

**PROPUESTA METODOLOGICA PARA EL ANALISIS COMPARATIVO DE
ALTERNATIVAS EN PROYECTOS VIALES URBANOS UTILIZANDO
HERRAMIENTAS DE MODELACION Y SIMULACION, UN CASO DE ESTUDIO
EN LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA.**

**GONZALO EDUARDO GOMEZ COTE
JUAN PABLO PRADA ARDILA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
MAYO DE 2013**

**PROPUESTA METODOLOGICA PARA EL ANALISIS COMPARATIVO DE
ALTERNATIVAS EN PROYECTOS VIALES URBANOS UTILIZANDO
HERRAMIENTAS DE MODELACION Y SIMULACION, UN CASO DE ESTUDIO
EN LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA.**

**GONZALO EDUARDO GOMEZ COTE
JUAN PABLO PRADA ARDILA**

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

Director

Msc. Yerly Fabián Martínez Estupiñan

Profesor de la escuela de Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Co - Director

Ing. Miguel Andrés Castillo Rangel

Candidato a Magister, Universidad de São Paulo

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

2013

AGRADECIMIENTO

*Al Grupo de Investigación Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas adscrito a la escuela de Ingeniería Civil, por el apoyo que nos brindó en el desarrollo de este trabajo de investigación, recursos humanos y técnicos, acceso a información, recursos informáticos y ante todo por la formación como personas y profesionales con criterio y excelencia.
A su director, el profesor Hernán Porras Díaz y todas las personas que hacen parte de este grupo de trabajo*

Al Ing. Yerly Martínez, por su labor como docente, profesional, compañero y amigo, su apoyo y acompañamiento en la elaboración de este documento. Gracias y mil gracias por su enseñanza y transmisión de conocimiento, por cada una de sus palabras y consejos que hicieron posible este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A DIOS

Por brindarme la sabiduría y el entendimiento para afrontar el camino en busca de mis sueños.

A MIS PADRES

Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy y emprendo, por su ejemplo de vida, perseverancia y constancia, por el apoyo incondicional en cada momento y cada situación, por cada una de sus palabras que a diario me forman como ser humano. Por su infinito amor.

A MI HERMANA

Por el amor y acompañamiento que solo ella podría brindar.

A MIS AMIGOS

Por todas aquellas personas que de una u otra manera llegaron a mi vida para enseñarme y entregarme de cada uno el importante valor de la amistad. A mis incondicionales e irremplazables amigos: Mafe, Adri, Sebas y Frank. A Juan Pablo.

A MIS COMPAÑEROS

Por todas las personas que hacen parte del grupo de investigación Geomatica, en especial mi director, tutor, jefe y amigo, Yerly Fabián.

A todas y cada una de las personas que creyeron, apoyaron y acompañaron el proceso de convertirme en profesional y una mejor persona. A ti.

- *Living is easy with eyes closed*

GONZALO EDUARDO GÓMEZ COTE

En este proyecto de mi vida se logra cumplir en varios años de esfuerzo y sacrificio, gracias a la participación de varias personas, desde mis hermanas Martha como mi ejemplo a nivel personal, mi hermana Marcela con su calidez y palabras de aliento, mi hermana Marly con sus palabras de apoyo, a mi madre que siempre estuvo apoyando mis éxitos y mis fracasos, a mis pequeños angelitos mis sobrinos y en especial a mi padre el motor de este proyecto que sin él, sin sus consejos, sin sus ánimos de levantarme en cada tropiezo no se haría realidad y gracias por sus felicitaciones en cada uno de mis éxitos, mis compañeros de estudio y de trabajo en la auxiliatura.

A la Universidad Industrial de Santander, la escuela de Ingeniería Civil y en especial al grupo de investigación Geomática en el cual fue posible gracias a sus enseñanzas la finalización de este proyecto, al Ing. Edward Vargas por las enseñanzas día a día en el campo laboral, al Ing. Hernán Porras que siempre nos enseña ser mejores cada día con criterio y excelencia como un buen padre, al Ing. Yerly Martínez que formo una parte importante como consejero, maestro y ante todo amigo, al Ing. Miguel Castillo, a Gonzalo mi compañero de proyecto que ante las adversidades y éxitos siempre tenía un sentido del humor para demostrar, gracias Gonzo.

Por ultimo a la mujer que me apoyo en estos años de lucha, María Ximena que sin importar la situación siempre tuvo unas palabras de amor, de felicitaciones y ante todo creyó en mi cada instante.

JUAN PABLO PRADA ARDILA

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	16
OBJETIVOS	20
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
2. MARCO DE REFERENCIA	23
2.1 MARCO TEÓRICO	23
2.1.1 Plan de movilidad	23
2.1.2 Selección de proyectos.....	24
2.1.3 Transito	24
2.1.4 Microsimulación.....	25
2.1.5 Matriz multicriterio	26
2.2 ESTADO DEL ARTE	27
2.2.1 Plan intermodal de transporte del Perú 2004-2023.....	28
2.2.2 Proceso analítico jerárquico (PAJ).....	30
2.2.3 Plan director de infraestructura Chile 2000-2010 etapa II	33
2.2.4 Plan de movilidad del municipio de Manizales.....	35
2.2.5 Modelación de proyectos de infraestructura en el departamento de Cundinamarca	36
2.2.6 Cuantificación de beneficios de proyectos peatonales mediante el método de valor opción.....	39
2.3 CUADRO RESUMEN ESTADO DEL ARTE DE METODOLOGÍAS DE SELECCIÓN	41
3. METODOLOGÍA.....	46
3.1 REVISION DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL	46
3.2 DETERMINACION DE LA OFERTA Y DEMANDA DEL TRANSPORTE EN LA ZONA DE ESTUDIO: SITUACION ACTUAL	51
3.3 DETERMINACION DE LA OFERTA Y DEMANDA DEL TRANSPORTE EN LA ZONA DE ESTUDIO: SITUACION FUTURA.....	53
3.4 MODELACIÓN.....	54
3.5 PRIORIZACIÓN DE CRITERIOS	55

3.5.1	Definición de criterios	55
3.5.2	Asignación de pesos relativos	73
3.6	SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN.....	74
3.7	RESUMEN DE METODOLOGÍA	75
4.	CASO DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA	79
4.1	PROBLEMÁTICA ACTUAL.....	80
4.2	CASO PARTICULAR	82
4.2.1	Localización.....	83
4.3	ORDENAMIENTO TERRITORIAL.....	85
4.4	DETERMINACION DE LA OFERTA Y DEMANDA DEL TRANSPORTE EN LA ZONA DE ESTUDIO: ACTUALIDAD	87
4.4.1	Aforos peatonales.....	87
4.4.2	Aforos vehiculares	90
4.4.3	Velocidades de operación	108
4.5	DETERMINACION DE LA OFERTA Y DEMANDA DEL TRANSPORTE EN LA ZONA DE ESTUDIO: SITUACION FUTURA.....	110
4.5.1	Alternativas de solución – oferta.....	110
4.5.2	Proyección de la demanda	114
4.6	MODELACION.....	115
4.6.1	Situación actual	115
4.6.2	Situación futura - Aplicación de alternativas	118
4.7	SELECCIÓN Y JUSTIFICACION.....	147
4.7.1	Matriz multicriterio – resumen.....	147
4.7.2	Selección y justificación de la alternativa final	149
5.	CONCLUSIONES	150
6.	BIBLIOGRAFIA	152

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Evaluación multi-criterios para la priorización de proyectos	30
Tabla 2.	Escala de los nueve puntos de Saaty.....	32
Tabla 3.	Cuadro de resumen estado del arte de metodologías de selección. ...	41
Tabla 3.	Variables agregadas y variables desagregadas.	54
Tabla 4.	Pesos relativos para cada uno de los criterios	74
Tabla 5.	Ubicación de estaciones y horario de aforo peatonal.	88
Tabla 6.	Ubicación de estaciones y días de aforos vehiculares.	90
Tabla 7.	Resultados obtenidos para el flujo vehicular en la zona de estudio. ..	91
Tabla 8.	Conteo vehicular total – Estación 1.	93
Tabla 9.	Conteo vehicular total – Estación 2.	95
Tabla 10.	Conteo vehicular total – Estación 3.	97
Tabla 11.	Conteo vehicular total – Estación 4.	99
Tabla 12.	Conteo vehicular total – Estación 5.	101
Tabla 13.	Conteo vehicular total – Estación 6.	103
Tabla 14.	Conteo vehicular total – Estación 7.	105
Tabla 15.	Conteo vehicular total – Estación 8.	107
Tabla 16.	Velocidades medias de operación diarias.	108
Tabla 17.	Niveles de servicio en las intersecciones para la situación actual.....	117
Tabla 18.	Velocidades de operación simuladas para la situación actual.....	117
Tabla 19.	Resultados de tiempos de viajes y calificación total alternativa 1.....	122
Tabla 20.	Resultados de nivel de servicio y calificación total alternativa 1.....	124
Tabla 21.	Resultados de capacidad y calificación total alternativa 1.....	125
Tabla 22.	Resultados de área intervenida y calificación total alternativa 1.....	126
Tabla 23.	Resultados de impacto ambiental y calificación total alternativa 1. ..	128
Tabla 24.	Resultados de accesibilidad y calificación total alternativa 2.....	129
Tabla 25.	Resultados de nivel de servicio y calificación total alternativa 2.....	130
Tabla 26.	Resultados de accesibilidad y calificación total alternativa 2.....	131

Tabla 27.	Resultados de áreas de intervención y calificación total alternativa 2	132
Tabla 28.	Resultados de impacto ambiental y calificación total alternativa 2	....133
Tabla 29.	Resultados de accesibilidad y calificación total alternativa 3	.....133
Tabla 30.	Resultados de nivel de servicio y calificación total alternativa 3	.....134
Tabla 31.	Resultados de capacidad y calificación total alternativa 3	.....135
Tabla 32.	Resultados de áreas de intervención y calificación total alternativa 3	136
Tabla 33.	Resultados de impacto ambiental y calificación total alternativa 3	....137
Tabla 34.	Resultados de accesibilidad y calificación total alternativa 4	.....138
Tabla 34.	Resultados de nivel de servicio y calificación total alternativa 4	.....139
Tabla 35.	Resultados de capacidad y calificación total alternativa 4	.....140
Tabla 36.	Resultados de área de afectación y calificación total alternativa 4	....141
Tabla 37.	Resultados de impacto ambiental y calificación total alternativa 4	....142
Tabla 38.	Resultados de accesibilidad y calificación total alternativa 5	.....142
Tabla 39.	Resultados de nivel de servicio y calificación total alternativa 5	.....143
Tabla 40.	Resultados de accesibilidad y calificación total alternativa 5	.....144
Tabla 41.	Resultados de áreas de intervención y calificación total alternativa 5	145
Tabla 42.	Resultados de impacto ambiental y calificación total alternativa 5	....146
Tabla 43.	Resultados de matriz Multicriterio de análisis comparativo de alternativas en proyectos viales urbanos – intercambiador Kokorollo	.....148

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Que hace el PAJ, la estructura que maneja el Proceso Analítico Jerárquico.....	31
Figura 2. Esquema metodológico del modelo MODELCARGA.....	37
Figura. 3. Formato para la toma de conteos vehiculares.	52
Figura.4. Jerarquización vial actual – POT 2002.....	79
Figura. 5. Consideración de interés de la población hacia zonas de Actividad ...	83
Figura. 6. Localización General.....	84
Figura 7. Líneas de deseo de viaje en el Municipio de Barrancabermeja.	85
Figura. 8. Distribución de los viajes realizados a pie.....	88
Figura 9. Distribución espacial de los viajes realizados a pie para las 11:45 y las 12:45.....	89
Figura 10. Distribución espacial de los viajes realizados a pie para las 17:45 y las 18:45.....	89
Figura 11. Distribución de los flujos vehiculares.	91
Figura 12. Ubicación Estación 1.....	92
Figura 14. Ubicación Estación 2.....	94
Figura 15. Distribución horaria de los flujos vehiculares - Estación 2.	94
Figura 16. Ubicación Estación 3.....	96
Figura 17. Distribución horaria de los flujos vehiculares - Estación 3.	96
Figura 18. Ubicación Estación 4.....	98
Figura 19. Distribución horaria de los flujos vehiculares - Estación 4.	98
Figura 20. Ubicación Estación 5.....	100
Figura 21. Distribución horaria de los flujos vehiculares - Estación 5	100
Figura 22. Ubicación Estación 6.....	102
Figura 23. Distribución horaria de los flujos vehiculares - Estación 6	102
Figura 23. Ubicación Estación 7.....	104
Figura 24. Distribución horaria de los flujos vehiculares - Estación 7	104

Figura 25.	Ubicación Estación 8.....	106
Figura 26.	Distribución horaria de los flujos vehiculares - Estación 8.	106
Figura 27.	Corredores para la toma de velocidades.	109
Figura 28.	Corredores para la toma de velocidades.	109
Figura 35.	Proyección de la tasa de motorización a los escenarios futuros.....	114
Figura 34.	Representación de la situación actual en Transmodeler.....	115
Figura 35.	Representación de la alternativa 1 en Transmodeler.....	118
Figura 36.	Representación de la alternativa 2 en Transmodeler.....	119
Figura 37.	Representación de la alternativa 3 en Transmodeler.....	119
Figura 38.	Representación de la alternativa 4 en Transmodeler.....	120
Figura 39.	Representación de la alternativa 5 en Transmodeler.....	120
Figura 40.	Pre-diseño de la alternativa final.....	149

RESUMEN

TÍTULO:

PROPUESTA METODOLOGICA PARA EL ANALISIS COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS EN PROYECTOS VIALES URBANOS UTILIZANDO HERRAMIENTAS DE MODELACION Y SIMULACION, UN CASO DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA.

AUTOR:

GOMEZ COTE, Gonzalo Eduardo. PRADA ARDILA, Juan Pablo**.

PALABRAS CLAVES:

PLAN DE MOVILIDAD, SELECCIÓN DE PROYECTO, TRANSITO, MICROSIMULACION, MATRIZ MULTICRITERIO.

DESCRIPCIÓN:

Cada una de los proyectos que puedan llegar a plantearse en búsqueda de una solución integral para problemas en el tema de movilidad y transporte, y que conlleven la implementación de obras de infraestructura vial, necesariamente se deben soportar en un estudio de factibilidad previo que permita analizar y conceptualizar la respuesta que dicha intervención tendrá en pro del mejoramiento de la situación actual. De dicha necesidad surge este proyecto de investigación que en base a lo estipulado por el grupo de investigación Geomática, gestión y optimización de sistemas, adscrito a la escuela de Ingeniería Civil, plantea el uso de una matriz multicriterio, herramienta que servirá como apoyo para la comparación de soluciones distintas para un mismo caso de estudio mediante el uso de herramientas de microsimulación.

El presente trabajo de investigación pretende elaborar una herramienta metodológica para ser aplicada en un caso particular de estudio en la ciudad de Barrancabermeja. Dicho municipio tiene el reto común a las ciudades colombianas de impulsar el crecimiento y fortalecimiento de la infraestructura vial en miras de aumentar la competitividad ante un mundo globalizado, albergando la mayor refinería de petróleo del país. Atendiendo a esta necesidad se reconoce la gran importancia que tienen los modelos de transporte en la sustentación técnica sobre la viabilidad de proyectos de infraestructura vial.

*Trabajo de Investigación.

**Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Msc. Yerly Fabian Martínez Estupiñan. Codirector: Ing. Miguel Andrés Castillo Rangel.

ABSTRACT

TITLE:

METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR COMPARATIVE ANALYSIS OF ALTERNATIVES IN URBAN ROAD PROJECTS USING MODELING AND SIMULATION TOOL, A CASE STUDY IN THE CITY OF BARRANCABERMEJA.

AUTHOR:

GOMEZ COTE, Gonzalo Eduardo. PRADA ARDILA, Juan Pablo**.

KEYWORDS:

MOBILITY PLAN, PROJECT SELECTION, TRAFFIC, MICROSIMULATION, MULTI MATRIX.

DESCRIPTION:

Each of the projects that may come to consider in finding a solution for problems in the field of mobility and transport, and involving the implementation of road infrastructure, necessarily must support a pre-feasibility study in order to analyze and conceptualize that such intervention will answer for the improvement of the current situation. From this need arises this research project based on the stipulations of the Geomatics research group, management and optimization of systems, attached to the Civil Engineering School, discusses the use of multi-matrix, which will serve as a support tool for comparison of different solutions to the same case study using micro-tools.

The present research aims to develop a methodological tool to be applied in a particular case study in the city of Barrancabermeja. This municipality has the common challenge to Colombian cities to boost growth and strengthen the road infrastructure in order to increase competitiveness in a globalized world, hosting the largest oil refinery in the country. In response to this need is recognized the great importance of transport models in the technical support the viability of transportation infrastructure projects

* Research paper.

**Physical-Mechanical Engineering Faculty Civil Engineering School, Director Msc. Yerly Fabián Martínez Estupiñan. Codirector: Ing. Miguel Andrés Castillo Rangel.

INTRODUCCIÓN

Diariamente, en la cotidianidad de nuestras vidas, tenemos la gran responsabilidad de tomar decisiones tanto en el ámbito personal como en el profesional, siendo este proceso natural, el responsable del éxito, o no, de todo lo que emprendemos. La correcta toma de decisiones consiste en tener clara la meta que se quiere alcanzar, los objetivos que se deben cumplir para llegar a ella, las alternativas de solución disponibles y los criterios para evaluar la eficiencia y el impacto que cada una de dichas alternativas tiene en la consecución final de la meta propuesta; resulta claro que este proceso analítico sistemático tendrá éxito si se respalda de un correcto proceso de planeación. Por tanto, establecer una metodología para la toma de decisiones se hace completamente necesaria y vital para la correcta puesta en marcha de proyectos de infraestructura vial que a la final ciñen el desarrollo futuro de una sociedad.

Los proyectos que conllevan el planteamiento de soluciones de movilidad representadas en obras de infraestructura vial deben soportarse en un levantamiento de información primaria como lo son los aforos vehiculares, toma de tiempos de viaje, matrices origen-destino, entre otros y serán parte de un proceso de análisis que sirva como soporte de las decisiones tomadas con el apoyo de los software de modelamiento de tránsito y transporte, permitiendo establecer escenarios de la situación actual y las alternativas de propuesta de solución e intervención. Por lo tanto con esta investigación se pretende proponer una metodología que en base a la elección y ponderación de criterios, permitía un análisis comparativo que contraste detalladamente cada escenario propuesto, lo que llevara a una mejor priorización de las alternativas en el caso particular de la ciudad de Barrancabermeja, para este análisis se contara con la información de campo primaria y secundaria recopilada por el Grupo de Investigación GEOMATICA, Gestión y Optimización de Sistemas.

El Municipio de Barrancabermeja en su plan de desarrollo, plantea el propósito de renovar la ciudad y sus espacios públicos mediante el mejoramiento de la infraestructura y la movilidad, por tanto se hace de vital importancia contar con una metodología que sirva como herramienta y que permita el correcto análisis y a su vez facilite la toma de decisiones basados para su implementación en modelos de microsimulación que permitan la implementación de diferentes escenarios y analizar diferentes posibilidades.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Establecer una propuesta de metodología para realizar un análisis comparativo de alternativas en el planteamiento de proyectos viales urbanos, basados en modelos de microsimulación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el estado del arte acerca de las metodologías existentes para realizar un análisis comparativo de alternativas en proyectos de infraestructura vial urbana.
- Determinar los indicadores adecuados para el análisis comparativo de alternativas de proyectos de infraestructura vial urbana.
- Implementar el uso de herramientas de micro-simulación en transporte para la predicción del comportamiento de sistemas de tráfico y cálculo de los indicadores de comparación establecidos.
- Aplicar en un sector específico del municipio de Barrancabermeja la metodología de análisis comparativo propuesta.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, Colombia afronta uno de los retos más importantes para las sociedades en desarrollo: impulsar el crecimiento y fortalecimiento de su infraestructura vial para ser más competitiva ante un mundo globalizado¹, cobrando especial importancia la inversión en infraestructura vial urbana toda vez que es allí, en las ciudades, donde reside la mayoría de la población y producción económica del país. En este contexto, y sin ser ajena a la situación nacional, la ciudad de Barrancabermeja precisa de una fuerte inversión en infraestructura vial urbana para solventar los problemas de competitividad que atraviesa como consecuencia de su atraso en esta materia, el cual contrasta con el rol singular que ejerce el municipio para la región oriental de Colombia al albergar a la mayor refinería petrolera del país.

Por otra parte, de acuerdo a la política nacional se hace necesario que la inversión en infraestructura vial urbana requerida por el municipio de Barrancabermeja – y en general por otras tantas municipalidades en Colombia- sea acompañada por un estudio sólido que a partir de un procedimiento técnico permita optar por ejecutar el proyecto que proporcione la mayor rentabilidad posible, bajo las limitaciones presupuestales y las condiciones propias de la localidad en términos de tránsito, impacto ambiental y socio-cultural, entre otros; procedimiento del cual actualmente carece el municipio de Barrancabermeja. Atendiendo a lo anteriormente expuesto, y reconociendo la importancia que tienen los modelos de transporte en la sustentación técnica sobre la viabilidad de un proyecto de infraestructura vial, surge la inevitable pregunta: ***¿Cuál de las diferentes alternativas de solución nos garantizara el éxito del proyecto y la satisfacción de la necesidad que se tiene?*** La presente investigación pretende

¹ Organización Mundial del Comercio. Informe sobre el comercio mundial 2004. Capítulo B: La infraestructura en el comercio y el desarrollo económico. Pág. 124-138.

establecer una propuesta metodológica basada en modelos de micro-simulación y en información primaria y secundaria obtenida del Grupo de Investigación GEOMATICA, que permita realizar un análisis comparativo entre alternativas de proyectos de vialidad urbana, y aplicarla a un caso de estudio en el municipio de Barrancabermeja; buscando con ello brindar una herramienta que pueda ser considerada por todos los órganos encargados de la planeación de proyectos de infraestructura vial urbana en el país y particularmente en el municipio de Barrancabermeja.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO

A continuación se definen algunos conceptos que se hacen imprescindibles para el desarrollo de este proceso de investigación:

2.1.1 Plan de movilidad

Un plan de movilidad es un estudio socio-urbanístico en el cual recoge un conjunto de estrategias que permiten a una zona urbanística un ordenamiento y planeación en el ámbito del transporte vehicular y peatonal logrando una integración sostenible que facilite la accesibilidad de toda la comunidad a los medios de transporte disminuyendo la dependencia del transporte privado buscando la integración de los subsistemas.

El transporte de las ciudades en Colombia debe regirse por principios, los cuales deben ser el eje fundamental de cualquier plan de movilidad que se gestione para una comunidad, dichos principios son:

- Eficiencia en la utilización de recursos según criterios de seguridad.
- Responsable con la regulación y servicios de gran calidad.
- Equitativo para todos los ciudadanos de transportarse rápidamente, tarifas bajas y respetando algún tipo de discapacidad.
- Ambientalmente sostenible, es decir, todas las propuestas deben procurar conservar un ambiente fuera de ruido, con aire puro y que reduzca la accidentabilidad.
- Garantizando que cada ciudadano tenga acceso y movilidad a los medios de transporte.

La implementación de un plan de movilidad en una ciudad busca el fortalecimiento de su infraestructura vial permitiendo planificación, gestión y control del transporte, llevando a la movilidad de una sociedad sostenible generando menor impacto ambiental y a la ciudadanía².

2.1.2 Selección de proyectos

Es una herramienta que permite establecer, para el caso particular, en el sector del tránsito y transporte de ámbito nacional, departamental o local, así como entes desconcentrados y órganos adscritos a dicho sector, un procedimiento que lleva a una gestión, control, desarrollo y ejecución de proyectos de infraestructura vial, de manera que responda a aspectos técnicos y métodos que estandaricen los criterios a la hora de selección contribuyendo de una manera racional, eficiente, oportuno y eficaz el uso de los recursos, por medio de un sistema de puntajes y ponderación el cual producirá una nota, logrando una comparación más eficiente con una relación de mayor ganancia y menor impacto en aspectos sociales, económicos y de movilidad.

2.1.3 Transito

Se utiliza los término tránsito para describir el movimiento de vehículos y/o personas que se desplazan sobre un camino o calle y el termino tráfico para hacer referencia a los elementos transportados por cualquier medio, además se hace también necesario definir que es transporte, el cual consiste en el traslado de personas o bienes desde un lugar hasta otro e incluye todos los medios e infraestructuras implicados en el movimiento es decir abarca a cada uno de los dos términos definidos anteriormente: tránsito y tráfico.

² Visión Colombia II centenario 2019 ciudades amables. Pedro Luis Jiménez. Departamento Nacional de Planeación.

Los elementos que integran el tránsito son; la infraestructura (camino, terminales, etc.), el vehículo y el usuario. El camino es la faja de terreno acondicionado para el tránsito de vehículos, (calles, caminos, brechas, carreteras, autopistas etc.), el vehículo es el que cuenta con sistema de propulsión autónoma o mecánica es decir que lleva su propio motor y son de 2,4, 8 o más ruedas o son impulsados físicamente por el conductor, destinados al transporte de personas o carga (bicicletas, motos, automóviles, camiones, etc.) y el usuario o persona puede participar como conductor, pasajero, y peatón, ya que es un factor determinante en la toma de decisiones.

2.1.4 Microsimulación

Las herramientas de micro-simulación permiten para un área específica, evaluar ciertas características e indicadores representativos del comportamiento del tránsito sobre una red vial. Estos modelos abren la posibilidad de un análisis previo de la viabilidad y conveniencia de cualquier proyecto de infraestructura vial, facilitando la comparación de varias posibilidades mediante indicadores comunes a dichas soluciones. Algunos de los parámetros resultantes una vez corrida la simulación y que son de vital importancia en nuestro estudio son: volúmenes de autos, tiempos totales de viaje y velocidad media de operación.

Transmodeler es una herramienta aplicable a una amplia gama de planificación del tráfico y tareas de modelado. Para esta investigación Transmodeler será usado como herramienta que permite modelar diversos proyectos para evaluar el comportamiento del sistema de tráfico en un ámbito de micro simulación; con el fin de compararlos y que sirva de apoyo para la selección de la mejor alternativa. El programa genera como datos de salida resultados estadísticos utilizados para tomar la decisión adecuada y que finalmente se busca al modelar dichas alternativas. Si bien existen otras herramientas de modelación y simulación,

Transmoder se ciñe correctamente a los objetivos planteados en este trabajo de investigación.

2.1.5 Matriz multicriterio

El análisis multicriterio es una herramienta que satisface de manera correcta el procedimiento para una correcta toma de decisiones, ya que permite emitir un previo juicio comparativo entre soluciones heterogéneas confrontando características homogéneas entre ellas. Esta metodología brinda la posibilidad de combinar distintos objetivos que estén involucrados en la toma de decisiones, satisfaciendo la necesidad y garantizando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

La principal característica del análisis multicriterio es la facilidad que esta metodología brinda de integrar diferentes factores en el proceso de evaluación, estableciendo una misma escala que permita comprar los diferentes elementos y establecer un orden de prioridades. Fijándose en el flujo de información existente entre dos de los actores más destacados del proceso de toma de decisiones, el analista y el decisor (Moreno Jiménez, 1989), las técnicas multi-criterio pueden clasificarse en³:

- Técnicas sin información a priori (generadoras): Son aquellas en las que el flujo de información va desde el analista al decisor. Entre estas técnicas destacan: el método de ponderaciones, el de la ϵ -restricción y el simplex multi-criterio.
- Técnicas con información a priori: El flujo de información es en el sentido contrario, del decisor al analista.
- Dentro de este grupo de técnicas se suele hacer otra distinción, según el número de alternativas que tenga el problema: finito o infinito. Si el conjunto de alternativas es infinito se suelen aplicar aproximaciones basadas en optimización, en las que se supone que los distintos objetivos pueden ser

³ Evaluación Multicriterio: aplicación para la formulación de proyectos de infraestructura deportiva. Sara Arancibia

expresados en un denominador común mediante intercambios. Destacan en este apartado los métodos de Programación por Compromiso o Programación por Metas. Si el conjunto de alternativas es discreto, hacemos la siguiente diferenciación:

- Métodos de Agregación: En este tipo de Métodos se modelaban las preferencias a través de una función valor:
 - Directos: Teoría de Utilidad Multi-atributo (MAUT).
 - Jerárquicos: Proceso Analítico Jerárquico (AHP).
 - Métodos basados en relaciones de orden: Se modelaran las preferencias a través de un sistema de relaciones binarias:
 - Métodos de Superación (MS)
- Técnicas en las que el flujo de información es en los dos sentidos, dando lugar a las denominadas técnicas interactivas. Dentro de este conjunto de métodos, los más utilizados han sido: STEM y Método de Ziots-Wallenius. En la actualidad, casi todos los métodos pueden considerarse dentro de este último grupo, bastando para ello que el decisor revise sus juicios dentro del proceso de toma de decisiones.

2.2 ESTADO DEL ARTE

El término estado del arte se atribuye a Aristóteles en su primer libro de Metafísica y hace referencia al nivel más alto de desarrollo conseguido en un momento determinado sobre cualquier campo.⁴ Es la primera etapa que se debe desarrollar dentro de una investigación ya que nos permite ir detrás de la actualidad del tema a tratar, saber que se ha hecho y de esta manera evitar duplicar esfuerzos o caer en errores ya superados, y se debe establecer en búsqueda de los objetivos planteados.

⁴ Aristóteles. *Metafísica*, libro I, caps. 1 -3. Ed. Gredos. Madrid

La correcta toma de decisiones en términos de infraestructura urbana es una prioridad en el desarrollo de cualquier sociedad y con anterioridad ha sido tratado y citado en diferentes medios tanto del ámbito local como internacional. Para esta parte de nuestra investigación hemos considerado fundamental destacar:

2.2.1 Plan intermodal de transporte del Perú 2004-2023

Un caso particular es en Perú, el cual en los últimas décadas se ha propuesto diferentes planes de desarrollo sectorial en el campo del transporte permitiendo un avances en su sistema vial de infraestructura, desde 1965 hasta la fecha; el ministerio de transporte y comunicaciones es el encargado de diseñar, normar y ejecutar la política de desarrollo en el ámbito del transporte, correspondiéndoles a su vez la formulación de los planes de desarrollo en cada sector particular del Perú, esto como parte del fortalecimiento institucional contempladas en el contrato de préstamo N° 1150/OC-PE⁵ suscrito por el gobierno del Perú y el banco interamericano de Desarrollo, se dispuso como alternativa administrativa del gobierno para cumplir con lo propuesto, la elaboración de un plan que permita diagnosticar, orientar, velar y ejecutar los proyectos de infraestructura vial, portuaria y aérea del Perú entre los años 2004 al 2023, dicho plan con participación de PROVIAS NACIONAL , Oficina General de Planificación y Presupuesto y el ministerio de transporte y comunicación elaboraron y divulgaron el “ Plan Intermodal de Transporte del Perú 2004-2023”.

“Plan Intermodal de Transporte del Perú 2004-2023” busca dar las herramientas necesarias para los sectores públicos y privados que se enfrenten en la elaboración, control y diseño de proyectos de infraestructura vial, portuaria y aérea, manteniendo como prioridad la correlación de los componentes de un sistema de transporte integro como los son vehículos y equipos – infraestructura – regulación, sin embargo se vio necesario encontrar las oferta y demandas del

⁵ Ministerio de Transporte y Comunicación del Perú. Plan Intermodal de Transporte del Perú. Informe Final Parte 1-Apéndice 8/3. 2005: Préstamo BID N° 1150/OC-PE. Pág. 6.

transporte , una modelación de dichas variables y proyecciones del transporte, un diagnóstico de los limitantes y alternativas a proyectar, una evaluación de costos, de financiamiento, de impacto ambiental y una formulación final del plan a medio plazo como a largo plazo, esto permitiendo llegar a crear una plan que gestione por tareas los diferentes pasos que afronta un proyecto de infraestructura de comunicación; las tareas que nos estipula el plan a ejecutar son:

- Recopilación y análisis de información
- Modelo de transporte
- Diagnostico
- Evaluación
- Formulación del Plan intermodal
-

Para nuestro proyecto se escoge este plan como una metodología a seguir en la partición de información y evaluación en la priorización de proyectos viales por medio de una matriz multi-criterio, permitiendo una cuantificación de los criterios a utilizar para la sintetización de ellos, realizándolo por medio de un sistema de puntajes; luego se realiza una importancia relativa de los criterios por un sistema de ponderación y la combinación de ambos sistemas produce la nota final que expresa la pertinencia global del proyecto y permite compararlo con los demás en competición (Figura 1). Esto permitiendo que la nota más alta corresponde siempre al más alto nivel de prioridad, mayor rentabilidad económica, menores riesgos naturales e impactos ambientales, mayor impacto social y conformidad con planes existentes⁶.

⁶ Ministerio de Transporte y Comunicación del Perú. Plan Intermodal de Transporte del Perú. Informe Final Parte 4- Capítulo 9. 2005: Principios generales. Pág. 9-1.

