

**DISEÑO Y SIMULACIÓN EN FASE PRELIMINAR DE LA AMPLIACIÓN A
DOBLE CALZADA DE LA CARRETERA ANTIGUA BUCARAMANGA-
FLORIDABLANCA**



RAFAEL ANDRÉS HERNÁNDEZ MURILLO

LAURA JAZMÍN MENDOZA PINTO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2015

**DISEÑO Y SIMULACIÓN EN FASE PRELIMINAR DE LA AMPLIACIÓN A
DOBLE CALZADA DE LA CARRETERA ANTIGUA BUCARAMANGA-
FLORIDABLANCA**

RAFAEL ANDRÉS HERNÁNDEZ MURILLO

LAURA JAZMÍN MENDOZA PINTO

*Trabajo de grado en la modalidad de investigación para optar el título de
INGENIERO(A) CIVIL*

Director:

HERNÁN PORRAS DÍAZ

Ingeniero Civil, Ph.D

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS**

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

BUCARAMANGA

2015

DEDICATORIA

“A Ana Maria Hernández Murillo.”

Rafael Andrés Hernández Murillo.

“A mi madre Hilda Pinto,

a mis hermanas Diana y Yenny,

y a mi prima Maria Fernanda”

Laura Jazmín Mendoza Pinto.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios quien ha sido nuestro fiel compañero, quien nos ha dado la fortaleza y fuerza de voluntad para lograr cada meta propuesta y nunca desfallecer. Porque sin él nada de esto hubiese sido posible.

A nuestras familias por su confianza y apoyo constante, que sin duda alguna nos han demostrado su amor corrigiendo nuestras faltas y celebrando nuestros triunfos.

Al ingeniero Yerly Fabián Martínez por su calidad humana y colaboración en la construcción de esta tesis; enseñándonos, con el ejemplo, la importancia de la vocación en el ejercicio de la profesión.

A nuestro director, el ingeniero Hernán Porras, por su acompañamiento a lo largo de este proceso y propiciar las condiciones necesarias para que éste proyecto fuese culminado satisfactoriamente.

A nuestros amigos y compañeros quienes de manera silenciosa pero permanente siempre apoyaron y colaboraron incondicionalmente en este proceso universitario.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	13
1. DESCRIPCIÓN ACTUAL DE LA VÍA	14
2. IMPACTO QUE TENDRÍA SOBRE LA MOVILIDAD LA AMPLIACIÓN A UNA DOBLE CALZADA DE LA CARRETERA ANTIGUA BUCARAMANGA-FLORIDABLANCA.	15
2.1 CONSTRUIR EL MODELO DE SIMULACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA VÍA Y CALIBRAR LA INFORMACIÓN DE ACUERDO A LOS PARÁMETROS REALES MEDIDOS EN CAMPO:	15
2.1.2 Calibrar el modelo de simulación	19
2.2 IDENTIFICAR LOS PUNTOS CRÍTICOS DE CONGESTIÓN DE LA VÍA Y ESTABLECER ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN DE ACUERDO A LA MALLA VIAL PROYECTADA EN EL PLAN MAESTRO DE MOVILIDAD:.....	22
2.2.1 Puntos Críticos de Congestión:.....	24
2.2.2 Alternativas de solución de acuerdo a la malla vial proyectada en el Plan Maestro de Movilidad.....	27

2.3 ELABORAR EL DISEÑO EN FASE PRELIMINAR DE LA NUEVA VÍA:	30
2.4 GENERAR EL MODELO DE MICRO SIMULACIÓN PARA LA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO ESTABLECIDA:.....	37
2.5 PRE FACTIBILIDAD:	41
3. CONCLUSIONES	45
CITAS	47
BIBLIOGRAFIA	48

