes.

El Ministerio de transporte ha venido ejecutando un proceso continuo de estudios y recolección de datos y anualmente presenta en diagnósticos estadísticos un resumen de los principales elementos de caracterización del transporte y la infraestructura de carreteras, incluyendo, entre otros, información relativa a la movilización de carga.

A continuación, se muestran los datos y el comportamiento de la movilización de carga en los últimos años:

Tabla 12. Evolución del transporte de carga 1994 – 2012

Año	Miles de Toneladas
1994	82.841
1995	86.741
1996	71.168
1997	89.399
1998	84.350
1999	77.674
2000	73.034
2001	100.284
2002	84.019
2003	99.782
2004	117.597
2005	139.646
2006	155.196
2007	183.126
2008	169.714
2009	173.558
2010	181.021
2011	191.701
2012	199.369

Fuente: Transporte en Cifras – Estadísticas 2012 – Ministerio de Transporte



Figura 9. Comportamiento del movimiento de carga
Fuente: Elaboración Propia

3.6. Generación y atracción de viajes para cada zona

Este estudio se centra en la etapa de distribución de viajes para la construcción de una matriz O-D, para ello se requieren los datos del proceso anterior a este en el modelo de transporte, es decir la información de Generación de viajes, en esta etapa se utiliza toda la información recopilada y referenciada anteriormente en el documento para la identificación de los viajes totales producidos y atraídos para cada una de las zonas.

Se toman los datos de las toneladas movilizadas por departamentos y ciudades origen - destino de la encuesta O-D 2004 del Ministerio de transporte, con el fin de obtener información que luego se proyecta para la construcción de la matriz del año base definido, para ello, se hace una relación proporcional entre las toneladas movilizadas por sector y por departamento origen - destino y los viajes hechos por cada sector de producción, así se logra estimar los viajes producidos y atraídos por cada departamento.

Posteriormente, con el análisis por ciudades principales que se tiene de la encuesta O-D 2004, se procede a realizar una diferencia entre los datos de los departamentos y los de las ciudades correspondientes a cada uno, es decir, a los viajes calculados para Valle del Cauca se le restan los viajes cargados que se tienen de Cali y Buenaventura, logrando así un equilibrio para los viajes con carga generados y atraídos por cada uno de los departamentos. Luego, como se tienen datos de zonas que no están definidas y con el fin de no despreciar información alguna, se suman estos datos a las zonas definidas por las cuales se puede tener acceso a las zonas descartadas, es decir, como se tenía información de viajes de Perú, dichos datos se añadieron a la zona externa de Ecuador, ya que la conexión por red vial terrestre se hace por medio de dicha zona.

A continuación se muestra un ejemplo del cálculo de estimación de viajes para cada departamento zona por medio de la relación descrita anteriormente.

Estimación de viajes para Valle del Cauca

Tabla 13. Datos para cálculo de viajes de Valle del C.

Sector	Viajes Sector	Toneladas Transportadas Sector	Ton. Transportadas Origen Valle
Agrícolas	1.478.430	25.303.572	5.340.449
Manufacturados	3.985.486	63.535.364	16.045.295
Mineros	946.422	22.359.717	1.066.036
Pecuarios	615.468	4.634.639	348.295
Otros	226.686	1.764.050	262.213
TOTAL	7.252.492	117.597.342	23.062.288

Fuente: Elaboración Propia

Viajes origen Valle por sector:

$$V. \text{ Agrícolas} = \frac{5.340.449 * 1.478.430}{25.303.572} \cong 312.030$$

$$V. \text{ Manufac.} = \frac{16.045.295 * 3.985.486}{63.535.364} \cong 1.006.499$$

$$\text{Viajes Minero} = \frac{1.066.036 * 946.422}{22.359.717} \cong 45.122$$

$$\text{Viajes Pecuario} = \frac{348.295 * 615.468}{4.634.639} \cong 46.253$$

$$\text{Viajes Otros} = \frac{262.213 * 226.686}{1.764.050} \cong 33.695$$

$$\text{Total} = 312.030 + 1.006.499 + 45.122 + 46.253 + 33.695$$

$$\text{Viajes origen Valle calc.} = 1.443.600$$

$$\text{Viajes cargados origen Cali} = 401.547$$

$$\text{Viajes cargados origen Buenaventura} = 216.665$$

$$V. \text{ origen Valle calc.} = 1.443.600 - 401.547 - 216.665$$

$$\text{Total V. origen Valle calc.} = 825.388$$

La encuesta O-D 2004, también posee información secundaria con viajes vacíos en el análisis por ciudades, esta información es importante, ya que considerarlos en este estudio puede simular de una manera más precisa el tráfico de vehículos de carga por las carreteras nacionales. Muchas veces, estos datos son estimados con base al flujo de productos, pero no es válido asegurar que los viajes vacíos tienen una relación directa con los viajes cargados, por ello, se han sumado estos viajes encontrados en la información recopilada a los viajes de carga para encontrar el total de viajes para las zonas definidas.

Teniendo en cuenta toda la información encontrada en la encuesta y las estimaciones anteriormente mencionadas, se hicieron los cálculos y la recopilación de viajes totales para cada zona, dando como resultado dos vectores con información de viajes producidos y atraídos para cada una, sin embargo, como se hicieron varias consideraciones, se tomaron varios supuestos y la información para algunas ciudades no era completa, al final la suma de viajes producidos no da igual a la suma de viajes atraídos, por lo tanto se emplea una herramienta del software TransCAD que ayuda a balancear estos cálculos y en base al total de viajes (vacíos y cargados) registrados por la encuesta O-D 2004 se procede a encontrar finalmente los viajes para cada una de las zonas.

TransCAD proporciona un procedimiento de balanceo para equilibrar viajes, este proceso ofrece un método de suma ponderada, donde producciones y atracciones se ajustan de modo que sus sumas sean iguales a un valor especificado por el usuario.

En la tabla 14, se pueden observar los resultados generales de viajes producidos y atraídos para cada zona, según información de la encuesta O-D 2004, luego del proceso de balanceo realizado con el software TransCAD.

Tabla 14. Viajes generados y atraídos por zona basados en encuesta O-D 2004

Nombre	Oi_2004	Dj_2004	Balance Oi 2004	Balance Dj 2004
Antioquia	351.577	519.022	438.968,8	669.307,8
Medellín	492.776	495.803	615.265,8	639.365,6
Atlántico	285.740	238.221	356.766,6	307.199,3
Barranquilla	356.534	317.906	445.158,0	409.957,5
Bogotá D.C.	772.899	1.380.256	965.019,2	1.779.917,1
Bolívar	221.644	203.552	276.738,2	262.491,7
Cartagena	374.159	332.666	467.164,0	428.991,4
Boyacá	206.125	136.985	257.361,7	176.649,8
Caldas	187.886	77.620	234.589,0	100.095,3
Manizales	38.887	87.815	48.553,2	113.242,3
Caquetá	31.176	25.812	38.925,4	33.286,0
Cauca	101.751	138.776	127.043,3	178.959,4
Cesar	275.271	174.254	343.695,4	224.710,3

