

DETERMINACIÓN DEL IMPACTO EN LA MOVILIDAD VEHICULAR EN EL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA POR LA EVENTUAL CONSTRUCCIÓN DE UNA VÍA VEHICULAR SOBRE EL ACTUAL EJE FÉRREO

OSCAR DANIEL CARRERO MONROY

CINDY MARTÍNEZ GUERRA



Universidad Industrial de Santander

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2014

Informe Final del Trabajo de Grado en la Modalidad Investigación

**DETERMINACIÓN DEL IMPACTO EN LA MOVILIDAD VEHICULAR EN EL
CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA POR LA
EVENTUAL CONSTRUCCIÓN DE UNA VÍA VEHICULAR SOBRE EL ACTUAL
EJE FÉRREO**

OSCAR DANIEL CARRERO MONROY

CINDY MARTÍNEZ GUERRA

Trabajo de Grado presentado como Requisito Parcial para optar por el Título de
Ingeniero Civil

Director:

MsC. YERLY FABIÁN MARTÍNEZ ESTUPIÑAN

Universidad Industrial de Santander

FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2014

Dedicatoria

A nuestras familias, y a todo el que esté interesado en el tema.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, por iluminarnos y fortalecer nuestro espíritu para emprender este camino.

A nuestras familias, que nos han acompañado en todo este proceso y nos han apoyado siempre, ya que sin ellos nada de esto habría sido posible.

Al ingeniero Yerly Fabián Martínez Estupiñan, por su calidad humana, colaboración, y dedicación con este proyecto de grado.

Al grupo de investigación GEOMATICA, que nos facilitó las herramientas para desarrollar el proyecto.

Y a todos aquellos que han estado en todo este tiempo, amigos y aquellos que aunque ya no estén de cuerpo presente, nos acompañan de corazón.

Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	15
1. CORREDOR FÉRREO MUNICIPIO BARRANCABERMEJA	15
2. PARÁMETROS DE DISEÑO GEOMÉTRICO	16
3.1. ESPECIFICACIONES DE CADA ALTERNATIVA	16
3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROYECTO	20
4. MODELACIÓN DE ESCENARIOS	20
6. CONCLUSIONES	25
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	26
7. AGRADECIMIENTOS	26

Lista de tablas

Tabla 1. Tabla final de proyecciones y presupuestos inversión.	16
Tabla 2. Tabla de conexiones planteadas.	17
Tabla 3. Base de datos de la red del AMB	21
Tabla 4. Indicadores agregados de tráfico.	23
Tabla 1 Indicadores agregados de tráfico	24

Lista de figuras

Figura 1. Eje férreo y sus intersecciones con la red vial del municipio	17
Figura 2. Sección transversal doble calzada	19
Figura 3. Sección transversal doble calzada con estabilización a los lados.	19
Figura 4. Sección transversal calzada sencilla.	19
Figura 5. Sección transversal calzada sencilla con estabilización a los lados.	19

Anexos

1. Tramos Inventariados según jerarquía POT (Acuerdo 018 de 2002)	27
2. Red vial relevante para transporte de carga.	28
3. Calle 77 con Carrera 33, Paso a nivel.	29
4. Calle 73 con Carrera 33 Puente elevado.	29
5. Intersección Carrera 33 con Calle 61	30
6. Calle 45 con calle 44a.	30
7. Tramo entrada al municipio de Barrancabermeja	31

Resumen Ejecutivo del Trabajo de Grado

Título: DETERMINACIÓN DEL IMPACTO EN LA MOVILIDAD VEHICULAR EN EL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA POR LA EVENTUAL CONSTRUCCIÓN DE UNA VIA VEHICULAR SOBRE EL ACTUAL EJE FERREO¹

Autor: Oscar Daniel Carrero Monroy², oscarcarrero5@gmail.com
Cindy Martínez Guerra², cindymartinez2090@gmail.com

Palabras Claves: Movilidad, tránsito, impacto, modelación.

Breve Reseña del Proyecto:

Este proyecto de investigación busca establecer diversas opciones viables y seguras, como alternativa de mejoramiento en la movilidad, comunicación y transporte en el casco urbano de la ciudad de Barrancabermeja, mediante la implementación de una vía vehicular, sobre el actual eje férreo que atraviesa dicha ciudad. El objetivo principal es poder dar un uso diferente al actual eje férreo a su paso por el casco urbano, que se encuentra olvidado y cuyo uso es prácticamente nulo, ya que establece una conexión importante a lo largo del eje norte-sur, no solo para la ciudad, sino también para el país, permitiendo atravesar la ciudad rápidamente y conectándola con vías importantes a nivel nacional. Se realizará una propuesta de una infraestructura vial teniendo en cuenta todos los parámetros y requisitos que se exijan, además de la elaboración de diferentes escenarios de modelación que permitan medir y analizar el impacto que esta genere a nivel de movilidad vehicular, entendiéndose impacto como la redistribución del tráfico del municipio por la eventual construcción del proyecto, y que de alguna manera genere un avance y progreso mayor para esta ciudad, que es una de las que genera mayores ingresos a la ciudad capital, haciéndola muy importante, a nivel de desarrollo y progreso.

¹ Trabajo de grado desarrollado en la modalidad de investigación.

² Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil- Director: MsC. Yerly Fabián Martínez Estupiñan.

Abstract of the Undergraduate Project

Title: DETERMINACIÓN DEL IMPACTO EN LA MOVILIDAD VEHICULAR EN EL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA POR LA EVENTUAL CONSTRUCCIÓN DE UNA VIA VEHICULAR SOBRE EL ACTUAL EJE FERREO³

Author: Oscar Daniel Carrero Monroy⁴, oscarcarrero5@gmail.com
Cindy Martínez Guerra², cindymartinez2090@gmail.com

Key Words: Mobility, traffic, impact, modeling.

Project Brief:

This research project seeks to establish various viable and safe options as an alternative to improve mobility, communication and transport in the town of Barrancabermeja, by implementing a vehicular track on the current iron shaft passing through said city. The main objective is to give a different usage to the current iron shaft passing through the village, which lies forgotten and whose use is practically nil, as it establishes an important link along the north-south axis , not only for the city but also for the country , allowing cross the city quickly and connecting with major roads nationwide. A proposed road infrastructure will be used taking into account all the parameters and requirements , in addition to the development of different modeling scenarios to measure and analyze the impact that this will generate a level of vehicular mobility demand , understanding impact as a redistribution of traffic municipality for the eventual construction of the project, and that somehow generates progress and more progress for this city, which is one that generates more revenue to the capital city , making it very important , in terms of development and progress .