Tabla 1. Evaluación multi-criterios para la priorización de proyectos

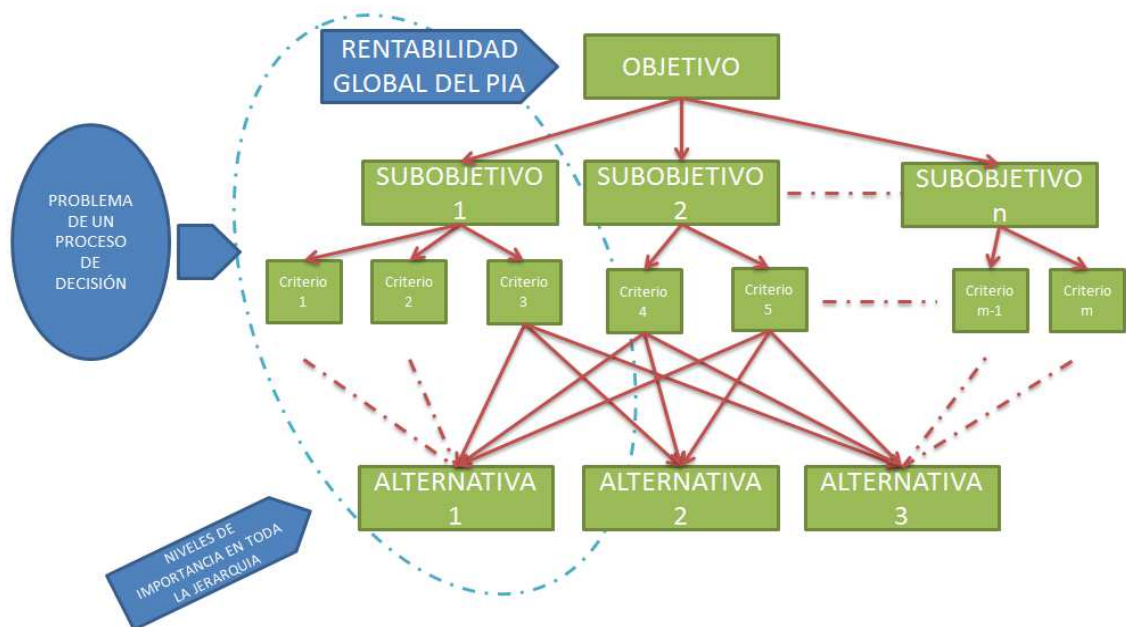
CRITERIO	RANGOS DE NOTAS		PONDERACION
	Mínimo	Máximo	
Evaluación económica	1	10	50%
Riesgos naturales	1	10	7.5%
Impacto en el medio ambiente	1	10	7.5%
Impacto sociales	1	10	15%
Apoyo a las exportaciones	0	10	5%
Potencial turístico	0	10	5%
Integración nación	0	10	5%
Integración internacional	0	10	5%
TOTAL			100%

Fuente: Plan Intermodal de Transporte del Perú, Capítulo 9.

2.2.2 Proceso analítico jerárquico (PAJ)

El proceso analítico jerárquico (PAJ) desarrollado por Thomas Saaty en la década de 1970 y posteriormente actualizado en los años 1980, 1994 y 2006, se presenta como una estructura y análisis para situaciones complejas, siendo un apoyo notable en la toma de decisiones en objetivos múltiples. El PAJ para esta investigación será el proceso base que permitirá el análisis y creación de la matriz multi-criterio para la evaluación de la priorización de las alternativas en proyectos de infraestructura vial, logrando una abreviación de los criterios influyentes en un caso particular realizándolos por medio de una puntuación según el nivel jerárquico establecido, sin dejar atrás el análisis de importancia relativa de los criterios influyentes en un sistema de ponderación y la combinación de ambos sistemas nos producirá una nota final que expresara la conveniencia del proyecto con respecto a los criterios evaluados.

Figura 1. Que hace el PAJ, la estructura que maneja el Proceso Analítico Jerárquico.



Fuente. Elaboración propia.

El PAJ se establece según unos pasos sucesivos que permitan la elaboración de la matriz Multi-criterio, sin embargo bajo diferentes circunstancias algunos de los pasos serán repetidos sucesivamente o alternadamente, en aquellos casos donde se detecte una estimación inconsistente. La evaluación del cálculo de las prioridades subjetivas para la consistencia es otro rasgo característico del método⁷. Para la óptima ejecución del PAJ es necesario realizar los siguientes pasos:

- **FORMACIÓN DE LA JERARQUÍA:** Se debe realizar una delimitación de diferentes alternativas y los sub objetivos, sin olvidar la relación de niveles sucesivos, dándole la misma importancia a los elementos del mismo nivel, sin considerar la cuantificación de criterios.

⁷ Proyecto Piloto para el Programa de Autopista Urbanas (PAU) en Colombia. Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) Presentación.

- **DETERMINACIÓN DE LAS PRIORIDADES:** Se ejecutara una comparación de pares con otros del mismo nivel, determinando la importancia con respecto a la preferencia, expresada mediante una escala relacional y se determina un valor de la escala según importancia del criterio a tener "ver escala de los nueve puntos de Saaty"

Tabla 2. Escala de los nueve puntos de Saaty.

VALOR DE LA ESCALA	DEFINICION	INTERPRETACION
1	Igual importancia	Ambos elementos en comparación tienen la misma importancia
3	Ligeramente más importante	La experiencia y la estimación sugieren una importancia ligeramente mayor de un elemento con respecto al otro elemento
5	Definitivamente más importante	La experiencia y la estimación sugieren una importancia considerablemente mayor de una elemento con respecto al otro elemento
7	Mucho más importante	La importancia es mucho mayor de un elemento en comparación con el otro elemento, que se ha demostrado claramente en el pasado.
9	Absolutamente más importante	La máxima diferencia de importancia entre los dos elementos
2,4,6,8	Valores Intermedios	

Fuente: Elaboración propia

- **CALCULO DE LA PONDERACIÓN DE LOS FACTORES:** Se realiza una comparación de los factores según la escala de los nueve puntos de Saaty, para la determinación de la importancia de ella.
- **MEDICIÓN DE LA CONSISTENCIA DEL CÁLCULO DE PRIORIDADES:** Determinamos los valores de consistencia según el auto valor máximo según las dimensiones de la matriz y el valor de promedio, esto permite el poder obtener una comprobación si la matriz utilizada es consistente con los criterios calificados, si el valor de consistencia es menor de 0,1 es lo suficientemente consistente, pero si es mayor es necesaria una revisión y re-examinación de las comparaciones de pares.

- DETERMINACIÓN DE LAS PRIORIDADES (GLOBALES) PARA TODOS LOS SUBOBJETIVOS Y ALTERNATIVAS CON RESPECTO A LA JERARQUÍA TOTAL.

2.2.3 Plan director de infraestructura Chile 2000-2010 etapa II

Enfoca uno de sus numerales a plantear una metodología de priorización de proyectos, centrando su objetivo en la consecución de un método de análisis basado en indicadores meramente económicos. Como puntos de eje central para permitir una priorización de proyectos encontramos la productividad y la demanda de nuevos empleos⁸. En la primera etapa de este plan se formularon tres alternativas metodológicas de priorización, las cuales fueron:

- **COEFICIENTES MICROECONÓMICOS:** Esta primera alternativa sugirió la creación de un sistema de reglas de priorización de inversiones en base a coeficientes microeconómicos, los cuales fueron catalogados como óptimos para la economía local, priorizando aquellos proyectos en los cuales encontramos que la relación Impacto Productivo/Inversión y Aumento de empleos/Inversión es mayor.

Si tenemos en cuenta el enfoque económico que se dio en dicho plan para la toma de decisiones de infraestructura vial, esta metodología era sin duda la más adecuada, sin embargo su aplicación no pudo llevarse a cabo teniendo en cuenta que la mayoría de proyectos solo estaban planteados como idea, lo que imposibilitaba el acceso a información vital y forzaba su implantación a la planificación de proyectos a largo plazo.

- **ÁRBOL DE DECISIONES:** Un árbol de decisiones es un modelo de predicción que se basa en reglas que sirven para representar y categorizar una serie de condiciones que ocurren en forma sucesiva y que conllevan a la resolución de un problema. En esta alternativa el juicio se basó en

⁸ Dirección de Planeamiento, Ministerio de Obras Públicas de Chile. Plan Director de Infraestructura Chile 2000 – 2010. Cap. 7 Pág. 1

información bastante amplia y que había sido trabajada con anterioridad en el mismo documento, los coeficientes de impacto, indicadores económicos y estudios ya realizados se constituían en la base de esta metodología.

Para el caso específico en el desarrollo de dicha metodología, se plantearon dos árboles paralelos, el primero tuvo como objetivo principal el aporte del proyecto a la producción y a la generación de empleo y su implicación en distintos sectores de la economía local; el segundo árbol da cuenta del balance entre oferta y demanda, haciendo énfasis en priorizar el crecimiento relativo de la demanda para cada tipo de infraestructura. Como conclusión los resultados arrojados por los dos tipos de árboles para esta metodología deben ser combinados y finalmente analizados para una toma de decisión.

- **PRIORIZACIÓN DE DISTINTOS CRITERIOS:** La priorización de proyectos de infraestructura basándose en criterios consiste en analizar y comparar distintas alternativas de forma separada contrastando entre ellas parámetros que son fundamentales y comunes según la necesidad local. En el “Plan Director de Infraestructura Chile 2000 – 2010 Etapa II” para este proceso se tuvo en cuenta parámetros como: la demanda de empleo, la contribución a la producción y el balance Oferta/Demanda.

Esta última alternativa fue la seleccionada para el desarrollo del plan, se implementó con el uso de árboles de decisión basándose en juicios comparativos y haciendo uso de la información que ya existía. Finalmente se establecieron tres arboles de decisión que tuvieron objetivos diferentes pero que luego serían fusionados para la toma de la decisión final, los cuales fueron: aumentar producto, aumentar empleo y contribuir al balance oferta/demanda.

2.2.4 Plan de movilidad del municipio de Manizales - 2010

Para la formulación del Plan de Movilidad del Municipio de Manizales, se estableció una metodología de priorización de proyectos la cual tiene su centro en parámetros completamente necesarios como lo son: la evaluación de impactos sobre los tiempos medios de viaje, el análisis de demanda de los proyectos, el modelo de crecimiento urbanístico y el análisis de accidentalidad, para cada uno de los proyectos a estudio.

La metodología que establecieron para la ciudad de Manizales consiste en determinar una cuantificación que permita ponderar el efecto que tiene cada uno de los parámetros establecidos sobre cada una de las soluciones planteadas siguiendo el siguiente proceso⁹:

- **ACCESIBILIDAD:** Se realiza un análisis pre-proyecto y post-proyecto, es decir, inicialmente se tomó la actualidad de la red del área en estudio y posteriormente se incluyó a dicha red el proyecto a realizar, obteniendo de esta manera un nuevo análisis que permita concluir el impacto que generara el proyecto en estudio. De esta manera se obtuvo una curva gradiente de accesibilidad restando los parámetros con proyecto menos parámetros sin proyecto. En el desarrollo de este paso del proceso metodológico se utilizaron variables que estaban relacionadas con la movilidad como área, viviendas y población, entre otros. Finalmente se estableció un escalafón comparativo de los resultados obtenidos para cada uno de los diferentes proyectos.
- **MODELACIÓN:** A partir de una malla vial se realiza una asignación de tránsito mediante una matriz origen-destino para el sistema de transporte privado. Esta matriz se basa en parámetros como: longitud de arco, capacidad de arco, tiempo de viaje, tipo de arco, dirección, sentido y precarga.
- **ACCIDENTALIDAD:** El análisis de accidentalidad permite realizar una evaluación de la frecuencia tanto de diferentes sitios específicos localizados geo espacialmente, como de reiteración de accidentes en dichos sitios durante

⁹ F. García. D. Escobar. L. Vásquez. Metodología para la priorización de proyectos. Artículo Pág. 2.

el periodo de análisis. Se establece un Factor Multiplicador Promedio el cual representa el aumento o la disminución del valor del número de accidentes equivalentes para cada sitio específico, para finalmente constituir un índice de prioridad estimado.

- **ORDENAMIENTO TERRITORIAL:** Estos planes de ordenamiento territorial hacen referencia a proyectos de movilidad, los cuales pueden hacer parte de distintos estados de desarrollo y cada estado describe una condición que puede ser considerada de priorización.

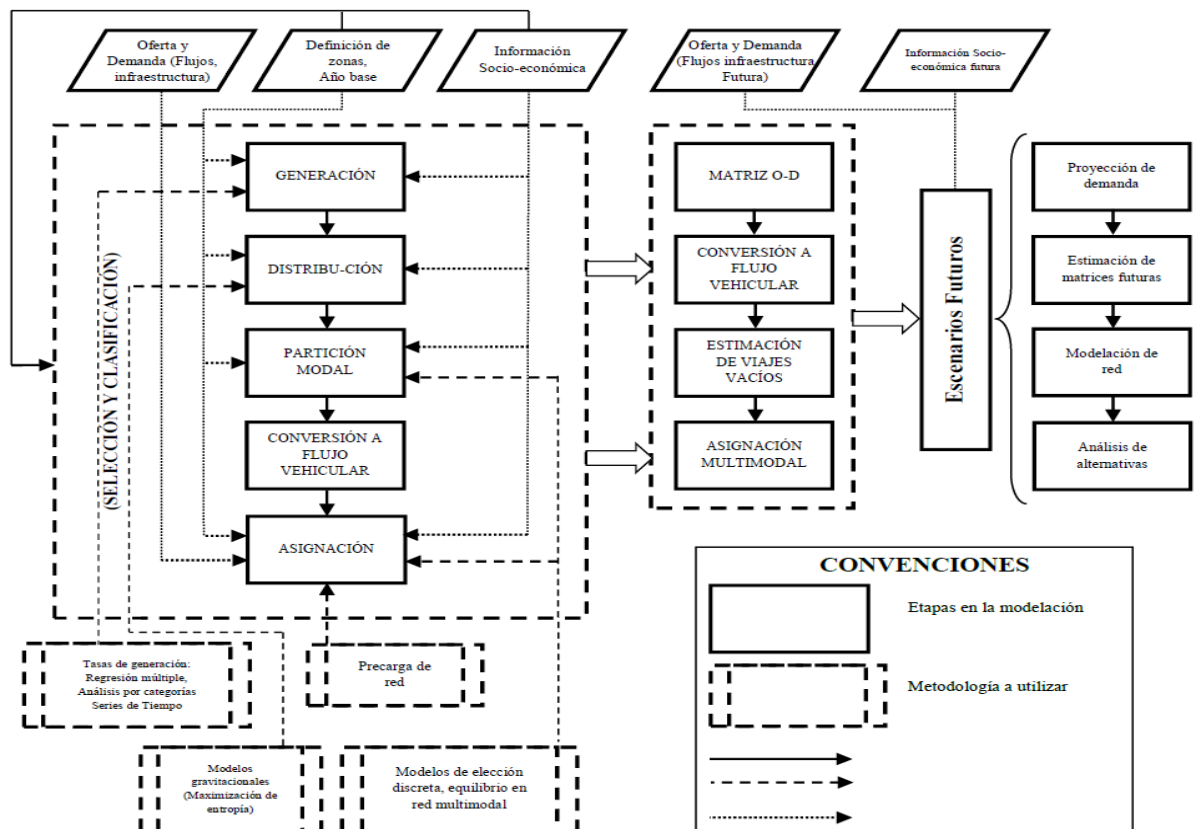
2.2.5 Modelación de proyectos de infraestructura en el departamento de Cundinamarca - 2008

El instituto de infraestructura y concesiones de Cundinamarca (ICCU) identificó la necesidad, oportunidad y conveniencia de generar un modelo de transporte de carga y pasajeros para Cundinamarca, con el cual se pueden hacer simulaciones para evaluar el impacto de nuevos proyectos de infraestructura. Por lo tanto se construyó un modelo que tenía en cuenta los modos de transporte que conforman la red vial del departamento y fundamentados en un diagnóstico sujetado a los componentes de oferta y demanda, tanto para transporte de carga y pasajeros, siendo el modelo una herramienta de análisis de estudio para ahorros de costo y tiempos de viaje en la operación vehicular, de una manera cualitativa y cuantitativa, mostrando el beneficio de inversión, operación y mantenimiento en el proyecto contra beneficios del desarrollo.

La modelación de corredores en el departamento de Cundinamarca se ha ejecutado diferentes ejercicios previos adelantados por diferentes entidades nacionales, sin embargo el modelo de transporte en que se basa dicha modelación es el modelo de transporte más importante concebido en el país a escala nacional, el MODEL CARGA (Unión Temporal Modelación del Transporte, 2008) contratado por COLCIENCIAS, el Ministerio de Transporte y el SENA, con la Unión Temporal

Modelación de Transporte (UT), se desarrolló para evaluar opciones en materia de infraestructura para aumentar la competitividad de los productos colombianos, pero no considero entre sus componentes ni los costos de viaje, ni la modelación directa del transporte de pasajeros¹⁰.

Figura 2. Esquema metodológico del modelo MODELARGA



Fuente: L. Márquez. L. Leguizamón. Modelación de proyectos de infraestructura en el departamento de Cundinamarca. Artículo Pág. 3.

Finalmente la modelación se utilizó la herramienta de modelación TRANSCAD (Caliper Corporation, 2005) que se propone en la elaboración del modelo y es de gran acogida por parte de las entidades públicas y privadas relacionadas con el

¹⁰ L. Márquez. L. Leguizamón. Modelación de proyectos de infraestructura en el departamento de Cundinamarca. Artículo Pág. 2.

tema del sector de transporte. La metodología a realizar es la obtención de información de demanda soportada técnicamente, para ello se consideraron las siguientes prioridades generales.

- Revisión y Análisis de la información disponible
- Actualización y complemento de los estudios y modelos existentes
- Simulación de proyectos pilotos específicos
- Capacitación

En la modelación con tener un propósito en la elección y clasificación de tramos homogéneos para la ejecución del cálculo de la capacidad vial y mantener semejante el modelo de referencia, la red vial se tomó con calzadas sencillas de dos carriles clasificándola según tres parámetros fundamentales:

- Tipo de Terreno
- Superficie de Rodadura
- Estado de la Superficie

Es necesario determinar los costos de operación de cada arco, caracterizado por su costo unitario, permitiendo realizar el producto del costo por la distancia para encontrar un valor de costo total, los cuales no fueron contemplados en modelo de referencia MODEL CARGA, permitiendo el uso de algoritmos de asignación complejos.

Técnicamente, el problema del cálculo de una matriz que sea consistente con un conjunto de conteos de tráfico ha sido de interés metodológico desde hace más de veinte años. En términos generales, la metodología subyacente a la estimación de una matriz OD se basa en la coherencia que debe existir entre el patrón de elección de ruta y la predicción de flujos de tránsito como resultado de un proceso de asignación. Algunos métodos asumen proporciones fijas de flujo para cada

arco de la red, pero eso no es deseable, particularmente si se trabaja en un problema de equilibrio¹¹.

Una parte fundamental en el proyecto es la calibración del modelo según la referencia del modelo en este caso MODELCARGA, por lo tanto se hizo variando sistemáticamente el valor del tiempo según cada clase vehículo, al igual que los factores de equivalencia vehicular, con el objeto de aproximar los tránsitos modelados a los tránsitos observados.

2.2.6 Cuantificación de beneficios de proyectos peatonales mediante el método de valor opción - 2007

El termino valor de opción fue acuñado y ampliamente desarrollado por el economista americano Burton Weisbrod para referirse a la idea de que las personas pueden obtener un beneficio de tener acceso al uso de un bien o servicio público, incluso si no están seguros de si realmente los van a usar¹². En otras palabras es el valor extraordinario que los entes económicos estarían dispuestos a pagar por tener la opción de consumir o utilizar un bien o servicio en el futuro, incluso sin estar completamente seguros de llegar a usarlos y obtener beneficio de ellos en algún momento. El valor de opción coexiste con la incertidumbre, aversión al riesgo y una propensión a usar dicho bien.

A pesar de tener su origen en la economía ambiental, la teoría del valor de opción ha sido implementada a numerosas áreas de la administración de bienes públicos y privados, siendo el transporte una de sus aplicaciones. Un caso ejemplo es el usuario de automóvil particular que nunca o casi nunca hace uso del

¹¹ L. Márquez. L. Leguizamón. Modelación de proyectos de infraestructura en el departamento de Cundinamarca. Artículo Pág. 7.

¹² Brookshire, D.S., L.S. Eubanks and R.A. Randall, 1983. "Estimating Option Prices and Existence Values in Wildlife Resources," Land Economics, 69: 1-15

transporte público, sin embargo le asigna a este servicio un valor de opción considerando la inesperada posibilidad de falla en su vehículo. Para este caso la incertidumbre refiere la eventual falta de acceso a su vehículo particular y la aversión al riesgo a la imposibilidad de llegar a su destino.

El método de valor de opción fue aplicado en la cuantificación de beneficios para la factibilidad de proyectos peatonales en la ciudad de Puerto Montt, Chile. Allí se propuso convertir en peatonal un área del centro de la ciudad lo cual llevaría consigo la reasignación de flujos vehiculares a rutas alternativas y la creación de un sendero peatonal en una importante zona residencial de la ciudad. La metodología se basó en encuestas de opinión en las que por medio de fotos se presentaba al encuestado la situación actual y con el uso de fotomontajes la situación proyectada, a su vez se les preguntaba si les parecía buena la idea y se anotaba la razón de su respuesta. Si la respuesta era afirmativa se pasaba a preguntar cuál de las siguientes noticias le parecería mejor:

- Se construyó el proyecto
- Bajó el valor de su arriendo o dividendo o contribuciones (el que aplique) en cierta cantidad por mes

Si prefería la rebaja, se preguntaba de nuevo con montos menores, hasta llegar a un valor mínimo de \$50, o hasta que cambiaba su elección. Si prefería el proyecto, se preguntaba de nuevo con montos mayores, hasta que cambiaba su decisión o alcanzaba un máximo predefinido. Por último se preguntaba el tamaño de la familia y el ingreso mensual que dicha obtenía.

2.3 CUADRO RESUMEN ESTADO DEL ARTE DE METODOLOGÍAS DE SELECCIÓN

Tabla 3. Cuadro de resumen estado del arte de metodologías de selección.

METODOLOGÍA	CRITERIO	ETAPAS PARA LOGRARLO	PROCEDIMIENTO
Plan Intermodal De Transporte Del Perú 2004-2023	Socio-económico, Gestión, Movilidad y Transporte	Recopilación y análisis de información	Levantamiento de Información por medio de aforos vehiculares y toma de tiempos de viaje y su análisis respectivo
		Modelo de transporte	Simulación de la información recolectada creando un modelo de transporte para mejor comprensión
		Diagnostico	Determinar los puntos positivos y negativos del modelo de transporte teniendo en cuenta parámetros específicos (criterios)
		Evaluación	Optimación de todo el sistema en el análisis del estudio previo
		Formulación del plan intermodal	Ejecución y análisis para la formulación del sistema de selección más optimo
Proceso Analítico Jerárquico (PAJ)	Elección de Criterios	Formación de la Jerarquía	Selección de los niveles sucesivos dando la misma importancia a todos los elementos del mismo nivel sin considerar la cuantificación de criterios

		Determinación de las prioridades	Determinación de un valor de importancia según la escala de Saaty para los criterios de elección, con una comparación de pares de niveles si la elección del criterio es necesaria
		Calculo de la ponderación de los factores	Determinación de los factores elegidos para la ejecución de los cálculos de importancia según el criterio elegido
		Medición de la consistencia del cálculo de prioridades	Determinación del valor de consistencia para la comprobación de la matriz es idónea con respecto a los criterios elegidos
		Determinación de las prioridades (globales) para todos los subjetivos y alternativas con respecto a la jerarquía total	Determinación de la importancia de los criterios elegidos y sus factores de importancia con respecto a la jerarquía total de la matriz
Plan Director De Infraestructura Chile 2000-2010 Etapa II	Socio-económico y Gestión	Coefficiente microeconómico	Creación de un sistema de reglas de priorización basándose en la relación impacto/inversión y el aumento de empleos/inversión sea mayor
		Árbol de decisiones	Creación de un modelo de predicción basado en reglas que representan y categorizan una condición de forma sucesiva y que conlleva a una solución de un problema

		Priorización de distintos criterios	Análisis y comparación de criterios comunes y fundamentales en las diferentes alternativas a priorizar.
Plan De Movilidad Del Municipio De Manizales - 2010	Movilidad y Transporte	Accesibilidad	Determinación de la curva gradiente de accesibilidad, generada por las condiciones pre-proyecto y post-proyecto, permitiendo el análisis del impacto del proyecto de estudio
		Accidentabilidad	Elección de un factor multiplicador promedio el cual representa el aumento o disminución del valor de número de accidentes para cada sitio específico localizado geoespacialmente
		Modelación	Creación de un modelo a partir de la malla vial y una matriz origen-destino de jurisdicción del proyecto a estudio para el transporte privado basados en parámetros fundamentales de movilidad, tiempo de viaje, origen-destino etc.
		Ordenamiento Territorial	Generación de prioridades para el territorio en el cual el proyecto de estudio se encuentra localizado
		Definición de zona de estudio e información Socio-económica	Definición de zona de estudio y la recolección de información socio-económica basando en estudios

Modelación de Proyectos de Infraestructura en el departamento de Cundinamarca - 2008	Generación, Oferta y Demanda, Costos, Asignación Multimodal de Flujos Vehiculares		económicos y sociales previos en dicha zona
		Oferta y demanda del transporte en zona de estudio	Determinación de la oferta y demanda de la zona de estudio por medio de encuestas origen destino y aforo vehiculares
		Selección y Clasificación	Generación, distribución, partición modal, conversión de a flujo vehicular y su correspondiente asignación en la zona de estudio base
		Flujos de infraestructura futura	Creación de matriz O-D, conversión a flujo vehicular, estimación de viajes y asignación multimodal
		Información socioeconómica futura	Creación de escenarios futuros
		Creación de escenarios futuros	Modelación final
		Definición de valor opción	Determinación del valor de opción de un bien o servicio público, que puede obtener un beneficio al usarlo

<p>Cuantificación de beneficios de proyectos peatonales mediante el método de valor opción - 2007</p>		
	<p>Incertidumbre, aversión al riesgo y una propensión</p>	<p>Asignación del usuario el valor a un servicio considerando la incertidumbre de algún día utilizarlo y la aversión al riesgo de no poder cumplir su meta</p>
	<p>Encuestas de opinión</p>	<p>Creación de un encuestas de opinión desarrollándose según la respuesta del encuestado si es afirmativa o negativa, teniendo en cuenta los criterios de incertidumbre, aversión al riesgo y una propensión</p>
	<p>Análisis de resultados</p>	<p>Análisis de opinión, basado en las encuestas que se realizaron teniendo en cuenta los criterios de la metodología de valor opción</p>

Fuente: Elaboración propia.

3. METODOLOGÍA

“La metodología representa la manera de organizar el proceso de la investigación, de controlar sus resultados y de presentar posibles soluciones a un problema que conlleva la toma de decisiones. La metodología es parte del análisis y la crítica de los métodos de investigación”¹³.

La metodología que se quiere establecer servirá como guía para ser utilizada en el análisis de escenarios de solución de problemas de movilidad, tránsito y transporte, brindando un paso a paso que puede ser aplicado en el proceso comparativo para la selección de alternativas que fortalezca la toma de decisiones en el desarrollo de proyectos tanto nuevos como de reestructuración de la infraestructura vial. Este documento propone plantear un proceso que de manera secuencial logre la consecución de un objetivo final con la ayuda del análisis por criterios y el apoyo en herramientas de modelación y simulación.

En este trabajo de investigación, la metodología que se establece será aplicada a la Ciudad de Barrancabermeja. Se pretende brindar una herramienta de apoyo para el mejoramiento del sistema de transporte de la ciudad promoviendo la optimización de la movilidad, para esto se debieron detectar los puntos críticos y las diferentes deficiencias que dichos puntos presentaban, en busca de sugerir la correcta propuesta de mejora para la situación actual. La metodología de esta investigación se compone de los siguientes pasos:

3.1 REVISION DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL

El Plan de Ordenamiento Territorial (POT) es un documento normativo que permite regular, planificar e intervenir en el desarrollo de un territorio conformando

¹³ ZORRILLA Santiago A., TORRES Miguel, Guía para elaborar una tesis, Segunda Edición, McGraw Hill, México, 1997.

normas o parámetros a seguir de orden técnico, administrativo y legal. El POT actúa como un instrumento de gestión de las entidades territoriales para lograr una correcta organización administrativa que promueva el desarrollo económico competitivo, social, ambientalmente sostenible, armónico y que se adecue a la diversidad cultural, social y física propia de la región de su aplicación.

Para esta investigación el Plan de Ordenamiento Territorial servirá como herramienta para la definición de necesidades, permitirá seguir una serie de lineamientos que establecerán las estrategias a seguir para ser ejecutadas en pro de una solución integral a circunstancias actuales, que en nuestro caso concernirán al tema de movilidad y transporte. Cabe resaltar que una solución integral debe llevar a la conformación de un plan de movilidad sustentable que proyecte cualquier ciudad a una mejoría en términos sociales, económicos y ambientales.

Este documento juega un papel de vital importancia en el consenso de ideas de una comunidad, ayudando a promover soluciones a los problemas que se presentan y comprometiendo a los diferentes entes participantes para el desarrollo del mismo. Los principios rectores en el proceso de ordenamiento territorial son¹⁴:

- **Soberanía y unidad nacional.** El ordenamiento territorial propiciará la integridad territorial, su seguridad y defensa, y fortalecerá el Estado Social de Derecho organizado en forma de República unitaria, descentralizada, con autonomía de sus entidades territoriales.
- **Autonomía.** Las entidades territoriales gozan de autonomía para la gestión de sus intereses dentro de los límites de la Constitución y la ley.
- **Descentralización.** La distribución de competencias entre la Nación, entidades territoriales y demás esquemas asociativos se realizará trasladando el correspondiente poder de decisión de los órganos centrales del Estado hacia el nivel territorial pertinente, en lo que corresponda, de tal manera que se

¹⁴ LEY 1454 DEL 28 DE JUNIO DE 2011, Congreso de la República de Colombia. Artículo 3

promueva una mayor capacidad de planeación, gestión y de administración de sus propios intereses, garantizando por parte de la Nación los recursos necesarios para su cumplimiento.

- **Integración.** Los departamentos y los municipios ubicados en zonas fronterizas pueden adelantar programas de cooperación dirigidos al fomento del desarrollo comunitario, la prestación de los servicios públicos, la preservación del ambiente y el desarrollo productivo y social, con entidades territoriales limítrofes de un Estado.
- **Regionalización.** El ordenamiento territorial promoverá el establecimiento de Regiones de Planeación y Gestión, regiones administrativas y de planificación y la proyección de regiones Territoriales como marcos de relaciones geográficas, económicas, culturales, y funcionales, a partir de ecosistemas bióticos y biofísicos, de identidades culturales locales, de equipamientos e infraestructuras económicas y productivas y de relaciones entre las formas de vida rural y urbana, en el que se desarrolla la sociedad colombiana y hacia donde debe tender el modelo de Estado Republicano Unitario. En tal sentido la creación y el desarrollo de Regiones de Planeación y Gestión, Regiones Administrativas y de Planificación, y la regionalización de competencias y recursos públicos se enmarcan en una visión del desarrollo hacia la complementariedad, con el fin de fortalecer la unidad nacional.
- **Sostenibilidad.** El ordenamiento territorial conciliará el crecimiento económico, la sostenibilidad fiscal, la equidad social y la sostenibilidad ambiental, para garantizar adecuadas condiciones de vida de la población.
- **Participación.** La política de ordenamiento territorial promoverá la participación, concertación y cooperación para que los ciudadanos tomen activa en las decisiones que inciden en la orientación y territorial.
- **Solidaridad y equidad territorial.** Con el fin de contribuir al desarrollo armónico del territorio colombiano, la Nación, las entidades territoriales y las figuras de integración territorial de mayor capacidad política, económica y fiscal, apoyarán aquellas entidades de menor desarrollo relativo; en procura

de garantizar el acceso equitativo a las oportunidades y beneficios en el desarrollo, para elevar la calidad de vida de la población.