Córdoba	176.700	193.605	220.622,5	249.664,5
Cundinamarca	120.839	102.567	150.876,1	132.265,9
Chocó	13.662	22.111	17.058,0	28.513,4
Huila	54.562	148.356	68.124,5	95.656,7
Neiva	85.084	0	106.233,4	95.656,7
La Guajira	315.350	37.840	393.736,8	48.796,8
Magdalena	133.192	444.555	166.299,7	286.639,2
Santa marta	104.830	0	130.887,7	286.639,2
Meta	14.464	98.589	18.059,3	63.587,4
Villavicencio	84.531	0	105.542,9	63.587,4
Nariño	209.249	212.205	261.262,2	273.650,2
Pasto	31.841	47.542	39.755,7	61.308,1
N. de Santander	124.462	104.210	155.399,6	134.384,6
Cúcuta	153.058	162.712	191.103,8	209.826,2
Quindío	29.569	29.932	36.919,0	38.599,0
Risaralda	15.199	26.491	18.977,0	34.161,6
Pereira	191.027	178.760	238.510,8	230.521,0
Santander	146.211	136.191	182.554,8	117.083,9
Bucaramanga	272.225	228.075	339.892,2	294.115,4
B/bermeja	240.103	0	299.785,6	58.542,0
Sucre	73.785	61.717	92.125,8	79.587,5
Tolima	281.799	167.328	351.846,0	215.778,8
Valle del C.	825.388	633.423	1.030.555,4	816.834,3
Cali	493.400	440.786	616.044,9	568.418,1
Buenaventura	216.665	196.981	270.521,6	254.018,0
Arauca	39.850	35.616	49.755,6	45.928,8
Casanare	72.164	67.869	90.101,9	87.520,9
Putumayo	14.771	32.328	18.442,6	41.688,8
Ecuador	8.822	14.689	11.014,9	18.942,3
Venezuela	10.031	32.293	12.524,4	41.643,6
Guaviare	2.283	3.769	2.850,5	4.900,3
TOTAL	8.251.541	7.989.228	10.302.634	10.302.634

Fuente: Elaboración Propia

Luego del proceso descrito anteriormente, se proyectaron los viajes de 2004 al año 2012, ya que este es el año base del presente estudio. Para la proyección se asume que los viajes del transporte de carga tienen una variación porcentual anual similar a la de las toneladas movilizadas, por lo tanto, se usan las tasas de variación calculadas con el registro anual de toneladas movilizadas del diagnóstico 2012 del Ministerio de Transporte.

Se realiza el cálculo con las tasas, año tras año desde 2004, y se obtienen los datos de viajes generados y atraídos por cada zona para el año 2012. En la tabla 15 se exponen los resultados de la proyección para cada una de las zonas definidas para el estudio.

Tabla 15. Viajes generados y atraídos por zona para el año 2012

COD	Nombre	V. Generados 2012	V. Atraídos 2012
5000	Antioquia	744.209,2	1.134.716,3
5001	Medellín	1.043.095,7	1.083.953,6
8000	Atlántico	604.847,1	520.812,7
8001	Barranquilla	754.702,1	695.024,7
11001	Bogotá D.C.	1.636.052,9	3.017.596,5
13000	Bolívar	469.170,4	445.017,3
13001	Cartagena	792.010,2	727.293,9
15000	Boyacá	436.320,1	299.484,6
17000	Caldas	397.712,3	169.697,4
17001	Manizales	82.315,0	191.986,3
18000	Caquetá	65.992,6	56.431,7
19000	Cauca	215.383,9	303.400,2
20000	Cesar	582.686,6	380.964,3
23000	Córdoba	374.034,1	423.270,6
25000	Cundinamarca	255.788,9	224.238,0
27000	Chocó	28.919,4	48.340,4
41000	Huila	115.495,5	162.172,3
41001	Neiva	180.103,6	162.172,3
44000	La Guajira	667.524,8	82.728,0
47000	Magdalena	281.937,4	485.956,1
47001	Santa Marta	221.901,5	485.956,1
50000	Meta	30.617,0	107.803,3
50001	Villavicencio	178.933,1	107.803,3
52000	Nariño	442.933,0	463.935,0
52001	Pasto	67.400,2	103.939,1
54000	N. de Santander	263.458,0	227.830,0
54001	Cúcuta	323.989,3	355.730,5
63000	Quindío	62.590,9	65.439,1
66000	Risaralda	32.172,9	57.916,2
66001	Pereira	404.361,1	390.815,6
68000	Santander	309.495,7	198.499,2
68001	Bucaramanga	576.238,9	498.630,9
68081	Barrancabermeja	508.243,9	99.249,6
70000	Sucre	156.186,2	134.929,3
73000	Tolima	596.504,9	365.822,3
76000	Valle del Cauca	1.747.160,3	1.384.826,5
76001	Cali	1.044.416,5	963.672,2

76109	Buenaventura	458.630,9	430.651,4
81000	Arauca	84.353,5	77.865,8
85000	Casanare	152.754,9	148.379,2
86000	Putumayo	31.266,9	70.677,4
90001	Ecuador	18.674,2	32.114,0
90002	Venezuela	21.233,4	70.600,8
95000	Guaviare	4.832,6	8.307,8
TOTAL		17.466.651,7	17.466.651,7

Fuente: Elaboración Propia

3.7. Modelación de la distribución del transporte de carga

Como su nombre lo indica y como se definió anteriormente, la modelación de la distribución, indica cómo se reparten los viajes desde determinados orígenes hacia los respectivos destinos según parámetros de impedancia y factores de ajuste existentes entre zonas.

La metodología utilizada para la modelación de la distribución, se basa en aplicar una herramienta matemática que permita examinar no solo el estado del año base, sino que también se puedan considerar escenarios futuros conforme se requiera en proyectos de transporte que lo involucren.

A continuación se explican brevemente algunos de los modelos de distribución.

3.7.1. Métodos de factor de crecimiento

Aquí se plantea escalar una matriz existente aplicando factores multiplicativos derivados de predicciones de producción y/o atracción asociadas a las celdas de la matriz. Se suelen emplear estos modelos cuando no se tiene información disponible relativa a las distancias intrazonales de la red, tiempos de viaje o costos generalizados.

Supongamos que se tiene una matriz básica de viajes t , obtenida tal vez de un estudio previo o estimada desde datos recientes de una encuesta. Lo que se trataría de estimar, por ejemplo, es la matriz correspondiente dentro de 10 años. Tal vez se tenga información sobre el grado de crecimiento esperado durante este período de 10 años, para el área completa de estudio. Alternativamente, se puede tener información del crecimiento probable en el número de viajes que se originan y/o atraen a cada zona. Dependiendo de esta información, se podrán utilizar diferentes métodos de factor crecimiento en la estimación de esquemas futuros de viaje. [1]

3.7.1.1. Factor uniforme

Consiste en aplicar un factor de crecimiento único para todos los movimientos interzonales del área y equivale a la multiplicación de la matriz base por un escalar. La hipótesis en que se basa este modelo es que todas las zonas crecerán uniformemente, lo mismo que los viajes intercambiados.

Este método se basa en la siguiente ecuación general:

$$T_{ij} = t_{ij} * F \quad (1)$$

$$F = \frac{T}{t} \quad (2)$$

Donde:

T = Número total de viajes futuros en el área de estudio.

t = Número total de viajes actuales en el área de estudio.

F = Factor uniforme de crecimiento.

Este constituye el método más simple de distribución de viajes futuros, y a la vez el menos preciso. La principal crítica que se le efectúa a este método es que todas las zonas del área evolucionan de la misma manera, lo que en realidad generalmente no sucede. Se aplica para actualizar matrices de origen y destino anteriores y para realizar proyecciones cuando no existe tiempo ni recursos para la aplicación de métodos más detallados. [2]

3.7.1.2. Método de Fratar

El método de Fratar es también un proceso iterativo. Consiste en ajustar secuencialmente las columnas y las filas de la matriz, hasta alcanzar el equilibrio y se basa en el principio de que un cambio en una celda (viajes entre i y j) es directamente proporcional a los cambios originados y destinados en las zonas de una celda. Se debe especificar un factor de crecimiento para cada zona de origen y para cada zona de destino. [2]

El proceso matemático es el siguiente:

$$T_{ij(k+1)} = (T_{ijk} * F_{jk}) * F_{ik} \quad (3)$$

$$F_{jk} = \frac{T_{j(G)}}{\sum_{i=1}^n T_{ijk}} \quad (4)$$

$$F_{ik} = \frac{T_{i(G)}}{\sum_{j=1}^n (T_{ijk} * F_{jk})} \quad (5)$$

Siendo:

k = Numero de iteración

F_{jk} = Factor del destino j (columna), iteración k .

F_{ik} = Factor del origen i (fila), iteración k .