LISTA DE FIGURAS

	Pág
FIGURA1. Propuesta de sectorización	14
FIGURA 2. Ejemplos de directrices usadas por los estados de Ohio, Oregon y Florida en relación al % RMSE	20
FIGURA 3. Relación V/C.....	23
FIGURA 4. Retorno Colegio Metropolitano del Sur.....	24
FIGURA 5. Tramo Calle 114 - CAI Niza.....	25
FIGURA 6. Tramo Plaza Satélite	26
FIGURA 7. Paso elevado Niza.....	28
FIGURA 8. Paso elevado plaza satélite	29
FIGURA 9. Perfil vial tipo 7	31
FIGURA 10. Intersección Puente C.C. Cacique.....	34
FIGURA 11. Perfil vial tipo 13	35
FIGURA 12. Intercambiador Bucarica.....	36
FIGURA 13. Puentes propuestos barrio Santa Ana.....	37

LISTA DE TABLAS

	Pág
TABLA 1. Escenarios de simulación	18
TABLA 2. Tasas promedio de crecimiento del parque automotor particular	18
TABLA 3. Resultados simulación escenario 1.	19
TABLA 4. Aforo carrera 11 entre la calle 3 y calle 4.	19
TABLA 5. Indicadores agregados del tráfico.....	21
TABLA 6. Indicadores desagregados del tráfico.....	22
TABLA 7. Propuesta de mejoramiento del PMM para la carretera antigua.....	30
TABLA 8. Cuadro comparativo de alternativas	32
TABLA 9. Controles para el diseño geométrico alternativa 2.....	33
TABLA 10. Escenarios de micro simulación	38
TABLA 11. Resultados de la situación actual	39
TABLA 12. Resultados con ampliación.....	40
TABLA 13. Presupuesto.....	43

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y SIMULACIÓN EN FASE PRELIMINAR DE LA AMPLIACIÓN A DOBLE CALZADA DE LA CARRETERA ANTIGUA BUCARAMANGA-FLORIDABLANCA*

AUTORES: LAURA JAZMÍN MENDOZA PINTO
RAFAEL ANDRÉS HERNÁNDEZ MURILLO**

PALABRAS CLAVE: Analizar, Movilidad, Ampliación a doble calzada, Macro simulación, Micro simulación, Pre factibilidad.

DESCRIPCIÓN:

Este proyecto de investigación presenta el análisis del impacto que tendría sobre la movilidad del área metropolitana de Bucaramanga la ampliación a una doble calzada de la carretera antigua Bucaramanga-Floridablanca con el fin de contribuir al mejoramiento en la movilidad de los habitantes; entendiéndose impacto como la redistribución del tráfico gracias a la eventual construcción del proyecto, teniendo en cuenta tanto el mejoramiento de vías colectoras que garanticen condiciones de operación óptima, como la construcción de pares viales que permitan la interconexión del proyecto con la red vial metropolitana. Dicho análisis está basado principalmente en estudios realizados sobre transporte y tráfico de la situación actual de la carretera y la proyección a futuro del parque automotor así como el número de viajes generados y atraídos por los respectivos municipios, todo esto enmarcado dentro del plan maestro de movilidad de Bucaramanga y Floridablanca (2011-2030), además de herramientas versátiles que permitieron evaluar los impactos del tráfico e identificar puntos críticos de congestión en los diversos escenarios de planeamiento como lo son la macro simulación a través del software de TransCad y la micro simulación de las propuestas de mejoramiento establecidas a través del software de TransModeler obteniendo resultados de tiempos de viaje, demoras y niveles de servicio para cada una de las situaciones de estudio planteadas. También se obtuvo un valor general estimado que conllevaría la ampliación de este tramo, tomando como referencia valores globales de licitaciones de proyectos similares que actualmente se desarrollan en el área metropolitana de Bucaramanga.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Hernán Porras Díaz

ABSTRACT

TITLE: DISEÑO Y SIMULACIÓN EN FASE PRELIMINAR DE LA AMPLIACIÓN A DOBLE CALZADA DE LA CARRETERA ANTIGUA BUCARAMANGA-FLORIDABLANCA¹

AUTHOR: LAURA JAZMÍN MENDOZA PINTO

RAFAEL ANDRÉS HERNÁNDEZ MURILLO **

KEYWORDS: Analyze, Mobility, Enlargement to a double driveway, Macro simulation, Micro simulation, Pre-feasibility.