³ Trabajo de grado desarrollado en la modalidad de investigación.

⁴ Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil- Director: MsC. Yerly Fabián Martínez Estupiñan.

DETERMINACIÓN DEL IMPACTO EN LA MOVILIDAD VEHICULAR EN EL CASCO URBANO DE LA CIUDAD DE BARRANCABERMEJA POR LA EVENTUAL CONSTRUCCIÓN DE UNA VÍA VEHICULAR SOBRE EL ACTUAL EJE FÉRREO

INTRODUCCIÓN

La historia de la línea férrea en Colombia ha venido cambiando con el paso de los años. Al principio se convirtió en una opción viable que promovió oportunidades para el país, no solo comercialmente, sino a nivel social, se conectaron las diversas culturas y se engrandecieron las ciudades, pero con el paso de los años el sistema férreo ha ido perdiendo su auge, tanto así que ya es, prácticamente nulo.

El estado Colombiano en busca de solucionar o aminorar los problemas de movilidad ha venido desarrollando diversos programas, dentro de los cuales usan diversos medios de transporte, dentro de los cuales muy pocos tienen en cuenta el sistema férreo. Es por esto que en las diversas ciudades por las que pasa la línea férrea han desarrollado planes ya sea para recobrar su uso, o para quitarlo por completo.

En la ciudad de Barrancabermeja una de las cuales cuenta con eje férreo en estos momentos, se ha venido desarrollando una iniciativa, y es el planteamiento de una alternativa para mejorar la movilidad vehicular del casco urbano de la ciudad, esta propuesta consiste en plantear una vía vehicular sobre el actual eje férreo, teniendo en cuenta que intercepta con puntos clave de la malla vial existente en el municipio y que este corredor atraviesa la ciudad en sentido Norte-Sur y viceversa, convirtiéndolo en una opción de movilidad favorable para el municipio.

1. CORREDOR FÉRREO MUNICIPIO BARRANCABERMEJA

La idea de crear un corredor férreo nace en el año de 1835, con la expedición de una ley que permitía realizar concesiones ferrocarrileras, pero fue hasta después del año 1865 que se iniciaron una serie de líneas en el interior del país, entre ellas la que circula por el municipio de Barrancabermeja.

Fue hasta la dictadura de Gustavo Rojas Pinilla que se decide realizar el “Ferrocarril del Atlántico”, que pretendía unir todos los tramos de ferrocarril existentes. Para poner en funcionamiento dicho proyecto se creó Ferrocarriles Nacionales de Colombia en el año de 1954, esta empresa funcionó durante 37 años, y ayudo a que el auge del ferrocarril aumentara, haciendo que la movilidad y el comercio en el país creciera de manera significativa.

El eje férreo en la ciudad de Barrancabermeja, al principio, funcionó como un sistema de transporte tanto de la materia prima de la industria petroquímica, como de pasajeros, lo que generó un crecimiento económico y poblacional en el municipio.

En el año de 1991, debido a la liquidación de la empresa Ferrocarriles Nacionales de Colombia, el sistema férreo en Barrancabermeja tuvo un impacto negativo, que generó el decaimiento de este sistema de transporte de pasajeros y que permitió la invasión de las líneas férreas por personas, dejando su uso casi nulo, es por eso que en la actualidad el tramo que se refiere al trazado correspondiente a La Dorada - Chiriguaná con una longitud total de 523 Km, el cual atraviesa la ciudad de Barrancabermeja, se limita únicamente al tránsito de algunos

vagones, denominados carro motores, perteneciente a la cooperativa COOPSERCOL L.T.D.A. los cuales prestan un servicio de transporte de pasajeros y carga menor.

2. PARÁMETROS DE DISEÑO GEOMÉTRICO

De acuerdo a la información proporcionada por fotografías, visitas de campo, y analizando factores de movilidad y transporte, aforos vehiculares, registros del parque automotor (Anexo 1) [1], se decidió que el tramo a trabajar, es el comprendido entre la calle 77 con carrera 33 hasta la calle 44a con carrera 34.

Basados en estudios realizados por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia con sede en Bogotá [2], se encontró una de las principales razones para el planteamiento del diseño geométrico del tramo perteneciente al proyecto, la conectividad que posee la vía férrea con la malla vial existente (Vías principales, vías secundarias y vías colectoras) (Anexo 2), lo convierte en un tramo de rápida conexión, en ambos sentidos, consiguiendo así recorrer tramos más largos en menor tiempo; el proyecto también beneficiaría el flujo de transporte pesado en el casco urbano, pues se disminuiría el nivel de tráfico pesado en el caso urbano, lo cual mejoraría la movilidad en el casco urbano de manera significativa.

3.1. ESPECIFICACIONES DE CADA ALTERNATIVA

El proyecto consta de una vía arterial, la cual será primaria o secundaria, dependiendo del terreno existente, que me permitan también una transito continuo, cómodo y eficiente. Las alternativas planteadas son:

- Propuesta “a”: Vía arterial principal. Vía doble calzada con dos carriles por sentido a lo largo de todo el tramo férreo.

- Propuesta “b”: Vía arterial secundaria. Vía de una calzada con dos carriles, un carril por sentido a lo largo del eje férreo.
- Propuesta “c”: Vía arterial secundaria. Vía mixta, tramos de doble calzada dependiendo de las características de la zona a intervenir con el proyecto.

Nivel de afectación del proyecto: Se hizo necesario realizar un análisis de afectación, debido que se han generado diversos asentamientos de población muy cerca al eje férreo, lo cual implica la reubicación o compra de dichos predios, pues se requiere de un espacio para el correcto desarrollo del proyecto. De acuerdo a la información proporcionada por el Plan Parcial del Corredor Férreo del municipio de Barrancabermeja del 2006 [3], se organizó por cantidad del predio, su valor, y si se realiza compra o reubicación como se ve en la Tabla 1.

Tabla 1. Tabla final de proyecciones y presupuestos inversión.