Los métodos basados en factores de crecimiento tienen las siguientes desventajas:

- Las celdas vacías en la matriz base seguirán siendo vacías en el futuro, aunque las zonas de dichas celdas pueden crecer y aumente la probabilidad de que intercambien viajes.
- No tienen en cuenta los cambios de uso de suelo.
- En la estimación de los viajes interzonales no intervienen las características de la red. Se hace la hipótesis de que la estructura de viajes representada por la matriz base refleja adecuadamente el efecto de separación física, de los modos de transporte disponibles, etc. [2]

3.7.2. Métodos sintéticos

Los modelos de distribución sintéticos se basan en la estimación de los intercambios de viajes interzonales en función de las producciones y atracciones de las zonas y en la separación entre las mismas. [2]

3.7.2.1. Modelo gravitacional

Este estima los viajes para cada celda en la matriz sin utilizar directamente el esquema de viajes observados, este método está basado en la atracción gravitacional entre dos zonas que decrece como función de la distancia entre ellos. Este modelo toma la hipótesis de que los viajes entre las zonas i y j es función de los viajes originados en las zonas y el nivel de atracción según la accesibilidad de la zona j con respecto a las demás. El costo generalizado, hace el papel de impedancia. [1]

Existen diferentes medidas de impedancia, siendo estas: la distancia de viaje, el tiempo, el costo del mismo (peajes, seguros...), o en función de los anteriores. También existen distintas funciones potenciales de impedancia que pueden ser utilizadas para derivar la atracción relativa de cada zona.

El modelo se generalizo teniendo en cuenta que el efecto de la distancia o separación se podría modelar mejor mediante una función decreciente, a especificar, de la distancia o costo de viaje entre las zonas. [1]

La ecuación que representa el modelo es:

$$T_{ij} = \alpha O_i * D_j * f(c_{ij}) \quad (6)$$

Donde:

O_i = Total de viajes producidos por la zona i.

D_j = Total de viajes atraídos por la zona j.

T_{ij} = Viajes entre la zona i y la zona j.

$f(c_{ij})$ = Función de impedancia.

Las funciones de impedancia pueden ser de los siguientes tipos: exponencial (7), potencial inversa (8), gamma (9) o funciones discretas.

$$f(c_{ij}) = e^{-c(c_{ij})} \quad c > 0 \quad (7)$$

$$f(c_{ij}) = c_{ij}^{-b} \quad b > 0 \quad (8)$$

$$f(c_{ij}) = a * c_{ij}^{-b} * e^{-c(c_{ij})} \quad a > 0, c > 0 \quad (9)$$

Al evaluar las características del modelo gravitacional, se pueden establecer las siguientes ventajas:

- Relativamente de simple estimación
- Flexibilidad para incorporar variables zonales
- Útil para el análisis de un corredor
- Tienden a sobre estimar el impacto de los aumentos de la población [1]

3.7.3. Distribución de viajes

Para llevar a cabo la modelación de la distribución de viajes se utiliza el modelo gravitacional, ya que es un modelo sintético muy usado, que permite evaluar impedancias entre las zonas y se basa en la presunción de que el número de viajes entre zonas es proporcional al número de viajes producidos por el origen i y al número de viajes atraídos por el destino j.

Las operaciones matemáticas son resueltas con facilidad por el software de transporte TransCAD, para ello, se requieren los siguientes insumos:

- Un mapa con la zonificación
- La red vial primaria nacional
- Matriz de impedancias entre zonas

Además, la zonificación debe tener anexada una tabla con la codificación definida y los vectores de viajes generados y viajes atraídos para cada zona.

La red vial debe estar conectada a la zonificación por medio de enlaces o conectores que se trazan desde los nodos de las vías hasta los centroides de cada zona, estos no son los centros geométricos, son puntos que se ubican en el centro de gravedad de la movilidad de cada zona. El proceso es desarrollado en el software TransCAD, inicialmente se generan unos centroides y conectores por zona, pero luego estos son modificados para lograr una mejor conexión con la red. En la mayoría de departamentos, el enlace con la red primaria se genera en las capitales, es por ello que los centroides se modifican y se sitúan en el punto donde se logren mayor número de conexiones y así analizar diferentes rutas con el fin de encontrar la más corta entre par de zonas.

Para la aplicación del modelo en TransCAD, luego de conectar la red con las zonas, se procede a la creación de una matriz de factores de fricción, aplicando una función que relaciona los viajes con la impedancia, para ello se necesita una matriz que contenga las impedancias y otra matriz vacía con la codificación de las zonas que se llenara con los factores que se calculan. Las medidas más usuales de impedancia son el tiempo de viaje, la distancia de viajes o el costo, para este estudio la impedancia está dada por la distancia de viaje entre zonas.

Para el cálculo de distancias de viaje también se utiliza una herramienta del software TransCAD, el resultado es una matriz con la distancia de ruta más corta entre zonas, dicha matriz, que se puede observar en el anexo B, tiene la codificación de las zonas y una estructura similar a la matriz O-D que se calcula.

Posteriormente se procede a obtener la matriz con los factores de fricción, el objetivo es seleccionar una función de impedancia y sus correspondientes parámetros. Hay varias maneras de obtener dichos parámetros, el más usado es la calibración de la función con los patrones de viaje de la zona de estudio, pero para ello se requiere una matriz de viajes observados, en este estudio la información es limitada y para la obtención de estos parámetros se acude a un análisis de viajes por rutas que tiene la encuesta O-D 2004. Con dicho análisis se logra construir una matriz de viajes para unas pocas ciudades, luego, usando el software TransCAD, se calibra y se obtienen los parámetros para las funciones de impedancia del modelo gravitatorio.

La función gamma no converge mientras que la exponencial y la potencial inversa si, en la tabla 16 se muestran los parámetros encontrados.

Tabla 16. Resultados de la calibración del modelo

Funciones	PARÁMETROS			Iteraciones
	a	b	c	
Gamma	N/C	N/C	N/C	100
Potencial Inversa	-	0,0022	-	3
Exponencial	-	-	0,0021	4

Fuente: Elaboración Propia

Posterior a la calibración, se realiza la aplicación del modelo a partir de las funciones de impedancia obtenidas, en primer lugar y dado que los datos de la calibración son de la encuesta O-D 2004, se corre el modelo para los viajes generados y atraídos del 2004, luego se comparan los viajes observados en el análisis de la encuesta y los calculados por el modelo, dando como resultado que la función potencial inversa representa mejor la distribución de los viajes.

Como la información es limitada, ya que sería ideal calibrar el modelo con una matriz completa observada del área de estudio, se procede a tomar los valores estimados con el análisis anterior para la función de impedancia y se aplica el modelo para los datos del año base, es decir el año 2012. Para la aplicación del modelo se utilizan los vectores de producción y atracción, la matriz de impedancia y unos factores k_{ij} arrojados por el programa TransCAD, con los cuales se busca que el modelo reproduzca la situación del análisis de rutas de la encuesta O-D 2004 de la movilización de carga.

Realizada la aplicación, se obtiene la matriz de distribución modelada asociada a la movilización de carga para el año base, el modelo de distribución escogido es una aplicación del modelo gravitatorio (ecuación 6) con la función potencial inversa calibrada, por lo tanto la función que representa dicha distribución es:

$$T_{ij} = O_i * D_j * c_{ij}^{-0.0022}$$

La matriz correspondiente se presenta en el anexo A.

4. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA ARTICULACIÓN DE LA MATRIZ CON UNA MALLA VIAL

El modelo de una red de transporte, entre otras cosas, permite evaluar niveles de servicio, consecuencias de nuevas rutas, estimar demandas de transporte y 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.

La elaboración del modelo de la red puede llevarse a cabo mediante los siguientes pasos:

- Recopilación de la información base sobre la red vial
- Zonificación y conectividad
- Preparación de las matrices O-D
- Importación de la red y adecuar los datos para el modelo en las tablas asociadas a esta.
- Construcción de alternativas

Una red vial puede estar representada en un archivo cartográfico, y a la vez este archivo tener información anexada sobre su caracterización. Esto es importante para un modelo, ya que permite su articulación con las zonas y la matriz del área de estudio.