DESCRIPTION

This research project presents the analysis of the impact that would have on the mobility of the metropolitan area of Bucaramanga, the expansion to a dual carriageway of the old road Bucaramanga-Floridablanca with the aim of contributing to the improvement in the mobility of the inhabitants; understanding impact as the redistribution of traffic due to the eventual construction of the project, taking into account both the improvement of roads collecting to ensure operating conditions are optimal, such as the construction of pairs vias that allow the interconnection of the project with the road network in metropolitan. This analysis is based primarily on studies carried out on transport and traffic the current situation of the road and the future projection of the car fleet as well as the number of trips generated and attracted by the respective municipalities, all of this framed within the master plan of mobility of Bucaramanga and Floridablanca (2011-2030), in addition versatile tools that allowed us to assess traffic impacts and identify critical points of congestion in the various stages of planning such as what are the macro-simulation through the software TransCad and micro-simulation of the proposals for improvement set through the software TransModeler obtaining results of travel times, delays and levels of service for each of the situations of study raised. Also obtained an overall value estimate that would lead to the expansion of this segment, taking as a reference the global values of bids of similar projects currently being developed in the metropolitan area of Bucaramanga.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Hernán Porras Díaz

INTRODUCCIÓN

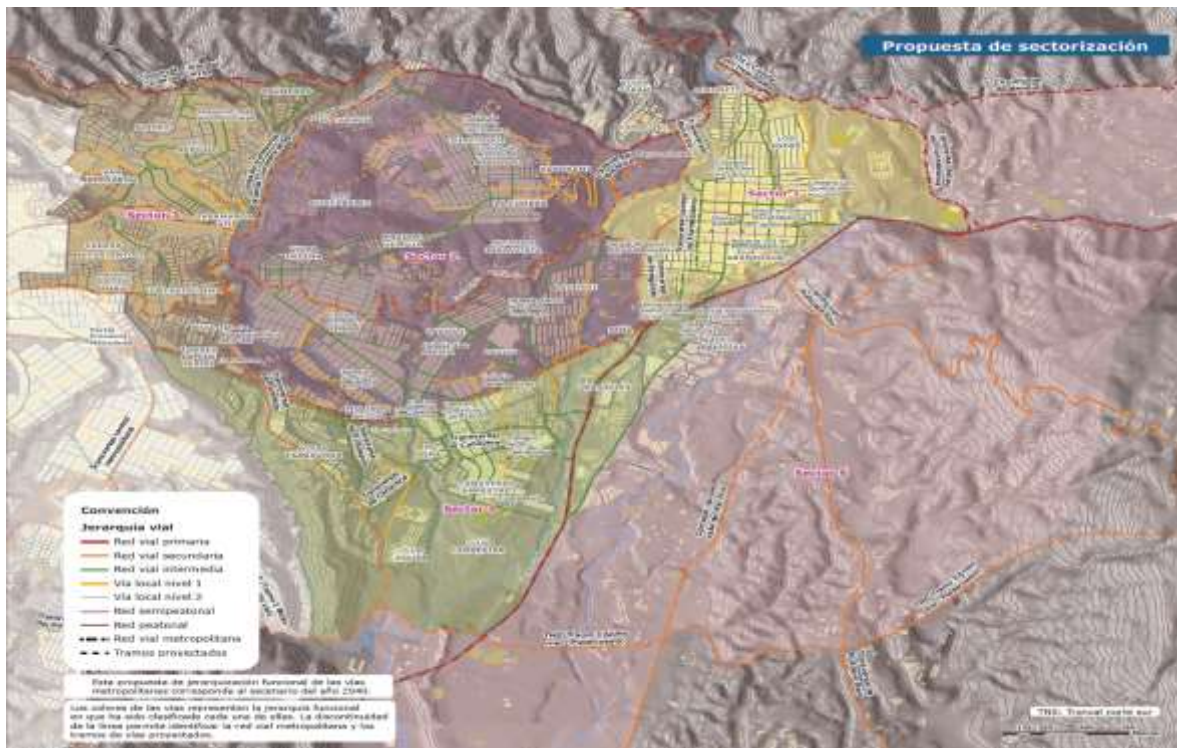
Teniendo en cuenta la situación particular del municipio de Bucaramanga, siendo capital del departamento de Santander y gracias a su creciente expansión económica y poblacional, se ha convertido en una ciudad atractiva no sólo laboralmente sino también con fines de vivienda temporal o permanente. Esto, junto con la situación geográfica de limitación de espacio en la meseta de Bucaramanga y de su cercanía con los vecinos municipios de Floridablanca, Piedecuesta y Girón han hecho de éstos municipios posada donde la mayoría de la población reside en ellos pero realiza sus actividades principales en la ciudad de Bucaramanga.