ZONA	ACCIONES	SECTOR	Nº PREDIOS	VALOR PROMEDIO	COSTO TOTAL ESTIMADO
NORTE	Reubicación	Belén	189	6.068	1'146.852
	Compra	Gaitán	72	21.300	1'533.600
	Compra	Floresta	110	32.700	3'597.00
	Compra	Las Camelias	63	10.900	686.700
CENTRO	Reubicación	Santa Bárbara	34	6.500	221.00
	Reubicación	Santa Ana	23	6.000	138.00
	Reubicación	Tres Unidos	36	4.500	162.000
	Compra	Tres unidos	143	27.000	3'861.000
SUR	Reubicación	Antonia Santos	23	7.800	179.400
	Reubicación	Palmar	264	7.800	2059.200
Total			957	130.568	13'584.752

Fuente: Documento técnico para el Plan Parcial del Corredor Férreo del Municipio de Barrancabermeja.

Alternativas de conexión: Basados en la información proporcionada en el documento técnico para el Plan Parcial del Corredor Férreo del Municipio de Barrancabermeja, se

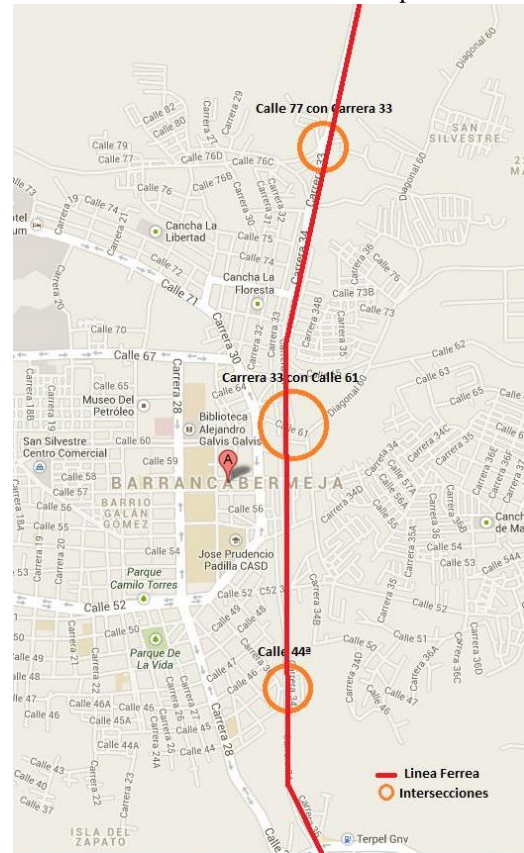
decidió conformar un corredor con las intersecciones mostradas en la Tabla 2, así:

Tabla 2. Tabla de conexiones planteadas.

VÍA	ANCHO (M)	N° CARRILES	PAVIMENTO	ESTADO	OBSERVACIÓN
Calle 77 con carrera 33 (Belén)	9.2	2	Blando	Regular	Paso a nivel
Calle 75ª (Belén)	6	2	Blando	Malo	Paso a nivel
Calle 73 con carrera 34 (San Judas)	6.5	2	Lozas en concreto	Bueno	Puente vehicular
Calle 65 con carrera 34 (La Floresta)	6.2	2	Lozas en concreto	Bueno	
Carrera 33 con calle 65 (La Floresta)	5.3	1	Afirmado	Malo	
Carrera 34 con calle 61 (La floresta)	1.3	4	Blando	Bueno	Paso a Nivel
Calle 58 (Las Camelias)	5	2	Afirmado	Regular	
Calle 53ª entre carrera 32 y vía férrea (Palmira)	4.5	1	Lozas en concreto	Bueno	
Carrera 34ª (Santa Ana)	3.8	1	Lozas en Concreto	Bueno	Puente Elevado
Calle 45 (Tres Unidos)	6.1	2	Lozas en Concreto	Bueno	Paso a Nivel

Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Eje férreo y sus intersecciones con la red vial del municipio



Fuente: Elaboración propia.

Analizando los puntos principales del tramo vial propuesto, su topografía y su posible afluencia vehicular, se plantearon tres intersecciones mediante las cuales se conectará el proyecto con la red vial existente.

Se manejaran dos tipos de intersecciones, en “T” o “Y” e intersecciones en “X”, puesto que son éstas las que más se adaptan a la topografía de cada punto y se pueden conectar fácilmente a la red vial existente.

- **Calle 77 con carrera 33:** Ubicado en el barrio Belén, intercepta mediante un paso a nivel. Esta conexión es muy importante, ya que comunicaría ambos lados de la comuna 3 (Anexo 3).
- **Calle 73 con carrera 34:** Consiste en un puente vehicular, el cual conecta el sector este con el oeste del municipio, en la zona norte (Anexo 4).

- **Carrera 33 con calle 61:** Está compuesta de una vía doble calzada, con dos carriles por sentido, la cual estaría posiblemente semaforizada (Anexo 5).
- **Calle 45 con calle 44a:** Esta intercepción une los barrios Tres Unidos con la red vial del municipio, debido que en esta calle se encuentra un paso a nivel el cual es el punto de acceso y salida al barrio (Anexo 6).

Cabe aclarar que la conexión más importante, es la que se realiza con la carrera 28, debido a que esta es la vía principal de ingreso por el lado sur al municipio. Esto consistiría en entrar por la carrera 28 en el lado sur, se girará a la derecha por la calle 45, la cual conectaría inmediatamente con el proyecto propuesto (Anexo 7).

Condiciones actuales y modificaciones planteadas:

- **Calle 77 con carrera 33:** En esta intersección se encontró que, en la calle 76, la vía férrea tiene una bifurcación donde se encontró un problema topográfico, debido a que el tramo para el tráfico ferroviario se localiza sobre un terreno de gran elevación y de ancho poco favorable. Por esto se planteó como alternativa de movilidad, que la vía se desarrolle hasta la calle 76 con carrera 33, allí se dividiría de tal forma que el flujo vehicular en sentido Sur-Norte siga por el tramo del eje férreo, y que el tránsito en sentido Norte-Sur tome la carrera 33, y más adelante se encontrarían en la calle 77 con carrera 73, donde se conectaría con la malla vial existente.
- **Calle 73 con carrera 34:** Puente elevado, situado sobre la vía férrea, posee una separación de los estribos angosta para el proyecto. La modificación que se realizaría en este sector sería, la ampliación de la luz del puente, proporcionando así un espacio más apto en este punto.
- **Carrera 33 con calle 61:** Esta podría considerarse tal vez, la conexión más importante, debido a que se encuentra