Para la propuesta de construcción de la matriz O-D, se considera una red vial proporcionada por el grupo de investigación Geomática del año 2011, esta red cuenta con la información de las vías primarias del país y datos que ayudaron a la elaboración de este estudio, sin embargo, como se mencionó anteriormente, esta tesis hace parte de un proyecto del grupo de investigación que tiene como objetivo un modelo de asignación de tráfico, dicho proyecto considera realizar una estructuración de la red vial nacional primaria actualizada y articular esta red con la matriz propuesta en la presente tesis.

Una vez se tiene la red vial completa y actualizada, se debe proceder a su caracterización, la información requerida para la articulación con la matriz y posterior realización del modelo se define a continuación:

- Longitud real expresada en kilómetros.
- Una variable para la caracterización del sentido de circulación de la vía: 1 y -1 vía de sentido único, siendo 1 la dirección en la que se dibujó la vía y -1 el sentido de circulación contrario; 0 significa vía de doble sentido.
- Capacidad expresada en vehículos/hora.

- Velocidad de operación, expresada en Km/h, definida en base a las características de las vías.
- El tiempo de viaje, expresado en minutos, calculado en función de la longitud y la velocidad asignada.

Adicional a estos parámetros, la red debe estar conectada a la zonificación definida para la elaboración de la matriz como se explicó anteriormente.

5. TASA DE PROYECCIÓN PARA OBTENER ANÁLISIS EN ESCENARIOS FUTUROS

Según estudios económicos y los últimos anuarios estadísticos del Ministerio de Transporte, tanto la economía como el sector transporte han presentado tendencia creciente en la última década. A pesar de diferentes factores que pueden llegar afectar esta tendencia, el país sigue creciendo y se espera que en la siguiente década se logren tasas de crecimiento elevadas.

Existen muchos factores que se relacionan con el crecimiento económico, el sector transporte se ha caracterizado en los últimos años por contribuir positivamente al crecimiento de la economía en general y según anuarios estadísticos, el PIB transporte mantiene una tendencia creciente similar a la del PIB total.

Según la última edición (marzo de 2014) de la revista El Container, de COLFECAR, nuestro país moviliza más del 70% de la carga por modo carretero, razón por la cual la infraestructura vial ha sido y será tema crucial para los planes de desarrollo que trace el país.

Las concesiones de cuarta generación para las cuales se ha anunciado montos cercanos a los 47 billones de pesos, cifra sin precedentes en el país en esta materia, sugieren por la magnitud de la inversión un gran desarrollo en materia vial que permitirían ir cerrando las brechas de competitividad con otros países, tendrán un efecto promedio de 1,5 puntos porcentuales en el Producto Interno Bruto, a partir del 2015 y desencadenarían notables y diversos beneficios socioeconómicos para la población Colombiana. [8]

Otro factor importante para la dinámica del sector, es el parque automotor de carga del país, actualmente la nación cuenta con un parque automotor antiguo que está en proceso de renovación, este está fijado bajo lineamientos de política orientados al desarrollo integral del sector y a la renovación de la flota de manera sostenible, está liderado por el Ministerio de Transporte y se declaró de importancia estratégica, condición que permite garantizar el flujo de recursos durante los próximos años. Es notable que los costos del transporte dependan de la calidad de la infraestructura, de la eficiencia de la cadena logística, pero también de la eficiencia del parque automotor.

Esta parte del estudio, propone unas tasas de proyección para obtener un análisis en escenarios futuros con la matriz O-D propuesta, para ello se tiene en cuenta la variación porcentual de las toneladas movilizadas por año en la última década al año base y se considera la directriz para los próximos 10 años, es decir hasta 2022.

La proyección de la matriz consiste en estimar la evolución que tendrá la movilización de carga en el futuro, de una forma conservadora, con la propuesta de una tasa de crecimiento positiva pero modesta; ya que son muchos los factores que afectan la movilización de carga y el sector transporte.

En este intervalo de tiempo se observó un crecimiento de movilización de carga continuo, posterior al año 2007 se presenta una variación negativa que puede deberse a la crisis financiera global, pese a esto Colombia se ha venido recuperando y en los últimos años la tendencia se ha mantenido, producto de varios factores como los acuerdos comerciales internacionales y el aumento de la competitividad del país.

En este periodo también se han presentado problemas como paros nacionales de transporte y problemas en diferentes sectores que han afectado la dinámica del transporte, pese a esto el crecimiento se sigue presentando y es por esto que la puesta en consideración de la última década puede dar una estimación válida de la tasa de proyección para los próximos 10 años.

Para la estimación de la tasa, se utiliza el método de extrapolación de tendencias, este método consiste en determinar la tendencia con la que evolucionó el tráfico pasado y proyectar dicha tendencia al futuro.

La forma funcional de la tendencia tiene que ver con una función matemática que se utiliza para la extrapolación. Esta función puede ser lineal, exponencial, exponencial modificada, logística, polinómica, etc. La selección de la función se realiza examinando la serie histórica graficada. [9]

El ajuste estadístico se realiza calculando el coeficiente de determinación r^2 , es el que indica la bondad de ajuste y se selecciona la función que dé el mayor coeficiente cercano a la unidad.

Para el presente estudio, se consideraron diferentes funciones y se evaluaron los coeficientes de ajuste y la estimación del total de toneladas movilizadas con cada una de ellas. La función que daba el mayor coeficiente de determinación era la polinómica pero a la hora de calcular la movilización de carga para el año 2022, esta daba un valor muy elevado e ilógico. La función que logra dar una cifra modesta de la movilización de carga para los próximos 10 años es la lineal, dando como resultado una línea de tendencia positiva pero conservadora y un coeficiente de ajuste válido para la estimación.

En la figura 10 se puede observar la serie histórica en consideración y la línea de tendencia ajustada a los datos.

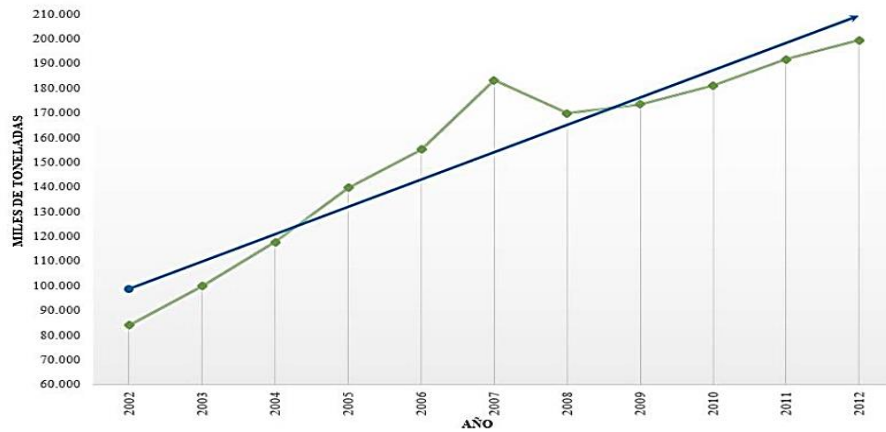


Figura 10. Línea de tendencia ajustada a los datos históricos de movilización de carga
Fuente: Elaboración Propia

La ecuación producto del proceso, que se ajusta a los datos históricos y que permite estimar la movilización de carga para el 2022, es la siguiente:

$$y = 11064 * x + 87682 \quad (10)$$

$$R^2 = 0,8943$$

Posterior a esto, se calcula el valor de las toneladas movilizadas en el año 2022 con la ecuación 10:

$$\text{Ton. Movilizadas 2022} = 320.026.000 \text{ Ton.}$$

Con este valor estimado, se procede a calcular la tasa de variación anual con respecto al año base 2012:

$$T_f = T_o * (1 + i)^n \quad (11)$$

T_f = Toneladas para el año n

T_o = Toneladas año base

i = Tasa de crecimiento

n = años transcurridos entre el año base y el año final

$$320.026.000 = 199.369.000 * (1 + i)^{10}$$

Despejando:

$$i = 4,85\%$$

Como resultado a esta estimación, se propone una tasa del 4,85% durante cada año hasta 2022, considerando que esta estimación es válida siempre y cuando no ocurran hechos que alteren significativamente el crecimiento de la economía y el PIB de la nación.