- **Diversidad.** El ordenamiento territorial reconoce las diferencias geográficas, institucionales, económicas, sociales, étnicas y culturales del país, como fundamento de la unidad e identidad nacional, la convivencia pacífica y la dignidad humana.
- **Gradualidad y flexibilidad.** El ordenamiento territorial reconoce la diversidad de las comunidades y de las áreas geográficas que componen el país, por tanto, ajustará las diferentes formas de división territorial. Las entidades e instancias de integración territorial se adaptarán progresivamente, para lo cual podrán asignárseles las competencias y recursos que les permitan aumentar su capacidad planificadora, administrativa y de gestión. En el caso de las instancias de integración, las competencias y recursos serán asignados por las respectivas entidades territoriales que las componen.
- **Prospectiva.** El ordenamiento territorial estará orientado por una visión compartida de país a largo plazo, con propósitos estratégicos que guíen el tipo de organización territorial requerida.
- **Paz y convivencia.** El ordenamiento territorial promoverá y reconocerá los esfuerzos de convivencia pacífica en el territorio e impulsará políticas y programas de desarrollo para la construcción de la paz, el fortalecimiento del tejido social y la legitimidad del Estado.
- **Asociatividad.** El ordenamiento territorial propiciará la formación de asociaciones entre las entidades territoriales e instancias de integración territorial para producir economías de escala, generar sinergias y alianzas competitivas, para la consecución de objetivos del desarrollo económico y territorial comunes.
- **Responsabilidad y transparencia.** Las autoridades del nivel nacional y territorial promoverán de manera activa el control social de la gestión pública incorporando ejercicios participativos en la planeación, ejecución y rendición

final de cuentas, como principio de responsabilidad política y administrativa de los asuntos públicos.

- **Equidad social y equilibrio territorial.** La ley de ordenamiento territorial reconoce los desequilibrios en el desarrollo económico, social y ambiental que existen entre diferentes regiones geográficas de nuestro país y buscará crear instrumentos para superar dichos desequilibrios. Por ello la Nación y las entidades territoriales propiciarán el acceso equitativo de todos los habitantes del territorio colombiano a las oportunidades y beneficios del desarrollo, buscando reducir los desequilibrios enunciados. Así mismo, los procesos de ordenamiento procurarán el desarrollo equilibrado de las diferentes formas de división territorial.
- **Economía y buen gobierno.** La organización territorial del Estado deberá garantizar la planeación y participación decisoria de los entes territoriales en el desarrollo de sus regiones, autosostenibilidad económica, el saneamiento fiscal y la profesionalización de las administraciones territoriales, por lo que se promoverán mecanismos asociativos que privilegien la optimización del gasto público y el buen gobierno en su conformación y funcionamiento. La ley determinará los principios de economía y buen gobierno mínimos que deberán garantizar los departamentos, los distritos, los municipios, las áreas metropolitanas, sus descentralizadas, así como cualquiera de las diferentes alternativas de asociación, contratos o convenios plan o delegaciones previstas en la presente ley.
- **Multietnicidad.** Para que los pueblos indígenas, las comunidades afrodescendientes, los raizales y la población ROM ejerzan su derecho de planeación y gestión dentro de la entidad territorial respectiva en armonía y concordancia con las demás comunidades y entidades territoriales.

3.2 DETERMINACION DE LA OFERTA Y DEMANDA DEL TRANSPORTE EN LA ZONA DE ESTUDIO: SITUACION ACTUAL

Este componente de la metodología tiene como objeto primordial la recopilación de información primaria y en algunos casos secundaria mediante la toma de datos de conteos vehiculares y peatonales, encuestas origen-destino, tiempos de viaje y velocidades para sectores específicos de la zona de estudio.

La determinación de los volúmenes vehiculares para los corredores viales que serán analizados en el caso de estudio utilizando en esta investigación hacen parte de una interacción entre el trabajo de campo y de oficina. Para la elección de los puntos de recolección de información se debe tener en cuenta la cobertura de la demanda, garantizando la ubicación de estos sobre las vías principales de la ciudad, y así de esta manera lograr un adecuado aforo de la demanda del transporte para el lugar de estudio.

Los conteos vehiculares se registraran en periodos de 15 minutos, clasificando el tipo de movimiento y el tipo de vehículo (auto, bus intermunicipal, buseta, colectivo, camión, moto y bicicleta), a su vez el tipo de vehículo camión, se clasifico según el número de ejes: camiones C2, C3, C4, C5 y >C5, según tengan dos, tres, cuatro, cinco o más de cinco ejes, respectivamente, con la finalidad de segregar la información que podría resultar de vital importancia en una futura gestión en el diseño de pavimentos.

El procesamiento de dicha información sirve de base para la construcción de matrices Origen – Destino, que se hacen primordiales en la aplicación de modelos de microsimulación y macrosimulación de tránsito. Dichas matrices son utilizadas en el proceso de asignación de tráfico para la malla vial de nodos externos que representen la entrada y salida de vehículos, dando un valor para el volumen de flujo de vehículos atraídos a la zona de estudio.

3.3 DETERMINACION DE LA OFERTA Y DEMANDA DEL TRANSPORTE EN LA ZONA DE ESTUDIO: SITUACION FUTURA

La demanda de viajes refleja la necesidad de la población de desplazarse a llevar a cabo sus actividades diarias, conllevando a la definición de un origen y un destino. Se plantea la necesidad de establecer un método para la proyección de dicha demanda de viajes producidos y atraídos a la zona específica de estudio para un escenario futuro.

La producción de viajes de una zona puede entenderse a partir de una serie de variables explicativas, sin embargo, dependiendo del grado de agregación de dichas variables (agregadas o desagregadas) cambiará la unidad básica de análisis (la zona como un todo o el hogar). A continuación se presentan algunas variables relacionadas comúnmente con la generación de viajes tanto para análisis agregados como para análisis desagregados:

Tabla 3. Variables agregadas y variables desagregadas.

VARIABLES AGREGADAS (Análisis por zona)	VARIABLES DESAGREGADAS (Análisis por hogares)
Población	Habitantes en el hogar
Número de hogares	Estructura del hogar
Valor del suelo	Nivel de ingresos
Número de vehículos	Tenencia de vehículo

Fuente: Elaboración propia. Datos DANE.

A su vez los viajes atraídos están conformados por todos y cada uno de los desplazamientos que llegan a la zona de estudio para realizar distintas actividades. Vale la pena resaltar que a diferencia de los viajes generados, para los atraídos no se tiene una unidad de análisis tan clara y que las variables tenidas en cuenta serán del tipo agregado: oferta de empleo en la zona y oferta de comercio y servicios.

Existen varios modelos a seguir que permiten llegar a una correcta aproximación de la proyección para la oferta y demanda del transporte en la zona, en nuestro caso usaremos el método de factor de crecimiento. Este método comienza con la recopilación de la información actual de viajes atraídos y generados para la zona de estudio, que establece la delimitación de una situación base y esta se proyecta a futuro mediante el uso de un factor de crecimiento, el cual está basado en la combinación de criterios como los son: la población, el crecimiento del parque automotor, el aumento en la capacidad económica y tasas de motorización.

3.4 MODELACIÓN

El proceso de simulación nos permite lograr una aproximación virtual a la realidad que presenta la movilidad en la zona de estudio. A su vez la herramienta de simulación nos permite evaluar características que representan indicadores del

comportamiento del tránsito. Se modelaran tanto la situación actual, como la futura luego de la implementación de las soluciones que hacen parte del análisis comparativo, para así de esta manera mediante los resultados generados por el software contrastar la respuesta de estas a los diferentes criterios a tener en cuenta.

La información que se tendrá como base para la modelación será la obtenida luego del proceso de recopilación de información mediante los conteos vehiculares y la generación posterior de matrices origen-destino, para la situación actual, y la proyección estas mediante el uso del método de factor de crecimiento anteriormente explicado para los escenarios futuros. El software finalmente arrojará información puntual y precisa acerca del comportamiento de dichas situaciones como respuesta a las necesidades de solución para la movilidad, basándose en los criterios establecidos.

3.5 PRIORIZACIÓN DE CRITERIOS

La elección de criterios permite un correcto procedimiento de comparación entre alternativas diferentes en busca de tomar la mejor decisión emitiendo un juicio bastante conforme con los resultados deseados. Los criterios a tener en cuenta en esta investigación para el análisis y justificación de la metodología, son el resultado de la indagación en el estado del arte y en las necesidades encontradas previamente en el POT respectivo.

3.5.1 Definición de criterios

A continuación se presentan y definen los criterios a tener en cuenta:

3.5.1.1 Accesibilidad

La accesibilidad es una condición que permite en cualquier espacio físico (malla vial) el fácil desplazamiento de una población general y el uso de una forma segura, confiable y eficiente de los servicios instalados en ese ambiente¹⁵, sin embargo no es un concepto simple de analizar debido que los cambios generados en el espacio físico generan un gran impacto en la accesibilidad, la cual influye en la economía de la zona y su potencial respectivo de desarrollo.

El concepto de Accesibilidad forma parte fundamental de la teoría económica que influye en el transporte a partir de las obras expuestas por Hansen en 1950 y más tarde por Weibull en la década de 1980, definiendo como el potencial de oportunidades para la interacción espacial, teniendo en cuenta su estructura y configuración de red vial, como la conectividad¹⁶.

La evaluación de la accesibilidad de una zona de estudio es una forma efectiva de calificar el rendimiento de la red de transporte, basado en tiempos de viaje de un nodo de partida hacia un nodo de llegada utilizando la infraestructura de una ciudad, lo cual genera una relación de eficiencia de accesibilidad siendo inversamente proporcional, es decir a mayor sea el tiempo de viaje en el recorrido implica menor la accesibilidad y viceversa, por lo tanto debe definirse un tiempo de viaje teórico de diseño de cada alternativa a analizar, el cual va ser parámetro de comparación según el tiempo de viaje real.

La determinación del tiempo de viaje según los parámetros de relación son los siguientes:

- Tiempo mínimo de viaje se basa en la comparación del tiempo de viaje real sea mayor que el tiempo de viaje teórico.

¹⁵ Universidad Nacional de Colombia, 1983. "Accesibilidad al medio físico y al transporte," Ministerio de Transporte, Pag. 7.

¹⁶ R. Aura. B. Pietro. R. Giovanni, 2010. "Accessibility and Network structure in the German Commuting" Springer Science+Business Media, Pag. 1.

- Tiempo moderado de viaje se basa en la comparación que el tiempo de viaje real sea igual al tiempo de viaje teórico.
- Tiempo alto de viaje se basa en la comparación del tiempo de viaje real sea menor que el tiempo de viaje teórico.

El consultor asigna una nota de nivel de impacto en el medio natural (X) según los niveles de impacto nombrados anteriormente:

- Tiempo mínimo de viaje se asigna una nota $X = 3$
- Tiempo moderado de viaje se asigna una nota $X = 2$
- Tiempo alto de viaje se asigna una nota $X = 1$

- Tipo de obra (Z)

La determinación del nivel de impacto en la accesibilidad según el tipo de obra debe ponderarse tomando en cuenta que el impacto ejercido no es igual según la naturaleza de la obra. El consultor asigna una nota de nivel de impacto según tipo de obra (Z) de la manera siguiente

- Obra de unión de más de un tipo se asigna una nota $Z = 5$
- Obra de refuerzo/rehabilitación se asigna un nota $Z = 4$
- Obra de pavimentación se asigna una nota $Z = 3$
- Obra de ampliación se asigna una nota $Z = 2$
- Obra de construcción se asigna una nota $Z = 1$

La valoración de la accesibilidad de cada alternativa se obtiene al aplicar la siguiente fórmula básica:

$$V = [X \text{ Accesibilidad } 1 + \dots + X \text{ Accesibilidad } n] * Z \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

X = 1 a 3 Nota dada al nivel de accesibilidad

Z = 1 a 5 Nota dada al tipo de obra

La valoración está basada en el principio que los proyectos que obtienen las valoraciones mayores son los proyectos que tienen mayor accesibilidad en la zona de estudio, se presenta en una escala entre 60 y 0 que varía con respecto al tipo de obra a elección del consultor, la calificación total debe ser reducido a una escala de 0 a 10, aplicando la siguiente relación:

$$X = (10 * \text{Calificación total}) / \text{Puntuación mayor} \quad (\text{Ecuación 2})$$

3.5.1.2 Accidentalidad

La accidentalidad es el fenómeno que genera un perjuicio a una persona o un bien material en un determinado trayecto de movilización en un punto específico de él, debido a gran parte a la acción negligente, riesgosa o irresponsable en la interacción de vehículos, deficiencia de accesibilidad, los bajos niveles de control, falta de señalizaciones adecuadas y la deficiente capacidad de flujo vehicular en una infraestructura vial.

Los estudios de accidentalidad permiten el análisis en un punto geoespacial de una malla vial en un periodo de tiempo, generando una evaluación de los accidentes producidos por las diferentes causas en el sitio de análisis año por año, así como la frecuencia con la cual aparece, logrando una estimación futura de prioridad en accidentalidad¹⁷.

Las causas de accidentalidad son de diferentes tipos las cuales van desde carácter técnico relacionadas con la infraestructura vial hasta causas que se relacionan directamente con el comportamiento humano, a continuación se presenta una lista de las causas más frecuentes de accidentalidad en las ciudades colombianas.

¹⁷ R. Aura. B. Pietro. R. Giovanni, 2010. "Accessibility and Network structure in the German Commuting" Springer Science+Business Media, Pag. 1.

Tabla 4. Tipos de causas de accidentalidad.

N°	Causa
1	Adelantar cerrando
2	Adelantar en curva
3	Adelantar en zona prohibida
4	Adelantar invadiendo vía
5	Adelantar por la derecha
6	Aprovisionamiento indebido
7	Arrancar sin precaución
8	Ausencia total o parcial de señalización
9	Cambio de carril sin indicación
10	Carga sobresaliente sin señalización
11	Cruzar en diagonal
12	Cruzar sin observar
13	Dejar o recoger pasajeros en sitios no demarcados
14	Desobedecer señales
15	Distraerse
16	Embriaguez aparente
17	Embriaguez o droga
18	Estacionar sin seguridad
19	Exceso de velocidad
20	Fallas en dirección
21	Fallas en las llantas
22	Fallas en los frenos
23	Fallas en luces de frenos
24	Falta de mantenimiento mecánico
25	Frenar bruscamente
26	Girar bruscamente
27	Huecos
28	Jugar en la vía
29	No cambiar luces
30	No mantener distancia de seguridad
31	No respetar prelación
32	Obstáculo en la vía
33	Otra
34	Pasar semáforo en rojo

N°	Causa
35	Perdida del conocimiento repentino
36	Poner en marcha un vehículo sin precaución
37	Reverso imprudente
38	Salir por delante de un vehículo
39	Semáforo en rojo
40	Sin establecer
41	Subirse al andén o vías peatonales
42	Suicidio
43	Superficie húmeda
44	Transitar distante de la acera u orilla de la calzada
45	Transitar en contravía
46	Transitar entre vehículos
47	Transitar por fuera del carril
48	Transitar por la calzada
49	Transitar uno al lado del otro
50	Vehículo mal estacionado

Fuente: Elaboración propia. Datos Fondo Prevención Vial.

La valoración de este criterio se realiza por medio de un estudio de accidentalidad que permita determinar una tasa de accidentes por año en la zona de estudio, permitiendo conocer las diferentes causas y la frecuencia con que estos ocurren, la calificación de estos aspectos realiza de la siguiente manera:

- El número de causas por carácter técnico de diseño es mayor que el número de causas por comportamiento humano o deficiencia en el vehículo la valoración es buena dando una calificación de $X=3$.
- El número de causas por carácter técnico de diseño es igual que el número de causas por comportamiento humano o deficiencia en el vehículo la valoración es moderada dando una calificación de $X=2$.

- El número de causas por carácter técnico de diseño es menor que el número de causas por comportamiento humano o deficiencia en el vehículo la valoración es mala dando una calificación de X=1.

La valoración está basada en el principio que los proyectos que obtienen las valoraciones mayores son los proyectos que tienen mayor impacto positivo llegando a obtener una mejora en su infraestructura por lo tanto una disminución en las causas de carácter técnico de diseño en la zona de estudio, se presenta en una escala entre 1 y 2, la calificación total debe ser aumentada a una escala de 0 a 10, aplicando la siguiente relación:

$$X = (10 * \text{Calificación total}) / \text{Puntuación mayor} \quad (\text{Ecuación 3})$$

3.5.1.3 Nivel de servicio

El nivel de servicio hace referencia a la calificación que se le da al flujo vehicular en términos de factores necesarios como la velocidad, tiempo de viaje, libertad de maniobra, interrupciones para la circulación, comodidad, conveniencia y seguridad. Se puede definir como la percepción que tiene el conductor o pasajero acerca de las condiciones de operación y de su interacción con los vehículos y personas externas a él.

El nivel de servicio se define en 6 valores y se otorga una letra de la A a la F, siendo el nivel de servicio A el que presenta las mejores condiciones de operación y el nivel de servicio F, las peores. Las condiciones de operación para cada nivel se definen así¹⁸:

- **Nivel de Servicio A.** Representa una circulación a flujo libre. Los usuarios, considerados en forma individual, están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en la circulación. Poseen una altísima libertad para

¹⁸ LIBRO CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO DE INFRAESTRUCTURA VIAL - 2007. FLOR ÁNGELA CERGUERA ESCOBAR

seleccionar sus velocidades deseadas y maniobrar dentro del tránsito. El nivel general de comodidad y conveniencia proporcionado por la circulación al motorista, pasajero o peatón, es excelente.

- **Nivel de Servicio B.** Está dentro del rango del flujo estable, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes de la circulación. La libertad de selección de las velocidades deseadas, sigue relativamente inafectada, aunque disminuye un poco la libertad de maniobra en relación con la del nivel de servicio A. El nivel de comodidad y conveniencia es algo inferior a los del nivel de servicio A, porque la presencia de otros comienza a influir en el comportamiento individual de cada uno.
- **Nivel de Servicio C.** Pertenece al rango del flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en el que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios. La selección de velocidad se ve afectada por la presencia de otros, y la libertad de maniobra comienza a ser restringida. El nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente.
- **Nivel de Servicio D.** Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, y el conductor o peatón experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo. Los pequeños incrementos del flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento.
- **Nivel de Servicio E.** El funcionamiento está en él, o cerca del, límite de su capacidad. La velocidad de todos se ve reducida a un valor bajo, bastante uniforme. La libertad de maniobra para circular es extremadamente difícil, y se consigue forzando a un vehículo o peatón a “ceder el paso”. Los niveles de comodidad y conveniencia son enormemente bajos, siendo muy elevada la frustración de los conductores o peatones. La circulación es normalmente inestable, debido a que los pequeños aumentos del flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos.

- **Nivel de Servicio F.** Representa condiciones de flujo forzado. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito que se acerca a un punto o calzada, excede la cantidad que puede pasar por él. En estos lugares se forman colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables.

La calificación de este criterio es basado en datos obtenidos de los modelos de simulación, en el cual se arrojan resultados para el nivel de servicio de cada una de las alternativas analizadas, dando una escala de calificación de la siguiente manera:

- Nivel de Servicio A se le asigna una nota de 10
- Nivel de Servicio B se le asigna una nota de 8
- Nivel de Servicio C se le asigna una nota de 7
- Nivel de Servicio D se le asigna una nota de 6
- Nivel de Servicio E se le asigna una nota de 4
- Nivel de Servicio F se le asigna una nota de 2

3.5.1.4 Capacidad

La capacidad de una infraestructura vial se define como “flujo máximo horario al que se puede razonablemente esperar que las personas o vehículos atraviesen un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un periodo de tiempo dado, bajo condiciones prevalecientes de la vía, del control y del tránsito”. En cuanto a la vía se hará en referencia a aspectos como lo son, las características geométricas, tipo de sección, pendientes, anchos de carril, entre otros, del control, en aspectos como semaforización, señalización y movimientos permitidos, y del tránsito en composición vehicular, velocidad de maniobra y características del flujo vehicular.

La calificación es basada en la relación de comparación con la capacidad teórica que es dada por el nivel de servicio de diseño y la capacidad real de este criterio se presenta como un indicador resultado de la simulación realizada en Transmodeler, si el valor de la capacidad real tiende a ser menor que la capacidad teórica es más óptima, si tiende a ser mayor que la capacidad teórica no es óptima.

Previamente se define los principales corredores viales que convergen a la zona de intervención y que directamente tienen influencia sobre la demanda de tráfico para el sector, la capacidad se define en términos de vehículos/hora para cada carril.

Este término hará referencia a la tasa de flujo vehicular durante un periodo de estudio de 15 minutos pico. La capacidad vehicular de los elementos de la red se estableció conforme al *Highway capacity manual 2000* (HCM 2000) distinguiendo si los elementos pertenecían a intersecciones semaforizadas o no. En general, la capacidad vehicular del elemento i -ésimo de la red se definió como:

$$C_i = g_i \cdot S_i$$

Donde S_i es el flujo de saturación (vehículos/h) e igual a una capacidad base afectada por factores de corrección. Para el área metropolitana de Bucaramanga se planteó una capacidad base de 1600 vehículos/h y se consideraron los factores de corrección por ancho del carril (f_a), porcentaje de vehículos pesados (f_{vp}), pendiente (f_i) y situación (f_z), con lo cual el flujo de saturación en este caso es:

$$S_i = 1600 \cdot f_a \cdot f_{vp} \cdot f_i \cdot f_z$$

Por otro lado, S_i es la reducción de la capacidad por la intersección que en el caso de intersecciones semaforizadas se consideró como la relación entre el tiempo en verde y el tiempo total de la fase, mientras que en intersecciones no semaforizada se tomó como 0.5.

La elección de nivel de capacidad teórica se basa en el diseño presentado en las alternativas a analizar, para nuestro caso particular las alternativas se diseñan para que cumplan un nivel de servicio D, por lo tanto la capacidad teórica como lo expresa Cal y Mayor, James Cárdenas 2007:

“En la investigación realizada en Colombia sobre capacidad y niveles de servicio para carreteras de dos carriles (un carril por sentido), con base en observaciones de campo, se encontró que la capacidad ideal es de 3200 automóviles/hora/ambos sentidos. Estos valores de capacidad son bastante consistentes con los encontrados en el HCM 2000, que varían entre 3200 y 3400 automóviles /hora/ambos sentidos”¹⁹.

La determinación de la capacidad según los parámetros de relación son los siguientes:

- Capacidad optima se basa en la comparación de la capacidad teórica sea mayor que la capacidad real.
- Capacidad moderada se basa en la comparación de la capacidad teórica sea igual que la capacidad real.
- Capacidad no optima se basa en la comparación de la capacidad teórica sea menor que la capacidad real.

El consultor asigna una nota de nivel de impacto en el medio natural (X) según los niveles de impacto nombrados anteriormente:

¹⁹ Cal y Mayor. C. James. 2007. Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones. Octava Edición. Alfaomega grupo editor S.A. Cap. 12 Pág. 358.

- Capacidad optima de viaje se asigna una nota X = 3
- Capacidad moderada de viaje se asigna una nota X = 2
- Capacidad no optima de viaje se asigna una nota X = 1

- Tipo de obra (Z)

La determinación del nivel de impacto en la capacidad según el tipo de obra debe ponderarse tomando en cuenta que el impacto ejercido no es igual según la naturaleza de la obra. El consultor asigna una nota de nivel de impacto según tipo de obra (Z) de la manera siguiente

- Obra de unión de más de un tipo se asigna una nota Z = 5
- Obra de refuerzo/rehabilitación se asigna un nota Z = 4
- Obra de pavimentación se asigna una nota Z = 3
- Obra de ampliación se asigna una nota Z = 2
- Obra de construcción se asigna una nota Z = 1

La valoración de la capacidad de cada alternativa se obtiene al aplicar la siguiente formula básica:

$$V = [X \text{ Capacidad } 1 + \dots + X \text{ Capacidad } n] * Z \quad (\text{Ecuación } 4)$$

Dónde:

X = 1 a 3 Nota dada al nivel de capacidad

Z = 1 a 5 Nota dada al tipo de obra

La valoración está basada en el principio que los proyectos que obtienen las valoraciones mayores son los proyectos que tienen mayor capacidad en la zona de estudio, se presenta en una escala entre 60 y 0 que varía con respecto al tipo de obra a elección del consultor, la calificación total debe ser reducido a una escala de 0 a 10, aplicando la siguiente relación:

$$X = (10 * \text{Calificación total}) / \text{Puntuación mayor} \quad (\text{Ecuación 5})$$

3.5.1.5 Áreas de intervención

Las áreas de intervención es el conjunto de áreas en las cuales cada una de los proyectos ejecuta en su plan de diseño como lo son el área de espacio público potencial, el área construida y el área afectación predial, entre otras, por lo tanto son de gran importancia en el análisis económico posterior de viabilidad de un proyecto.

- El área de espacio público potencial es el total de área definidas por el proyecto dedicado para uso del urbanismo en el cual encontramos áreas verdes, corredores hídricos, parques, plazas y plazoletas, que en su mayoría estén interconectadas que permitan el uso y disfrute, así como un factor determinante de la calidad de vida de la población.

La valoración de este criterio se basa en la totalidad de espacio público de cada alternativa que busque la finalidad de aumentar la calidad de vida de la zona de estudio, por lo tanto se realiza una relación de área de espacio público sobre el área total construida en cada una de las alternativas mediante un programa de sistema de información geográfica (SIG) en los cuales busca una superposición, evaluando la cercanía de cada una de ellas de ocupar la misma área de espacio público existente, estableciendo un valor de relación entre 0 a 1, siendo 1 el valor más óptimo para el criterio de espacio público y 0 el valor menos óptimo.

- El área construida es el total de área definida por el proyecto dedicado para la funcionalidad de él mismo, en el cual para proyectos de infraestructura vial encontramos como lo son la banca, deprimidos, andenes, glorietas, bahías de parqueo etc.

La valoración del criterio de área construida se realiza aplicando una relación de área construida existente / área total construida en cada una de las alternativas mediante programas de sistemas de información geográfica (SIG) en los cuales se

busca una superposición, evaluando la cercanía de cada una de ellas de ocupar la misma área de construcción existente, estableciendo un valor de relación entre 0 a 1, siendo 1 el valor más óptimo para el criterio de área construida y 0 el valor menos óptimo.

- El área de afectación predial es el área privada en el cual se realiza una afectación por la construcción del proyecto a bienes inmuebles de carácter privado, por lo tanto es de gran importancia en la planeación económica de un proyecto para la gestión del costo de inversión en compra de predios privados, sin embargo es necesario subrayar que la viabilidad en un proyecto está sujeta al tipo de uso de suelo en el cual se encuentre el área de afectación y que su intervención en predios privados sea de carácter menor.

La valoración del criterio de área de afectación predial se realiza aplicando una relación de áreas afectación predial / área total construida en cada una de las alternativas mediante programas de sistemas de información geográfica (SIG) en los cuales se busca una superposición, evaluando la separación de cada una de ellas de ocupar la misma área, estableciendo un valor de relación entre 0 a 1, siendo 0 el valor más óptimo para el criterio de afectación predial y 1 el valor menos óptimo.

La calificación total del área de intervención está sujeta a la importancia del peso relativo que el consultor tenga previsto para que los criterios nombrados anteriormente cumplan y se adapten según su plan de gobierno para la selección de las alternativas, lo cual se da una combinación de posibles pesos relativos:

- Área de espacio público potencial, se basa fundamental que el consultor en su plan de ejecución de cada alternativa este orientado a la construcción de espacios públicos para el beneficio y aumento de la calidad de vida de la ciudadanía, por lo tanto los pesos relativos a utilizar son:
 - Área de espacio público es del 60%

- Área de construida es del 20%
 - Área de afectación predial es del 20%
- Área construida, se basa fundamental que el consultor en su plan de ejecución de cada alternativa este orientado a una tasa baja en la conservación del espacio público o privado existente con respecto al área nueva construida, por lo tanto los pesos relativos serian:
 - Área de espacio público es del 20%
 - Área de construida es del 60%
 - Área de afectación predial es del 20%
 - Área de afectación predial, se basa fundamental que el consultor en su plan de ejecución de cada alternativa este orientado a una tasa baja de intervención y compra de patrimonio público o privado existente con respecto al área nueva construida, por lo tanto los pesos relativos serian:
 - Área de espacio público es del 20%
 - Área de construida es del 20%
 - Área de afectación predial es del 60%

Sin embargo se subraya que la sumatoria de los pesos relativos nombrados anteriormente en el criterio de áreas de intervención corresponde al peso relativo total del 10% en la metodología para el análisis de comparativo de selección de alternativas.

La valoración de la capacidad de cada alternativa se obtiene al aplicar la siguiente formula básica:

$$V = 0.10 \times (a \times r_e + b \times r_c + c \times r_p) \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde

a = peso relativo del área espacio publico

b = peso relativo del área construida

c = peso relativo del área afectación predial

r_e = relación de área espacio publico

r_c = relación de área construida

r_p = relación de área afectación predial

Para la aplicación en el análisis comparativo es necesario aumentarlo de escala de 0 a 10, aplicando la siguiente relación:

$$X = (10 * \text{Calificación total}) / \text{Puntuación mayor} \quad (\text{Ecuación 7})$$

3.5.1.6 Impacto Ambiental

El impacto ambiental se convierte sin duda en un criterio esencial para contar con obras de infraestructura adecuadas y que impacten en lo menor posible el medio ambiente al tener en cuenta los efectos que cualquier proyecto genera sobre este. La evaluación de las diferentes alternativas de solución deben contemplar el efecto que dichas tendrán en el entorno de la ciudad en que se quieran desarrollar. Finalmente, este criterio pretende mitigar el impacto que los proyectos complementarios generan sobre los elementos ambientales y que juegan un papel de vital importancia en la toma de decisión final.

Se plantea un procedimiento para el análisis del impacto ambiental como lo considera el Plan Intermodal de Transportes del Perú²⁰ proponiendo 2 parámetros fundamentales que son:

- Nivel de impacto en el medio natural (X)

La determinación del nivel de impacto según el tema ambiental a tratar es distinta:

- Nivel de impacto en las áreas protegidas, se basa en el principio de proximidad de las alternativas propuestas a las zonas protegidas, tomando una franja de 25 km, es una distancia de amortiguamiento para ecosistemas de áreas protegidas, se considera:
 - Impacto mínimo a proyectos localizados > 25 km a las áreas protegidas.
 - Impacto moderado a proyectos localizados entre 10-25 km a las áreas protegidas.
 - Impacto alto a proyectos localizados entre 5-10 km a las áreas protegidas.
 - Impacto muy alto a proyectos localizados < 5 km a las áreas protegidas.
- Nivel de impacto en las formaciones vegetales, se basa en que tipo de formación vegetal se encuentra en la zona de afectación del proyecto, se considera:
 - Impacto mínimo a proyectos localizados en zonas con pasturas alto andinas.
 - Impacto moderado a proyectos localizados en zonas con bosques misceláneos
 - Impacto alto a proyectos localizados en zonas con bosques secos.
 - Impacto muy alto a proyectos localizados en zonas con bosques húmedos.

²⁰ Ministerio de Transporte y Comunicación del Perú. Plan Intermodal de Transporte del Perú. Informe Final Parte 4, Capítulo 8. 2005: Préstamo BID N° 1150/OC-PE. Pág4.

- Nivel de impacto en la erosión del suelo, se basa el nivel de erosión ya existente de la zona de afectación del proyecto, se considera:
 - Impacto mínimo a proyectos localizados en zonas con nivel erosión muy ligera.
 - Impacto moderado a proyectos localizados en zonas con nivel erosión ligera
 - Impacto alto a proyectos localizados en zonas con nivel erosión moderada.
 - Impacto muy alto a proyectos localizados en zonas con nivel erosión severa.
- Nivel de impacto en los recursos hídricos, se basa en la ubicación del proyecto en relación a los ríos o las vertientes, se considera:
 - Impacto mínimo a proyectos localizados en zonas de cuenca hídrica baja.
 - Impacto moderado a proyectos localizados en zonas de cuenca hídrica media
 - Impacto alto a proyectos localizados en zonas de cuenca hídrica alta.
 - Impacto muy alto a proyectos localizados en zonas de cuenca hídrica inundables.

El consultor asigna una nota de nivel de impacto en el medio natural (X) según los niveles de impacto nombrados anteriormente:

- Impacto mínimo a proyectos se asigna una nota $X = 3$
- Impacto moderado a proyectos se asigna una nota $X = 2$
- Impacto alto a proyectos se asigna una nota $X = 1$
- Impacto muy alto a proyectos se asigna una nota $X = 0$

- Tipo de obra (Z)

La determinación del nivel de impacto según el tipo de obra debe ponderarse tomando en cuenta que el impacto ejercido no es igual según la naturaleza de la

obra. El consultor asigna una nota de nivel de impacto según tipo de obra (Z) de la manera siguiente

- Obra de refuerzo/rehabilitación se asigna un nota $Z = 4$
- Obra de pavimentación se asigna una nota $Z = 3$
- Obra de ampliación se asigna una nota $Z = 2$
- Obra de construcción se asigna una nota $Z = 1$

La valoración de los impactos ambientales de cada alternativa se obtiene al aplicar la siguiente formula básica:

$$V = [X \text{ Impacto } 1 + X \text{ Impacto } 2 + \dots + X \text{ Impacto } n] * Z$$

Dónde:

X = 0 a 3 Nota dada al nivel de impacto

Z = 1 a 5 Nota dada al tipo de obra

La valoración está basada en el principio que los proyectos que obtienen las valoraciones mayores son los proyectos que causan menos impactos en el medio natural, se presenta en una escala entre 60 y 0 antes de dividir la nota por 6 para obtener una escala reducida entre 10 y 0²¹.