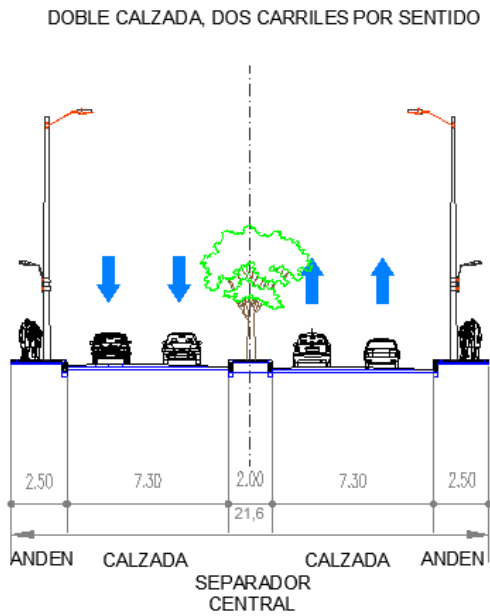
situada en la zona central del municipio, además de estar interceptada en este punto con la malla vial existente, mediante un paso a nivel. Para esta conexión se tiene estipulado un sistema de semaforización, debido a que la afluencia vehicular es importante, ya que el flujo vehicular sería mayor en este punto.

- **Calle 45 con calle 44a:** Esta es la primera intercepción. La carrera 28, por la cual se ingresa al municipio, se desvía por la 45 y posteriormente llega al punto donde empieza el proyecto. Al tratarse de un proyecto de flujo vehicular importante, se hace necesario usar tanto la calle 45, como la calle 46, y condicionarlas, de tal manera que cumplan con los requisitos del proyecto, y que una sirva de entrada y la otra de salida de la vía propuesta.

De acuerdo a todo lo anteriormente nombrado, a las normas del Código de Diseño Geométrico de Carreteras [4], y teniendo en cuenta que la velocidad para tramos urbanos es de máximo 60 [Kph], se tomaron las siguientes medidas para las secciones transversales:

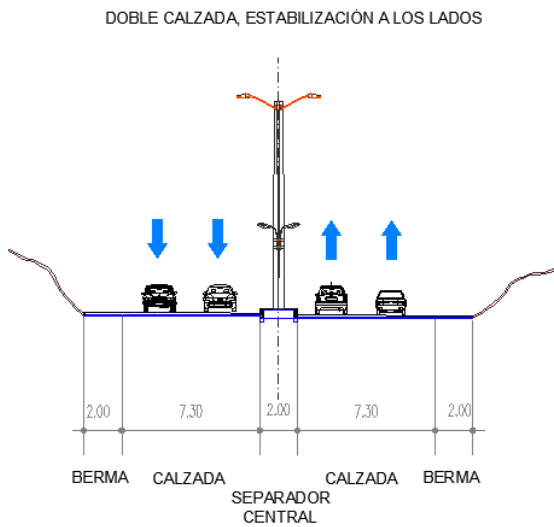
- Doble calzada: calzada= 7,30 m, separador= 2 m, andenes= 2,50 m, total= 21,6 m (Figura 1 y Figura 2).
- Calzada sencilla: calzada= 7,30 m, anden= 3 m, total= 13,30 m (Figura 3 y Figura 4).

Figura 2. Sección transversal doble calzada



Fuente: Elaboración propia

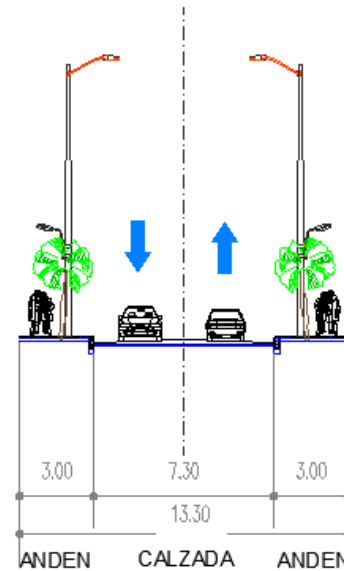
Figura 3. Sección transversal doble calzada con estabilización a los lados.



Fuente: Elaboración propia.

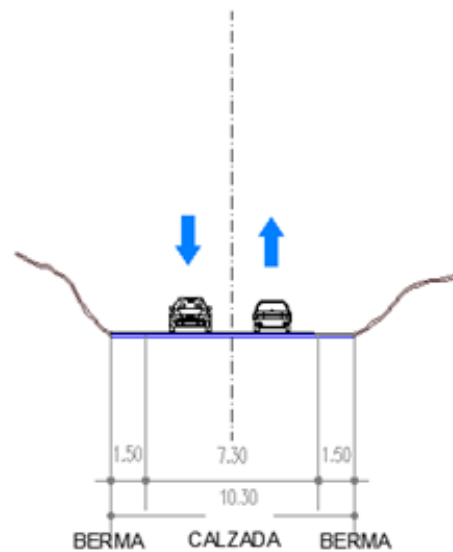
Figura 4. Sección transversal calzada sencilla.

CALZADA SENCILLA, UN CARRIL POR SENTIDO



Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Sección transversal calzada sencilla con estabilización a los lados.



Fuente: Elaboración propia

3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROYECTO

Ventajas:

- Disminuye la afluencia vehicular, en el casco urbano del municipio, recorriendo distancias más largas en menor tiempo.
- Brindar funcionalidad, seguridad y comodidad al usuario, que desee transportarse de un punto extremo del municipio a otro.
- Ofrecer un intercambio seguro, un flujo continuo y eficiente sobre aquellos puntos de conexión y cruce, entre las diferentes jerarquías viales (vías principales, vías secundarias, vías colectoras y vías locales).
- Disminución de los índices de accidentalidad, ya que hay gran cantidad de vehículos motorizados y no motorizados que llegan a las diversas intersecciones viales, lo que genera congestión, desorden y conflictos permanentes, entre diferentes tipos de vehículos, y entre vehículos y peatones, siendo estos últimos los más perjudicados.
- Disminución del flujo vehicular pesado en el casco urbano, al proporcionar un corredor vial con buenas especificaciones, evitando así el riesgo de las intersecciones entre elementos extremos: el más vulnerable (peatón o ciclista), con el menos vulnerable (tracto camiones, camiones, buses).

Desventajas:

- La magnitud del proyecto afectaría notablemente a los predios ubicados a lo largo del actual eje férreo, ocasionando restitución de predios, compra o desalojos.
- Se necesitaría buscar una nueva alternativa de conexión del sistema

férreo nacional, con el municipio, para la eventual creación de un puerto multimodal.