Para actualizar la matriz propuesta, se puede emplear uno de los métodos de factor de crecimiento, explicados anteriormente, con la tasa de variación anual presentada. Dicho proceso se puede realizar con el software TransCAD y no está contemplado en el alcance de la presente tesis.

6. CONCLUSIONES

- La aplicación de un modelo de transporte clásico permite evaluar 4 etapas que consideran diferentes factores de la movilización de carga y dan una visión de la estructura del transporte en el país, a partir de estos modelos se pueden proponer alternativas para mejorar la disponibilidad y accesibilidad de los productos, ayudando así a mejorar la competitividad del país y la comercialización de los productos.
- La distribución de los viajes de transporte de carga es de gran importancia dentro del análisis general de la movilización de carga nacional, pues permite observar el estado actual e identificar aspectos de flujo de carga, permitiendo proponer soluciones tanto a nivel de zonas productoras como de las consumidoras, de la infraestructura vial, de los costos de operación y de diferentes situaciones que afecten la movilización de carga, además permite visualizar condiciones futuras según diferentes escenarios y tomar decisiones a la hora de evaluar proyectos que mejoren las condiciones de la logística de distribución de carga.
- Es importante contar con información suficiente que permita un buen resultado en la modelación de viajes, muchas veces la limitante para definir la zonificación es la disponibilidad de información, de ahí que el modelo pierda precisión y omita situaciones que puedan ser significativas, además es fundamental contar con una red vial que este bien conectada con los centroides de las zonas para obtener correctamente las distancias de viaje, y bien estructurada para posterior a la etapa de distribución, se pueda realizar una asignación de tráfico con resultados más exactos.
- El modelo gravitatorio es un proceso matemático que permite el desarrollo de una buena distribución de viajes, este proceso emplea funciones de impedancia que recrean la fricción entre zonas para el flujo de carga, en esta tesis se empleó la distancia de viaje como impedancia, lo cual es una buena aproximación a lo que percibe el usuario, sin embargo el modelo puede perder un poco de precisión, ya que podría eliminar viajes por tratarse de distancias largas entre zonas, es ahí donde toman importancia factores de ajuste k basados en una matriz de viajes observados para asemejar lo mayor posible los viajes modelados a los observados.
- La función que reflejo mejor ajuste según el análisis realizado fue la potencial inversa, la cual presentó datos de viajes más similares a los observados, sin embargo, es recomendable

contar con una matriz completa de viajes del área de estudio que permita un ajuste y una calibración más precisa, en este trabajo no se tuvo acceso a esta información y se calibro el modelo con los viajes de algunas rutas obtenidos de la encuesta O-D 2004.

- Sería interesante, en otros estudios, aplicar el modelo de distribución a un nivel de detalle más complejo, es decir realizar un análisis por productos y por configuraciones de vehículos, a fin de obtener información más detallada y completa sobre la movilización de carga en el país.

7. NOTACIONES Y DEFINICIONES

- O-D: Origen – destino
- INVIAS: Instituto Nacional de Vías
- PIB: Producto Interno Bruto
- COLFECAR: Federación Colombiana de Transportadores de Carga

8. REFERENCIAS

- [1] Estrada Perea Aura Yulienne, Modelación de Distribución del Transporte de Carga por Carretera de Productos Colombianos [Tesis de maestría], Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2008.
- [2] Girardotti L. M. Demanda de Transporte Dirigida a Redes. Guía de Estudio. Facultad de Ingeniería UBA, Marzo 2001.
- [3] Aldana Ramírez Claudia Marcela, Modelación de la Generación y Atracción de Viajes en el Valle de Aburrá [Tesis de maestría], Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2007.
- [4] Márquez L. y Jaimes H. Comparación de Métodos de Asignación a Redes para Distintos Volúmenes de Transito, UIS Ingenierías, vol. 9, No. 1, Junio 2010, pp. 77 – 84.
- [5] 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> [citado 25 de Abril de 2014].
- [6] Estadísticas de Movilización de Carga por Carretera, Ministerio de Transporte, Enero 2011.
- [7] Encuesta Origen – Destino a Vehículos de Carga, Año 2004, Grupo de Investigación y Desarrollo en Transporte, Dirección de Transporte y Transito, Ministerio de Transporte, Republica de Colombia, 2006.
- [8] Federación Colombiana de Transportadores de Carga – COLFECAR, Concesiones viales de cuarta generación y el transporte intermodal, El Container, Ed. No. 125, Marzo 2014, pp. 8 – 17.
- [9] Girardotti L. M. Previsión de la Demanda de Corredores. Facultad de Ingeniería UBA, Abril 2003.

BIBLIOGRAFIA

- Acevedo Jorge, Resumen del Libro: El Transporte como soporte al desarrollo de Colombia. Una Visión al 2040, Revista de Ingeniería Universidad de los Andes, No. 29, Mayo 2009, pp. 156 – 162.
- Aldana Ramírez Claudia Marcela, Modelación de la Generación y Atracción de Viajes en el Valle de Aburrá [Tesis de maestría], Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2007.
- Caliper Corporation, Trip Distribution with TransCAD 5.0. Modeling Guide.
- Caliper Corporation, Trip Distribution with TransCAD 5.0. User's Guide.
- Estrada Perea Aura Yulienne, Modelación de Distribución del Transporte de Carga por Carretera de Productos Colombianos [Tesis de maestría], Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2008.
- Federación Colombiana de Transportadores de Carga – COLFECAR, “Balance Sectorial 2012”. Disponible en: <http://colfecar.org.co/ESTUDIOS%20ECONOMICOS%202013/BALANCES%20SECTORIALES/BALANCE%20SECTORIALES.html>
- Girardotti L. M. Demanda de Transporte Dirigida a Redes. Guía de Estudio. Facultad de Ingeniería UBA, 2001.
- Girardotti L. M. Previsión de la Demanda de Corredores. Facultad de Ingeniería UBA, 2003.
- González Carlos A. y Sarmiento Iván, Análisis de la Modelación de la distribución de Viajes para Diferentes Categorías Socioeconómicas en el Valle de Aburrá, Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, No. 64, Septiembre 2012, pp. 115 – 125.
- Grupo de Investigación y Desarrollo en Transporte, Dirección de Transporte y Transito, Ministerio de Transporte, República de Colombia, Encuesta Origen – Destino a Vehículos de Carga, Año 2004, Agosto 2006.

- Grupo de Investigación y Desarrollo en Transporte, Dirección de Transporte y Transito, Ministerio de Transporte, República de Colombia, Parque Automotor de Transporte de Carga en Colombia, Octubre 2006.
- Instituto Metropolitano Protransporte de Lima, “Consultoría para la Capacitación en Modelación de Transporte en Plataforma TransCAD”. Disponible en: <http://www.protransporte.gob.pe/pdf/biblioteca/2008/ConsultoriaCapacitacionTransCAD.pdf>
- Instituto Mexicano del Transporte, “Modelos Matemáticos para Distribución de Viajes”. Disponible en: <http://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt31.pdf>
- 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>
- Márquez L. y Jaimes H. Comparación de Métodos de Asignación a Redes para Distintos Volúmenes de Transito, UIS Ingenierías, vol. 9, No. 1, Junio 2010, pp. 77 – 84.
- Ortuzar J. y Willumsen L. Modelos de Transporte, Vol. 3, Ed. Universidad de Cantabria, 2008.
- República de Colombia, Ministerio de Transporte, Oficina Asesora de Planeación, Grupo Planificación Sectorial, Diagnostico del Sector Transporte 2011, Diciembre 2011.
- República de Colombia, Ministerio de Transporte, Oficina Asesora de Planeación, Grupo Planificación Sectorial, Transporte en Cifras – Estadísticas 2012, Septiembre 2013.