Sin embargo, el aumento en el parque automotor, el mal estado de la infraestructura vial y la falta de conectividad en las redes viales genera problemas de tráfico y movilidad que asechan cada vez más el municipio aumentando los tiempos de viaje, elevando los costos de transporte e incrementando la accidentalidad, entre otros factores. Debido a esto se vió la imperante necesidad de plantear el mejoramiento de vías alternas tales como el de la carretera antigua Bucaramanga-Floridablanca que sirvan como propuesta de solución a esta evidente problemática y de esta manera contribuir al mejoramiento en la movilidad de los habitantes.

1. DESCRIPCIÓN ACTUAL DE LA VÍA

La carretera antigua Bucaramanga-Floridablanca actualmente es una red vial metropolitana secundaria con una longitud aproximada de 7.8 km, una sola calzada con dos carriles, uno en cada sentido, y con un ancho de carril de 3.5 metros; además se encuentra ubicada en el sector 2 y parte del sector 3 (según la propuesta de sectorización del Plan Maestro de Movilidad de Floridablanca 2011-2030) “el cual se caracteriza por presentar una fuerte articulación en el sentido norte – sur, pero una muy pobre conectividad oriente – occidente”[1]. Para mejorar esta condición, el Plan Maestro de Movilidad propone la construcción de vías en doble calzada y el mejoramiento de pares viales que permitan interconectar los ejes.

Figura1. Propuesta de sectorización



Fuente: Plan Maestro de Movilidad de Floridablanca 2010-2030.

2. IMPACTO QUE TENDRÍA SOBRE LA MOVILIDAD LA AMPLIACIÓN A UNA DOBLE CALZADA DE LA CARRETERA ANTIGUA BUCARAMANGA-FLORIDABLANCA.

Para realizar un análisis del impacto que tendría sobre la movilidad del Área Metropolitana de Bucaramanga la ampliación a una doble calzada de la carretera antigua Bucaramanga-Floridablanca se definieron cinco pautas importantes a seguir:

2.1 CONSTRUIR EL MODELO DE SIMULACIÓN DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA VÍA Y CALIBRAR LA INFORMACIÓN DE ACUERDO A LOS PARÁMETROS REALES MEDIDOS EN CAMPO:

2.1.1 Construir el modelo de simulación de la situación actual de la vía:

TransCAD es un sistema de información geográfico (SIG) diseñado especialmente para analizar datos de transporte. Uno de sus principales módulos de aplicación son los modelos de asignación de tráfico los cuales, además de predecir cambios en los patrones de movilidad y la utilización del sistema de transporte en respuesta a cambios urbanísticos, demográficos y de la oferta de transporte, Estiman el volumen de tráfico en la red y los puntos de congestión.

Por eso, TransCAD se postula como el software de macro simulación de transporte ideal para construir el modelo de simulación de la situación actual de la vía en cuestión y la calibración de dicho modelo a través de los parámetros reales medidos en campo.

Red de transporte

La red de transporte es una representación de la malla vial en estudio la cual se carga con información en cada link como longitud, velocidad a flujo libre, capacidad, número de calzadas, ancho de calzadas, pendiente, entre otros factores de tránsito. La red de transporte y los costos de viaje de cada elemento caracterizan la oferta del sistema. Se toma como base la malla vial del área metropolitana de Bucaramanga actualizada al año 2014 (Universidad Industrial de Santander).

Matrices origen – destino

Para definir la demanda en el software, se tomó como base la matriz origen – destino desarrollada por la UIS y actualizada al año 2010 para el área metropolitana la cual indica el número de viajes entre las 7:00 am y 8:00 am considerando ésta como hora pico; dicha matriz se obtuvo como una proyección al año 2010 de una encuesta origen – destino realizada en el área metropolitana de Bucaramanga en 2005 y modificada a número de vehículos utilizando un factor de ocupación de 1,5 pasajeros por vehículo según alcaldía de Bucaramanga – UIS (2011).