- Se eliminaría el único uso que se le da actualmente al corredor férreo que es el transporte de pasajeros y carga liviana mediante el uso de carro-motores.
- Se necesitaría realizar una tala de árboles, generando un impacto ambiental importante.

4. MODELACIÓN DE ESCENARIOS

Para determinar el impacto en la movilidad que tendría la eventual puesta en funcionamiento de una vía vehicular por el actual eje de la vía férrea se realizaron modelos de asignación de tráfico para la situación actual de la región y para la inclusión, por separado, de cada propuesta. Estos modelos se realizaron en el software TransCAD, que es un SIG especializado en almacenamiento, manejo, análisis y presentación de datos de tráfico [4], capaz de modelar el transporte público, privado y de carga para unas condiciones de oferta y demanda estipuladas bajo distintos modelos de asignación de tráfico.

Dado que la presente investigación tiene por objeto modelar el transporte privado y de carga en adelante solo se presentarán la oferta, la demanda y los parámetros del modelo empleado para los sectores del transporte citados.

- **La oferta:** En TransCAD la oferta está representada por la red de transporte en consideración (privada o de carga). Dicha red es simplemente la malla de la ciudad con información en cada arco de la malla vial (Un arco en la malla representa una calle o carrera en la ciudad) como velocidad de flujo libre, capacidad, tiempo de recorrido en condiciones de flujo libre, dirección de flujo, número de calzadas y carriles,

anchos de carril, restricciones de giro, entre otros indicadores de tránsito.

Para el caso del caso urbano de Barrancabermeja la red está constituida por la malla vial del municipio actualizada al año 2010 en el Plan Maestro de Movilidad, donde a cada calzada de las vías se le representó con un arco en la red. La información contenida por cada arco de la red se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 3. Base de datos de la red del AMB

FIELD_NAME	TYPE	FIELD_NAME	TYPE
ID	Integer (4 bytes)	NUM_CALZADAS	Integer (2 bytes)
LENGTH	Real (8 bytes)	NUM_CARRILES	Integer (2 bytes)
DIR	Integer (2 bytes)	ANCHO_CALZADA	Real (8 bytes)
NOMBRE	Character	FLUJO_AB	Integer (2 bytes)
MUNICIPIO	Character	FLUJO_BA	Integer (2 bytes)
USO	Character	VELOCIDAD	Real (8 bytes)
TIPO_PAVIMENTO	Character	TIEMPO	Real (8 bytes)
ESTADO_PAVIMENTO	Integer (2 bytes)		

Fuente: Elaboración propia

De la tabla se puede observar que no se consideró la capacidad de la vía como un atributo de la red dado que no se contaba con información que facilitara su cálculo, esto limita considerablemente el modelo toda vez que la capacidad es una variable indispensable para la mayoría de modelos de asignación. Adicionalmente, las restricciones de giro se manifestaron en la prohibición de giros en 'U' y un minuto de penalización a los giros a izquierda en toda la red.

- **La demanda:** Por otro lado, la demanda en TransCAD está representada por los objeto matriz origen-destino para transporte privado y de carga. En el modelo del casco urbano de

Barrancabermeja las matrices representan los viajes en la región entre las 17:30 y 18:30 (considerada hora pico) originadas a partir de las encuestas origen-destino adelantadas por la Universidad Nacional en convenio con la Alcaldía de Barrancabermeja en el año 2010. La información así obtenida se agrupo en las 75 zonas denominados como Zonas de Asignación de Tráfico (TAZ por sus siglas en ingles) para luego proyectarse al año 2010 con base en las tasas de incremento del parque automotor privado y de carga del municipio de origen de los viajes.

La metodología de modelamiento en TransCAD supone que todos los viajes en la red deben partir y llegar al centroide geométrico de una TAZ, el error que puede generar está simplificación en el modelamiento se redujo considerablemente en la presente investigación al trabajar con tantas zonas, cada una con un tamaño relativamente pequeño.

- **Modelo de asignación de tráfico:** Para repartir los viajes entre las zonas de la red existen diversos modelos de asignación de viajes que, en general, buscan describir de forma matemática como el usuario selecciona la mejor ruta de viaje considerando que la mejor ruta es aquella que le brinda un menor tiempo de viaje. Sin embargo, los modelos difieren en la información de la red necesaria para determinar la mejor ruta (solo tiempo o tiempo y capacidad), el número de iteraciones y si es o no un modelo estocástico, entre otras. Con base en las restricciones de información sobre capacidad de la red del casco urbano de Barrancabermeja, en la presente investigación se empleó el modelo Todo o Nada (All or Nothing), caracterizado por asignar todos los viajes en un par origen-destino al camino más corto entre dicho par.

El método All or Nothing parte de la hipótesis de que el tiempo de viaje en un arco de la red no se ve alterado por el flujo que tenga este arco, es decir, el tiempo de viaje en una vía es independiente de su capacidad. Y se presume que el usuario conoce los tiempos de viaje de todos los posibles caminos de la red y que va a seleccionar el de menor tiempo. El algoritmo del modelo se presenta brevemente a continuación:

1. Se parte de conocer los tiempos de flujo (τ_a) y asumir flujo nulo a todos los arcos de la red.
2. En cada par origen-destino (i-j) con número de viajes no nulo ($t_{ij} > 0$) se determina la ruta más corta en tiempo mediante algoritmos como el de Floyd o Dijkstra.
3. Para cada uno de los arcos pertenecientes al camino más corto del par i-j en estudio se suma la totalidad de viajes t_{ij} al flujo anterior del arco, esto es:

$$x_a^k = x_a^{k-1} + t_{ij}$$

Dónde:

τ_a : Tiempo de viaje en el arco a-ésimo.

t_{ij} : Viajes en el par origen-destino i-j.

x_a^k y x_a^{k-1} : Flujo actual y anterior sobre el arco a-ésimo, respectivamente.

Siempre considerando que el tiempo de viaje en cada arco es independiente de su flujo $\tau_a (\forall x_a) = \tau_a$.

Pese a las limitaciones que supone ignorar la capacidad de la vía, el uso del modelo *All or Nothing* permite simular la situación más crítica de carga de tráfico para las vías que representen el menor costo en tiempo entre los pares origen-destino del casco urbano de Barrancabermeja, lo que enfoca la modelación sobre la situación de las vías primarias de la región. Asimismo, en el caso de modelar escenarios futuros, este método permite determinar de forma

concreta si una propuesta vial resulta más atractiva en términos de minimizar tiempos de viaje que la situación actual.