ANEXOS





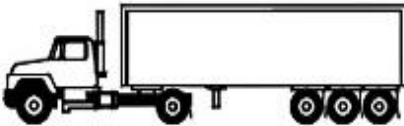
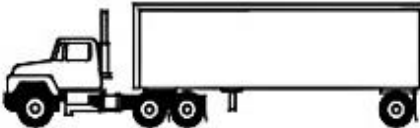
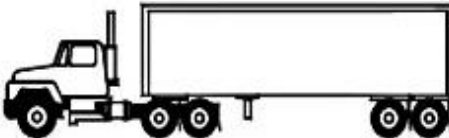
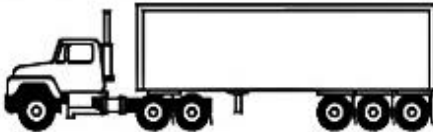

ANEXO A: MATRIZ ORIGEN – DESTINO PARA TRANSORTE DE CARGA

	5000	5001	8000	8001	11001	13001	13002	15000	17000	17001	18000	19000	20000	23000	25000	27000	41001	44000	47000	47001	50000	50001	52001	54000	54001	63000	Sum			
5000	-	5057.77	22329.94	31202.87	46891.46	19712.90	32840.88	43235.99	7497.26	8238.31	24420.33	43240.93	18980.31	18958.66	9008.21	2819.57	7027.66	7063.05	3702.00	21286.64	21243.50	4656.50	20615.14	4498.66	8971.20	16523.85	2833.91	2: 744209.23		
5001	78202.40	-	3277.27	44142.20	189497.20	27796.23	46511.03	18665.09	10577.08	11747.45	3444.00	10871.48	23944.75	26740.78	13313.24	2958.16	9925.85	9961.46	5220.56	30203.52	29915.01	6586.85	28322.97	6341.59	14089.97	2702.10	3971.40	3: 1043086.07		
8000	40065.30	33351.26	-	24795.99	114899.23	154827.22	25848.17	10291.96	5857.72	6510.67	1972.55	10366.08	13319.54	14636.12	7676.67	1635.52	5068.63	5529.51	2906.98	10725.92	16667.07	3645.18	16088.84	3523.37	7817.39	12346.78	2716.75	1: 694847.45		
8001	50517.86	10761.00	22145.41	-	145000.91	196255.55	32897.16	13967.12	7387.01	8210.41	2411.84	13072.30	16797.13	18467.87	9879.52	2065.90	8941.99	6973.05	3864.67	21065.07	4589.81	4634.80	20263.76	4448.18	9868.22	16442.85	2795.47	2: 154702.08		
11001	129613.96	10761.00	80805.12	79206.73	-	489151.74	83772.61	33643.17	18962.14	21004.40	14172.72	8006.94	43064.90	47227.73	24865.33	5293.27	17802.54	17263.96	9384.16	53771.64	11827.10	11935.03	52010.54	11465.01	52723.56	39613.77	7179.31	6: 1630652.90		
13000	5355.99	34062.13	14102.08	18896.22	88912.26	-	18932.95	8002.69	4652.24	8029.48	1172.31	10288.46	11341.55	9320.01	1263.42	4265.72	17062.52	12856.52	2815.62	2633.89	11627.10	2633.89	12441.11	7771.37	6037.83	9468.03	1712.37	1: 489710.36		
13001	53129.88	52195.69	24263.09	32680.17	162901.16	20541.02	-	13742.55	7789.42	13788.16	19767.60	19420.46	10180.16	11081.62	2169.23	7391.23	7333.59	3854.34	22190.71	22064.71	4634.50	4974.46	21310.95	4672.81	10388.37	16241.69	2940.10	2: 782010.23		
15000	26263.52	28027.14	12980.85	17453.51	82165.27	10897.46	-	4711.91	4638.50	1935.27	7385.51	9474.52	10394.83	5485.39	1164.58	3928.39	3943.57	2065.76	11875.42	11837.18	2602.86	2624.47	11444.85	2566.62	5565.66	8724.45	1579.47	1: 53520.15		
17000	2871.08	24258.47	11738.85	15795.23	74157.52	9946.18	16570.73	6678.87	-	4214.71	1233.31	6888.46	8587.20	9421.46	4951.01	1655.85	3554.98	3587.81	1888.24	10141.00	10704.97	2380.70	10380.27	2271.93	9511.07	7083.19	1423.57	1: 397712.20		
17001	5355.99	5263.23	2493.22	3272.11	15388.04	20663.7	3427.2	1384.00	705.55	-	2557.57	1386.11	1774.70	1949.70	1026.04	216.68	736.73	738.39	387.04	2225.23	2217.67	487.14	481.16	2146.84	4707.99	1042.20	1633.00	297.01	: 82315.01	
18000	4255.42	4181.08	4933.65	2894.46	1237.12	16387.73	2752.12	1102.17	622.85	692.49	-	1105.18	1412.35	1551.27	816.96	587.70	589.82	308.23	1711.52	1768.01	387.92	381.43	1711.21	375.27	828.81	1300.27	235.81	: 69892.56		
19000	44002.87	13337.17	6386.80	8015.90	40462.63	5424.71	9038.44	3644.44	2061.00	2929.39	671.55	-	4672.85	5132.30	2701.51	575.44	1942.93	1949.94	1919.35	5658.11	5800.39	1292.89	5666.82	1243.09	2744.20	4300.04	780.81	1: 215383.92		
20000	38294.34	37617.60	17426.88	23473.08	108989.18	14778.97	24626.88	8912.64	5898.00	6222.95	1620.49	9901.51	-	13972.88	7341.69	1563.24	5288.33	5287.34	2778.28	18989.34	19328.71	3486.18	45356.57	3817.25	7487.78	11723.66	2118.68	1: 620866.63		
23000	24851.27	24216.89	11219.15	15111.79	70718.05	9622.15	15869.67	6371.67	3694.01	4065.39	1176.13	8376.37	1186.34	-	4714.15	1006.13	3388.55	3400.77	1788.06	10275.62	10273.63	2241.92	2280.46	9881.30	2168.70	4804.68	7626.57	135.81	1: 374034.06	
25000	16847.46	16548.81	7588.75	10181.05	48025.28	6410.32	10800.42	4319.59	2435.42	2707.94	785.74	4310.82	5525.85	6865.24	-	675.88	2294.24	2302.51	1204.99	8626.71	8094.60	1520.78	1533.35	6879.21	1464.64	3245.29	5066.94	1: 357388.92		
27000	1687.55	1835.15	847.29	1141.24	5355.81	718.60	1197.24	482.44	273.23	303.81	88.09	483.09	618.96	679.98	357.58	-	268.75	257.66	134.99	778.10	773.48	189.78	171.19	748.48	164.13	363.49	589.56	103.40	28919.37	
4000	7491.41	7360.71	4833.26	2150.25	2085.67	4807.99	1940.61	1096.72	1219.44	1891.66	559.85	302.43	3878.15	4257.56	2243.81	477.30	1634.80	-	1045.66	542.41	3111.68	683.07	3910.51	660.22	1480.46	2288.48	415.22	: 115485.45		
41001	11882.46	11476.67	5306.45	7147.36	33866.56	4600.66	7497.82	3026.28	1710.28	1891.66	559.85	302.43	3878.15	4257.56	2243.81	477.30	1634.80	-	846.87	4881.87	4846.57	1085.21	1074.01	4894.74	1025.99	2277.51	3588.78	647.51	1: 180103.94	
4000	43115.35	42352.4	18450.64	2687.55	12869.92	18651.58	27447.35	11162.25	6305.94	7008.13	2868.00	11621.14	14348.84	15144.77	8268.37	1760.77	9394.58	5855.99	-	10004.01	1780.59	3926.89	3659.14	17304.05	3794.16	8431.22	13197.4	2388.58	2: 685244.04	
4000	18265.68	18269.08	6480.44	11437.00	54937.75	7202.38	10004.41	4820.72	2723.86	3027.46	889.49	4819.97	6203.85	6807.68	3670.70	790.51	2562.61	2571.83	1066.93	616.20	-	1334.84	1345.87	5881.72	1288.66	2863.49	4485.28	811.28	: 219187.43	
47001	14867.71	14400.21	6677.71	8894.53	42109.63	5965.09	9436.64	3784.72	2443.69	2382.69	700.26	3748.22	4880.50	5354.19	2810.82	690.55	2017.35	2014.63	1066.93	616.20	-	1334.84	1345.87	5881.72	1288.66	2863.49	4485.28	811.28	: 219187.43	
5000	69382	14564.04	889.19	1211.14	5704.03	762.55	4468.77	513.40	289.85	322.05	94.65	512.75	657.29	721.47	300.95	80.85	272.83	273.81	143.35	823.97	821.38	-	183.92	794.55	174.23	386.02	605.02	109.86	30677.03	
50001	11671.12	11373.84	5255.36	3337.34	4468.77	7426.66	3000.56	1892.88	1882.24	531.17	2988.88	3941.52	4216.67	2228.47	472.50	1594.54	1600.29	837.80	837.80	4815.70	4800.45	1086.13	-	4843.77	10162.29	2298.09	3538.04	640.92	1: 178933.06	
52000	29238.11	29725.38	12865.22	17895.56	64006.06	11265.64	18773.57	7597.15	4737.97	4757.31	1399.45	7597.97	9794.75	10588.61	5908.05	11948.00	4004.42	4044.95	2117.37	12168.23	12130.98	2663.24	-	2580.24	5668.57	8930.72	1620.26	1: 442932.95		
52001	4358.02	4281.88	1890.34	2867.35	12522.06	1675.32	2798.08	1177.95	637.86	716.74	2085.42	1446.52	1538.71	835.95	178.07	600.85	603.01	315.99	1811.84	1188.12	396.50	400.26	1780.76	-	849.54	1331.15	241.54	: 67400.22		
54000	17158.89	16857.10	7085.01	10512.84	49292.87	8618.53	11028.79	4443.91	2893.14	2788.76	2186.62	5713.99	6388.47	3280.31	700.54	280.80	1244.29	2389.52	1944.29	1715.48	1858.75	1535.55	3472.92	3841.83	15288.17	3352.51	7447.87	11679.18	2108.75	1: 576238.94
54001	21243.28	20880.56	9665.46	13018.71	61077.46	8195.97	13857.38	5506.50	3108.03	3464.28	1015.08	4489.17	4078.33	7749.94	4078.33	1540.87	8880.53	8320.75	1540.87	8880.53	8320.75	1540.87	8880.53	1540.87	8880.53	1540.87	8880.53	1540.87	1: 353467.99	
63000	4841.95	3971.69	1834.41	2470.81	11605.44	1555.76	2592.05	1045.18	592.17	668.71	193.01	1047.07	1340.03	1472.10	774.82	165.17	566.35	293.27	1680.27	1674.64	367.88	370.92	1621.60	355.61	786.96	1233.09	-	: 62580.91		
60000	2077.27	2041.26	942.26	1268.19	5862.30	7981.67	4331.48	538.30	304.59	339.13	98.15	537.79	688.36	756.24	380.00	84.85	285.84	266.87	160.12	653.12	880.19	108.99	189.85	832.85	162.64	404.25	633.42	115.31	32712.06	
60001	26944.71	26143.48	12088.90	16255.91	76371.72	10235.88	17053.74	6877.48	3900.63	4242.30	1289.95	8888.58	8916.84	9895.94	5989.04	1086.84	3861.32	3674.53	1922.83	11054.93	11071.59	2420.76	2440.76	10687.62	2338.40	5177.64	8112.87	1477.16	1: 404381.08	
68000	20122.40	19788.17	9146.03	12319.85	57881.95	7755.43	12923.30	5278.37	2942.36	3270.18	961.24	5207.62	6891.20	7333.47	3983.39	827.46	2770.03	1488.06	835.83	835.83	835.83									