Asignación de tráfico

Para estimar el flujo de tráfico en una determinada red existen diferentes algoritmos que intentan describir de forma matemática la lógica con la que el usuario selecciona la mejor ruta de viaje. Teniendo en cuenta que lo que se pretende es analizar el impacto en la movilidad reflejado en la forma en que el usuario admite una nueva alternativa como su ruta de viaje, se escoge como modelo de asignación de tráfico el Equilibrio Estocástico del Usuario (SUE) el cual tiene como variables los principales argumentos considerados por el usuario como lo son el tiempo de viaje y la densidad del flujo vehicular pero considerando que el usuario no posee toda la

información sobre las características de la red, concluyendo que su elección para realizar un desplazamiento no siempre coincide con la ruta óptima.

La función de costos

Existen diferentes tipos de funciones de volumen de retardo. Una de las más utilizadas es la función de costos del Bureau of Public Roads (BPR), definida en (1), y donde t_k , $t_{k,ff}$, x_k , q_k , α_k y β_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 simulación

Se establecieron dos escenarios: un escenario con la situación actual de infraestructura y demanda de transporte en el área metropolitana de Bucaramanga y un escenario con la propuesta de ampliación a doble calzada de la carretera antigua. Los dos escenarios se proyectaron a 2020 y 2030 para establecer el impacto del proyecto en la movilidad del área metropolitana de Bucaramanga teniendo en cuenta la variación en la demanda en el tiempo (tabla 1).

Tabla 1. Escenarios de simulación

Escenario	Descripción	Año		
		2015	2020	2030
1	Situación actual	x	x	x
2	Ampliación doble calzada	-	x	x

“Para realizar las proyecciones, se supuso que la red de transporte no tuviera alteraciones en su “grafo” ni en sus características geométricas o de tráfico, excepto la inclusión de los proyectos viales, mientras que las matriz origen – destino fue proyectada con un factor de crecimiento igual a la tasa promedio de crecimiento anual del parque automotor particular del municipio de origen de cada viaje durante los últimos veinte años” [2]

Tabla 2. Tasas promedio de crecimiento del parque automotor particular

Bucaramanga	Floridablanca	Girón	Piedecuesta
2,83%	15,03%	15,89%	11,35%

Fuente: Ministerio de transporte

2.1.2 Calibrar el modelo de simulación: Para estimar el grado de ajuste del modelo con respecto a la situación real sobre la carretera antigua se analizaron medidas de precisión de la asignación de tráfico que miden el error promedio entre los volúmenes de flujo vehicular observados y modelados (RMSE) , datos aportados por la simulación del escenario 1 (Tabla 3), junto con un punto de aforo sobre la carretera antigua ubicado en la carrera 11 entre la calle 3 y calle 4 de 7:00 am a 8:00 am (tabla 4), obteniendo los siguientes resultados

Tabla 3. Resultados simulación escenario 1.

	2015
RMSE	3,52
%RMSE	4,41
VHT	7912,12
VMT	126345,72
Relative Gap	0,00989569

Tabla 4. Aforo carrera 11 entre la calle 3 y calle 4.

	Sentido N - S		Sentido S - N	
	Aforo	TransCAD	Aforo	TransCAD
Vehículos	109	134	238	211
Error	18,66 %		12,80 %	