3.5.2 Asignación de pesos relativos

La asignación de pesos relativos consiste en cuantificar de alguna manera los criterios que presentan mayor relevancia para el caso de estudio en particular. Cabe resaltar que no existe, en general, ninguna decisión la cual sea correcta simultáneamente a todos los criterios que se tendrán en cuenta, por tanto resulta necesario establecer unos pesos o valores relativos para cada uno de estos. El valor que tendrán se dará como respuesta a la necesidad que se quiera suplir y de una comparación de atributos comunes.

²¹ Ministerio de Transporte y Comunicación del Perú. Plan Intermodal de Transporte del Perú. Informe Final Parte 4, Capítulo 8. 2005: Préstamo BID N° 1150/OC-PE. Pág6.

Se procede a darle un valor de importancia mayor a los criterios de accesibilidad, nivel de servicio y capacidad, ya que el resultado de estos criterios se obtiene a partir del proceso de modelación y simulación, de ahí la importancia que estos presentan en aspectos que se hacen fundamentales para la puesta en marcha de proyectos para la intervención de la infraestructura vial. Estos criterios una vez modeladas todas las alternativas se procederá a dar un valor en una escala de 1-10, que evalúe la respuesta de cada una de dichas soluciones hacia los distintos criterios.

Tabla 4. Pesos relativos para cada uno de los criterios

CRITERIOS	%	PESO RELATIVO
Accesibilidad	20	0,2
Accidentalidad	15	0,15
Nivel de Servicio	20	0,2
Capacidad	20	0,2
Área de intervención	10	0,1
Impacto Ambiental	15	0,15
TOTAL	100	1

Fuente: Elaboración propia

3.6 SELECCIÓN Y JUSTIFICACIÓN

Para este punto de la metodología, basándose en cada uno de los criterios establecidos para cada una de las alternativas que se planteen, se podrá generar un cuadro comparativo mediante la definición, caracterización y cuantificación de la matriz multi-criterio la cual es el resultado final de este trabajo de investigación. La ponderación en importancia que se le ha asignado a cada criterio permitirá una evaluación de la eficacia de cada una de las alternativas, permitiendo tener una

idea de cuál de ellas presenta una mejor respuesta a la necesidad de movilidad actual y futura en la zona de estudio.

Cabe resaltar que esta matriz puede brindar un resultado final consolidado, sin embargo permite la segregación de resultados, que podría permitir un análisis distinto y que dependiera de la necesidad específica la cual pudiera ser objeto de estudio en algún caso particular, es decir, el peso relativo que se dé a cada uno de los criterios puede ser alterado de acuerdo al caso particular que el consultor pudiera presentar.

3.7 RESUMEN DE METODOLOGÍA

- **PASO 1 – Revisión del plan de ordenamiento territorial y necesidades del sector de estudio**

Para esta investigación el Plan de Ordenamiento Territorial servirá como herramienta para la definición de necesidades, permitirá seguir una serie de lineamientos que establecerán las estrategias a seguir para ser ejecutas en pro de una solución integral a circunstancias actuales, que en nuestro caso concernirán al tema de movilidad y transporte. Cabe resaltar que una solución integral debe llevar a la conformación de un plan de movilidad sustentable que proyecte cualquier ciudad a una mejoría en términos sociales, económicos y ambientales.

Este documento juega un papel de vital importancia en el consenso de ideas de una comunidad, ayudando a promover soluciones a los problemas que se presentan y comprometiendo a los diferentes entes participantes para el desarrollo del mismo.²²

²² LEY 1454 DEL 28 DE JUNIO DE 2011, Congreso de la Republica de Colombia. Artículo 3

- **PASO 2 – Determinación de oferta y demanda del transporte en la zona de estudio : Situación actual**

Este componente de la metodología tiene como objeto primordial la recopilación de información primaria y en algunos casos secundaria mediante la toma de datos de conteos vehiculares y peatonales, encuestas origen-destino, tiempos de viaje y velocidades para sectores específicos de la zona de estudio.

La determinación de los volúmenes vehiculares para los corredores viales que serán analizados en el caso de estudio utilizando en esta investigación hacen parte de una interacción entre el trabajo de campo y de oficina. Para la elección de los puntos de recolección de información se debe tener en cuenta la cobertura de la demanda, garantizando la ubicación de estos sobre las vías principales de la ciudad, y así de esta manera lograr un adecuado aforo de la demanda del transporte para el lugar de estudio.

- **PASO 3 – Determinación de oferta y demanda del transporte en la zona de estudio: Situación futura**

La demanda de viajes refleja la necesidad de la población de desplazarse a llevar a cabo sus actividades diarias, conllevando a la definición de un origen y un destino. Se plantea la necesidad de establecer un método para la proyección de dicha demanda de viajes producidos y atraídos a la zona específica de estudio para un escenario futuro.

Existen varios modelos a seguir que permiten llegar a una correcta aproximación de la proyección para la oferta y demanda del transporte en la zona, en nuestro caso usaremos el método de factor de crecimiento. Este método comienza con la recopilación de la información actual de viajes atraídos y generados para la zona de estudio, que establece la delimitación de una situación base y esta se proyecta

a futuro mediante el uso de un factor de crecimiento, el cual está basado en la combinación de criterios como los son: la población, el crecimiento del parque automotor, el aumento en la capacidad económica y tasas de motorización

- **PASO 4 – Modelación de las alternativas**

La información que se tendrá como base para la modelación será la obtenida luego del proceso de recopilación de información mediante los conteos vehiculares y la generación posterior de matrices origen-destino, para la situación actual, y la proyección estas mediante el uso del método de factor de crecimiento anteriormente explicado para los escenarios futuros. El software finalmente arrojará información puntual y precisa acerca del comportamiento de dichas situaciones como respuesta a las necesidades de solución para la movilidad, basándose en los criterios establecidos.

- **PASO 5 – Priorización de criterios**

La elección de criterios permite un correcto procedimiento de comparación entre alternativas diferentes en busca de tomar la mejor decisión emitiendo un juicio bastante conforme con los resultados deseados. Los criterios a tener en cuenta en esta investigación para el análisis y justificación de la metodología, son el resultado de la indagación en el estado del arte y en las necesidades encontradas previamente en el POT respectivo.

- **PASO 6 – Selección y justificación de la alternativa más optima**

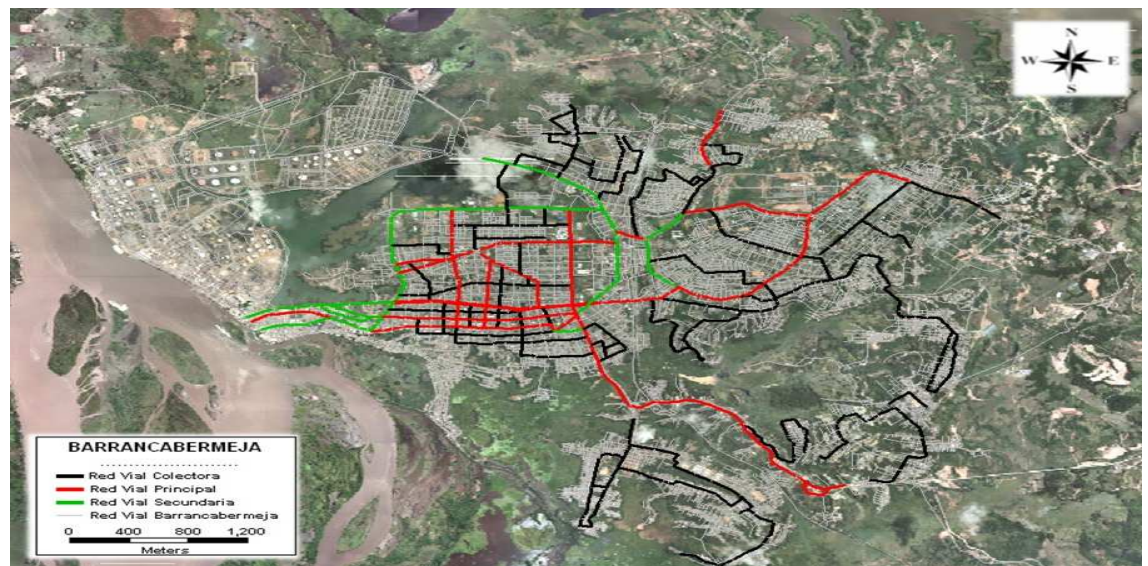
La ponderación en importancia que se le ha asignado a cada criterio permitirá una evaluación de la eficacia de cada una de las alternativas, permitiendo tener una idea de cuál de ellas presenta una mejor respuesta a la necesidad de movilidad actual y futura en la zona de estudio. Cabe resaltar que esta matriz puede brindar un resultado final consolidado, sin embargo permite la segregación de resultados que podría permitir un análisis distinto y que dependiera de la necesidad específica la cual pudiera ser objeto de estudio en algún caso particular.

4. CASO DE ESTUDIO EN LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA

Barrancabermeja cuenta con una infraestructura vial, que forma un conjunto de mallas viales que se desarrollan en todo su territorio con el fin de permitir la accesibilidad y la circulación de personas y bienes de servicio a las diferentes zonas de actividades basadas en el Plan de Ordenamiento Territorial – POT realizando conexiones entre sí, en la actualidad la jerarquización vial de la ciudad se encuentra en cuatro categorías:

- Principal
- Secundaria
- Colectora
- Local

Figura.4. Jerarquización vial actual – POT 2002



Fuente: Informe V – Formulación del plan de movilidad y lineamientos del plan vial – V.4.0. Alcaldía de Barrancabermeja – Universidad Nacional 2010

4.1 PROBLEMÁTICA ACTUAL

La determinación de la problemática e importancia relativa de las calles y carreteras representadas en los viajes de la población hacia las zonas de actividades es necesaria, debido que la estructuración de la red vial es clave en el proceso de planeación del tránsito y el transporte de la ciudad con el fin de satisfacer la población y los intereses de la municipalidad.

Basando en el estudio de diagnóstico realizado por la Universidad Nacional en el Plan de movilidad y lineamiento del plan vial, se encuentra que la municipalidad de Barrancabermeja presenta problemas de consideración en la malla vial existente, representando una deficiencia en la estructuración de la red vial.

Acerca de la malla vial existente, en general se encuentra²³:

- Que no responden a requerimientos de usos del suelo, ni de diseño. En particular, en relación a la continuidad de los mismos (un mismo eje vial presenta diversas secciones y diseños a lo largo de su trayecto).
- Que no cumplen con la función reguladora de la movilidad. Los trazados y secciones viales son indiferenciados en términos de los tipos de vehículos que acogen.
- Que no facilitan la armonización de diversos subsistemas de movilidad, lo que constituye un obstáculo para la organización de nuevas redes, en especial para la conformación de la red peatonal y de carriles para el uso de bicicletas.
- Que se refieren a un sistema mono-modal y no un sistema multi-modal. Este último debe ser adoptado por la ciudad para mejorar sus posibilidades de movilidad y ajustar los requerimientos del modelo territorial y su patrón de usos del suelo a los requerimientos de regulación del tráfico urbano.

²³ Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá. Informe V – Formulación del plan de movilidad y lineamientos del plan vial – V.4.0 - . Pág. 54-55.

- La distribución modal de los viajes de la ciudad permite establecer la importancia de la movilidad no motorizada, representada por los viajes que la población realiza a pie (27.6% de los viajes diarios) y en bicicleta (6.0%). Los modos no motorizados constituyen el 33.6% de los viajes.
- Los viajes motorizados están representados en orden de importancia por: la motocicleta (21.0%), el transporte público colectivo (17.9%) y el transporte especial (empresas y colegios, 12.4%), seguidos con menores participaciones por el vehículo particular (6.0%) y el transporte informal en motocicletas (5.9%).
- Se genera una necesidad de desplazamiento por parte de la población residente en la parte Oriental de la ciudad (Comunas 4, 5, 6 y 7), hacia las Comunas 1, 2 y 3 para tener acceso al trabajo, a todo tipo de servicios y en menor medida al estudio. Esto genera problemas importantes de circulación, representados en principio por la presencia del corredor férreo (en particular representado por el cuello de botella del denominado "Puente Elevado").
- De acuerdo con la información disponible, las áreas de expansión residencial de la ciudad se encuentran localizadas en las Comunas de la parte Oriental, con mayor proporción en la parte suroriental (Comuna 7). Lo anterior incrementará la problemática de déficit en la comunicación actual a través del "Puente Elevado".
- Por su parte y de acuerdo con los aforos y encuestas en "Cordón Externo", en la actualidad la principal relación externa del Municipio corresponde a la salida a Bucaramanga y conexión con El Centro²⁴. Esto, adicionado a la conexión deficiente oriente–occidente referida antes, explica los problemas de la principal intersección vial de la ciudad (Calle 50 con Carrera 28).
- En la actualidad, en particular para el caso de los vehículos de carga relacionados principalmente con el "Llenadero" de Ecopetrol, utilizan preferencialmente la denominada "Vía Nacional", la cual a partir de Obras

²⁴ Tanto de circulación de vehículos de pasajeros como de carga

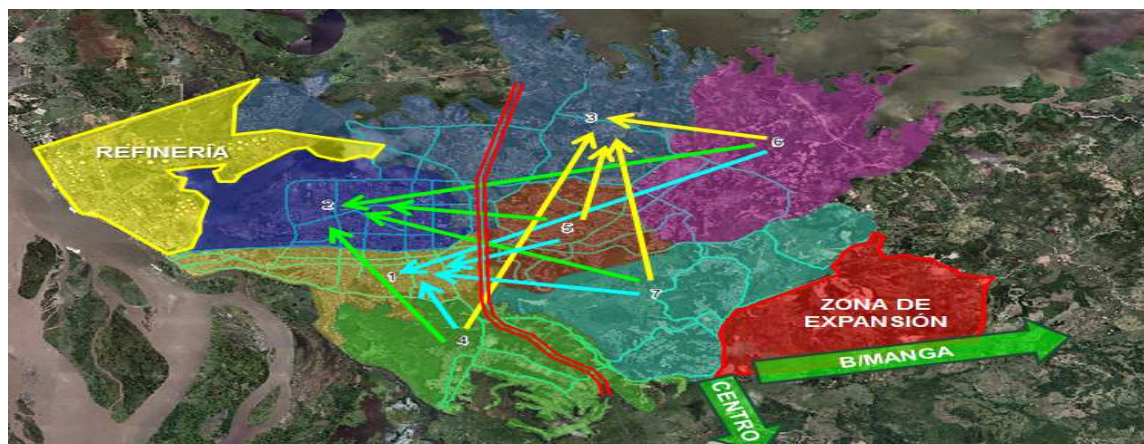
Públicas carece de continuidad en su conexión con la Avenida Circunvalar, representando en el recorrido actual problemas de capacidad y seguridad.

4.2 CASO PARTICULAR

El presente trabajo de investigación busca que la metodología desarrollada sea aplicada en un caso particular del Municipio de Barrancabermeja, con este fin la elección es “la intersección de la avenida del ferrocarril con la carrera 28 y la diagonal 49, y su articulación con el corredor de la calle 52 hasta la carrera 34c y carrera 34c entre calles 52 y 52” debido que una de las problemáticas actuales es la necesidad de la población de las comunas 4, 5, 6 y 7 a desplazarse a la comuna 1 como zona comercial donde encuentran su lugar de trabajo, estudio en menor medida y otros tipos de servicios, generando una problemática de circulación representada por un cuello de botella denominado “Puente Elevado” debido a la presencia del corredor férreo.

Esta necesidad surge del proceso previo de priorización de proyectos y que hace parte de los lineamientos del Plan Maestro de Movilidad, establecidos por el municipio de Barrancabermeja

Figura. 5. Consideración de interés de la población hacia zonas de Actividad



Fuente: Informe V – Formulación del plan de movilidad y lineamientos del plan vial – V.4.0. Alcaldía de Barrancabermeja – Universidad nacional 2010

Por esta razón la Universidad Industrial de Santander, representado por el Grupo de Investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistema, está realizando el siguiente proyecto de extensión *“OPTIMIZACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA VIAL DEL SECTOR COMPRENDIDO POR LA INTERSECCIÓN DE LA AVENIDA DEL FERROCARRIL CON LA CARRERA 28 Y LA DIAGONAL 49, Y SU ARTICULACIÓN CON EL CORREDOR DE LA CALLE 52 HASTA LA CARRERA 34C Y CARRERA 34C ENTRE CALLES 52 Y 52”* en convenio con el Municipio de Barrancabermeja, a partir de la proyección de la situación base y siguiendo los lineamientos del Plan Maestro Movilidad y del Plan de Ordenamiento Territorial, formulando unas alternativas de diseño en un escenario, representando las soluciones necesarias para la problemática actual en ese punto neurálgico de la municipalidad, con el fin que conduzcan a la determinación y al diseño de la solución más eficiente a ser implementada por parte de la administración municipal.

4.2.1 Localización

El sector se encuentra específicamente entre las comunas 1 y 2 del municipio de Barrancabermeja, comprendiendo la intersección de la avenida del Ferrocarril con

carreras 24 y 28 y con la diagonal 49, la intersección de la carrera 28 con calles 50 y 48, y la articulación de estas con los corredores de la calle 52 entre diagonal 49 y carrera 34C, y de la carrera 34C entre calles 52 y 52A.

Figura. 6. Localización General.



Fuente: Elaboración Propia

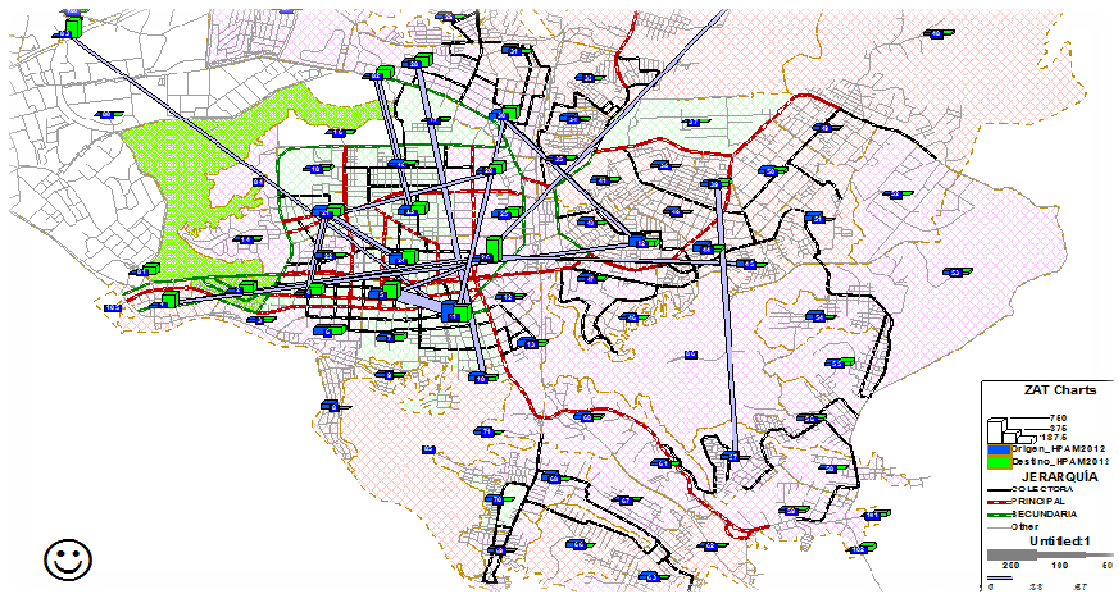
La zona de estudio es conocido popularmente como Kokorollo, presentando el uso de suelo de una manera mixta, en la cual encontramos zona comercial sobre los corredores de la carrera 28, avenida Ferrocarril y la calle 50, zonas residenciales consolidadas hacia el Norte, Oriente y sur de la zona de estudio, centros institucionales y centros médicos de importancia para la zona, como se aprecia en la Figura (6).

La infraestructura vial de la zona está comprendida por dos corredores de importancia en el municipio en términos de importancia por la cantidad de vehículos circulados y funcionalidad, los cuales son la Avenida Ferrocarril como la vía principal de conexión oriente – occidente y la carrera 28 como la vía principal de conexión norte – sur, adicionalmente encontramos corredores de jerarquía de

segundo nivel los cuales son diagonal 49 y la carrera 24 que permiten la conexión norte – sur, calle 50 y calle 59 que permiten la conexión oriente – occidente.

El uso del tipo de suelo, el sistema vial de la zona de estudio refleja que el sector es de gran importancia en la comunidad llevando a movilizar gran cantidad de volúmenes de tráfico de índole interno es decir origen - destino en la Ciudad y externo es de origen externo a Barrancabermeja, adicionando la gran cantidad de volumen peatonal por considerarse zona comercial e institucional, siendo representadas las líneas de deseo de viaje en la municipalidad según el Plan Maestro de Movilidad del municipio.

Figura 7. Líneas de deseo de viaje en el Municipio de Barrancabermeja.



Fuente: Plan Maestro de Movilidad del Municipio de Barrancabermeja

4.3 ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Según lo contempla el POT del año 2012 para la ciudad de Barrancabermeja, se proponen algunas estrategias en busca del fortalecimiento de los distintos

sectores del municipio mediante el mejoramiento de la infraestructura vial urbana. A su vez se prevé el crecimiento de la ciudad en busca de una correcta planificación de la malla vial y de la necesidad futura de un sistema de transporte masivo.

Este documento es el principal soporte para identificar las problemáticas que aquejan al municipio y las soluciones que en su momento se propusieron por parte de la administración. El POT dio evidencia de la situación actual sobre la intervención en la infraestructura vial, así como la propuesta para el desarrollo de programas de mantenimiento correctivo y que son de vital importancia para estructurar un plan maestro de movilidad. Cabe resaltar las acciones estratégicas que se evidencian en el contenido del Artículo 18 en busca del desarrollo del sistema vial urbano:

- *La articulación de la ciudad con sus sistemas de comunicaciones internas con la región y el país.*
- *La integración de la ciudad mediante vías en sentido norte – sur y oriente – occidente.*
- *La integración de las áreas aisladas del municipio y de la ciudad con la región.*
- *El mejoramiento técnico del tráfico para favorecer el desplazamiento.*
- *La construcción de vías hacia la periferia y el mejoramiento de la accesibilidad hacia las comunas.*
- *La jerarquización de la malla vial acorde con los modos de transporte y la red de espacios públicos peatonales.*
- *Ordenar el flujo vehicular desde la terminal de transporte hacia las carreteras de salida de la ciudad.*
- *La construcción y adecuación del sistema de vías que conectan con el puente Barranca – Yondó, evitando el cruce por el sector central de la ciudad de vehículos intermunicipales y camiones de carga.*
- *Delimitar los corredores viales a construir, mejorar, adecuar o pavimentar en el área urbana.*

- *Contemplar corredores de servicio en las nuevas vías que se construyan.*
- *Identificar las vías departamentales o locales a construir.*
- *Determinar zonas prioritarias de expansión donde se requiera de vías en un futuro.*
- *Garantizar la implantación de un sistema masivo de transporte.*²⁵

4.4 DETERMINACION DE LA OFERTA Y DEMANDA DEL TRANSPORTE EN LA ZONA DE ESTUDIO: ACTUALIDAD

La información y registro de conteos vehiculares y peatonales, medición de velocidades de operación y tiempos de viaje que permiten la caracterización del comportamiento actual para el tránsito y transporte en la zona de estudio, hacen parte del proceso de realización del informe: *Optimización y diseño del sistema vial del sector comprendido por la intersección de la avenida del ferrocarril con la carrera 28 y la diagonal 49, y su articulación con el corredor de la calle 52 hasta la carrera 34c y carrera 34c entre calles 52 y 52*, realizado por el Grupo de Investigación GEOMÁTICA, Gestión y Optimización de Sistemas, de la Universidad Industrial de Santander contemplado en el marco del *Plan de desarrollo municipal – Barrancabermeja ciudad futuro 2012-2015*²⁶

4.4.1 Aforos peatonales

La caracterización operacional del sistema de transporte no motorizado para el sector en estudio se logró mediante la toma de datos en los tres puntos neurálgicos que señala el Plan Maestro de Movilidad, teniendo en cuenta los

²⁵ PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE BARRANCABERMEJA. ACUERDO 018 DE 2002. págs. 29-30

²⁶ Estudios y diseños de algunos de los proyectos estratégicos y del componente programático contemplados en el plan de desarrollo municipal – Barrancabermeja ciudad futuro 2012 – 2015, Grupo de investigación Geomatica - UIS

movimientos peatonales sobre las calzadas específicas. El aforo consistió en un día de conteos para el periodo comprendido entre las 7:00 y las 19:00 horas.

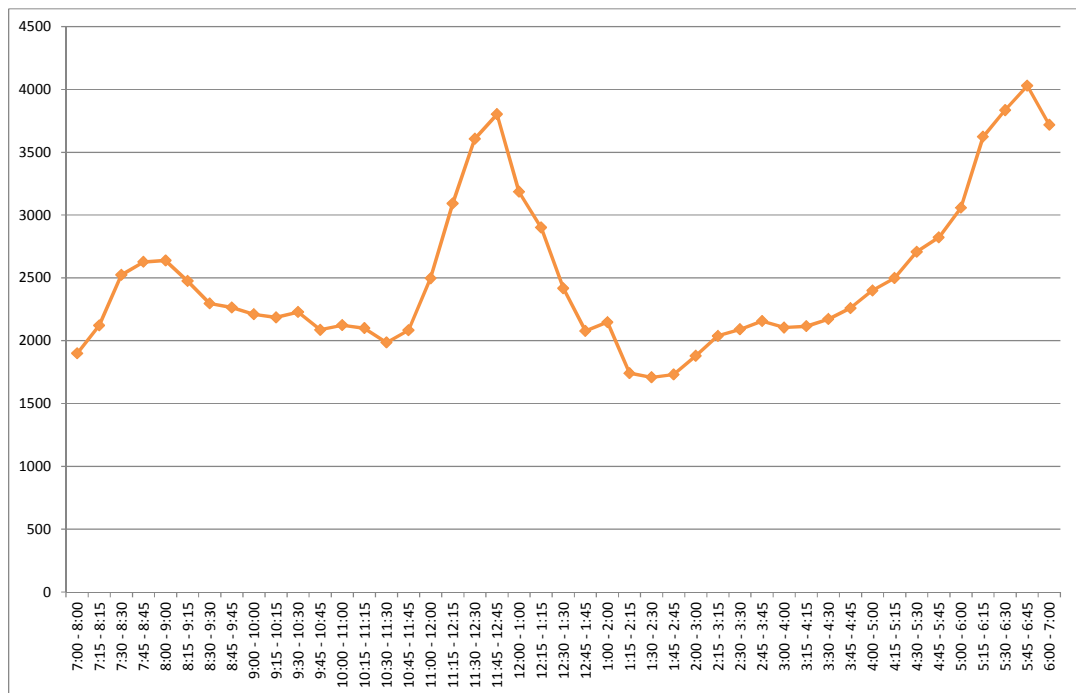
Las ubicaciones aforadas permitieron establecer horas pico para los desplazamientos a pie en el sector:

Tabla 5. Ubicación de estaciones y horario de aforo peatonal.

ESTACION	UBICACIÓN	DIAS AFORADOS	PERIODO AFORADO
1	Carrera 28 - Calle 50	1	7:00-19:00
2	Av. Ferrocarril - Carrera 28	1	7:00-19:00
3	Av. Ferrocarril - Diagonal 49	1	7:00-19:00

Fuente: Elaboración propia.

Figura. 8. Distribución de los viajes realizados a pie.



Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

El comportamiento del transporte no motorizado en el sector nos permite establecer que el mayor número de desplazamientos se encuentra en el periodo comprendido entre las 17:45 y las 18:45, y el periodo comprendido entre las 11:45 y las 12:45, con cerca de 4000 y 3500 viajes respectivamente. Sin duda esto nos señala la necesidad social de desplazamiento particularmente para dicha zona, siendo dichas horas las características del final de actividades tanto laborales como académicas.

Figura 9. Distribución espacial de los viajes realizados a pie para las 11:45 y las 12:45.



Fuente y

datos:

Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

Figura 10. Distribución espacial de los viajes realizados a pie para las 17:45 y las 18:45.



Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

4.4.2 Aforos vehiculares

La caracterización operacional del sistema de transporte motorizado para el sector en estudio se logró mediante la toma de datos en las principales intersecciones que señala el Plan Maestro de Movilidad. El aforo consistió en tres días de conteos vehiculares para las tres estaciones principales y un día de conteos vehiculares para las cinco estaciones secundarias, en el periodo comprendido entre las 6:00 y las 20:00 horas.

Tabla 6. Ubicación de estaciones y días de aforos vehiculares.

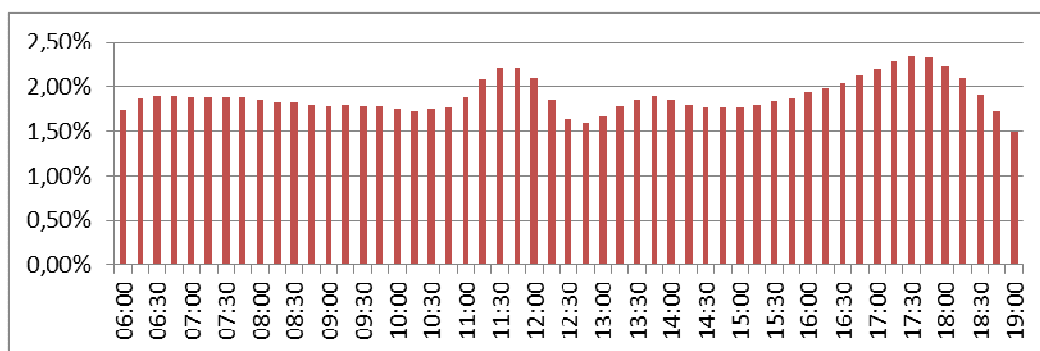
ESTACION	UBICACIÓN	DIAS DE AFOROS
1	Carrera 28 - Calle 50	3
2	Av. Ferrocarril - Carrera 28	3
3	Av. Ferrocarril – Diagonal 49	3
4	Carrera 25 - Calle 50	1
5	Carrera 25 - Calle 48	1
6	Carrera 24 - Calle 52	1
7	Carrera 28 - Calle 48	1
8	Carrera 34C – Calle 52	1

Fuente: Elaboración propia.

La asignación de velocidades de operación se realizó por los principales corredores del sector para el mismo periodo de tiempo mediante la metodología de vehículo flotante, la cual consiste en recorrer en un vehículo varias veces el mismo tramo, registrando tiempos de viajes para puntos de control preestablecidos. Los corredores seleccionados fueron: Avenida del Ferrocarril y calle 52, calle 50 y 49, diagonal 49 y carrera 28, los cuales presentan mayor jerarquía en dicho sector. Una vez realizados dichos aforos vehiculares se procedió a procesar la información, obteniendo como resultado la determinación de los flujos vehiculares para el sector de estudio y estableciendo tres picos de intensidad a lo largo del día en los volúmenes de tráfico, presentándose el mayor de ellos entre las 17:30 y las 18:30 con una concentración de flujos equivalente al

2,33% del total del volumen de vehículos en el día, seguido de la hora entre las 11:30 y las 12:30 con 2,21% y finalmente de 6:45 a 7:45 con 1,88%, dicha situación nos confirma lo establecido en los aforos peatonales, donde las horas de receso y de finalización de actividades laborales y académicas juegan un papel vital en el comportamiento del tránsito motorizado, comenzando a las 8:00, un receso de la jornada entre 12:00 y 14:00 y un regreso al hogar entre las 17:00 y las 18:00. En función de la distribución horaria de los flujos vehiculares en el sector se determinó como hora pico para el sector en estudio el periodo comprendido entre las 17:30 y las 18:30 horas.

Figura 11. Distribución de los flujos vehiculares.



Fuente: elaboración propia a partir de información primaria tomada por el grupo de investigación GEOMATICA.

Luego de establecer la hora pico de flujos vehiculares se realizó el estudio de la distribución espacial de dichos flujos para el sector en estudio, generando resultados de mayor concentración de vehículos por hora, para las intersecciones:

Tabla 7. Resultados obtenidos para el flujo vehicular en la zona de estudio.