ANEXO B: MATRIZ DE IMPEDANCIAS (DISTANCIAS)

5000	5001	5002	5003	5004	5005	5006	5007	5008	5009	5010	5011	5012	5013	5014	5015	5016	5017	5018	5019	5020	5021	5022	5023	5024	5025	5026	5027	5028	5029	5030	5031	5032	5033	5034	5035	5036	5037	5038	5039	5040	5041	5042	5043	5044	5045	5046	5047	5048	5049	5050																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
10.55	687.42	688.16	688.90	689.64	690.38	691.12	691.86	692.60	693.34	694.08	694.82	695.56	696.30	697.04	697.78	698.52	699.26	700.00	700.74	701.48	702.22	702.96	703.70	704.44	705.18	705.92	706.66	707.40	708.14	708.88	709.62	710.36	711.10	711.84	712.58	713.32	714.06	714.80	715.54	716.28	717.02	717.76	718.50	719.24	719.98	720.72	721.46	722.20	722.94	723.68	724.42	725.16	725.90	726.64	727.38	728.12	728.86	729.60	729.34	730.08	730.82	731.56	732.30	733.04	733.78	734.52	735.26	736.00	736.74	737.48	738.22	738.96	739.70	740.44	741.18	741.92	742.66	743.40	744.14	744.88	745.62	746.36	747.10	747.84	748.58	749.32	750.06	750.80	751.54	752.28	753.02	753.76	754.50	755.24	755.98	756.72	757.46	758.20	758.94	759.68	760.42	761.16	761.90	762.64	763.38	764.12	764.86	765.60	766.34	767.08	767.82	768.56	769.30	770.04	770.78	771.52	772.26	773.00	773.74	774.48	775.22	775.96	776.70	777.44	778.18	778.92	779.66	780.40	781.14	781.88	782.62	783.36	784.10	784.84	785.58	786.32	787.06	787.80	788.54	789.28	790.02	790.76	791.50	792.24	792.98	793.72	794.46	795.20	795.94	796.68	797.42	798.16	798.90	799.64	800.38	801.12	801.86	802.60	803.34	804.08	804.82	805.56	806.30	807.04	807.78	808.52	809.26	810.00	810.74	811.48	812.22	812.96	813.70	814.44	815.18	815.92	816.66	817.40	818.14	818.88	819.62	820.36	821.10	821.84	822.58	823.32	824.06	824.80	825.54	826.28	827.02	827.76	828.50	829.24	830.00	830.74	831.48	832.22	832.96	833.70	834.44	835.18	835.92	836.66	837.40	838.14	838.88	839.62	840.36	841.10	841.84	842.58	843.32	844.06	844.80	845.54	846.28	847.02	847.76	848.50	849.24	850.00	850.74	851.48	852.22	852.96	853.70	854.44	855.18	855.92	856.66	857.40	858.14	858.88	859.62	860.36	861.10	861.84	862.58	863.32	864.06	864.80	865.54	866.28	867.02	867.76	868.50	869.24	870.00	870.74	871.48	872.22	872.96	873.70	874.44	875.18	875.92	876.66	877.40	878.14	878.88	879.62	880.36	881.10	881.84	882.58	883.32	884.06	884.80	885.54	886.28	887.02	887.76	888.50	889.24	890.00	890.74	891.48	892.22	892.96	893.70	894.44	895.18	895.92	896.66	897.40	898.14	898.88	899.62	900.36	901.10	901.84	902.58	903.32	904.06	904.80	905.54	906.28	907.02	907.76	908.50	909.24	910.00	910.74	911.48	912.22	912.96	913.70	914.44	915.18	915.92	916.66	917.40	918.14	918.88	919.62	920.36	921.10	921.84	922.58	923.32	924.06	924.80	925.54	926.28	927.02	927.76	928.50	929.24	930.00	930.74	931.48	932.22	932.96	933.70	934.44	935.18	935.92	936.66	937.40	938.14	938.88	939.62	940.36	941.10	941.84	942.58	943.32	944.06	944.80	945.54	946.28	947.02	947.76	948.50	949.24	950.00	950.74	951.48	952.22	952.96	953.70	954.44	955.18	955.92	956.66	957.40	958.14	958.88	959.62	960.36	961.10	961.84	962.58	963.32	964.06	964.80	965.54	966.28	967.02	967.76	968.50	969.24	970.00	970.74	971.48	972.22	972.96	973.70	974.44	975.18	975.92	976.66	977.40	978.14	978.88	979.62	980.36	981.10	981.84	982.58	983.32	984.06	984.80	985.54	986.28	987.02	987.76	988.50	989.24	990.00	990.74	991.48	992.22	992.96	993.70	994.44	995.18	995.92	996.66	997.40	998.14	998.88	999.62	1000.36	1001.10	1001.84	1002.58	1003.32	1004.06	1004.80	1005.54	1006.28	1007.02	1007.76	1008.50	1009.24	1010.00	1010.74	1011.48	1012.22	1012.96	1013.70	1014.44	1015.18	1015.92	1016.66	1017.40	1018.14	1018.88	1019.62	1020.36	1021.10	1021.84	1022.58	1023.32	1024.06	1024.80	1025.54	1026.28	1027.02	1027.76	1028.50	1029.24	1030.00	1030.74	1031.48	1032.22	1032.96	1033.70	1034.44	1035.18	1035.92	1036.66	1037.40	1038.14	1038.88	1039.62	1040.36	1041.10	1041.84	1042.58	1043.32	1044.06	1044.80	1045.54	1046.28	1047.02	1047.76	1048.50	1049.24	1050.00	1050.74	1051.48	1052.22	1052.96	1053.70	1054.44	1055.18	1055.92	1056.66	1057.40	1058.14	1058.88	1059.62	1060.36	1061.10	1061.84	1062.58	1063.32	1064.06	1064.80	1065.54	1066.28	1067.02	1067.76	1068.50	1069.24	1070.00	1070.74	1071.48	1072.22	1072.96	1073.70	1074.44	1075.18	1075.92	1076.66	1077.40	1078.14	1078.88	1079.62	1080.36	1081.10	1081.84	1082.58	1083.32	1084.06	1084.80	1085.54	1086.28	1087.02	1087.76	1088.50	1089.24	1090.00	