Para esta investigación se adoptó un algoritmo de asignación y una función de costos que incluyeran las variables contempladas por los usuarios de la red de transporte a la hora de seleccionar sus rutas de viaje. En este sentido, se determinó que el tiempo de viaje y la densidad de flujo vehicular eran los principales elementos considerados por los usuarios para evaluar el costo de una ruta, y que estos no conocen perfectamente los costos de todas las rutas posibles para realizar sus viajes, por lo que su selección de la ruta más económica se realiza bajo un proceso estocástico.

Con base en lo anterior, se adoptó el algoritmo de asignación del Equilibrio estocástico del Usuario (SUE, por sus siglas en inglés) y la función de costos del Bureau of Public Roads, definida en (1), y donde $t_k, t_{k,ff}, x_k, q_k, \alpha_k, \beta_k$ son, respectivamente, el costo de viaje (tiempo de viaje), el tiempo de flujo libre, el flujo vehicular, la capacidad y los parámetros alfa y beta que ajustan la función de costos del elemento k-ésimo de la red.

$$t_k = t_{k,ff} * \left(1 + \alpha_k * \left(\frac{x_k}{q_k} \right)^{\beta_k} \right) \quad (1)$$

- **Escenarios de modelación:** Los escenarios de modelación mediante los cuales se llevara a cabo el análisis de la malla vial son cuatro, estos basados en las propuestas hechas al principio del proyecto, donde se proponen las tres posibles alternativas del corredor vial, las cuales son:
 - Vía doble calzada con dos carriles por sentido
 - Vía de calzada sencilla con un carril por sentido
 - Vía mixta, tramos de doble calzada y calzada sencilla

Se establece un escenario más el cual corresponde a la malla vial existente tal

cual como se encuentra, ósea con su respectivo corredor férreo en funcionamiento. Esto con el motivo de analizar el impacto que tendría el proyecto en la movilidad del tráfico vehicular del municipio y compararlo con el actual.

- Indicadores del tráfico:** Para cada escenario y para cada año se calcularon indicadores agregados y desagregados del tráfico. Los primeros consistieron en la distancia recorrida (VDT) y el tiempo de viaje (VHT) de los vehículos particulares consignados en la matriz origen – destino y expresados, respectivamente, en kilómetros y horas. Los segundos fueron el flujo vehicular, el tiempo de viaje y el nivel de servicio (LOS por sus siglas en inglés), medidos en ciertos corredores (o puntos) de control, establecidos para cada escenario con base en los siguientes criterios: que tuvieran la misma conectividad y funcionalidad que el proyecto vial en estudio, y que hubiesen presentado una relación flujo/capacidad superior a 0,75 en la simulación de 2010 para el escenario base.
- Grado de efectividad:** Posteriormente, para cada uno de los años de los escenarios dos al seis, se calculó la

reducción porcentual de cada indicador del tráfico con respecto a su valor para el mismo año, pero en el escenario uno. Asimismo, se estableció un orden de importancia para las reducciones obtenidas, que se presenta a continuación de mayor a menor relevancia: reducción del VHT, del VDT, del tiempo de viaje y del flujo vehicular e incremento del nivel de servicio. Finalmente, la magnitud de la reducción de los indicadores de tráfico, en el orden señalado, definió el grado de efectividad de los distintos escenarios para cada uno de los años.

5. RESULTADOS

Los resultados obtenidos para los indicadores agregados y desagregados del tráfico se presentan, respectivamente, en las tablas 4 y 5.

Tabla 4. Indicadores agregados de tráfico.

AÑO	INDICADOR	ESCENARIOS			
		1	2	3	4
2015	VHT	5,518.16	5,274.50	5,390.04	5,439.46
	%VHT	***	4.42%	2.32%	1.43%
	VMT	214,791.47	214,641.24	215,659.27	214,002.60
	%VMT	***	0.07%	-0.40%	0.37%
2020	VHT	14,483.98	12,986.77	12,501.61	14,399.50
	%VHT	***	10.34%	13.69%	0.58%
	VMT	348,249.21	350,079.16	352,701.51	348,101.30
	%VMT	***	-0.53%	-1.28%	0.04%

2025	VHT	110,071.54	86,203.15	82,710.92	109,936.20
	%VHT	***	21.68%	24.86%	0.12%
	VMT	657,349.37	659,671.70	648,601.44	651,789.43
	%VMT	***	-0.35%	1.33%	0.85%
2030	VHT	2,921,262.11	2,041,629.23	1,823,003.34	2,907,711.63
	%VHT	***	30.11%	37.60%	0.46%
	VMT	1,343,515.64	1,336,652.59	1,298,544.69	1,318,116.34
					1.89%

Tabla 5. Indicadores agregados de tráfico

ESCENARIO	AÑO	PUNTO DE CONTROL	CONECTIVIDAD	FLUJO (Veh/Hora)	% Reducción	TIEMPO DE VIAJE (Min)	% Reducción	NDS Base	ND S
2	2015	Cra 28 - Calle 52	N-S	2,834	-39.4	0.72	32.7	C	B
	2020	Cra 28 - Calle 52	N-S	4,590	0.2	1.08	7	F	D
	2025	Cra 28 - Calle 60	N-S	5,264	6.2	1.76	29.9	F	D
	2030	Cra 30 - Calle 67	N-S	2,056	38.1	1.49	76.3	F	D
3	2015	Cra 28 - Calle 52	N-S	2,905	-40.4	0.74	33.5	C	B
	2020	Cra 28 - Calle 52	N-S	4,705	0.2	1.12	7.2	F	E
	2025	Cra 28 - Calle 60	N-S	5,417	6.4	1.81	30.8	F	D
	2030	Cra 30 - Calle 67	N-S	2,107	39.1	1.54	78.2	F	D
4	2015	Cra 28 - Calle 52	N-S	2,977	-43.2	0.77	34.4	C	B
	2020	Cra 28 - Calle 52	N-S	4,822	0.2	1.17	7.4	F	D
	2025	Cra 28 - Calle 60	N-S	5,574	6.6	1.87	31.7	F	D
	2030	Cra 30 - Calle 67	N-S	2,160	40.0	1.58	80.9	F	D

Los resultados obtenidos mediante el análisis de los escenarios propuestos en el software

TransCAD, muestran una significativa variación de los indicadores agregados de tráfico.