INTERSECCION	VEHICULOS MIXTOS
Calle 52 - Diagonal 49	10535
Calle 52 - Carrera 24	7348
Calle 52 - Carrera 28	6263
Calle 50 - Carrera 28	5847

Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de realizar un estudio detallado de la situación actual se procedió a segregar la información y realizar un análisis individual para cada una de las estaciones aforadas, presentando la distribución temporal y espacial de flujos:

4.4.2.1 Estación 1: Carrera 28 – Calle 50

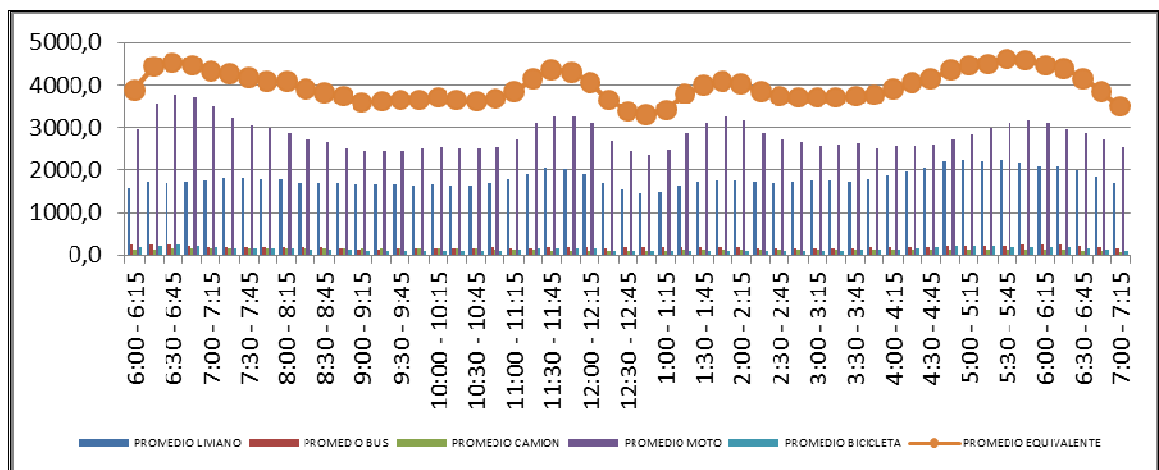
Figura 12. Ubicación Estación 1



Fuente y datos: Elaboración propia a partir de la información tomada por el Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

Para esta estación se realizó un aforo durante tres días para los 11 movimientos permitidos, estableciendo los principales flujos en los sentidos NOR-SUR y SUR-NOR. La mayor actividad vehicular se presenta entre las 17:30 y las 18:30.

Figura 13. Distribución horaria de los flujos vehiculares - Estación 1.



Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

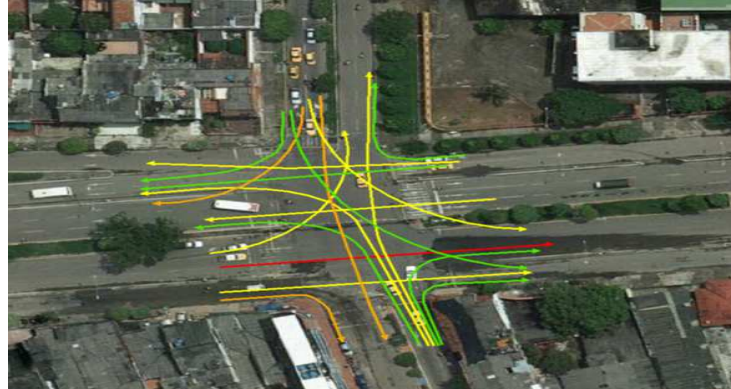
Tabla 8. Conteo vehicular total – Estación 1.

	PROMEDIO LIVIANO	PROMEDIO BUS	PROMEDIO CAMION	PROMEDIO MOTO	PROMEDIO BICICLETA	PROMEDIO MIXTO	PROMEDIO EQUIVALENTE
TOTAL	98120,7	9906,7	7008,7	154390,7	7356,0	276782,7	214857,8
6:00 - 6:15	1583,7	244,0	113,0	2959,0	177,0	5076,7	3886,8
6:15 - 6:30	1718,0	263,3	139,7	3571,0	223,3	5915,3	4446,3
6:30 - 6:45	1715,3	239,3	147,3	3782,3	229,7	6114,0	4522,4
6:45 - 7:00	1738,0	217,3	151,7	3713,7	219,3	6040,0	4474,5
7:00 - 7:15	1751,7	194,0	149,3	3490,3	191,0	5776,3	4315,5
7:15 - 7:30	1822,3	188,3	156,0	3223,0	163,3	5553,0	4249,5
7:30 - 7:45	1825,3	183,7	160,0	3046,3	158,3	5373,7	4163,3
7:45 - 8:00	1784,7	183,0	160,3	3000,0	150,0	5278,0	4096,5
8:00 - 8:15	1780,7	194,0	169,7	2879,0	148,0	5171,3	4076,7
8:15 - 8:30	1700,7	184,7	169,7	2721,3	139,0	4915,3	3896,5
8:30 - 8:45	1704,3	170,0	163,3	2655,7	129,7	4823,0	3819,4
8:45 - 9:00	1715,7	158,7	165,3	2510,0	116,0	4665,7	3736,1
9:00 - 9:15	1668,3	136,0	161,3	2445,7	104,0	4515,3	3597,7
9:15 - 9:30	1686,7	135,3	160,3	2454,7	106,3	4543,3	3617,4
9:30 - 9:45	1680,7	142,7	165,3	2444,0	104,7	4537,3	3632,7
9:45 - 10:00	1652,7	145,7	160,7	2528,7	102,0	4589,7	3640,6
10:00 - 10:15	1669,3	163,3	161,7	2551,3	95,3	4641,0	3704,4
10:15 - 10:30	1650,0	161,0	149,3	2527,0	98,0	4585,3	3638,2
10:30 - 10:45	1632,0	160,0	143,3	2528,3	97,7	4561,3	3603,8
10:45 - 11:00	1697,7	171,7	135,0	2548,3	106,7	4659,3	3684,7
11:00 - 11:15	1804,0	157,3	129,3	2732,0	116,0	4938,7	3842,8
11:15 - 11:30	1919,3	165,3	123,0	3094,7	146,3	5448,7	4148,7
11:30 - 11:45	2052,7	173,0	110,0	3259,0	157,3	5752,0	4350,4
11:45 - 12:00	2022,3	174,0	97,7	3258,3	151,3	5703,7	4289,1
12:00 - 12:15	1898,0	176,7	86,0	3117,0	141,0	5418,7	4067,1
12:15 - 12:30	1705,0	168,3	87,7	2703,7	95,7	4760,3	3641,4
12:30 - 12:45	1545,0	178,3	92,0	2452,7	86,0	4354,0	3383,8
12:45 - 1:00	1481,3	178,3	103,0	2342,7	85,3	4190,7	3292,4
1:00 - 1:15	1510,7	182,3	110,3	2479,7	92,3	4375,3	3418,7
1:15 - 1:30	1645,0	193,7	112,0	2869,7	106,0	4926,3	3779,0
1:30 - 1:45	1743,0	181,7	120,7	3098,0	104,3	5247,7	3988,3
1:45 - 2:00	1761,7	172,7	126,7	3252,3	105,0	5418,3	4081,3
2:00 - 2:15	1757,7	174,3	125,3	3165,0	102,3	5324,7	4032,9
2:15 - 2:30	1726,7	166,3	131,3	2857,3	96,3	4978,0	3845,2
2:30 - 2:45	1696,0	160,0	131,3	2738,7	92,3	4818,3	3741,4
2:45 - 3:00	1726,0	157,0	126,3	2661,3	94,7	4765,3	3714,9
3:00 - 3:15	1759,7	151,3	129,3	2584,0	94,0	4718,3	3705,9
3:15 - 3:30	1748,3	150,0	129,7	2618,0	99,7	4745,7	3711,4
3:30 - 3:45	1747,0	163,7	126,7	2629,7	111,3	4778,3	3739,2
3:45 - 4:00	1791,3	172,7	135,0	2531,0	119,0	4749,0	3775,4
4:00 - 4:15	1864,0	186,0	139,0	2567,0	121,7	4877,7	3903,5
4:15 - 4:30	1970,0	198,7	137,7	2590,7	154,3	5051,3	4053,1
4:30 - 4:45	2066,0	196,3	133,7	2608,0	195,0	5199,0	4155,3
4:45 - 5:00	2187,7	202,3	130,7	2731,7	205,3	5457,7	4346,4
5:00 - 5:15	2226,3	207,7	133,0	2847,0	220,3	5634,3	4463,8
5:15 - 5:30	2214,0	205,0	125,0	2991,0	205,3	5740,3	4493,6
5:30 - 5:45	2220,3	225,0	133,7	3091,7	176,7	5847,3	4603,3
5:45 - 6:00	2156,3	231,3	124,7	3177,0	176,3	5865,7	4572,1
6:00 - 6:15	2085,3	231,3	118,0	3109,3	173,7	5717,7	4449,8
6:15 - 6:30	2085,0	237,0	116,3	2963,3	170,7	5572,3	4382,7
6:30 - 6:45	1986,0	211,3	103,7	2868,7	150,7	5320,3	4147,4
6:45 - 7:00	1837,3	193,7	87,3	2721,0	133,3	4972,7	3843,5
7:00 - 7:15	1714,7	161,0	59,7	2547,7	105,3	4588,3	3491,3
7:15 - 7:30	1188,7	104,3	36,0	1846,7	62,3	3238,0	2429,4
7:30 - 7:45	741,0	61,0	12,7	1166,3	38,0	2019,0	1489,2
7:45 - 8:00	359,7	21,7	2,0	539,3	11,3	934,0	681,1

Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

4.4.2.2 Estación 2: Carrera 28 – Av. Ferrocarril

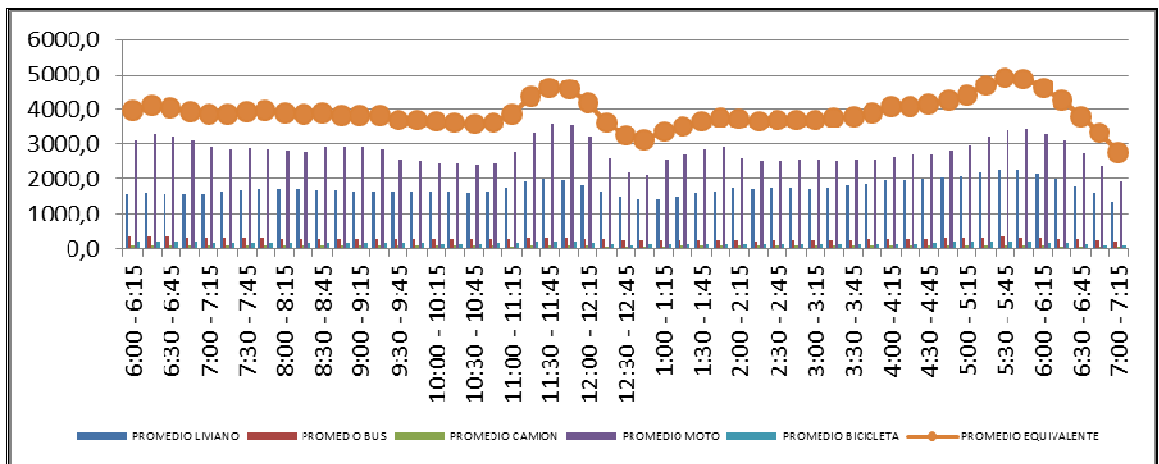
Figura 14. Ubicación Estación 2.



Fuente y datos: Elaboración propia a partir de la información tomada por el Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

Para esta estación se realizó un aforo durante tres días para los 12 movimientos permitidos, estableciendo los principales flujos en los sentidos ORI-OCC y OCC-ORI

Figura 15. Distribución horaria de los flujos vehiculares - Estación 2.



Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

Tabla 9. Conteo vehicular total – Estación 2.

	PROMEDIO LIVIANO	PROMEDIO BUS	PROMEDIO CAMION	PROMEDIO MOTO	PROMEDIO BICICLETA	PROMEDIO MIXTO	PROMEDIO EQUIVALENTE
TOTAL	93660,3	14274,3	4195,3	150332,7	7849,0	270311,7	210218,4
6:00 - 6:15	1569,0	322,3	68,0	3093,0	186,7	5239,0	3986,2
6:15 - 6:30	1600,7	319,0	72,0	3294,3	206,3	5492,3	4127,7
6:30 - 6:45	1547,0	323,0	72,3	3207,3	204,7	5354,3	4038,9
6:45 - 7:00	1546,3	306,7	73,0	3091,3	195,3	5212,7	3946,4
7:00 - 7:15	1562,0	301,3	82,3	2913,0	173,3	5032,0	3879,0
7:15 - 7:30	1617,3	295,7	82,7	2839,3	159,0	4994,0	3882,7
7:30 - 7:45	1680,3	282,3	85,0	2884,0	162,3	5094,0	3948,2
7:45 - 8:00	1695,0	282,7	94,0	2856,0	148,7	5076,3	3967,9
8:00 - 8:15	1682,0	272,3	85,7	2802,0	153,7	4995,7	3887,9
8:15 - 8:30	1685,0	268,7	83,7	2784,3	154,3	4976,0	3870,0
8:30 - 8:45	1665,7	264,0	78,7	2928,3	150,0	5086,7	3899,5
8:45 - 9:00	1648,7	256,7	72,7	2902,0	158,7	5038,7	3842,3
9:00 - 9:15	1631,3	260,0	73,3	2902,0	162,0	5028,7	3834,3
9:15 - 9:30	1614,0	267,3	82,0	2832,7	155,7	4951,7	3816,7
9:30 - 9:45	1620,3	264,0	85,0	2566,3	149,3	4685,0	3688,8
9:45 - 10:00	1629,7	270,0	94,0	2519,0	139,3	4652,0	3706,0
10:00 - 10:15	1615,7	274,0	97,7	2442,7	125,0	4555,0	3666,7
10:15 - 10:30	1610,7	263,0	87,0	2442,7	123,0	4526,3	3612,4
10:30 - 10:45	1596,7	267,0	89,0	2411,3	132,0	4496,0	3598,4
10:45 - 11:00	1621,3	270,0	73,7	2465,3	140,7	4571,0	3620,4
11:00 - 11:15	1732,3	276,3	65,0	2764,0	166,3	5004,0	3879,4
11:15 - 11:30	1912,0	288,3	72,3	3305,7	195,3	5773,7	4380,9
11:30 - 11:45	1985,3	296,3	74,0	3599,7	198,0	6153,3	4622,2
11:45 - 12:00	1948,7	291,0	79,7	3570,0	188,3	6077,7	4571,3
12:00 - 12:15	1820,0	275,7	73,7	3208,3	156,0	5533,7	4206,5
12:15 - 12:30	1627,3	251,7	63,7	2582,7	115,3	4640,7	3615,8
12:30 - 12:45	1470,3	245,3	61,0	2207,7	102,0	4086,3	3247,9
12:45 - 1:00	1420,0	237,7	57,3	2101,0	105,7	3921,7	3120,9
1:00 - 1:15	1425,0	233,7	61,7	2551,7	113,7	4385,7	3356,4
1:15 - 1:30	1491,0	237,3	67,3	2688,7	121,3	4605,7	3514,7
1:30 - 1:45	1574,0	219,3	73,0	2835,3	120,7	4822,3	3649,0
1:45 - 2:00	1629,3	217,7	86,0	2904,7	113,0	4950,7	3765,9
2:00 - 2:15	1721,7	213,3	95,3	2595,7	107,7	4733,7	3716,8
2:15 - 2:30	1696,3	208,3	91,0	2532,7	109,7	4638,0	3639,7
2:30 - 2:45	1729,0	222,0	91,3	2527,3	114,3	4684,0	3699,3
2:45 - 3:00	1749,3	214,3	83,3	2566,3	114,3	4727,7	3703,8
3:00 - 3:15	1700,3	226,7	80,7	2561,3	125,3	4694,3	3673,6
3:15 - 3:30	1749,0	240,3	89,7	2529,0	119,3	4727,3	3754,1
3:30 - 3:45	1803,3	242,3	87,0	2553,7	110,7	4797,0	3815,5
3:45 - 4:00	1854,0	253,7	95,7	2570,7	114,3	4888,3	3920,1
4:00 - 4:15	1967,0	260,3	94,3	2643,0	112,0	5076,7	4078,6
4:15 - 4:30	1956,0	256,7	93,3	2707,3	133,7	5147,0	4096,4
4:30 - 4:45	1995,0	262,3	93,0	2717,0	163,3	5230,7	4159,7
4:45 - 5:00	2010,7	282,7	86,0	2820,0	183,7	5383,0	4256,1
5:00 - 5:15	2070,7	287,0	94,7	2960,3	198,7	5611,3	4421,1
5:15 - 5:30	2187,3	313,3	95,0	3192,7	203,7	5992,0	4708,9
5:30 - 5:45	2261,3	328,0	94,7	3389,0	193,3	6266,3	4906,5
5:45 - 6:00	2265,3	311,3	90,7	3415,3	183,0	6265,7	4877,2
6:00 - 6:15	2138,7	302,7	74,7	3275,3	165,3	5956,7	4617,9
6:15 - 6:30	1990,3	276,0	59,0	3085,3	140,3	5551,0	4274,6
6:30 - 6:45	1779,0	246,3	45,7	2754,3	119,0	4944,3	3798,7
6:45 - 7:00	1574,7	220,7	36,0	2370,0	98,7	4300,0	3320,6
7:00 - 7:15	1347,0	184,7	26,7	1924,7	77,3	3560,3	2768,5
7:15 - 7:30	901,3	122,3	18,3	1207,3	49,3	2298,7	1810,3
7:30 - 7:45	515,0	69,7	10,0	672,3	28,0	1295,0	1023,9
7:45 - 8:00	224,0	29,0	3,0	265,7	8,3	530,0	424,8

Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

4.4.2.3 Estación 3: Diagonal 49 – Av. Ferrocarril

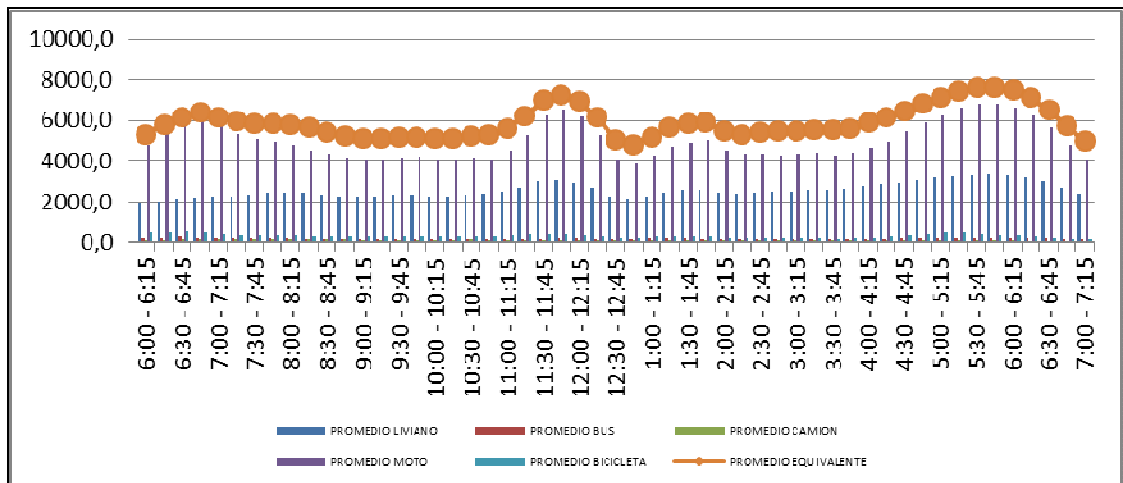
Figura 16. Ubicación Estación 3.



Fuente y datos: Elaboración propia a partir de la información tomada por el Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

Para esta estación se realizó un aforo durante tres días para los 14 movimientos permitidos, estableciendo los principales flujos en los sentidos ORI-OCC, ORI-NOR Y SUR-NOR.

Figura 17. Distribución horaria de los flujos vehiculares - Estación 3.



Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

Tabla 10. Conteo vehicular total – Estación 3.

	PROMEDIO LIVIANO	PROMEDIO BUS	PROMEDIO CAMION	PROMEDIO MOTO	PROMEDIO BICICLETA	PROMEDIO MIXTO	PROMEDIO EQUIVALENTE
TOTAL	139770,0	11562,7	6909,0	270264,3	17940,7	446446,7	320682,2
6:00 - 6:15	1967,7	273,0	114,3	4777,0	468,0	7600,0	5328,4
6:15 - 6:30	2042,7	271,3	124,7	5536,7	521,0	8496,3	5821,6
6:30 - 6:45	2123,3	276,0	155,0	5943,3	553,7	9051,3	6200,6
6:45 - 7:00	2202,3	271,3	173,0	6106,0	519,0	9271,7	6386,2
7:00 - 7:15	2241,7	252,3	177,7	5681,7	430,3	8783,7	6160,4
7:15 - 7:30	2283,3	243,0	175,7	5333,3	386,7	8422,0	5991,2
7:30 - 7:45	2359,7	228,3	155,7	5124,3	356,0	8224,0	5874,5
7:45 - 8:00	2425,3	227,3	159,0	4978,3	345,3	8135,3	5870,3
8:00 - 8:15	2459,3	229,7	166,0	4772,3	346,0	7973,3	5823,6
8:15 - 8:30	2442,0	209,3	171,3	4533,0	331,0	7686,7	5654,8
8:30 - 8:45	2331,3	191,0	165,0	4358,0	328,0	7373,3	5403,2
8:45 - 9:00	2275,0	182,7	161,7	4194,3	319,7	7133,3	5237,6
9:00 - 9:15	2262,3	169,7	147,3	4088,0	320,7	6988,0	5110,2
9:15 - 9:30	2274,7	176,3	145,0	4116,0	324,3	7036,3	5145,1
9:30 - 9:45	2305,7	178,0	144,7	4156,7	293,7	7078,7	5189,8
9:45 - 10:00	2303,3	175,3	142,0	4210,0	312,0	7142,7	5207,6
10:00 - 10:15	2262,3	176,3	142,3	4115,3	288,3	6984,7	5115,0
10:15 - 10:30	2299,7	174,3	140,7	4139,0	286,7	7040,3	5155,5
10:30 - 10:45	2352,0	183,0	153,7	4148,0	302,3	7139,0	5266,9
10:45 - 11:00	2391,0	191,0	143,7	4121,7	292,7	7140,0	5280,8
11:00 - 11:15	2542,7	189,3	137,7	4552,0	338,3	7760,0	5643,0
11:15 - 11:30	2726,7	197,3	128,0	5293,3	416,0	8761,3	6212,8
11:30 - 11:45	3023,0	206,7	129,0	6270,0	452,0	10080,7	7029,4
11:45 - 12:00	3085,0	220,7	120,0	6583,0	440,3	10449,0	7249,9
12:00 - 12:15	2975,7	218,0	122,7	6212,7	392,7	9921,7	6942,5
12:15 - 12:30	2707,0	212,3	115,7	5292,7	291,3	8619,0	6154,6
12:30 - 12:45	2288,7	201,3	97,3	4142,0	253,3	6982,7	5081,7
12:45 - 1:00	2168,0	201,0	97,3	3853,3	275,0	6594,7	4822,5
1:00 - 1:15	2264,0	225,7	92,3	4308,7	291,7	7182,3	5188,0
1:15 - 1:30	2456,7	241,3	112,3	4698,7	320,3	7829,3	5665,6
1:30 - 1:45	2555,3	230,0	109,7	4922,0	307,7	8124,7	5842,8
1:45 - 2:00	2602,3	212,0	119,3	5008,7	279,0	8221,3	5912,7
2:00 - 2:15	2479,7	191,3	129,7	4522,0	258,7	7581,3	5525,1
2:15 - 2:30	2368,7	176,7	129,0	4330,0	248,3	7252,7	5284,0
2:30 - 2:45	2459,0	183,0	141,3	4346,7	250,7	7380,7	5426,9
2:45 - 3:00	2508,3	186,3	147,0	4309,0	228,7	7379,3	5471,6
3:00 - 3:15	2526,3	187,3	147,7	4366,7	236,7	7464,7	5524,5
3:15 - 3:30	2576,3	187,3	143,0	4394,7	216,0	7517,3	5570,6
3:30 - 3:45	2580,7	189,0	143,0	4325,7	210,3	7448,7	5542,1
3:45 - 4:00	2611,3	194,7	138,7	4407,0	242,3	7594,0	5623,5
4:00 - 4:15	2751,0	207,0	138,7	4662,7	263,0	8022,3	5921,9
4:15 - 4:30	2865,0	212,7	125,7	4955,0	313,3	8471,7	6176,0
4:30 - 4:45	2925,3	222,0	115,3	5447,0	387,3	9097,0	6497,4
4:45 - 5:00	3060,7	228,0	110,3	5867,7	443,7	9710,3	6859,4
5:00 - 5:15	3183,0	230,3	99,3	6265,3	464,7	10242,7	7164,1
5:15 - 5:30	3227,3	244,7	107,3	6617,3	481,7	10678,3	7438,2
5:30 - 5:45	3320,3	255,3	110,0	6795,0	442,7	10923,3	7636,3
5:45 - 6:00	3354,7	262,0	102,7	6799,0	396,3	10914,7	7653,7
6:00 - 6:15	3321,3	257,0	97,0	6632,0	356,3	10663,7	7500,7
6:15 - 6:30	3211,7	252,3	81,0	6236,3	293,0	10074,3	7124,9
6:30 - 6:45	2988,0	235,7	68,7	5637,7	242,7	9172,7	6522,6
6:45 - 7:00	2694,7	210,3	66,0	4801,7	195,3	7968,0	5739,8
7:00 - 7:15	2415,7	186,3	55,3	4037,3	165,7	6860,3	4995,0
7:15 - 7:30	1703,0	123,3	39,0	2647,3	111,7	4624,3	3404,3
7:30 - 7:45	1101,7	72,3	25,0	1543,3	72,3	2814,7	2102,2
7:45 - 8:00	536,7	32,7	8,7	748,0	36,3	1362,3	1008,6

Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

4.4.2.4 Estación 4: Calle 50 – Carrera 25.

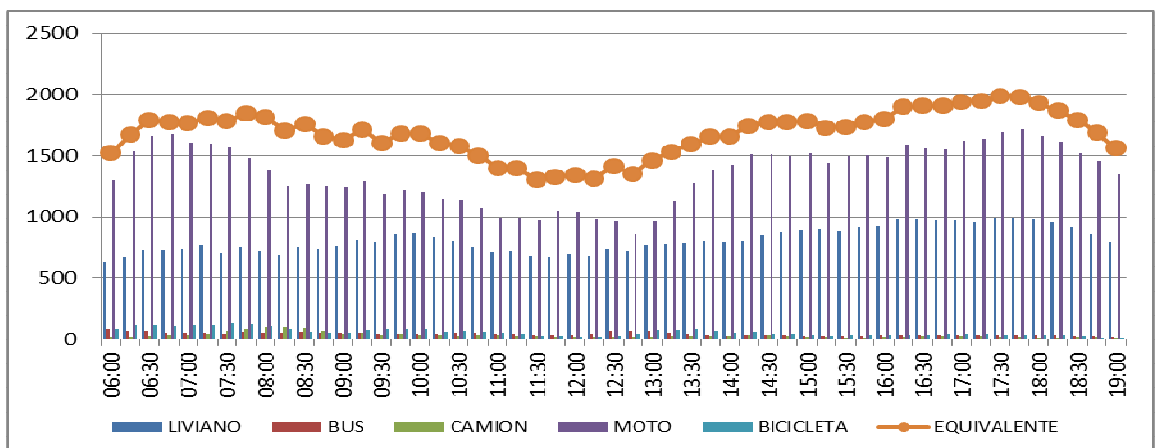
Figura 18. Ubicación Estación 4.



Fuente y datos: Elaboración propia a partir de la información tomada por el Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

Para esta estación se realizó un aforo durante un día para los 4 movimientos permitidos, estableciendo los principales flujos en los sentidos ORI-OCC, ORI-SUR.

Figura 19. Distribución horaria de los flujos vehiculares - Estación 4.



Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

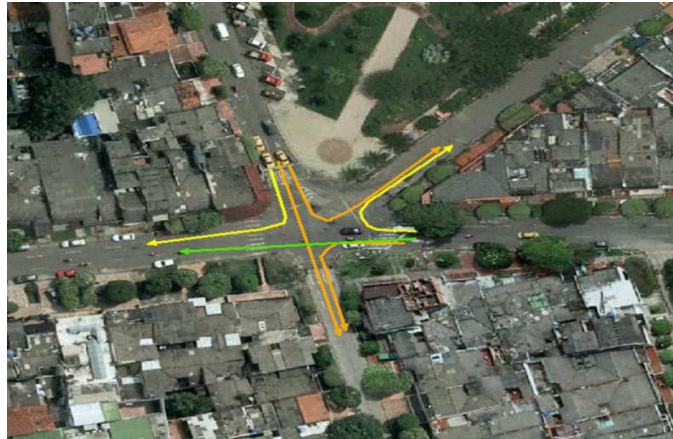
Tabla 11. Conteo vehicular total – Estación 4.

	LIVIANO	BUS	CAMION	MOTO	BICICLETA	MIXTO	EQUIVALENTE
TOTAL	44122	2413	1797	73871	3145	125348	91319,5
6:00 - 6:15	633	84	18	1302	85	2122	1522,5
6:15 - 6:30	676	69	22	1532	116	2415	1669,8
6:30 - 6:45	724	66	26	1662	117	2595	1787,1
6:45 - 7:00	724	51	33	1675	104	2587	1777,2
7:00 - 7:15	734	49	38	1605	118	2544	1764,9
7:15 - 7:30	763	52	43	1600	114	2572	1808,7
7:30 - 7:45	703	48	65	1564	128	2508	1781,9
7:45 - 8:00	754	57	82	1477	125	2495	1849
8:00 - 8:15	721	54	103	1384	109	2371	1811,2
8:15 - 8:30	688	55	103	1250	82	2178	1705,1
8:30 - 8:45	753	59	94	1269	59	2234	1758,2
8:45 - 9:00	736	56	68	1254	53	2167	1660,9
9:00 - 9:15	759	54	48	1249	56	2166	1628,3
9:15 - 9:30	813	53	50	1296	77	2289	1715,1
9:30 - 9:45	798	45	39	1188	80	2150	1603,5
9:45 - 10:00	858	44	41	1218	87	2248	1683,6
10:00 - 10:15	866	47	37	1207	82	2239	1680,6
10:15 - 10:30	838	44	34	1147	63	2126	1603,4
10:30 - 10:45	806	53	31	1135	67	2092	1577,1
10:45 - 11:00	754	50	37	1074	58	1973	1500,9
11:00 - 11:15	713	46	33	994	49	1835	1399,2
11:15 - 11:30	720	47	29	992	48	1836	1396,9
11:30 - 11:45	682	34	25	972	31	1744	1307,8
11:45 - 12:00	676	36	18	1051	29	1810	1327,2
12:00 - 12:15	693	39	19	1040	23	1814	1345,4
12:15 - 12:30	683	45	19	978	17	1742	1314,6
12:30 - 12:45	733	65	22	966	30	1816	1410
12:45 - 1:00	721	65	23	862	48	1719	1353,9
1:00 - 1:15	769	65	24	965	75	1898	1464
1:15 - 1:30	777	55	25	1124	79	2060	1535,2
1:30 - 1:45	780	43	25	1275	87	2210	1592,1
1:45 - 2:00	804	35	29	1377	66	2311	1654,8
2:00 - 2:15	790	32	31	1429	50	2332	1661
2:15 - 2:30	807	37	34	1514	61	2453	1741,3
2:30 - 2:45	853	34	34	1512	42	2475	1774,6
2:45 - 3:00	878	34	28	1499	41	2480	1777,8
3:00 - 3:15	894	31	21	1522	36	2504	1780,3
3:15 - 3:30	897	30	17	1441	27	2412	1728,1
3:30 - 3:45	884	30	14	1493	35	2456	1736
3:45 - 4:00	912	32	15	1503	39	2501	1776,7
4:00 - 4:15	927	33	22	1486	38	2506	1802,4
4:15 - 4:30	976	35	19	1587	37	2654	1898,1
4:30 - 4:45	980	37	25	1557	38	2637	1906,4
4:45 - 5:00	974	38	28	1549	45	2634	1908
5:00 - 5:15	971	38	29	1621	44	2703	1943,2
5:15 - 5:30	955	40	32	1640	43	2710	1947,9
5:30 - 5:45	995	37	24	1694	40	2790	1988
5:45 - 6:00	986	40	19	1716	36	2797	1982,3
6:00 - 6:15	975	39	15	1661	35	2725	1931,5
6:15 - 6:30	951	34	13	1612	34	2644	1867,7
6:30 - 6:45	914	32	19	1517	26	2508	1791,8
6:45 - 7:00	862	25	17	1459	14	2377	1688,2
7:00 - 7:15	796	24	16	1351	10	2197	1562,5
7:15 - 7:30	577	17	12	940	5	1551	1112,5
7:30 - 7:45	352	12	5	598	4	971	688,7
7:45 - 8:00	164	7	5	286	3	465	334,4

Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

4.4.2.5 Estación 5: Calle 48 – Carrera 25

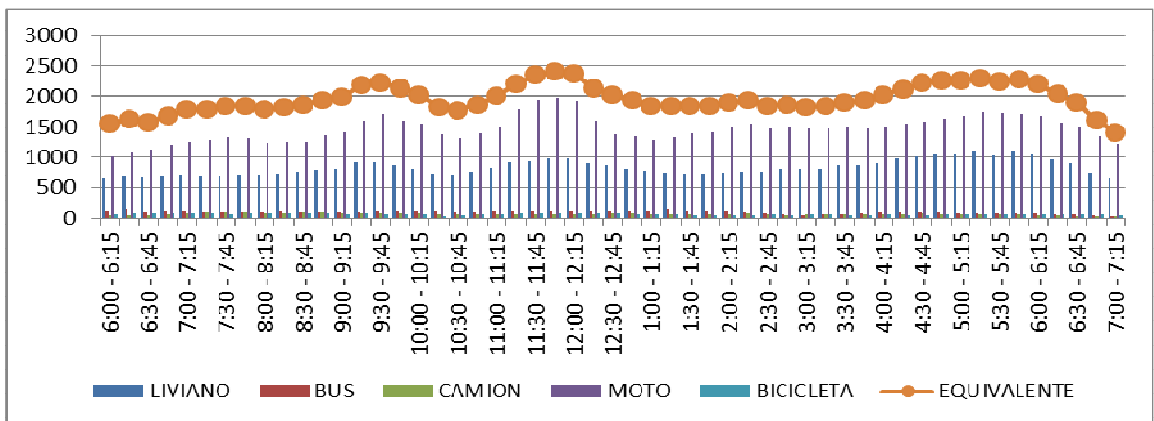
Figura 20. Ubicación Estación 5.