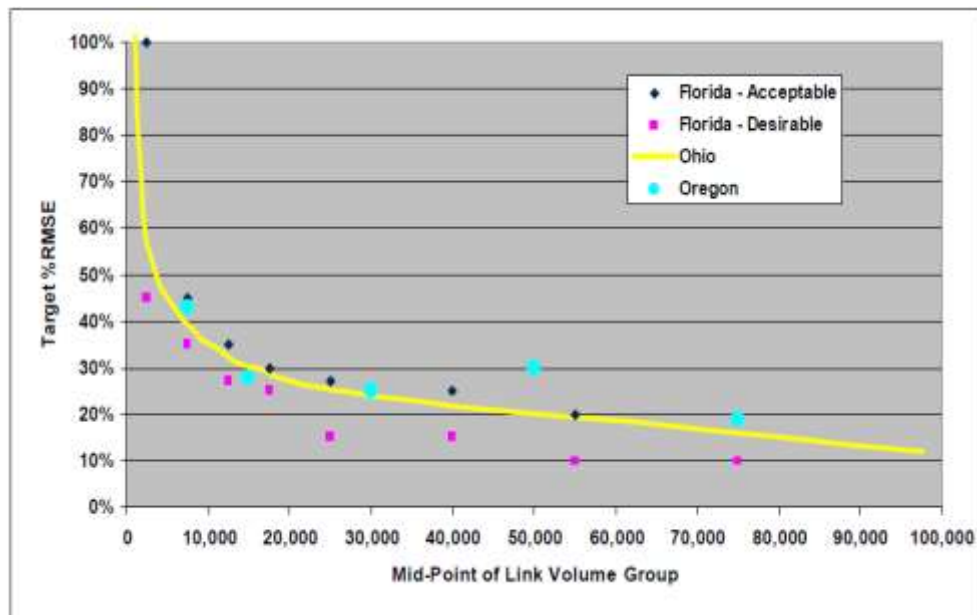
Para la calibración del modelo se tomó como referencia el Travel Model Validation and Reasonableness Checking Manual (TMIP) dado su hincapié en la toma de decisiones razonables a partir de modelos que intentan reflejar un sistema abierto

respondiendo a influencias que varían constantemente, enmarcando la importancia de la validación de los modelos.

Según el TMIP no se recomienda hacer relaciones simplemente con la magnitud de los resultados ya que esto implica un nivel injustificado de confianza en los resultados (y los datos observados) y no proporcionan información útil sobre la bondad de ajuste del modelo.

Sin embargo se presentan algunas directrices con datos de referencia utilizadas por algunos estados y agencias que permiten validar el grado de ajuste del modelo; para nuestro caso se tomaron como base las directrices utilizadas en los estados de Ohio, Florida y Oregon para valores de RMSE y %RMSE, parámetros por medio de los cuales se permite obviar la calibración del modelo, puesto que los valores obtenidos se encuentran por debajo de los límites admisibles.

Figura 2. Ejemplos de directrices usadas por los estados de Ohio, Oregon y Florida en relación al % RMSE



Indicadores del tráfico

Los indicadores agregados y desagregados se calcularon para cada escenario y sus respectivas proyecciones. La distancia recorrida por vehículo (VMT) y el tiempo de viaje (VHT), expresados en metros y horas respectivamente, conforman los indicadores agregados. Los indicadores desagregados fueron el flujo vehicular y el tiempo de viaje 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 2015 para el escenario base.

Posteriormente se calculó la reducción porcentual en cada uno de los indicadores del escenario 2 con respecto al escenario 1 en el mismo año.

Resultados

Los resultados obtenidos para los indicadores agregados y desagregados del tráfico se presentan, respectivamente, en la tabla 5 y tabla 6.

Tabla 5. Indicadores agregados del tráfico

Año	Indicador	1	2
2015	VHT	7912.12	7382,32
	% VHT	-	6,70%
	VMT	126345.72	126031,25
	%VMT	-	0,25%
2020	VHT	16022.86	15285,97
	% VHT	-	4,60%
	VMT	209039.28	208599,26
	%VMT	-	0,21%

Tabla 5. Continuación

2030	VHT	3993293.97	3744687,24
	% VHT	-	6,23%
	VMT	1163515.08	1116773,43
	%VMT		4,02%

Tabla 6. Indicadores desagregados del tráfico

Escenario	Año	Punto de control	Conectividad	Flujo (veh/h)	Reducción %	Tiempo de viaje (min)	Reducción %
2	2015	E. Molinos	S-N	1586	8.71	0.127	15.20
2	2015	E. Payador	S-N	1654	1.56	0.255	2.85
2	2015	Toyota	S-N	1896	8.31	0.505	23.57
2	2020	E.Molinos	S-N	2125	8.73	0.268	31.91
2	2020	E. Payador	S-N	2043	4.88	0.436	16.21
2	2020	Toyota	S-N	2664	9.22	1.905	50.12
2	2030	E. Molinos	S-N	2585	59.45	0.402	69.72
2	2030	E. Payador	S-N	445	90.16	0.172	99.18
2	2030	Toyota	S-N	4921	12.73	48.563	52.59