El análisis se realiza para puntos críticos de la malla vial actual, que presentan mayor afluencia vehicular en el sentido (Norte-Sur), en este caso se toma la Carrera 28 con Calle 52, para así poder determinar que tanto flujo vehicular deja de transitar por ellas y opta por la alternativa propuesta en este proyecto. Si analizamos los datos obtenidos a partir del programa, se puede evidenciar una disminución vehicular a dicho nodo crítico significativa, con tasas hasta del 80%, lo que evidencia que se disminuiría el tráfico notablemente en puntos críticos del municipio y se optaría por transitar el tramo vehicular propuesto.

Los porcentajes de reducción son bastante positivos en todos los escenarios propuestos y para los años proyectados.

6. CONCLUSIONES

Este proyecto busco plantear una alternativa vial para mitigar el impacto negativo en la movilidad a causa del crecimiento del parque automotor experimentado en los últimos años en Barrancabermeja, proporcionando posibles alternativas de conexión, con distintos parámetros de diseño geométrico. Esto con el fin de llegar a interpretar resultados obtenidos, mediante escenarios de modelación, y demostrar la viabilidad del proyecto para el municipio. De lo anterior se concluyó:

- Analizando los resultados obtenidos, se pudo evidenciar la notable reducción del tráfico en puntos críticos de la red vial actual. Esto debido a la eventual puesta en funcionamiento de la vía propuesta, por lo cual el tráfico se redistribuiría entre ambas vías. Lo

cual favorecería la movilidad vehicular del municipio.

- Los escenarios propuestos, responden favorablemente a la demanda vehicular perteneciente al municipio, pero el escenario que brinda mayores tasas de reducción es el escenario 4 correspondiendo a una vía mixta con tramo de doble calzada y sencilla dependiendo de las características de la zona a intervenir con el proyecto.
- Si bien es cierto el impacto en la movilidad sería bastante favorable, a nivel social el impacto sería negativo, pues como se dijo anteriormente implicaría el desalojo, compra y reubicación de varias familias asentadas a lo largo del corredor férreo.
- Es de resaltar la eficiencia que presenta el software trabajado TransCAD, pues es una herramienta que permite modelar el transporte público, privado y de carga, de alguna zona específica, en nuestro caso el tramo vial propuesto, en el municipio de Barrancabermeja, utilizando datos de tráfico (oferta y demanda) sobre una malla vial específica.
- A pesar de que los resultados obtenidos fueron favorables en cuanto a movilidad, aún haría falta profundizar en los aspectos referentes al dimensionamiento en cuanto a longitud de los diferentes tramos, correspondientes al uso de calzada (doble o sencilla), debido a que se evidenció que la alternativa más favorable sería una vía mixta.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1]. Barrancabermeja-Santander, Colombia; <https://maps.google.es/>; Octubre 16 del 2013.
- [2]. Facultad de Ingenierías Universidad Nacional de Colombia; Informe IV-Diagnóstico y caracterización del sistema actual de movilidad y del modelo territorial; Bogotá, Colombia año 2010; Versión 3.0.
- [3]. Environmental Ingenieros Consultores Lta, Superintendencia de Industria y Comercio; Documento técnico: Plan Parcial del Corredor Férreo; Bogotá Av. 15 # 116-06 Of D1 año 2006.
- [4]. Instituto Nacional de Vías (INVIAS); Manual de Diseño Geométrico de Carreteras; Bogotá Colombia año 2008.

7. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, por iluminarnos y fortalecer nuestro espíritu para emprender este camino.

A nuestras familias, que nos han acompañado en todo este proceso y nos han apoyado siempre, ya que sin ellos nada de esto habría sido posible.

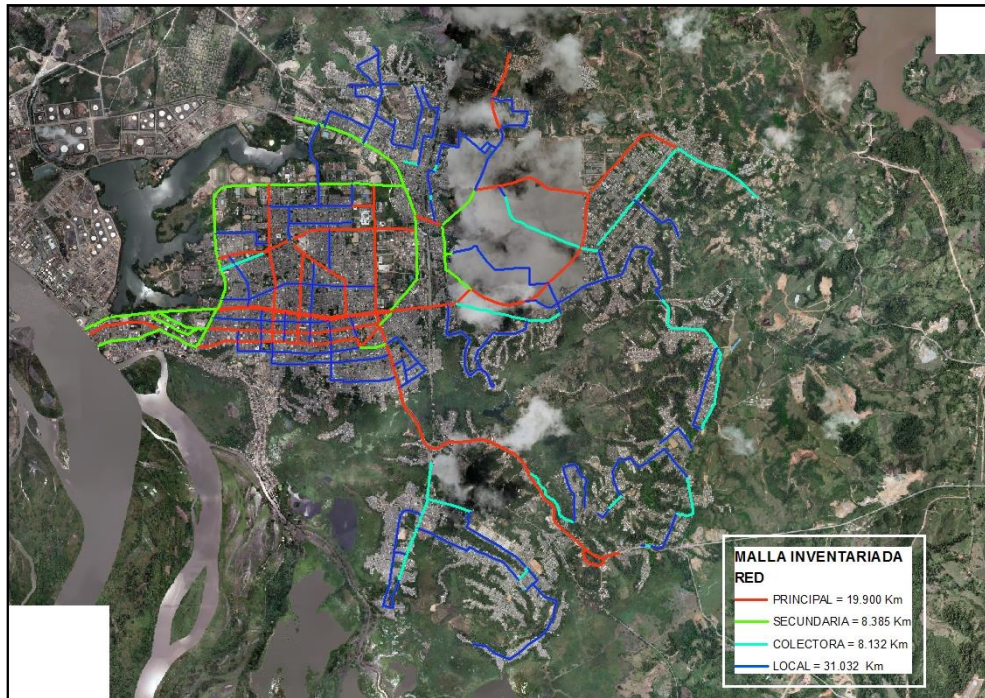
Al ingeniero Yerly Fabián Martínez Estupiñán, por su calidad humana, colaboración, y dedicación con este proyecto de grado.

Al grupo de investigación GEOMATICA, que nos facilitó las herramientas para desarrollar el proyecto.

Y a todos aquellos que han estado en todo este tiempo, amigos y aquellos que aunque ya no estén de cuerpo presente, nos acompañan de corazón.