Fuente y datos: Elaboración propia a partir de la información tomada por el Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

Para esta estación se realizó un aforo durante un día para los 6 movimientos permitidos, estableciendo los principales flujos en los sentidos NOR-SUR y NOR-ORI.

Figura 21. Distribución horaria de los flujos vehiculares - Estación 5



Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

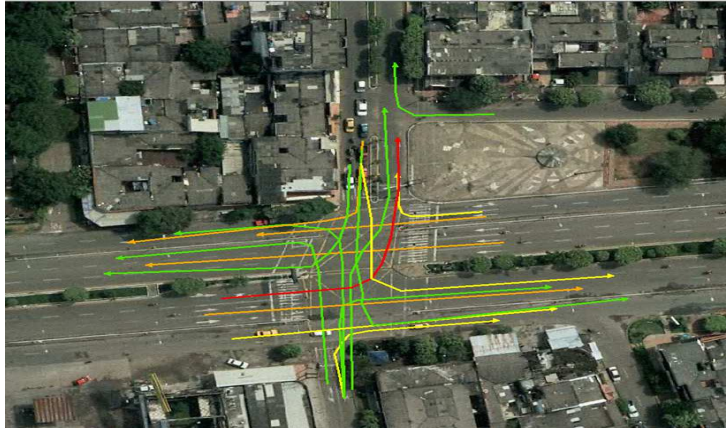
Tabla 12. Conteo vehicular total – Estación 5.

TOTAL	LIVIANO	BUS	CAMION	MOTO	BICICLETA	MIXTO	EQUIVALENTE
6:00 - 6:15	656	126	45	1012	71	1910	1547,8
6:15 - 6:30	686	131	49	1060	88	2014	1626,9
6:30 - 6:45	660	101	47	1125	87	2020	1568,1
6:45 - 7:00	690	112	58	1198	85	2143	1683,5
7:00 - 7:15	698	112	86	1250	85	2231	1787,5
7:15 - 7:30	687	98	96	1279	76	2236	1785,3
7:30 - 7:45	689	107	103	1328	73	2300	1846,4
7:45 - 8:00	704	109	98	1307	76	2294	1843,3
8:00 - 8:15	712	108	89	1225	78	2212	1786,4
8:15 - 8:30	728	114	86	1253	80	2261	1821,5
8:30 - 8:45	753	110	96	1258	83	2300	1866,9
8:45 - 9:00	794	100	94	1355	81	2424	1930,8
9:00 - 9:15	819	109	89	1423	64	2504	1990,2
9:15 - 9:30	919	110	89	1602	79	2799	2186,2
9:30 - 9:45	929	115	79	1704	66	2893	2228,3
9:45 - 10:00	873	125	80	1596	57	2731	2138,1
10:00 - 10:15	813	122	76	1537	58	2606	2032,9
10:15 - 10:30	714	119	74	1372	35	2314	1833,5
10:30 - 10:45	708	109	69	1307	42	2235	1764,6
10:45 - 11:00	755	110	71	1395	58	2389	1867,4
11:00 - 11:15	833	116	65	1503	72	2589	2000,6
11:15 - 11:30	918	113	60	1778	78	2947	2206,4
11:30 - 11:45	948	125	61	1950	91	3175	2352,8
11:45 - 12:00	986	121	61	1990	88	3246	2401,9
12:00 - 12:15	978	121	64	1931	82	3176	2370,1
12:15 - 12:30	908	120	68	1604	79	2779	2143,7
12:30 - 12:45	872	121	79	1381	78	2531	2025,4
12:45 - 1:00	810	120	78	1339	73	2420	1936,4
1:00 - 1:15	769	118	74	1283	66	2310	1851,3
1:15 - 1:30	742	130	62	1325	60	2319	1837,5
1:30 - 1:45	731	126	60	1395	45	2357	1844
1:45 - 2:00	714	127	66	1409	46	2362	1851,3
2:00 - 2:15	747	120	63	1494	44	2468	1904,7
2:15 - 2:30	754	100	76	1538	56	2524	1929,8
2:30 - 2:45	759	86	63	1478	58	2444	1844,9
2:45 - 3:00	811	72	54	1505	55	2497	1859
3:00 - 3:15	807	55	60	1474	58	2454	1821,4
3:15 - 3:30	815	63	58	1471	58	2465	1838,9
3:30 - 3:45	863	64	57	1490	53	2527	1894,4
3:45 - 4:00	868	76	65	1479	55	2543	1938,5
4:00 - 4:15	900	93	70	1509	59	2631	2033,2
4:15 - 4:30	980	93	69	1540	52	2734	2124,1
4:30 - 4:45	1014	101	79	1576	56	2826	2218,3
4:45 - 5:00	1057	95	74	1632	63	2921	2266,9
5:00 - 5:15	1059	91	65	1665	63	2943	2254,9
5:15 - 5:30	1080	89	63	1743	64	3039	2306,2
5:30 - 5:45	1040	84	63	1725	65	2977	2247,5
5:45 - 6:00	1093	88	60	1704	62	3007	2289,6
6:00 - 6:15	1052	79	56	1666	69	2922	2203,7
6:15 - 6:30	964	72	53	1553	74	2716	2039,2
6:30 - 6:45	906	64	38	1511	66	2585	1904,3
6:45 - 7:00	739	45	33	1349	62	2228	1604,6
7:00 - 7:15	648	37	30	1208	43	1966	1413,9
7:15 - 7:30	451	23	20	836	25	1355	972,5
7:30 - 7:45	274	12	14	502	17	819	589,1
7:45 - 8:00	113	5	5	237	4	364	255,2

Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

4.4.2.6 Estación 6: Av. Ferrocarril - Carrera 28

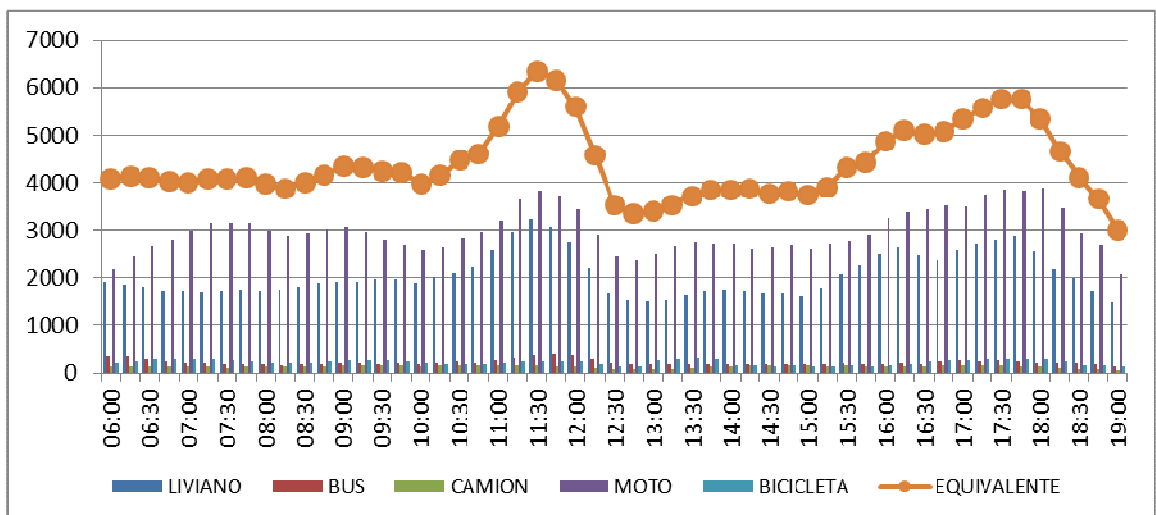
Figura 22. Ubicación Estación 6.



Fuente y datos: Elaboración propia a partir de la información tomada por el Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

Para esta estación se realizó un aforo durante un día para los 10 movimientos permitidos, estableciendo los principales flujos en el sentido OCC-NOR.

Figura 23. Distribución horaria de los flujos vehiculares - Estación 6



Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

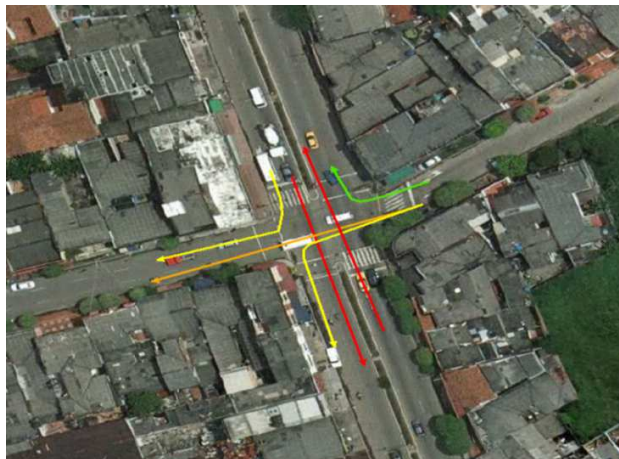
Tabla 13. Conteo vehicular total – Estación 6.

	LIVIANO	BUS	CAMION	MOTO	BICICLETA	MIXTO	EQUIVALENTE
TOTAL	110756	11928	7195	160976	11900	302755	236657,5
6:00 - 6:15	1906	354	121	2186	200	4767	4069,5
6:15 - 6:30	1865	331	125	2450	240	5011	4136,5
6:30 - 6:45	1803	281	129	2641	287	5141	4094,1
6:45 - 7:00	1712	241	134	2814	301	5202	4026,3
7:00 - 7:15	1696	209	121	3004	302	5332	4009,1
7:15 - 7:30	1691	208	120	3151	280	5450	4066,5
7:30 - 7:45	1735	192	119	3158	252	5456	4071,1
7:45 - 8:00	1765	190	126	3143	237	5461	4102,6
8:00 - 8:15	1723	176	134	2983	224	5240	3968,7
8:15 - 8:30	1751	154	127	2877	216	5125	3879,8
8:30 - 8:45	1809	175	126	2937	219	5266	4008,2
8:45 - 9:00	1883	175	140	3026	249	5473	4170,7
9:00 - 9:15	1908	201	164	3073	257	5603	4333,6
9:15 - 9:30	1916	207	171	2971	265	5530	4322,5
9:30 - 9:45	1956	198	164	2798	256	5372	4237,8
9:45 - 10:00	1979	216	158	2687	229	5269	4218,2
10:00 - 10:15	1898	191	132	2584	199	5004	3961,7
10:15 - 10:30	2015	203	148	2618	184	5168	4155,2
10:30 - 10:45	2094	234	170	2842	186	5526	4463,8
10:45 - 11:00	2236	220	160	2958	185	5759	4610,5
11:00 - 11:15	2560	266	169	3212	207	6414	5182,6
11:15 - 11:30	2960	327	158	3651	239	7335	5906,2
11:30 - 11:45	3216	378	152	3842	247	7835	6347,1
11:45 - 12:00	3073	391	146	3733	242	7585	6159,1
12:00 - 12:15	2762	359	129	3447	227	6924	5594,1
12:15 - 12:30	2216	288	111	2909	176	5700	4576,8
12:30 - 12:45	1651	205	85	2441	133	4515	3533,9
12:45 - 1:00	1516	198	79	2365	137	4295	3333,1
1:00 - 1:15	1487	198	78	2485	255	4503	3397
1:15 - 1:30	1527	194	85	2649	286	4741	3537,8
1:30 - 1:45	1616	189	102	2759	304	4970	3719,7
1:45 - 2:00	1694	191	127	2739	279	5030	3846,7
2:00 - 2:15	1748	178	138	2697	171	4932	3848,8
2:15 - 2:30	1715	190	171	2599	157	4832	3869,1
2:30 - 2:45	1641	182	159	2633	144	4759	3762,2
2:45 - 3:00	1655	184	167	2684	159	4849	3830,2
3:00 - 3:15	1614	183	169	2609	142	4717	3749,6
3:15 - 3:30	1775	186	144	2701	142	4948	3900,1
3:30 - 3:45	2083	200	159	2781	151	5374	4316,3
3:45 - 4:00	2251	176	130	2911	141	5609	4425,8
4:00 - 4:15	2496	185	130	3248	161	6220	4863,3
4:15 - 4:30	2623	200	137	3376	189	6525	5110,2
4:30 - 4:45	2477	193	144	3446	228	6488	5014,4
4:45 - 5:00	2374	235	159	3528	261	6557	5083,8
5:00 - 5:15	2576	254	167	3494	265	6756	5328
5:15 - 5:30	2703	248	172	3741	281	7145	5583,8
5:30 - 5:45	2813	260	161	3853	297	7384	5751,1
5:45 - 6:00	2893	242	145	3843	287	7410	5747,1
6:00 - 6:15	2548	218	126	3881	286	7059	5325,3
6:15 - 6:30	2188	216	94	3473	232	6203	4661,1
6:30 - 6:45	2002	199	76	2938	172	5387	4110,6
6:45 - 7:00	1725	177	73	2685	158	4818	3651,4
7:00 - 7:15	1464	145	66	2072	145	3892	2998,5
7:15 - 7:30	985	82	50	1350	109	2576	1981,7
7:30 - 7:45	552	44	33	944	79	1652	1218,2
7:45 - 8:00	236	11	15	356	43	661	486,4

Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

4.4.2.7 Estación 7: Carrera 28 – Calle 48

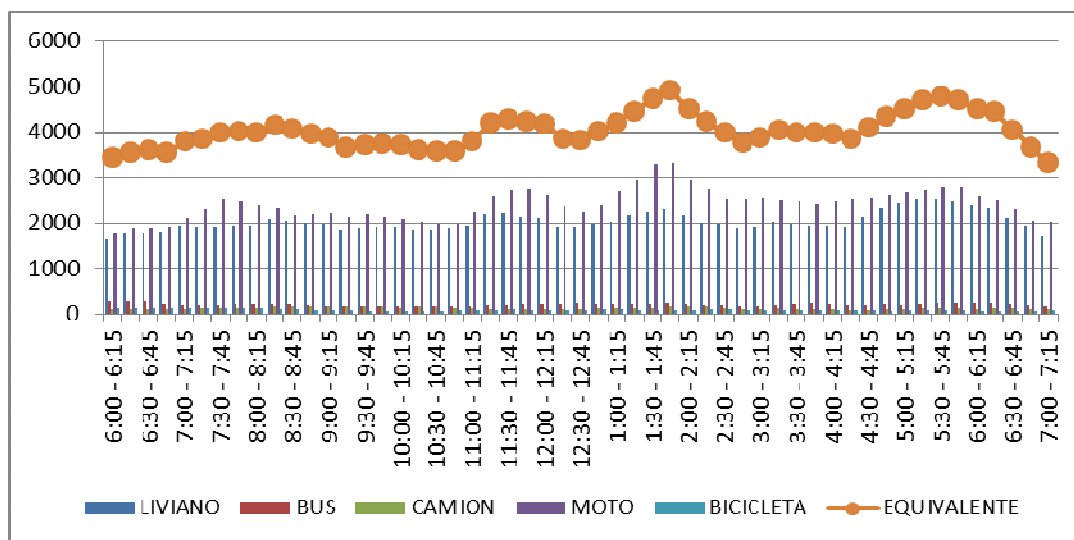
Figura 23. Ubicación Estación 7.



Fuente y datos: Elaboración propia a partir de la información tomada por el Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

Para esta estación se realizó un aforo durante un día para los 6 movimientos permitidos, estableciendo los principales flujos en los sentidos NOR-SUR, SUR-NOR.

Figura 24. Distribución horaria de los flujos vehiculares - Estación 7



Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas

Tabla 14. Conteo vehicular total – Estación 7.

TOTAL	LIVIANO	BUS	CAMION	MOTO	BICICLETA	MIXTO	EQUIVALENTE
TOTAL	109883	11499	7212	131007	5128	264729	217952,9
6:00 - 6:15	1660	286	108	1769	144	3967	3429,7
6:15 - 6:30	1766	279	104	1862	152	4163	3560,6
6:30 - 6:45	1764	276	121	1872	147	4180	3598,6
6:45 - 7:00	1794	233	121	1886	136	4170	3546,3
7:00 - 7:15	1949	210	128	2123	137	4547	3791,6
7:15 - 7:30	1909	200	138	2306	143	4696	3849,9
7:30 - 7:45	1924	199	142	2538	146	4949	3989,8
7:45 - 8:00	1959	229	131	2475	149	4943	4026,7
8:00 - 8:15	1940	229	144	2381	131	4825	3987,8
8:15 - 8:30	2087	228	163	2340	113	4931	4154,4
8:30 - 8:45	2063	236	161	2181	106	4747	4059,8
8:45 - 9:00	2014	194	175	2204	89	4676	3968,2
9:00 - 9:15	1972	180	166	2213	85	4616	3879
9:15 - 9:30	1829	177	160	2137	74	4377	3673,7
9:30 - 9:45	1873	167	157	2195	68	4460	3717,4
9:45 - 10:00	1917	167	158	2143	56	4441	3734,3
10:00 - 10:15	1914	178	155	2085	63	4395	3718,9
10:15 - 10:30	1835	170	164	2026	67	4262	3618,1
10:30 - 10:45	1837	169	159	1982	63	4210	3582,4
10:45 - 11:00	1860	169	146	1972	78	4225	3572,4
11:00 - 11:15	1960	173	134	2251	81	4599	3790,8
11:15 - 11:30	2206	194	119	2571	97	5187	4206,1
11:30 - 11:45	2223	197	119	2719	104	5362	4305,2
11:45 - 12:00	2133	212	108	2738	91	5282	4223,3
12:00 - 12:15	2113	228	115	2618	80	5154	4189,5
12:15 - 12:30	1917	225	114	2354	81	4691	3853,3
12:30 - 12:45	1888	241	124	2240	86	4579	3825,8
12:45 - 1:00	1971	231	141	2387	103	4833	4009,9
1:00 - 1:15	2044	223	139	2686	111	5203	4213,8
1:15 - 1:30	2173	225	130	2953	97	5578	4453,6
1:30 - 1:45	2238	226	147	3301	91	6003	4735,3
1:45 - 2:00	2318	246	167	3325	93	6149	4917,9
2:00 - 2:15	2165	224	159	2939	98	5585	4509,4
2:15 - 2:30	2008	210	164	2755	102	5239	4246,1
2:30 - 2:45	1965	191	136	2516	114	4922	3979,2
2:45 - 3:00	1863	172	113	2527	96	4771	3781,8
3:00 - 3:15	1896	181	126	2558	83	4844	3876,9
3:15 - 3:30	2021	209	131	2491	80	4932	4036
3:30 - 3:45	1965	219	127	2475	77	4863	3981,1
3:45 - 4:00	1961	239	126	2428	88	4842	3994,4
4:00 - 4:15	1955	235	109	2476	89	4864	3962,2
4:15 - 4:30	1922	201	93	2530	82	4828	3846,1
4:30 - 4:45	2153	207	92	2542	77	5071	4091,1
4:45 - 5:00	2345	213	101	2601	72	5332	4345,6
5:00 - 5:15	2449	209	117	2672	88	5535	4521,9
5:15 - 5:30	2522	237	132	2714	97	5702	4712,1
5:30 - 5:45	2526	254	137	2780	96	5793	4795,3
5:45 - 6:00	2462	245	132	2785	85	5709	4700
6:00 - 6:15	2380	255	126	2586	67	5414	4518,1
6:15 - 6:30	2328	262	135	2498	55	5278	4455
6:30 - 6:45	2120	219	129	2319	54	4841	4056,2
6:45 - 7:00	1938	186	121	2069	66	4380	3666,8
7:00 - 7:15	1694	162	111	2024	74	4065	3329,7
7:15 - 7:30	1181	92	68	1461	61	2863	2283,8
7:30 - 7:45	724	55	48	928	41	1796	1430,3
7:45 - 8:00	290	25	21	500	24	860	649,7

Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas

4.4.2.8 Estación 8: Carrera 34C – Calle 52ª

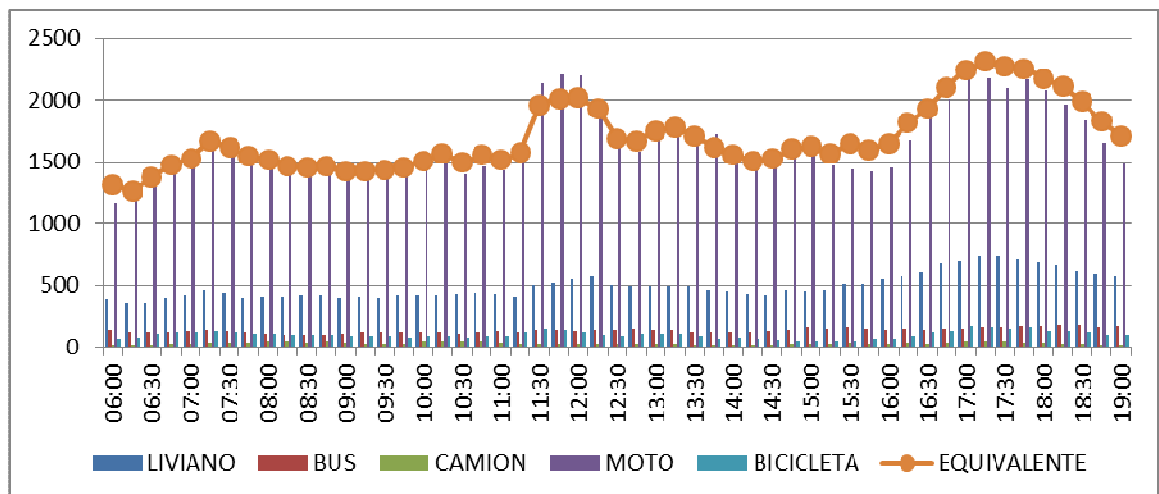
Figura 25. Ubicación Estación 8.



Fuente y datos: Elaboración propia a partir de la información tomada por el Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas.

Para esta estación se realizó un aforo durante un día para los 8 movimientos permitidos, estableciendo los principales flujos en los sentidos NOR-SUR, SUR-OCC Y OCC-SUR.

Figura 26. Distribución horaria de los flujos vehiculares - Estación 8.



Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas

Tabla 15. Conteo vehicular total – Estación 8.

TOTAL	LIVIANO	BUS	CAMION	MOTO	BICICLETA	MIXTO	EQUIVALENTE
	27110	7302	1646	89603	5397	131058	92249.6
6:00 - 6:15	393	138	18	1168	69	1786	1318.7
6:15 - 6:30	346	122	14	1228	77	1787	1262.1
6:30 - 6:45	361	118	18	1408	104	2009	1377.2
6:45 - 7:00	402	118	23	1483	117	2143	1472.1
7:00 - 7:15	423	124	24	1530	113	2214	1529.9
7:15 - 7:30	465	135	32	1635	127	2394	1670.6
7:30 - 7:45	441	129	35	1590	116	2311	1616.3
7:45 - 8:00	398	120	34	1580	104	2236	1544.2
8:00 - 8:15	411	107	44	1498	110	2170	1517
8:15 - 8:30	414	100	45	1428	98	2085	1469.9
8:30 - 8:45	417	99	40	1417	94	2067	1451.7
8:45 - 9:00	420	101	45	1395	100	2061	1462
9:00 - 9:15	399	110	32	1399	88	2028	1424.9
9:15 - 9:30	407	117	29	1375	84	2012	1426.2
9:30 - 9:45	401	120	31	1381	85	2018	1434.5
9:45 - 10:00	421	120	31	1387	80	2039	1456
10:00 - 10:15	423	117	44	1430	85	2099	1507.5
10:15 - 10:30	421	119	48	1530	85	2203	1569.5
10:30 - 10:45	428	111	49	1396	77	2061	1493.6
10:45 - 11:00	443	120	46	1465	84	2158	1555.7
11:00 - 11:15	433	125	35	1431	86	2110	1511.8
11:15 - 11:30	407	115	31	1647	121	2321	1574.3
11:30 - 11:45	504	134	31	2138	148	2955	1962.9
11:45 - 12:00	524	133	31	2209	134	3031	2012.2
12:00 - 12:15	551	129	30	2197	121	3028	2018.8
12:15 - 12:30	576	137	26	1975	95	2809	1931
12:30 - 12:45	499	140	28	1617	90	2374	1684.5
12:45 - 1:00	490	144	27	1581	112	2354	1669.6
1:00 - 1:15	489	142	26	1766	108	2531	1753.4
1:15 - 1:30	494	139	27	1811	106	2577	1776.8
1:30 - 1:45	495	122	21	1786	87	2511	1710.6
1:45 - 2:00	458	113	20	1721	68	2380	1614.9
2:00 - 2:15	455	114	19	1601	75	2264	1553.5
2:15 - 2:30	429	122	17	1551	63	2182	1509.9
2:30 - 2:45	417	128	14	1599	59	2217	1525.2
2:45 - 3:00	460	141	22	1588	49	2260	1605.7
3:00 - 3:15	456	154	25	1565	46	2246	1622.8
3:15 - 3:30	465	143	26	1471	47	2152	1565.6
3:30 - 3:45	516	156	35	1438	47	2192	1648.6
3:45 - 4:00	510	148	27	1417	68	2170	1602.4
4:00 - 4:15	552	136	30	1454	70	2242	1647
4:15 - 4:30	576	145	34	1674	89	2518	1814.7
4:30 - 4:45	600	137	30	1888	121	2776	1929.3
4:45 - 5:00	670	149	39	2005	129	2992	2106.7
5:00 - 5:15	694	151	43	2187	164	3239	2246.2
5:15 - 5:30	745	160	43	2181	162	3291	2311.6
5:30 - 5:45	741	161	45	2099	148	3194	2269.4
5:45 - 6:00	706	166	36	2165	159	3232	2258.2
6:00 - 6:15	682	169	32	2073	131	3087	2175.8
6:15 - 6:30	666	179	26	1969	123	2963	2110.4
6:30 - 6:45	617	181	22	1838	118	2776	1988.4
6:45 - 7:00	591	163	21	1654	102	2531	1827.1
7:00 - 7:15	571	164	16	1487	102	2340	1713.1
7:15 - 7:30	415	111	14	1058	78	1676	1224.4
7:30 - 7:45	282	69	10	692	51	1104	806.3
7:45 - 8:00	140	37	5	347	23	552	406.9

Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas

4.4.3 Velocidades de operación

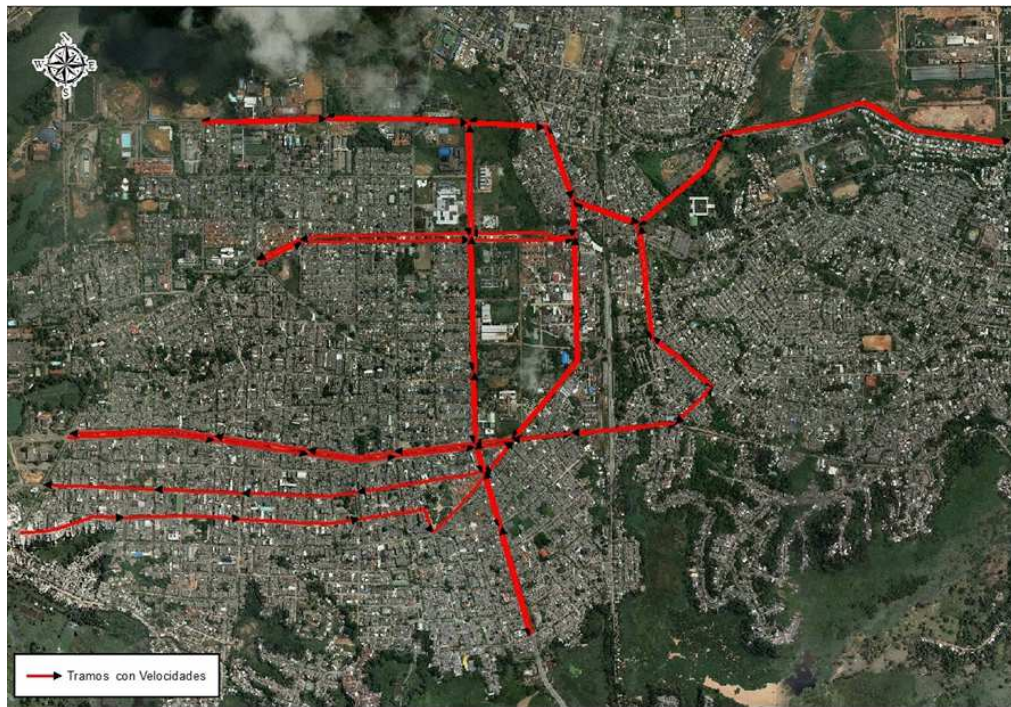
El proceso de toma de información de velocidades de operación se realizó mediante el método del vehículo flotante, el cual consiste en recorrer un mismo corredor varias veces tomando tiempos de viaje siempre para los mismos puntos. Una vez realizada la toma de tiempos y registro de las velocidades de operación para los principales corredores viales, se logró determinar la velocidad media de operación para dichos tramos, con el fin de evaluar la eficacia del manejo del tránsito. Se encontró que los tramos que presentaban velocidades bajas de operación fueron: Carrera 28, Av. Ferrocarril y la Calle 52, mientras que las mayores velocidades se presentaron sobre la Diagonal 49. El promedio diario de velocidad de operación para cada uno de los corredores adyacentes a la zona de estudio se registra a continuación:

Tabla 16. Velocidades medias de operación diarias.

Corredor	Inicio	Fin	Velocidad (Kph)
Calle 50	Av.Circunvalar Carrera 17	Carrera 11	24.7
Av. El Ferrocarril	Av. Ferrocarril - Carrera 11	Calle 52A - Carrera 34C	21.2
Carrera 28	Avenida Circunvalar - Carrera 28	Calle 44 - Carrera 28	19.4

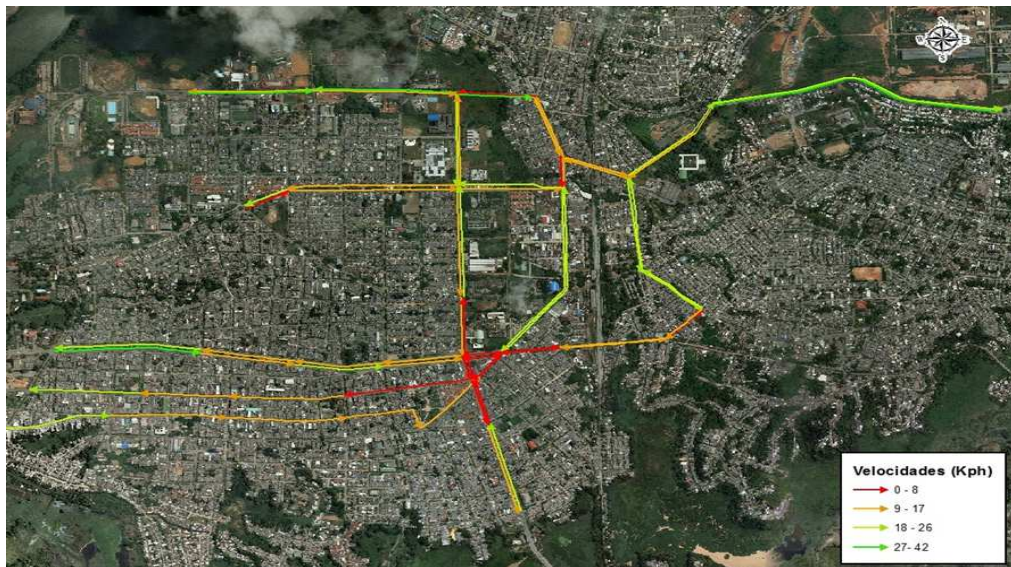
Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas

Figura 27. Corredores para la toma de velocidades.



Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas

Figura 28. Corredores para la toma de velocidades.



Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas

4.5 DETERMINACION DE LA OFERTA Y DEMANDA DEL TRANSPORTE EN LA ZONA DE ESTUDIO: SITUACION FUTURA

4.5.1 Alternativas de solución – oferta

Una vez establecida la problemática en tema de movilidad que se presenta en la zona de estudio para la ciudad de Barrancabermeja, el Grupo de investigación GEOMÁTICA propone en el documento: OPTIMIZACIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA VIAL DEL SECTOR COMPRENDIDO POR LA INTERSECCIÓN DE LA AVENIDA DEL FERROCARRIL CON LA CARRERA 28 Y LA DIAGONAL 49, Y SU ARTICULACIÓN CON EL CORREDOR DE LA CALLE 52 HASTA LA CARRERA 34C Y CARRERA 34C ENTRE CALLES 52 Y 52ª, la formulación de alternativas de solución en base a los requerimientos y lineamientos del plan de desarrollo municipal. Estas alternativas de solución para un escenario futuro serán las que para el presente trabajo harán parte de la modelación y comparación por criterios para finalmente llegar a priorizar el uso de alguna o algunas de ellas. Las alternativas propuestas, así como su descripción operacional y pre-diseño se presentan a continuación:

4.5.1.1 Alternativa 1

La alternativa plantea la construcción de un paso a desnivel sobre la avenida del Ferrocarril en dirección oriente – occidente, así como una glorieta de tres carriles localizada en el triángulo conformado por las actuales intersecciones de la avenida del Ferrocarril con carrera 28 y diagonal 49, y la intersección de la carrera 28 con calle 50. Por último, se plantea que el acceso a la glorieta central se realice mediante otras tres glorietas, cada una localizada en las intersecciones mencionadas anteriormente cada una con dos carriles centrales y bahías de canalización del flujo para separar los flujos de las glorietas de acceso y la glorieta central.

Figura 29. Alternativa 1 – Diseño previo



Fuente: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas

4.5.1.2 Alternativa 2

La alternativa plantea la construcción de un paso deprimido sobre la avenida del Ferrocarril en dirección oriente – occidente, así como dos pasos elevados sobre la carrera 28 y la diagonal 49 que facilitan la conexión norte – sur y nororiente – suroccidente, respectivamente. Adicionalmente, se plantea la recuperación del triángulo conformado por las actuales intersecciones de la avenida del Ferrocarril con carrera 28 y diagonal 49, y la intersección de la carrera 28 con calle 50, con el ánimo de darle una vocación de espacio público. Los giros a izquierda son resueltos mediante vueltas a manzana.

Figura 30. Alternativa 2 – Diseño previo



Fuente: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas

4.5.1.3 Alternativa 3

La alternativa surge como una modificación a la alternativa 2, conservando la construcción de un paso deprimido sobre la avenida del Ferrocarril en dirección oriente – occidente y el paso elevado sobre la diagonal 49 en único sentido suroccidente - nororiente. Adicionalmente, se mantiene la recuperación vocación de espacio público al triangulo central, sin embargo, se incorpora un giro a izquierda en la intersección de la carrera 28 con avenida del Ferrocarril para evitar la vuelta a manzana de este movimiento hasta la parte posterior del Instituto Técnico Superior Industrial planteado en la alternativa 2.

Figura 31. Alternativa 3 – Diseño previo



Fuente: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas

4.5.1.4 Alternativa 4

La alternativa plantea la creación de una glorieta central de cuatro carriles internos junto con un paso a desnivel sobre la avenida del Ferrocarril en dirección oriente – occidente, así como una oreja exclusiva para el acceso a la glorieta desde el sentido costado norte de la calle 52 entre diagonal 49 y calle 52A.

Figura 32. Alternativa 4 – Diseño previo



Fuente: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas

4.5.1.5 Alternativa 5

La alternativa parte de los conceptos de la alternativa anterior y se adiciona la conversión de los corredores de la calle 49 entre carreras 25 y 28, y de la carrera 28 entre avenida del Ferrocarril y la carrera 60 en corredores de tráfico calmado, proponiéndose en este último un flujo en único sentido sur – norte, el cual conforma un par vial con la carrera 31 la cual operaría en sentido norte – sur. Se conserva la glorieta central con vocación de recuperación del espacio urbano, el paso elevado sobre la avenida del Ferrocarril y la oreja que incorpora los flujos desde el costado norte de la calle 52 hacía la glorieta central.

Fig. 33. Alternativa 5 – Diseño previo



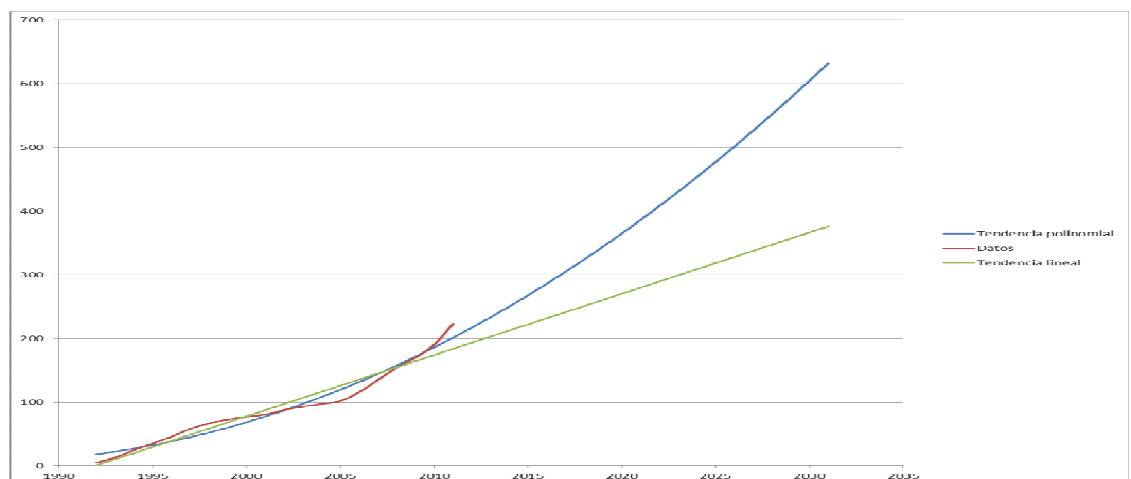
Fuente: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas

4.5.2 Proyección de la demanda

La situación futura de la demanda esperada se determinó mediante la proyección de ciertas variables que pudieran llegar a predecir o describir el comportamiento del sistema vial a un plazo de 5, 10, 15, y 20 años para cada una de las alternativas planteadas. Entre dichas variables encontramos el crecimiento demográfico de la ciudad y la tasa de motorización, dándonos esta última una idea del número de vehículos por cada mil habitantes, y de la cual se encontró que se tenía muy buenos registros históricos para dicho municipio.

La tasa de crecimiento de motorización se extrapolo para un escenario futuro permitiéndonos encontrar una tasa anual de cerca del 3.65%, realizando de esta manera una proyección de la demanda del tráfico para la zona de estudio, la cual arroja una demanda a 20 años cercana al doble de la demanda actual, cabe resaltar que estadísticamente se podría encontrar una representación mucho más cercana a la realidad, sin embargo los resultados nos arrojan un escenario futuro para una situación extrema:

Figura 35. Proyección de la tasa de motorización a los escenarios futuros



Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas

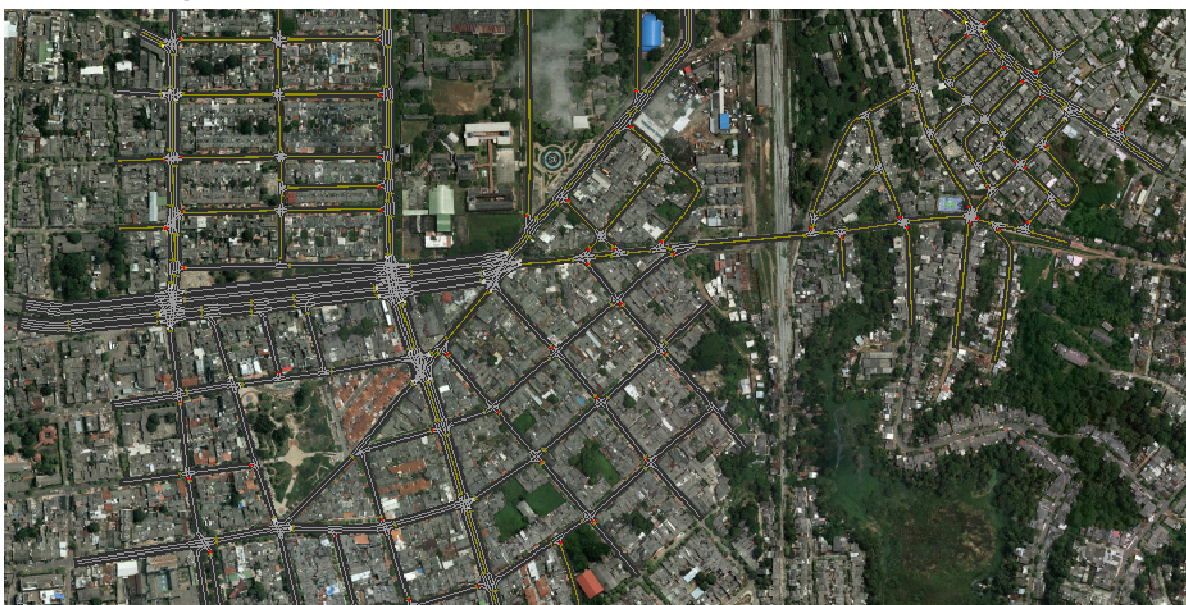
4.6 MODELACION

4.6.1 Situación actual

4.6.1.1 Representación de la oferta

Mediante la herramienta Transmodeler se procedió a representar la oferta en materia de infraestructura vial que encontramos actualmente para el sector de la Carrera 28 con Calle 52 de la ciudad de Barrancabermeja. De esta manera se construyó un modelo que nos permitiera simular la situación de tráfico actual. Esta herramienta nos permite representar de una manera idónea la realidad ya que entre sus características encontramos la configuración de atributos como lo son: el número de calzadas y de carriles, los respectivos anchos, geometría, accesos y giros permitidos, el resultado fue una malla vial que representa el sector de la zona de estudio para la situación actual:

Figura 34. Representación de la situación actual en Transmodeler.



Fuente: Elaboración propia

Transmodeler no solo nos permite el representar las configuraciones geométricas del sistema vial, sino que para nuestro caso de estudio también se hizo de vital importancia la representación de las condiciones operacionales para lo cual se recurrió a los lineamientos señalados de jerarquización vial por el Plan Maestro de Movilidad para la ciudad de Barrancabermeja, en términos de velocidades de operación y capacidad vial de cada uno de los corredores, así mismo para las intersecciones se representó el tipo específico de control de tráfico, ya sea pare o semáforo con sus respectivos tiempos reales.

4.6.1.2 Representación de la demanda

Mediante el uso de las matrices origen-destino se realizó la asignación de viajes para los corredores principales y que de esta manera representan con fidelidad las necesidades de los habitantes de la ciudad para desplazarse en base a los respectivos aforos.

4.6.1.3 Resultados

Una vez realizada la simulación de la situación actual, la herramienta Transmodeler nos permitió determinar indicadores de eficiencia en la operación del tráfico para la zona de Kokorollo, a través de la cuantificación de velocidades de operación y del nivel de servicio percibido por el conductor y que nos indica finalmente la comodidad, o no, que el usuario percibe de su entorno en tema de movilidad.

La simulación nos permitió obtener los niveles de servicio que se presentan en la actualidad y que fueron más bajos en las intersecciones de la carrera 28 con calle 52 y calle 50 con carrera 28 con los niveles de servicio deficientes para zonas urbanas; las demás intersecciones se encuentran en un nivel de servicio apenas aceptable para zonas urbanas. De igual manera se estableció velocidades de operación muy bajas en la carrera 28 entre calles 44 y 50 y en la carrera 28 entre

Av. Ferrocarril y calle 60, con resultados muy semejantes a los obtenidos en campo mediante el método del vehículo flotante, lo cual nos permite tener una certeza de la fidelidad del modelo. A continuación presentamos un resumen de los resultados obtenidos:

Tabla 17. Niveles de servicio en las intersecciones para la situación actual

Intersección	Nivel de servicio
Carrera 24 – Avenida del Ferrocarril	D
Carrera 28 – Avenida del Ferrocarril	E
Diagonal 49 – Avenida del Ferrocarril	D
Carrera 28 – Calle 50	F

Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas

Tabla 18. Velocidades de operación simuladas para la situación actual

Corredor	Sentido	Velocidad (km/h)
Carrera 28 (Calles 44 – Calle 50)	Norte-Sur	23.4
	Sur-Norte	12.9
Carrera 28 (Av Ferrocarril – Cra 60)	Norte-Sur	10.4
	Sur-Norte	27.5
Avenida del Ferrocarril (Cra 22 – Cra 28)	Oeste-Este	28.5
	Este-Oeste	30.1
Avenida del Ferrocarril (Dg 49 – Cra 52A)	Oeste-Este	22.7
	Este-Oeste	17.2

Carrera 24 (Av Ferrocarril – Tv 57)	21.1
Diagonal 49 (Av Ferrocarril – Calle 60)	21.5
Calle 48 (Carrera 28 – Carrera 24)	22.9
Calle 49 (Carrera 28 – Carrera 24)	24.1
Calle 50 (Carrera 28 – Carrera 24)	20.2

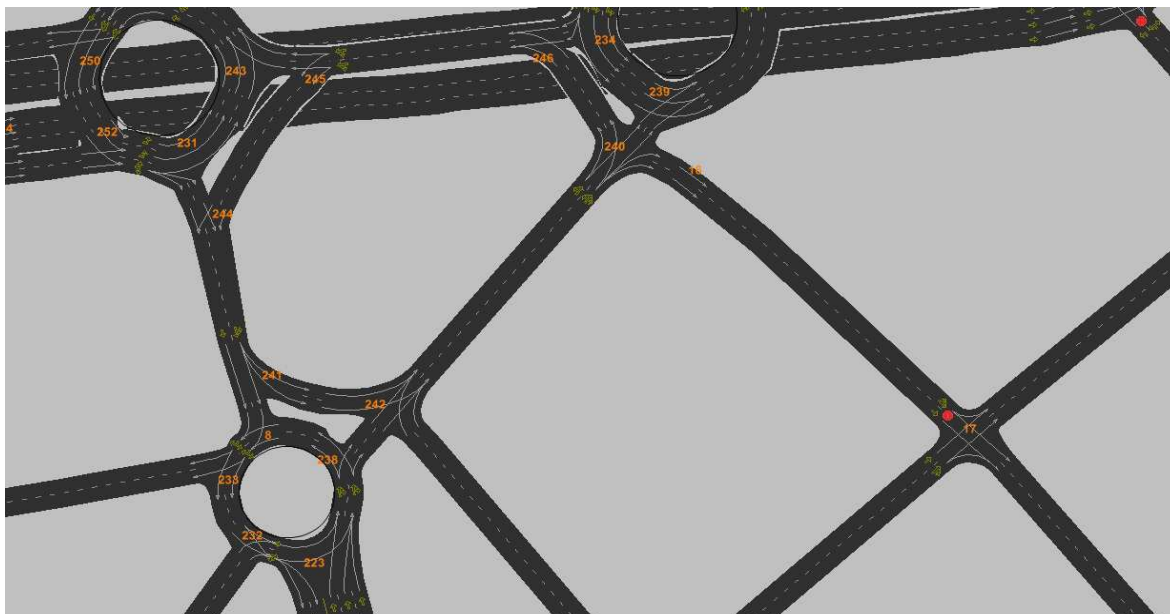
Fuente y datos: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas

4.6.2 Situación futura - Aplicación de alternativas

4.6.2.1 Representación de la oferta

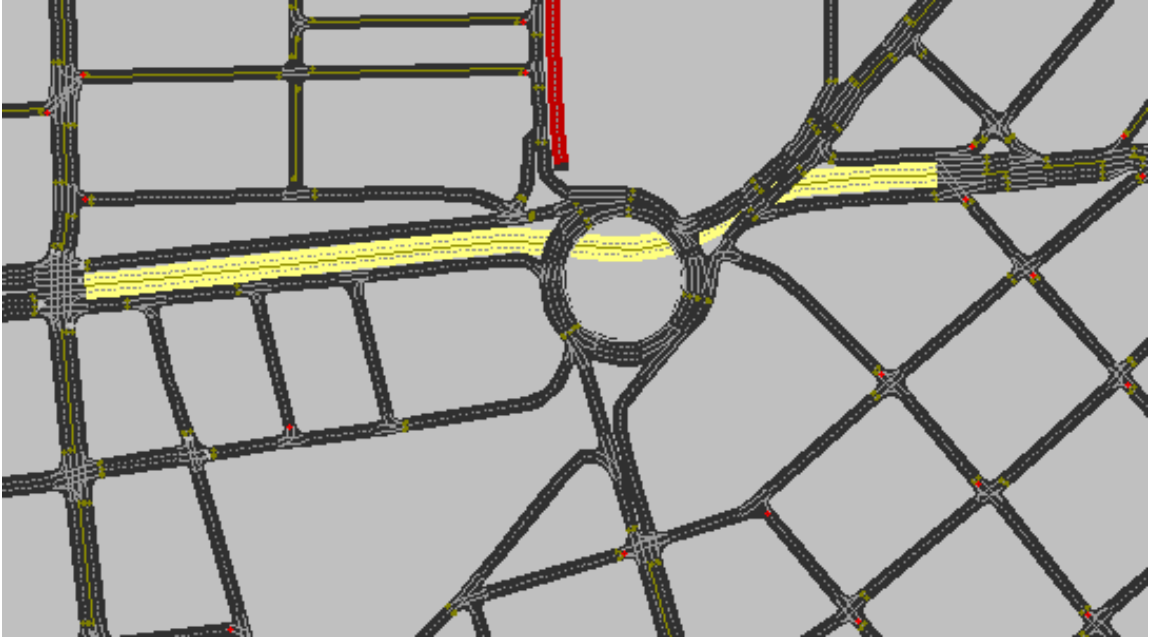
Gracias a la herramienta Transmodeler se realizó la modelación de cada una de las diferentes alternativas permitiéndonos representar de una manera adecuada para ellas sus respectivas características geométricas y operacionales. A continuación se presentan algunas de las alternativas con su respectiva modelación en Transmodeler:

Figura 35. Representación de la alternativa 1 en Transmodeler



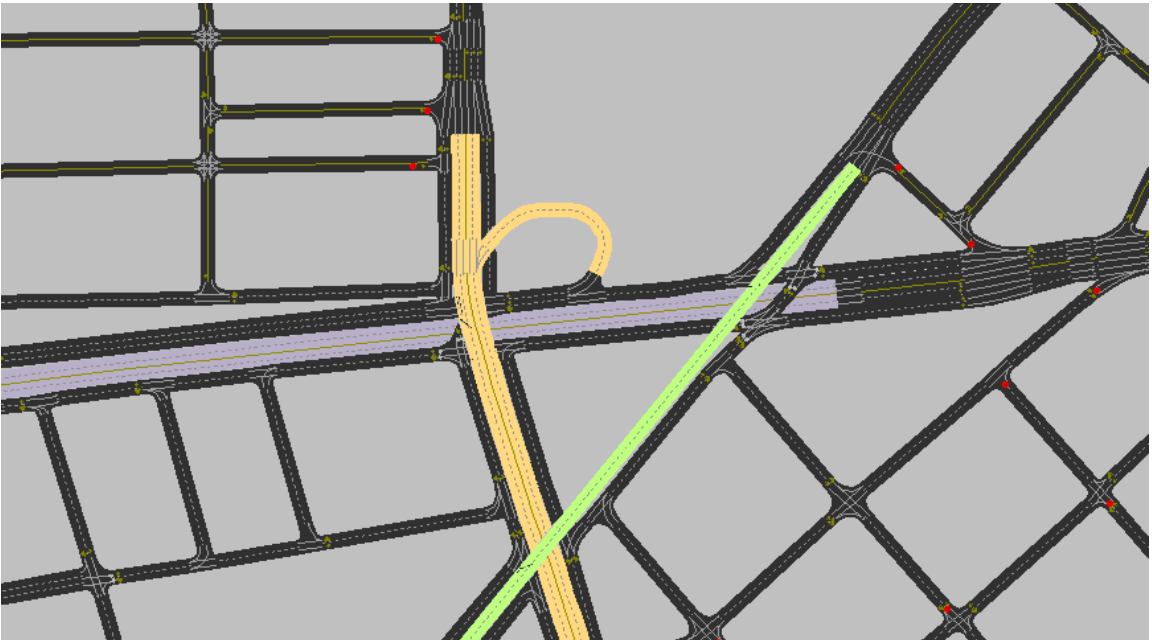
Fuente: Elaboración propia

Figura 36. Representación de la alternativa 2 en Transmodeler



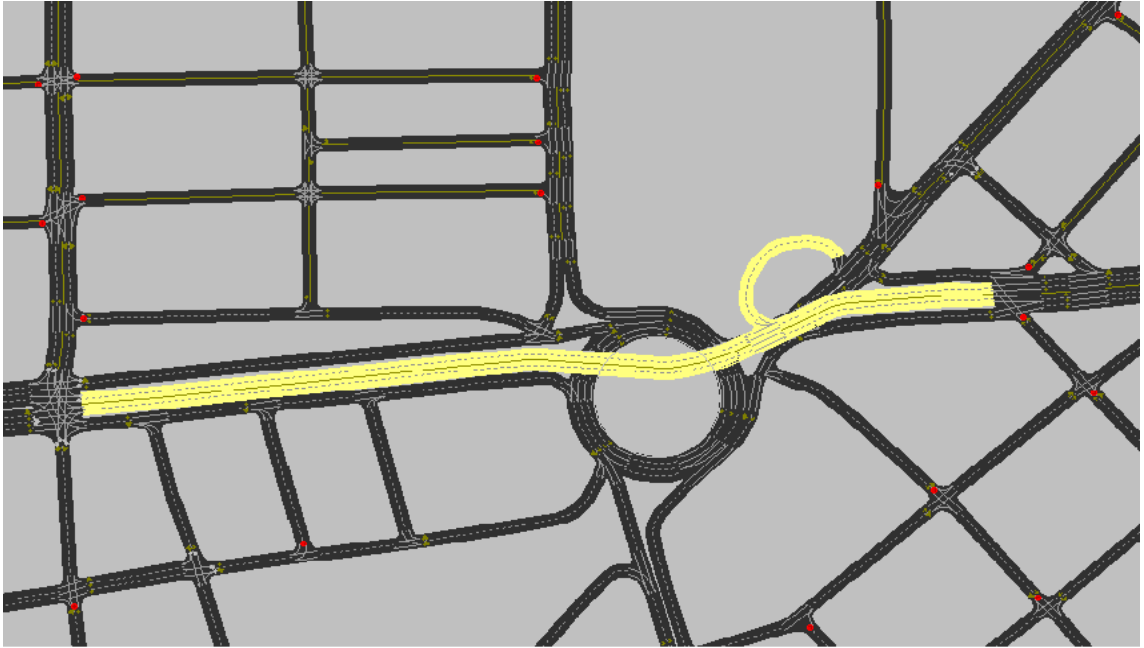
Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Representación de la alternativa 3 en Transmodeler



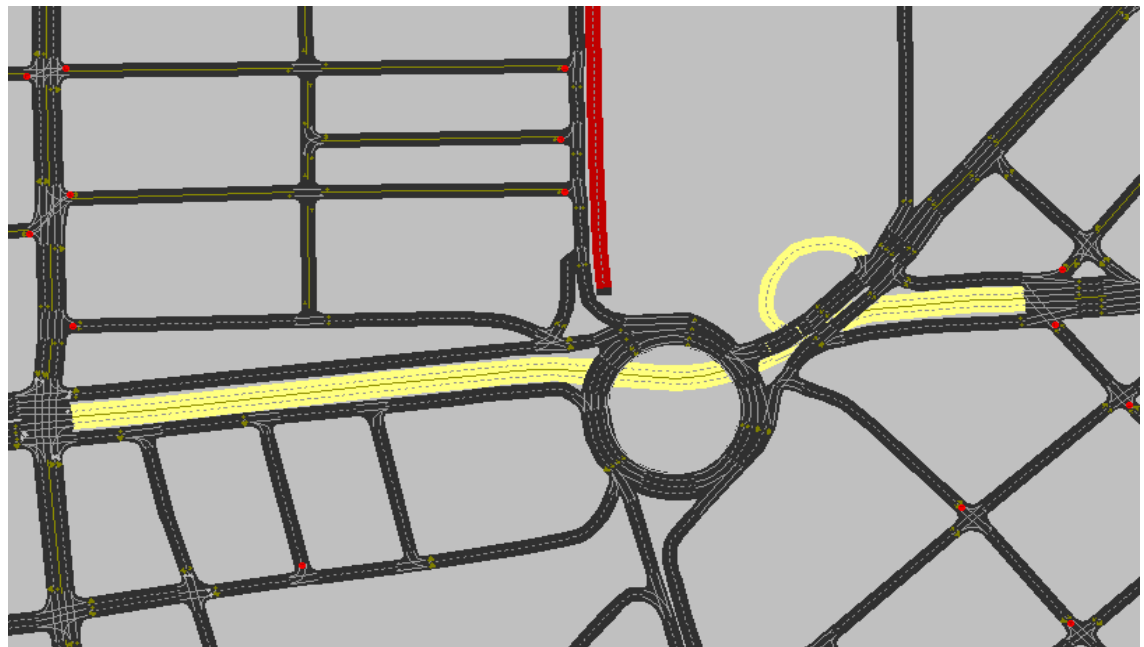
Fuente: Elaboración propia

Figura 38. Representación de la alternativa 4 en Transmodeler



Fuente: Elaboración propia

Figura 39. Representación de la alternativa 5 en Transmodeler



Fuente: Elaboración propia

4.6.2.2 Representación de la demanda

Para este momento de la modelación se hizo necesario el uso y asignación de matrices origen-destino. Se realizó la asignación de viajes para los corredores principales proyectando la base de datos actual resultante de los aforos a las necesidades a largo plazo mediante la tasa de crecimiento definida con anterioridad, brindando de esta manera una perspectiva del comportamiento de la demanda de tráfico para un escenario futuro.

4.6.2.3 Resultados

4.6.2.3.1 Alternativa 1

- **Accesibilidad**

La accesibilidad es fundamental como criterio para la selección de proyectos de infraestructura vial. Esta busca que el usuario dure el menor tiempo de viaje posible en el trayecto que concierne a la alternativa en evaluación, la estimación de este criterio se realiza por medio de una simulación mediante el uso de matrices origen-destino y que es ejecutada en software Transmodeler, logrando de esta manera resultados de tiempos de viaje para corredores preestablecidos que nos brinden un indicativo de la accesibilidad.

Para la evaluación de esta alternativa se busca los resultados de los tiempos de viaje en horas picos de cada corredor principal que conforma el proyecto a analizar, los cuales son:

- Corredor sobre la Carrera 28 en el sentido norte – sur
- Corredor sobre la Carrera 28 en el sentido sur - norte
- Corredor sobre la Calle 52 en el sentido oriente - occidente
- Corredor sobre la Calle 52 en el sentido occidente - oriente
- Corredor que comunica la Carrera 28 en el sentido norte hacia la Calle 52 en el sentido occidente

- Corredor sobre la Diagonal 49 en el sentido nororiente - suroccidente

Los resultados de los tiempos de viaje de los corredores mencionados anteriormente fueron los siguientes:

Tabla 19. Resultados de tiempos de viajes y calificación total alternativa 1.

CORREDORES	VELOCIDAD [Km/h]	DISTANCIA [Km]	TIEMPO DE VIAJE		CALIF
			[h]	[min]	
Carrera 28 - sentido n-s	23,3	0,785	0,034	2,02	1
Carrera 28 - sentido s-n	11,9	0,654	0,055	3,30	1
Calle 52 sentido e-o	13	0,721	0,055	3,33	1
Calle 52 sentido o-e	29,6	0,564	0,019	1,14	1
Carrera 28 calle 52 - sentido s-o	22,9	0,585	0,026	1,53	1
Diagonal 49	34,1	0,523	0,015	0,92	3
TIPO DE OBRA	1				

CALIFICACION TOTAL	4	DISEÑO			
		VELOCIDAD [Km/h]	DISTANCIA [Km]	TIEMPO DE VIAJE	
PUNTUACION A ESCALA 1 A 10	3			[h]	[min]
		30	0,785	0,026	1,570
		30	0,654	0,022	1,308
		30	0,721	0,024	1,442
		30	0,564	0,019	1,128
		30	0,585	0,020	1,170
		30	0,523	0,017	1,046

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a la accesibilidad. La calificación para la alternativa es de 3.

- **Accidentalidad**

Según cifras de la inspección de tránsito y transporte de Barrancabermeja, las principales causas de accidente en la ciudad se presentan por mala señalización, impericia en el manejo, no realización de pares, por no respetar el semáforo en rojo, no respetar prelación y conducir en estado de embriaguez²⁷.

Para el caso de estudio en la ciudad de Barrancabermeja se decide que el número de causas por carácter técnico de diseño es igual que el número de causas por comportamiento humano o deficiencia en el vehículo la valoración es moderada dando una calificación de $X=2$, esta calificación se toma para todas las alternativas, teniendo en cuenta que cada una de las soluciones hace referencia a una misma zona de intervención y propone no solo un mejoramiento en la infraestructura vial sino también en señalización y urbanismo.

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a la accidentalidad. La calificación para la alternativa es de 7.

- **Nivel de servicio**

La percepción que tiene el usuario acerca de la calidad y comodidad de la infraestructura vial, es un indicativo que Transmodeler nos arroja una vez terminada la simulación y el cual se define anteriormente: nivel de servicio.

Para segregar los datos de salida y tener una mejor comprensión de los resultados, el nivel de servicio fue calculado para cada una de las intersecciones más importantes que convergen a la zona de intervención, para escenarios futuros que se definen en el transcurso del tiempo una vez realizada la obra de solución.

²⁷http://www.barrancabermeja.gov.co/transito/index.php?option=com_content&view=article&id=79%3Abalance-de-accidentalidad-ocurrido-en-los-primeros-tres-meses-del-ano&catid=1%3Alatest-news&Itemid=1

Tabla 20. Resultados de nivel de servicio y calificación total alternativa 1.

INTERSECCION	Escenario futuro (años)			
	5	10	15	20
Carrera 24 – Avenida del Ferrocarril	E	F	F	F
Carrera 28 – Avenida del Ferrocarril	E	F	F	F
Diagonal 49 – Avenida del Ferrocarril	E	F	F	F
Carrera 28 – Calle 50	E	F	F	F

CORREDOR	NDS	CALIFICACION
Carrera 24 – Avenida del Ferrocarril	F	2
Carrera 28 – Avenida del Ferrocarril	F	2
Diagonal 49 – Avenida del Ferrocarril	F	2
Carrera 28 – Calle 50	F	2
TIPO DE OBRA	1	

CALIFICACION TOTAL	2
---------------------------	----------

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto al nivel de servicio. La calificación para la alternativa es de 2.

- **Capacidad**

Previamente se define los principales corredores viales que convergen a la zona de intervención y que directamente tienen influencia sobre la demanda de tráfico

para el sector, la capacidad se define en términos de vehículos/hora para cada carril.

La calificación es basada en la relación de comparación con la capacidad teórica que es dada por el nivel de servicio de diseño y la capacidad real de este criterio se presenta como un indicador resultado de la simulación realizada en Transmodeler, si el valor de la capacidad real tiende a ser menor que la capacidad teórica, dicho resultado es óptimo, de lo contrario el resultado no es óptimo. Los resultados de la evaluación del criterio de capacidad para la alternativa 1 fueron los siguientes:

Tabla 21. Resultados de capacidad y calificación total alternativa 1.

SENTIDO	CORREDORES	Actual			15 Años		
		Capacidad			Capacidad		
		Veh/mi/lane	Número de carriles	Veh/h/lane	Veh/mi/lane	Número de carriles	Veh/h/lane
N-S	Carrera 28 - Sentido N-S	38,5	2	1155	44,3	2	1329
S-N	Carrera 28 - Sentido S-N	77,54	3	1550,8	81,2	3	1624
E-W	Calle 52 Sentido E-O	15,3	2	459	17,8	2	534
W-E	Calle 52 Sentido O-E	12,1	3	242	13,4	3	268
S-W	Carrera 28 - Calle 52 - Sentido S-O	14,5	2	435	18,4	2	552
Dg	Diagonal 49	25,8	2	774	30,1	2	903

ALTERNATIVA 1		
CORREDORES	CAPACIDAD [15 años]	CALIFICACIÓN
Carrera 28 - Sentido N-S	1329	3
Carrera 28 - Sentido S-N	1624	1
Calle 52 Sentido E-O	534	3
Calle 52 Sentido O-E	268	3
Carrera 28 - Calle 52 - Sentido S-O	552	3
Diagonal 49	903	3
TIPO DE OBRA	1	

CALIFICACIÓN TOTAL	16
PUNTUACIÓN A ESCALA 1 A 10	9

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a la capacidad. La calificación para la alternativa es de 9.