1090.74	1091.48	1092.22	1092.96	1093.70	1094.44	1095.18	1095.92	1096.66	1097.40	1098.14	1098.88	1099.62	1100.36	1101.10	1101.84	1102.58	1103.32	1104.06	1104.80	1105.54	1106.28	1107.02	1107.76	1108.50	1109.24	1110.00	1110.74	1111.48	1112.22	1112.96	1113.70	1114.44	1115.18	1115.92	1116.66	1117.40	1118.14	1118.88	1119.62	1120.36	1121.10	1121.84	1122.58	1123.32	1124.06	1124.80	1125.54	1126.28	1127.02	1127.76	1128.50	1129.24	1130.00	1130.74	1131.48	1132.22	1132.96	1133.70	1134.44	1135.18	1135.92	1136.66	1137.40	1138.14	1138.88	1139.62	1140.36	1141.10	1141.84	1142.58	1143.32	1144.06	1144.80	1145.54	1146.28	1147.02	1147.76	1148.50	1149.24	1150.00	1150.74	1151.48	1152.22	1152.96	1153.70	1154.44	1155.18	1155.92	1156.66	1157.40	1158.14	1158.88	1159.62	1160.36	1161.10	1161.84	1162.58	1163.32	1164.06	1164.80	1165.54	1166.28	1167.02	1167.76	1168.50	1169.24	1170.00	1170.74	1171.48	1172.22	1172.96	1173.70	1174.44	1175.18	1175.92	1176.66	1177.40	1178.14	1178.88	1179.62	1180.36	1181.10	1181.84	1182.58	1183.32	1184.06	1184.80	1185.54	1186.28	1187.02	1187.76	1188.50	1189.24	1190.00	1190.74	1191.48	1192.22	1192.96	1193.70	1194.44	1195.18	1195.92	1196.66	1197.40	1198.14	1198.88	1199.62	1200.36	1201.10	1201.84	1202.58	1203.32	1204.06	1204.80	1205.54	1206.28	1207.02	1207.76	1208.50	1209.24	1210.00	1210.74	1211.48	1212.22	1212.96	1213.70	1214.44	1215.18	1215.92	1216.66	1217.40	1218.14	1218.88	1219.62	1220.36	1221.10	1221.84	1222.58	1223.32	1224.06	1224.80	1225.54	1226.28	1227.02	1227.76	1228.50	1229.24	1230.00	1230.74	1231.48	1232.22	1232.96	1233.70	1234.44	1235.18	1235.92	1236.66	1237.40	1238.14	1238.88	1239.62	1240.36	1241.10	1241.84	1242.58	1243.32	1244.06	1244.80	1245.54	1246.28	1247.02	1247.76	1248.50	1249.24	1250.00	1250.74	1251.48	1252.22	1252.96	1253.70	1254.44	1255.18	1255.92	1256.66	1257.40	1258.14	1258.88	1259.62	1260.36	1261.10	1261.84	1262.58	1263.32	1264.06	1264.80	1265.54	1266.28	1267.02	1267.76	1268.50	1269.24	1270.00	1270.74	1271.48	1272.22	1272.96	1273.70	1274.44	1275.18	1275.92	1276.66	1277.40	1278.14	1278.88	1279.62	1280.36	1281.10	1281.84	1282.58	1283.32	1284.06	1284.80	1285.54	1286.28	1287.02	1287.76	1288.50	1289.24	1290.00	1290.74	1291.48	1292.22	1292.96	1293.70	1294.44	1295.18	1295.92	1296.66	1297.40	1298.14	1298.88	1299.62	1300.36	1301.10	1301.84	1302.58	1303.32	1304.06	1304.80	1305.54	1306.28	1307.02	1307.76	1308.50	1309.24	1310.00	1310.74	1311.48	1312.22	1312.96	1313.70	1314.44	1315.18	1315.92	1316.66	1317.40	1318.14	1318.88	1319.62	1320.36	1321.10	1321.84	1322.58	1323.32	1324.06	1324.80	1325.54	1326.28	1327.02	1327.76	1328.50	1329.24	1330.00	1330.74	1331.48	1332.22	1332.96	1333.70	1334.44	1335.18	1335.92	1336.66	1337.40	1338.14	1338.88	1339.62	1340.36	1341.10	1341.84	1342.58	1343.32	1344.06	1344.80	1345.54	1346.28	1347.02	1347.76	1348.50	1349.24	1350.00	1350.74	1351.48	1352.22	1352.96	1353.70	1354.44	1355.18	1355.92	1356.66	1357.40	1358.14	1358.88	1359.62	1360.36	1361.10	1361.84	1362.58	1363.32	1364.06	1364.80	1365.54	1366.28	1367.02	1367.76	1368.50	1369.24	1370.00	1370.74	1371.48	1372.22	1372.96	1373.70	1374.44	1375.18	1375.92	1376.66	1377.40	1378.14	1378.88	1379.62	1380.36	1381.10	1381.84	1382.58	1383.32	1384.06	1384.80	1385.54	1386.28	1387.02	1387.76	1388.50	1389.24	1390.00	1390.74	1391.48	1392.22	1392.96	1393.70	1394.44	1395.18	1395.92	1396.66	1397.40	1398.14	1398.88	1399.62	1400.36	1401.10	1401.84	1402.58	1403.32	1404.06	1404.80	1405.54	1406.28	1407.02	1407.76	1408.50	1409.24	1410.00	1410.74	1411.48	1412.22	1412.96	1413.70	1414.44	1415.18	1415.92	1416.66	1417.40	1418.14	1418.88	1419.62	1420.36	1421.10	1421.84	1422.58	1423.32	1424.06	1424.80	1425.54	1426.28	1427.02	1427.76	1428.50	1429.24	1430.00	1430.74	1431.48	1432.22	1432.96	1433.70	1434.44	1435.18	1435.92	1436.66	1437.40	1438.14	1438.88	1439.62	1440.36	1441.10

ANEXO C: DESIGNACIÓN DE VEHÍCULOS DE CARGA MÁS COMUNES

Designación	Configuración	Descripción
2		Camión de dos ejes Camión Sencillo
3		Camión de tres ejes Dobletroque
4		Camión de cuatro ejes
2S1		Tractocamión de dos ejes con semirremolque de un eje
2S3		Tractocamión de dos ejes con semirremolque de tres ejes
3S1		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de un eje
3S2		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes
3S3		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes
R2		Remolque de dos ejes