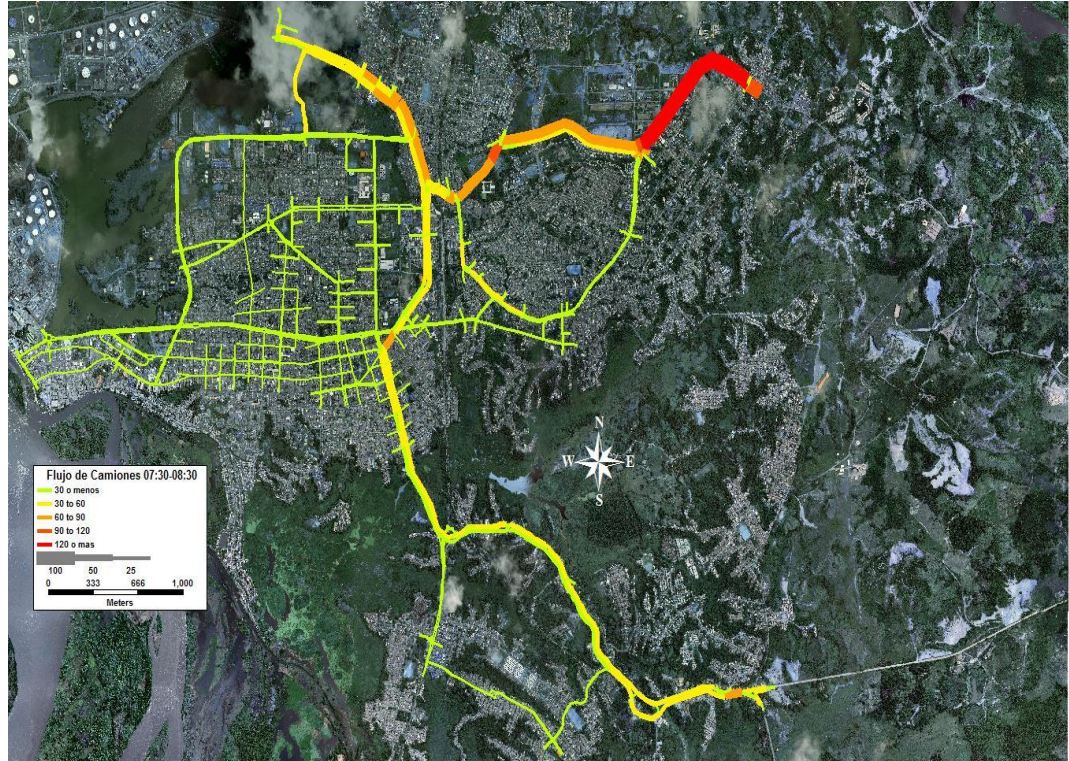
ANEXOS

1. Tramos Inventariados según jerarquía POT (Acuerdo 018 de 2002)



Fuente: Elaboración Propia con base en información disponible e inventario vial. Diagnóstico y caracterización del sistema actual de movilidad y del modelo territorial, versión 3.0, para la formulación del plan maestro de movilidad y lineamientos del plan vial para el municipio de Barrancabermeja, Santander.

2. Red vial relevante para transporte de carga.



Fuente: Elaboración propia con base en información tomada en campo. Diagnóstico y caracterización del sistema actual de movilidad y del modelo territorial, versión 3.0, para la formulación del plan maestro de movilidad y lineamientos del plan vial para el municipio de Barrancabermeja, Santander.

3. Calle 77 con Carrera 33, Paso a nivel.



Fuente: Google Earth-Street view.

4. Calle 73 con Carrera 33 Puente elevado.



Fuente: Google Earth-Street view.

5. Intersección Carrera 33 con Calle 61



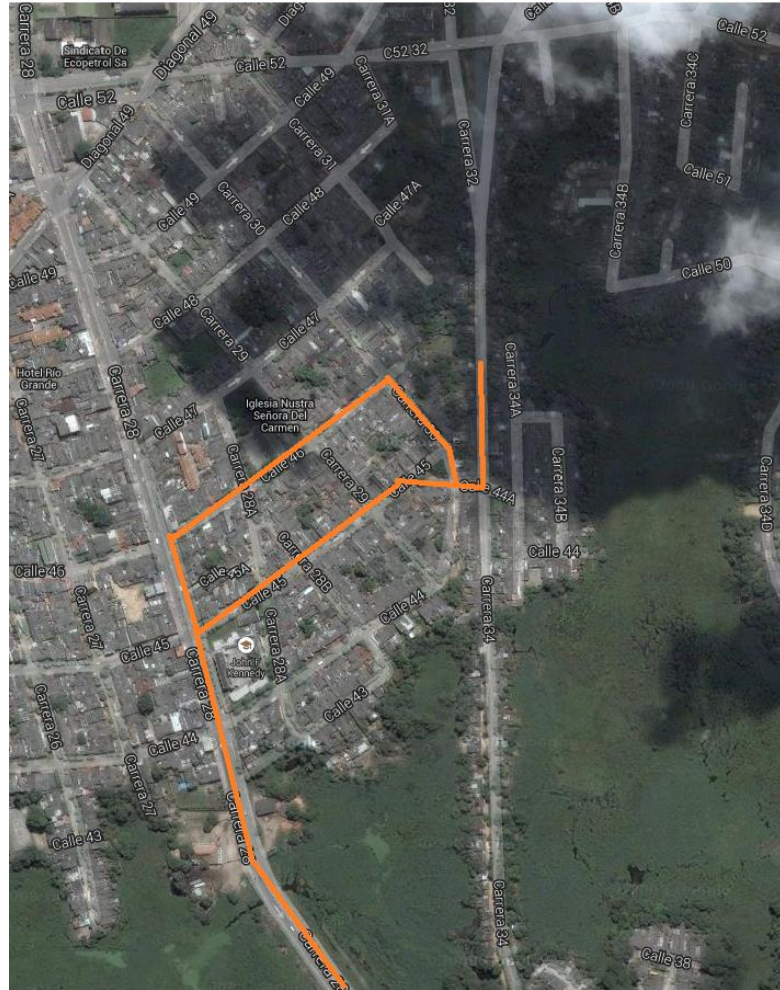
Fuente: Google Earth-Street view.

6. Calle 45 con calle 44a.



Fuente: Google Earth-Street view.

7. Tramo entrada al municipio de Barrancabermeja



Fuente: Google Earth-Street view.