- **Áreas de intervención**

Para la evaluación de este criterio y de acuerdo a la información disponible para la ciudad de Barrancabermeja, se tuvieron en cuenta el criterio de selección para los pesos relativos el área de afectación predial:

- Área de espacio público es del 20%
- Área de construida es del 20%
- Área de afectación predial es del 60%

Para las relaciones de áreas en los diferentes criterios se realizó una comparación mediante el software ArcGis superponiendo el pre diseño de cada una de las alternativas, sobre la situación actual y evaluando cuan cercana o distante estaba cada una de ellas de ocupar la misma área de construcción existente dependiendo del criterio analizar, dando como resultados:

Tabla 22. Resultados de área intervenida y calificación total alternativa 1.

ÁREA DE AFECTACIÓN PREDIAL			
PROYECTO	Área afectación	Área Total construida	RELACIÓN
Alternativa 1	3635,94	20111,23	0,18

ÁREA CONSTRUIDA			
PROYECTO	Área Total construida	Área Existente	RELACIÓN
Alternativa 1	20111,23	2820,00	0,14

ÁREA ESPACIO PUBLICO			
PROYECTO	Área de espacio publico	Área Total Construida	RELACIÓN
Alternativa 1	4414,08	20111,23	0,22

ALTERNATIVA 1					
	INDICADORES DE IMPACTO	RELACIÓN	PESO RELATIVO	PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN
PESO RELATIVO TOTAL	Área construida	0,14	20	0,028	0,280
	Área espacio público potencial	0,22	20	0,044	0,439
	Área afectación predial	0,18	60	0,108	1,085
10	PESO RELATIVO POR INTERÉS	ÁREA AFECTACIÓN PREDIAL			

CALIFICACIÓN TOTAL	0,02
PUNTUACIÓN A ESCALA 1 A 10	2

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto al área de intervención. La calificación para la alternativa es de 2.

- **Impacto Ambiental**

La evaluación de impacto ambiental en un proyecto de selección es necesaria con el fin de buscar una optimización y mitigación de la obra a realizar con respecto a criterios que permitan el menor valor de impacto hacia los recursos naturales sobre la zona de estudio, los niveles a calificar son los siguientes:

- Nivel de impacto en las áreas protegidas la calificación es de 1, se basa en la ubicación de la alternativa 1 está ubicado a más de 5 km de la ciénaga San Silvestre que se considera una zona protegida.
- Nivel de impacto en las formaciones vegetales la calificación es de 0, se basa en la ubicación de la alternativa 1 está ubicado en una zona de vegetación considerada como bosque húmedo tropical.
- Nivel de impacto en la erosión del suelo la calificación es de 3, se basa en la ubicación de la alternativa 1 está ubicado en una zona comprendida por suelos FTm, Fta y Sc corresponden a terrazas medias altas y lomeríos de resistencia mayores y por esta razón son más resistentes a procesos de erosión²⁸.
- Nivel de impacto en los recursos hídricos la calificación es de 2, se basa en la ubicación de la alternativa 1 está ubicado en el municipio de Barrancabermeja el cual está localizado en la cuenca hídrica media de Magdalena.

Los resultados de la evaluación del criterio de impacto ambiental para la alternativa 1 fueron los siguientes:

Tabla 23. Resultados de impacto ambiental y calificación total alternativa 1.

NIVELES DE IMPACTO	CALIFICACION
Nivel de impacto en áreas protegidas	1
Nivel de impacto en las formaciones vegetales	0
Nivel de impacto en la erosión del suelo	3
Nivel de impacto en los recursos hídricos	2
TIPO DE OBRA	1

CALIFICACION TOTAL	6
--------------------	---

²⁸ CORMAGDALENA, Diseño y construcción de obras de control de inundación y erosión en el municipio de Barrancabermeja, departamento de Santander, pág. 21

Fuente: Elaboración propia

Para el caso particular, esta calificación se toma para todas las alternativas, teniendo en cuenta que cada una de las soluciones hace referencia a una misma zona de intervención, siendo la escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto al área de intervención. La calificación para la alternativa es de 5.

4.6.2.3.2 Alternativa 2

- **Accesibilidad**

Tabla 24. Resultados de accesibilidad y calificación total alternativa 2.

CORREDORES	VELOCIDAD [Km/h]	DISTANCIA [Km]	TIEMPO DE VIAJE		CALIF
			[h]	[min]	
CARRERA 28 - SENTIDO N-S	10,4	0,934	0,090	5,39	1
CARRERA 28 - SENTIDO S-N	8,2	0,706	0,086	5,17	1
CALLE 52 SENTIDO E-O	25,4	0,629	0,025	1,49	1
CALLE 52 SENTIDO O-E	40,8	0,629	0,015	0,93	3
CARRERA 28 CALLE 52 - SENTIDO S-O	19,3	0,761	0,039	2,37	1
DIAGONAL 49	2	0,561	0,281	16,83	1
TIPO DE OBRA	1				

		DISEÑO			
CALIFICACION TOTAL	6	VELOCIDAD [Km/h]	DISTANCIA [Km]	TIEMPO DE VIAJE	
PUNTUACION A ESCALA 1 A 10	5			[h]	[min]
		30	0,934	0,031	1,868
		30	0,706	0,024	1,412
		30	0,629	0,021	1,258
		30	0,629	0,021	1,258
		30	0,761	0,025	1,522

30	0,561	0,019	1,122
----	-------	-------	-------

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a la accesibilidad. La calificación para la alternativa es de 5.

- **Accidentalidad**

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a la accidentalidad. La calificación para la alternativa es de 7.

- **Nivel de servicio**

Tabla 25. Resultados de nivel de servicio y calificación total alternativa 2.

INTERSECCION	Escenario futuro (años)			
	5	10	15	20
Carrera 24 – Avenida del Ferrocarril	E	F	F	F
Carrera 28 – Avenida del Ferrocarril	D	D	D	D
Diagonal 49 – Avenida del Ferrocarril	C	D	E	F
Carrera 28 – Calle 50	D	E	F	F

NIVEL DE SERVICIO	CAPACIDAD	CALIFICACION
Carrera 24 – Avenida del Ferrocarril	F	2
Carrera 28 – Avenida del Ferrocarril	D	6
Diagonal 49 – Avenida del Ferrocarril	E	4
Carrera 28 – Calle 50	F	2
TIPO DE OBRA	1	

CALIFICACION TOTAL	4
---------------------------	----------

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a la capacidad. La calificación para la alternativa es de 4.

- **Capacidad**

Tabla 26. Resultados de accesibilidad y calificación total alternativa 2.

SENTIDO	CORREDORES	Actual			15 Años		
		Capacidad			Capacidad		
		Veh/mi/lane	Número de carriles	Veh/h/lane	Veh/mi/lane	Número de carriles	Veh/h/lane
N-S	Carrera 28 - sentido N-S	138,3	2	4149	168,1	2	5043
S-N	Carrera 28 - sentido S-N	73,5	2	2205	85,6	2	2568
E-W	Calle 52 sentido E-O	27,5	2	825	101,2	2	3036
W-E	Calle 52 sentido O-E	12,5	2	375	11,9	2	357
S-W	Carrera 28 calle 52 - sentido S-O	101,9	2	3057	147	2	4410
Dg	Diagonal 49	160	3	3200	177,2	3	3544

ALTERNATIVA 2		
NIVEL DE SERVICIO	CAPACIDAD [15 años]	CALIFICACION
Carrera 28 - Sentido N-S	5043	1
Carrera 28 - Sentido S-N	2568	1
Calle 52 Sentido E-O	3036	1
Calle 52 Sentido O-E	357	3
Carrera 28 - Calle 52 - Sentido S-O	4410	1
Diagonal 49	3544	1
TIPO DE OBRA	1	

CALIFICACION TOTAL	8
PUNTUACION A ESCALA 1 A 10	4

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a la capacidad. La calificación para la alternativa es de 4.

- **Áreas de intervención**

Tabla 27. Resultados de áreas de intervención y calificación total alternativa 2

AREA DE AFECTACION PREDIAL			
PROYECTO	Área afectación	Área Total construida	RELACION
Alternativa 2	5504,62	28711,87	0,19

AREA CONSTRUIDA			
PROYECTO	Área Total construida	Área Existente	RELACION
Alternativa 2	28711,87	2820,00	0,10

AREA ESPACIO PUBLICO			
PROYECTO	Área de Espacio publico	Área Total construida	RELACION
Alternativa 2	3074,69	28711,87	0,11

ALTERNATIVA 2					
PESO RELATIVO TOTAL	INDICADORES DE IMPACTO	RELACION	PESO RELATIVO	PONDERACION	CALIFICACION
	Área construida	0,10	20	0,020	0,196
	Área espacio público potencial	0,11	20	0,021	0,214
	Área afectación predial	0,19	60	0,115	1,150
10	PESO RELATIVO POR INTERÉS	ÁREA AFECTACIÓN PREDIAL			

CALIFICACIÓN TOTAL	0,02
PUNTUACIÓN A ESCALA 1 A 10	2

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a área de intervención. La calificación para la alternativa es de 2.

- **Impacto Ambiental**

Tabla 28. Resultados de impacto ambiental y calificación total alternativa 2

NIVELES DE IMPACTO	CALIFICACION
Nivel de impacto en áreas protegidas	1
Nivel de impacto en las formaciones vegetales	0
Nivel de impacto en la erosión del suelo	3
Nivel de impacto en los recursos hídricos	2
TIPO DE OBRA	1

CALIFICACION TOTAL	6
PUNTUACION A ESCALA 1 A 10	5

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a impacto ambiental. La calificación para la alternativa es de 5.

4.6.2.3.3 Alternativa 3

- **Accesibilidad**

Tabla 29. Resultados de accesibilidad y calificación total alternativa 3

CORREDORES	VELOCIDAD [Km/h]	DISTANCIA [Km]	TIEMPO DE VIAJE		CALIF
			[h]	[min]	
Carrera 28 - sentido N-S	47,637	0,354	0,007	0,45	3
Carrera 28 - sentido S-N	22,048	0,354	0,016	0,96	1
Calle 52 sentido E-O	14,323	0,814	0,057	3,41	1
Calle 52 sentido O-E	48,924	0,814	0,017	1,00	3

Carrera 28 calle 52 - sentido S-O	11,909	0,697	0,059	3,51	1
Diagonal 49	53,913	0,504	0,009	0,56	3
TIPO DE OBRA	1				

		DISEÑO			
CALIFICACION TOTAL	8	VELOCIDAD [Km/h]	DISTANCIA [Km]	TIEMPO DE VIAJE	
PUNTUACION A ESCALA 1 A 10	7			[h]	[min]
		30	0,354	0,012	0,708
		30	0,354	0,012	0,708
		30	0,814	0,027	1,628
		30	0,814	0,027	1,628
		30	0,697	0,023	1,394
		30	0,504	0,017	1,008

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a la accesibilidad. La calificación para la alternativa es de 7.

- **Accidentalidad**

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a la accidentalidad. La calificación para la alternativa es de 7.

- **Nivel de servicio**

Tabla 30. Resultados de nivel de servicio y calificación total alternativa 3

INTERSECCION	Escenario futuro (años)			
	5	10	15	20
Carrera 24 – Avenida del Ferrocarril	E	E	F	F

Carrera 28 – Avenida del Ferrocarril	C	D	E	E
Diagonal 49 – Avenida del Ferrocarril	C	D	E	E
Carrera 28 – Calle 50	E	F	F	F

NIVEL DE SERVICIO	CAPACIDAD	CALIFICACION
Carrera 24 – Avenida del Ferrocarril	F	2
Carrera 28 – Avenida del Ferrocarril	E	4
Diagonal 49 – Avenida del Ferrocarril	E	4
Carrera 28 – Calle 50	F	2
TIPO DE OBRA	1	

CALIFICACION TOTAL	3
---------------------------	----------

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto al nivel de servicio. La calificación para la alternativa es de 3.

- **Capacidad**

Tabla 31. Resultados de capacidad y calificación total alternativa 3

SENTIDO	CORREDORES	Actual			15 Años		
		Capacidad			Capacidad		
		Veh/mi/lane	Número de carriles	Veh/h/lane	Veh/mi/lane	Número de carriles	Veh/h/lane
N-S	Carrera 28 - sentido N-S	1,7	2	51	2,1	2	63
S-N	Carrera 28 - sentido S-N	110,2	2	3306	117	2	3510
E-W	Calle 52 sentido E-O	93,7	2	2811	90,8	2	2724
W-E	Calle 52 sentido O-E	21,3	2	639	22,7	2	681
S-W	Carrera 28 calle 52 - sentido S-O	147,9	3	2958	146,6	3	2932

Dg	Diagonal 49	1,6	2	48	2,2	2	66
----	-------------	-----	---	----	-----	---	----

ALTERNATIVA 3		
NIVEL DE SERVICIO	CAPACIDAD [15 años]	CALIFICACIÓN
Carrera 28 - sentido N-S	63	3
Carrera 28 - sentido S-N	3510	1
Calle 52 sentido E-O	2724	1
Calle 52 sentido O-E	681	3
Carrera 28 calle 52 - sentido S-O	2932	1
Diagonal 49	66	3
TIPO DE OBRA		1

CALIFICACIÓN TOTAL	12
PUNTUACIÓN A ESCALA 1 A 10	7

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a la capacidad. La calificación para la alternativa es de 7.

- **Áreas de intervención**

Tabla 32. Resultados de áreas de intervención y calificación total alternativa 3

AREA DE AFECTACION PREDIAL			
PROYECTO	Área afectación	Área Total construida	RELACION
Alternativa 3	6209,62	37132,39	0,17

AREA CONSTRUIDA			
PROYECTO	Área Total construida	Área Existente	RELACION
Alternativa 3	37132,39	2820,00	0,08

AREA ESPACIO PUBLICO			
PROYECTO	Área de Espacio publico	Área Total construida	RELACION
Alternativa 3	2702,90	37132,39	0,07

ALTERNATIVA 3					
PESO RELATIVO TOTAL	INDICADORES DE IMPACTO	RELACIÓN	PESO RELATIVO	PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN
	Área construida	0,08	20	0,015	0,152
	Área espacio público potencial	0,07	20	0,015	0,146
	Área afectación predial	0,17	60	0,100	1,003
10	PESO RELATIVO POR INTERÉS	ÁREA AFECTACIÓN PREDIAL			

CALIFICACIÓN TOTAL	0,01
PUNTUACIÓN A ESCALA 1 A 10	1

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a las áreas de intervención. La calificación para la alternativa es de 1.

- **Impacto Ambiental**

Tabla 33. Resultados de impacto ambiental y calificación total alternativa 3

NIVELES DE IMPACTO	CALIFICACION
Nivel de impacto en áreas protegidas	1
Nivel de impacto en las formaciones vegetales	0
Nivel de impacto en la erosión del suelo	3
Nivel de impacto en los recursos hídricos	2
TIPO DE OBRA	1

CALIFICACION TOTAL	6
PUNTUACION A ESCALA 1 A 10	5

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto al impacto ambiental. La calificación para la alternativa es de 5.

4.6.2.3.4 Alternativa 4

- **Accesibilidad**

Tabla 34. Resultados de accesibilidad y calificación total alternativa 4

CORREDORES	VELOCIDAD [Km/h]	DISTANCIA A [Km]	TIEMPO DE VIAJE		CALIF
			[h]	[min]	
Carrera 28 - sentido N-S	8,851	1,036	0,117	7,02	1
Carrera 28 - sentido S-N	14,484	0,52	0,036	2,15	1
Calle 52 sentido E-O	32,187	0,656	0,020	1,22	3
Calle 52 sentido O-E	62,764	0,656	0,010	0,63	3
Carrera 28 calle 52 - sentido S-O	20,278	0,684	0,0337311 4	2,02	1
Diagonal 49	30,578	0,51	0,0166786 6	1,00	3
TIPO DE OBRA	1				

CALIFICACION TOTAL	8	DISEÑO			
		VELOCIDAD [Km/h]	DISTANCIA A [Km]	TIEMPO DE VIAJE	
PUNTUACION A ESCALA 1 A 10	7			[h]	[min]
		30	1,036	0,035	2,072
		30	0,52	0,017	1,040
		30	0,656	0,022	1,312
		30	0,656	0,022	1,312
		30	0,684	0,023	1,368
		30	0,51	0,017	1,020

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a la accesibilidad. La calificación para la alternativa es de 7.

- **Accidentalidad**

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a la accidentalidad. La calificación para la alternativa es de 7.

- **Nivel de servicio**

Tabla 34. Resultados de nivel de servicio y calificación total alternativa 4

INTERSECCION	Escenario futuro (años)			
	5	10	15	20
Carrera 24 – Avenida del Ferrocarril	D	E	E	F
Carrera 28 – Avenida del Ferrocarril	C	D	D	E
Diagonal 49 – Avenida del Ferrocarril	D	D	F	F
Carrera 28 – Calle 50	D	E	F	F

NIVEL DE SERVICIO	CAPACIDAD	CALIFICACION
Carrera 24 – Avenida del Ferrocarril	E	4
Carrera 28 – Avenida del Ferrocarril	D	6
Diagonal 49 – Avenida del Ferrocarril	F	2
Carrera 28 – Calle 50	F	2
TIPO DE OBRA	1	

CALIFICACION TOTAL	4
---------------------------	----------

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto al nivel de servicio. La calificación para la alternativa es de 4.

- **Capacidad**

Tabla 35. Resultados de capacidad y calificación total alternativa 4

SENTIDO	CORREDORES	Actual			15 Años		
		Capacidad			Capacidad		
		Veh/mi/lane	Número de carriles	Veh/h/lane	Veh/mi/lane	Número de carriles	Veh/h/lane
N-S	Carrera 28 - sentido N-S	46,2	2	1386	46,1	2	1383
S-N	Carrera 28 - sentido S-N	81,4	2	2442	98	2	2940
E-W	Calle 52 sentido E-O	5,4	2	162	5,5	2	165
W-E	Calle 52 sentido O-E	12,2	2	366	5,8	2	174
S-W	Carrera 28 calle 52 - sentido S-O	6	2	180	11,8	2	354
Dg	Diagonal 49	20,4	2	612	21,2	2	636

ALTERNATIVA 4		
NIVEL DE SERVICIO	CAPACIDAD [15 años]	CALIFICACIÓN
Carrera 28 - sentido N-S	1383	3
Carrera 28 - sentido S-N	2940	1
Calle 52 sentido E-O	165	3
Calle 52 sentido O-E	1758	1
Carrera 28 calle 52 - sentido S-O	354	3
Diagonal 49	1872	1
TIPO DE OBRA	1	

CALIFICACIÓN TOTAL	12
PUNTUACIÓN A ESCALA 1 A 10	7

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a la capacidad. La calificación para la alternativa es de 7.

- **Áreas de intervención**

Tabla 36. Resultados de área de afectación y calificación total alternativa 4

ÁREA DE AFECTACIÓN			
PROYECTO	Área afectación	Área Total construida	RELACIÓN
Alternativa 4	5688,80	28735,85	0,20

ÁREA CONSTRUIDA			
PROYECTO	Área Total construida	Área Existente	RELACIÓN
Alternativa 4	28735,85	2820,00	0,10

ÁREA ESPACIO PUBLICO			
PROYECTO	Área de Espacio publico	Área Total construida	RELACIÓN
Alternativa 4	3278,40	28735,85	0,11

ALTERNATIVA 4					
PESO RELATIVO TOTAL	INDICADORES DE IMPACTO	RELACIÓN	PESO RELATIVO	PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN
	Área construida	0,10	20	0,020	0,196
	Área espacio público potencial	0,11	20	0,023	0,228
	Área afectación predial	0,20	60	0,119	1,188
10	PESO RELATIVO POR INTERÉS	ÁREA AFECTACIÓN PREDIAL			

CALIFICACIÓN TOTAL	0,02
PUNTUACIÓN A ESCALA 1 A 10	2

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a la capacidad. La calificación para la alternativa es de 2.

- **Impacto Ambiental**

Tabla 37. Resultados de impacto ambiental y calificación total alternativa 4

NIVELES DE IMPACTO	CALIFICACION
Nivel de impacto en áreas protegidas	1
Nivel de impacto en las formaciones vegetales	0
Nivel de impacto en la erosión del suelo	3
Nivel de impacto en los recursos hídricos	2
TIPO DE OBRA	1

CALIFICACION TOTAL	6
PUNTUACION A ESCALA 1 A 10	5

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto al impacto ambiental. La calificación para la alternativa es de 5.

4.6.2.3.5 Alternativa 5

- **Accesibilidad**

Tabla 38. Resultados de accesibilidad y calificación total alternativa 5

CORREDORES	VELOCIDAD [Km/h]	DISTANCIA [Km]	TIEMPO DE VIAJE		CALIF
			[h]	[min]	
Carrera 28 - sentido N-S	18,99	2,154	0,113	6,81	1
Carrera 28 - sentido S-N	12,553	0,728	0,058	3,48	1
Calle 52 sentido E-O	48,28	0,66	0,014	0,82	3

Calle 52 sentido O-E	62,282	0,66	0,011	0,64	3
Carrera 28 calle 52 - sentido S-O	34,118	0,872	0,0255583 6	1,53	3
Diagonal 49	19,956	0,742	0,0371818	2,23	1
TIPO DE OBRA	1				

		DISEÑO			
CALIFICACION TOTAL	8	VELOCIDAD [Km/h]	DISTANCIA A [Km]	TIEMPO DE VIAJE	
PUNTUACION A ESCALA 1 A 10	7			[h]	[min]
		30	2,154	0,072	4,308
		30	0,728	0,024	1,456
		30	0,66	0,022	1,320
		30	0,66	0,022	1,320
		30	0,872	0,029	1,744
		30	0,742	0,025	1,484

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a la accesibilidad. La calificación para la alternativa es de 7.

- **Accidentalidad**

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a la accidentalidad. La calificación para la alternativa es de 7.

- **Nivel de servicio**

Tabla 39. Resultados de nivel de servicio y calificación total alternativa 5

INTERSECCION	Escenario futuro (años)			
	5	10	15	20
Carrera 24 – Avenida del Ferrocarril	C	C	D	E

Carrera 28 – Avenida del Ferrocarril	C	C	D	E
Diagonal 49 – Avenida del Ferrocarril	C	C	D	E
Carrera 28 – Calle 50	C	C	D	E

NIVEL DE SERVICIO	CAPACIDAD	CALIFICACION
Carrera 24 – Avenida del Ferrocarril	D	6
Carrera 28 – Avenida del Ferrocarril	D	6
Diagonal 49 – Avenida del Ferrocarril	D	6
Carrera 28 – Calle 50	D	6
TIPO DE OBRA	1	

CALIFICACION TOTAL	6
---------------------------	----------

Fuente: Elaboración propia

- **Capacidad**

Tabla 40. Resultados de accesibilidad y calificación total alternativa 5

SENTIDO	CORREDORES	Actual			15 Años		
		Capacidad			Capacidad		
		Veh/mi/lane	Número de carriles	Veh/h/lane	Veh/mi/lane	Número de carriles	Veh/h/lane
N-S	Carrera 28 - sentido N-S	153	2	4590	179	2	5370
S-N	Carrera 28 - sentido S-N	73,4	2	2202	83	2	2490
E-W	Calle 52 sentido E-O	6,8	2	204	21,5	2	645
W-E	Calle 52 sentido O-E	11,9	2	357	12,6	2	378
S-W	Carrera 28 calle 52 - sentido S-O	72,9	3	1458	139,5	3	2790
Dg	Diagonal 49	95,6	2	2868	169,6	2	5088

ALTERNATIVA 5		
NIVEL DE SERVICIO	CAPACIDAD [15 años]	CALIFICACIÓN
Carrera 28 - sentido N-S	5370	1
Carrera 28 - sentido S-N	2490	1
Calle 52 sentido E-O	645	3
Calle 52 sentido O-E	378	3
Carrera 28 calle 52 - sentido S-O	2790	1
Diagonal 49	5088	1
TIPO DE OBRA		1

CALIFICACIÓN TOTAL	10
PUNTUACIÓN A ESCALA 1 A 10	6

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a la capacidad La calificación para la alternativa es de 6.

- **Áreas de intervención**

Tabla 41. Resultados de áreas de intervención y calificación total alternativa 5

ÁREA DE AFECTACIÓN PREDIAL			
PROYECTO KOKOROLLO	Área afectación	Área Total construida	RELACIÓN
Alternativa 5	5867,70	33091,50	0,18

ÁREA CONSTRUIDA			
PROYECTO KOKOROLLO	Área Total construida	Área Existente	RELACIÓN
Alternativa 5	33091,50	2820,00	0,09

ÁREA ESPACIO PUBLICO			
PROYECTO KOKOROLLO	Área de Espacio publico	Área Total construida	RELACIÓN
Alternativa 5	10265,00	33091,50	0,31

ALTERNATIVA 5					
PESO RELATIVO TOTAL	INDICADORES DE IMPACTO	RELACIÓN	PESO RELATIVO	PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN
	Área construida	0,09	20	0,017	0,170
	Área espacio público potencial	0,31	20	0,062	0,620
	Área afectación predial	0,18	60	0,106	1,064
10	PESO RELATIVO POR INTERÉS	ÁREA AFECTACIÓN PREDIAL			

CALIFICACIÓN TOTAL	0,02
PUNTUACIÓN A ESCALA 1 A 10	2

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto a las áreas de intervención. La calificación para la alternativa es de 2.

- **Impacto Ambiental**

Tabla 42. Resultados de impacto ambiental y calificación total alternativa 5

NIVELES DE IMPACTO	CALIFICACION
Nivel de impacto en áreas protegidas	1
Nivel de impacto en las formaciones vegetales	0
Nivel de impacto en la erosión del suelo	3

Nivel de impacto en los recursos hídricos	2
TIPO DE OBRA	1

CALIFICACION TOTAL	6
PUNTUACION A ESCALA 1 A 10	5

Fuente: Elaboración propia

La escala de calificación es de 0 a 10, la cual va ser la valoración de la alternativa con respecto al impacto ambiental. La calificación para la alternativa es de 5

4.7 SELECCIÓN Y JUSTIFICACION

4.7.1 Matriz multicriterio – resumen

Tabla 43. Resultados de matriz Multicriterio de análisis comparativo de alternativas en proyectos viales urbanos – Intercambiador Carrera 28 con Calle 52

MATRIZ MULTICRITERIO DE ANÁLISIS COMPARATIVO DE ALTERNATIVAS EN PROYECTOS VIALES URBANOS			ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4	ALTERNATIVA 5					
CRITERIOS	%	PESO RELATIVO	PUNTAJE									
			PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL	PARCIAL	TOTAL
Accesibilidad	20	0,2	3	0,7	5	1	7	1,3	7	1,3	7	1,3
Accidentalidad	15	0,15	7	1	7	1	7	1	7	1	7	1
Nivel de Servicio	20	0,2	2	0,4	4	0,7	3	0,6	4	0,7	6	1,2
Capacidad	20	0,2	9	1,8	4	0,9	7	1,3	7	1,3	6	1,1
Área Intervenido	10	0,1	2	0,2	2	0,2	1	0,1	2	0,2	2	0,2
Impacto Ambiental	15	0,15	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75	5	0,75
TOTAL	100	1	4,77		4,49		5,15		5,28		5,58	

Fuente: Elaboración propia

4.7.2 Selección y justificación de la alternativa final

En base a los resultados obtenidos finalmente de la matriz multicriterio, luego de realizadas las modelaciones y respectivas simulaciones de operación de tráfico para el sector de la zona de estudio para cada una de las alternativas para la situación actual y un escenario futuro de 15 años, se observa que el mejor rendimiento se obtuvo para la alternativa cinco (5). Presentando un mayor puntaje en criterios como la accesibilidad, nivel de servicio y capacidad, criterios que resultan de la simulación y que nos permiten tener una idea real del comportamiento de la solución en un escenario futuro.

Esto nos permite concluir que dicha alternativa presenta una mejor respuesta ante la necesidad de mejoramiento de la situación actual para el flujo vehicular y peatonal de la zona de intervención. La ejecución de la metodología establecida en este trabajo de investigación permite asegurar que la alternativa seleccionada podrá brindar una mayor eficiencia en la operación del sector de la zona en estudio optimizando la conectividad vial y accesibilidad al sistema de infraestructura vial del municipio de Barrancabermeja.

Figura 40. Pre-diseño de la alternativa final



Fuente: Grupo de investigación GEOMÁTICA, gestión y optimización de sistemas

5. CONCLUSIONES

- Para la correcta aplicación de esta metodología es fundamental contar con información de campo veraz, tanto primaria como secundaria, de ahí la importancia que el Grupo de Investigación GEOMATICA realice estudios que fomenten la indagación en temas para el desarrollo de proyectos que conlleven al mejoramiento de la infraestructura vial en las ciudades de Colombia.
- Esta metodología logro establecer y cuantificar la priorización de proyectos de infraestructura vial basada en la evaluación de criterios.
- Para una mejor implementación de esta metodología se recomienda la evaluación de un criterio que trate la relación costo/beneficio, sin embargo para la aplicación al caso de estudio se hizo muy difícil la consecución de dicha información, dado que las alternativas están en etapa de prediseño y el alcance de los costos del proyecto se definen una vez el diseño sea plenamente definido.
- La aplicación de la metodología establecida, en el sector de la Carrera 28 con Calle 52 de la ciudad de Barrancabermeja, permitió realizar una comparación profunda de diferentes alternativas de solución para proyectos de infraestructura vial, logrando de esta manera un análisis soportado en criterios como los son la accesibilidad, accidentalidad, capacidad, nivel de servicio, áreas de intervención e impacto ambiental, que debidamente justificados conllevaron a la selección de la mejor alternativa para la solución de la necesidad de movilidad de la ciudad.
- En busca de garantizar una solución global, los resultados de esta metodología, deben estar respaldados con la ejecución de otros proyectos estratégicos establecidos a mediano plazo en el Plan Maestro de Movilidad del municipio.

- El uso de herramientas de micro-simulación de transporte permitió de una manera satisfactoria obtener indicadores del comportamiento del sistema de tránsito.
- La aplicación de metodologías de este tipo está sujeta a la particularidad y necesidad de cada proyecto, se buscó con este trabajo brindar criterios generales que pudieran ser aplicados a cualquier tipo de obra de infraestructura vial para cascos urbanos de ciudades colombianas.
- Se debe tener muy claro que no siempre proyectos que impliquen infraestructura nueva se convertirán en una solución adecuada para mitigar los impactos negativos en la movilidad de una ciudad, en ocasiones resulta más efectivo realizar medidas de gestión del tránsito que permitan una disminución del número de vehículos circulando por la malla vial y esto debe ir acompañado de un fortalecimiento y mejoramiento de los medios de transporte público masivos colectivos.

6. BIBLIOGRAFIA

ARANCIBIA, Sara: Evaluación Multicriterio: para la aplicación de proyectos de infraestructura deportiva.

ARISTOTELES: Metafísica Libro I, Capítulos 1 – 3. Editorial Gredos. Madrid

AURA, R. PIETRO, B: Accessibility and Network structure in the German Commuting, Springer Science+Business Media, 2010, Página 1

BROOKSHIRE, D.S: Estimating Option Prices and Existence Values in Wildlife Resources, L.S. Eubanks and R.A. Randall, 1983 Land Economics, 69: Página 1-15

CAL Y MAYOR. CARDENAS, James: Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones. Octava Edición. Alfaomega grupo editor S.A. 2007, Cap. 12 Página. 358.

CERGUERA, Flor: Libro Capacidad y niveles de servicio para la infraestructura vial. Año 2007

Congreso de la Republica de Colombia: Ley 1454 del 28 de junio de 2011, Artículo 3

CORMAGDALENA: Diseño y construcción de obras de control de inundación y erosión en el municipio de Barrancabermeja, departamento de Santander, Página 21

Dirección de Planeamiento, Ministerio de Obras Públicas de Chile. Plan Director de Infraestructura Chile 2000 – 2010. Cap. 7 Página 1

GARCÍA, F. ESCOBAR, D. VÁSQUEZ, L: Metodología para la priorización de proyectos. Artículo Página 2.

GEOMÁTICA, Grupo de Investigación - UIS: Estudios y diseños de algunos de los proyectos estratégicos y del componente programático contemplados en el plan de desarrollo municipal – Barrancabermeja ciudad futuro 2012 – 2015.

JIMÉNEZ, Pedro Luis: Visión Colombia II centenario 2019 ciudades amables, Departamento Nacional de Planeación.

MÁRQUEZ, L. LEGUIZAMÓN, L: Modelación de proyectos de infraestructura en el departamento de Cundinamarca. Artículo.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones del Perú: Plan Intermodal de Transporte del Perú, Informe final.

Organización Mundial del Comercio: Informa sobre el comercio mundial 2004, Capítulo B: La infraestructura en el comercio y el desarrollo económico. Página 124 – 138.

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE BARRANCABERMEJA.
ACUERDO 018 DE 2002. Página 29-30.

Proyecto Piloto para el Programa de Autopista Urbanas (PAU) en Colombia:
Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) Presentación

Universidad Nacional de Colombia: Accesibilidad al medio físico y al transporte,
Ministerio de Transporte, 1983 Página 7.

Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá: Informe V – Formulación del
plan de movilidad y lineamientos del plan vial – V.4.0 - . Página 54-55.

ZORRILLA, Santiago. TORRES, Miguel: Guía para elaborar una tesis, Segunda
Edición, McGraw Hill, México, 1997.