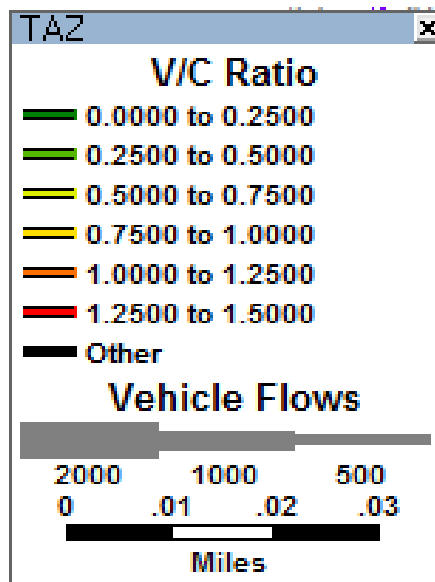
2.2 IDENTIFICAR LOS PUNTOS CRÍTICOS DE CONGESTIÓN DE LA VÍA Y ESTABLECER ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN DE ACUERDO A LA MALLA VIAL PROYECTADA EN EL PLAN MAESTRO DE MOVILIDAD:

Después de construir el modelo de simulación de la situación actual de la vía y su calibración a partir de los parámetros reales medidos en campo se puede visualizar claramente los puntos críticos de congestión.

Dichos puntos críticos de congestión en la vía se caracterizan principalmente porque el volumen de vehículos que lo recorre es aproximado o mayor a la capacidad vehicular que puede soportar el tramo.

En base a lo anterior, TransCAD realiza una relación volumen/capacidad en cada uno de los tramos viales permitiendo visualizar con una escala de colores la cantidad de congestión que se presenta en cada uno y así identificar los puntos críticos de congestión de la vía, los cuales se destacan por tener una relación $v/c > 0.75$:

Figura 3. Relación V/C

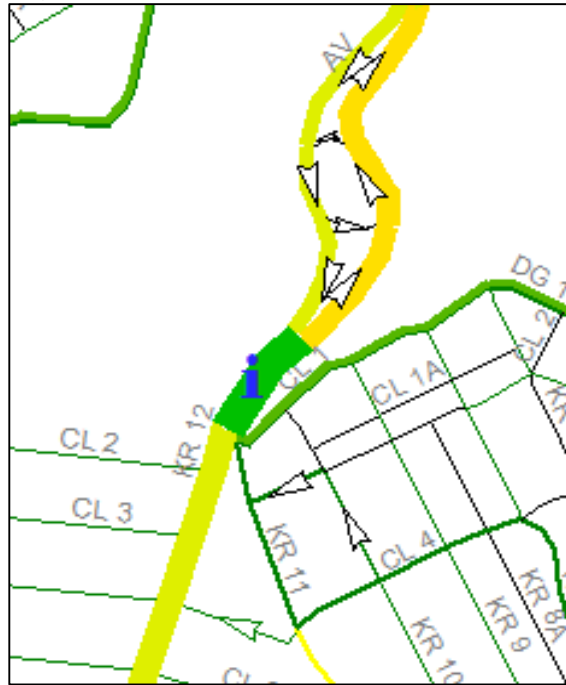


Fuente: TransCAD

2.2.1 Puntos Críticos de Congestión: Los principales puntos críticos de congestión mostrados por TransCAD son

- RETORNO COLEGIO METROPOLITANO DEL SUR

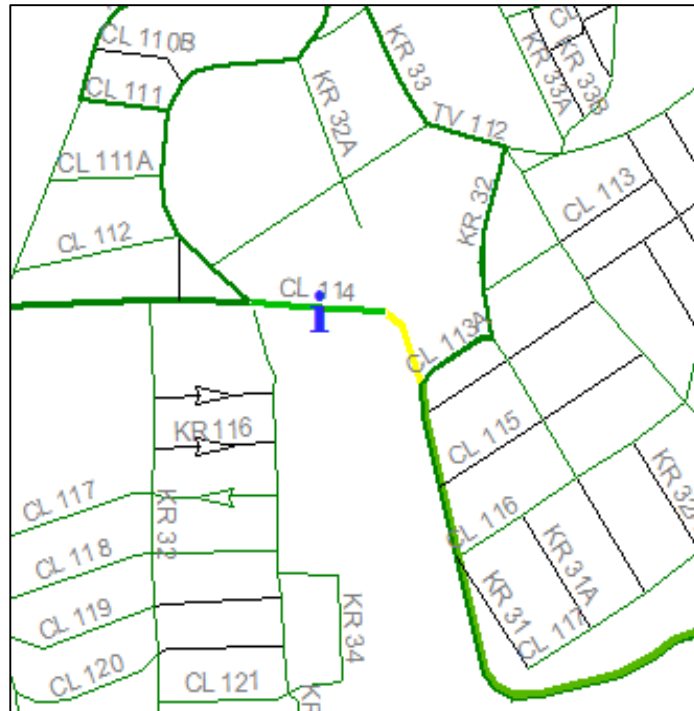
Figura 4. Retorno Colegio Metropolitano del Sur



Este retorno se encuentra ubicado sobre la carretera antigua e inicia en la unión de la carrera 11 con la carrera 12 del barrio Villabel hasta la curva de la gallería del barrio Zapamanga en sentido sur-norte. Este tramo con capacidad de 1600 vehículos/hora, actualmente es recorrido por aproximadamente 1568 vehículos durante la hora pico de 7:00 a 8:00 am, provenientes principalmente de los habitantes de los barrios aledaños tales como Villabel, Santa Ana, Zapamanga y la conexión con la Transversal Oriental, quienes toman esta vía para desplazarse hacia sus lugares de trabajo o estudio. Por lo tanto este tramo presenta un relación $v/c = 0.98$ mostrando congestión vehicular.

- CAI NIZA

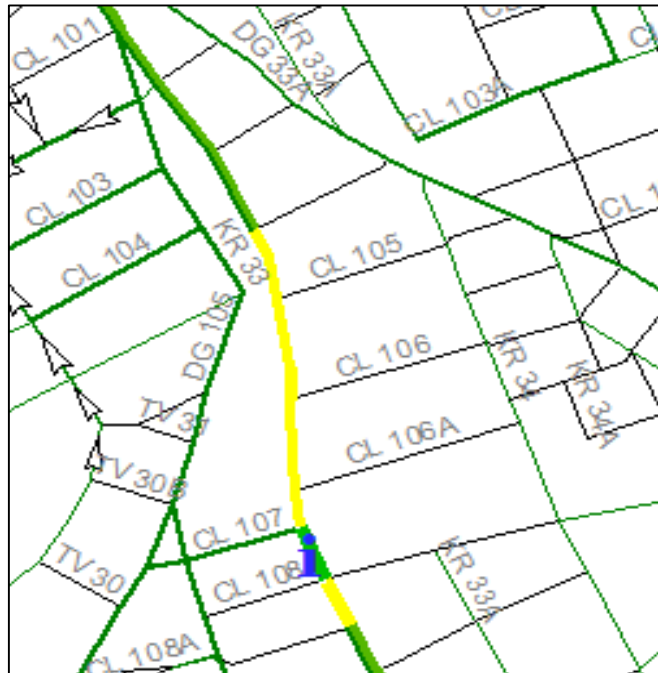
Figura 5. Tramo Calle 114 - CAI Niza



El tramo del CAI Niza sobre la calle 114 entre carreras 32 y 33, que comunica el barrio La Castellana con el barrio Niza, presenta una congestión un poco menor a la observada en el retorno del Colegio Metropolitano del Sur, con un valor de $v/c = 0.75$. La mayoría de vehículos que recorren este tramo durante la hora pico de 7:00 a 8:00 am en sentido sur-norte, provienen de los habitantes de los barrios aledaños sumados con los demás vehículos que viene haciendo su recorrido sobre ésta vía desde el municipio de Floridablanca hasta éste punto quienes también se dirigen hacia su lugar de trabajo o estudio.

- PLAZA SATÉLITE

Figura 6. Tramo Plaza Satélite



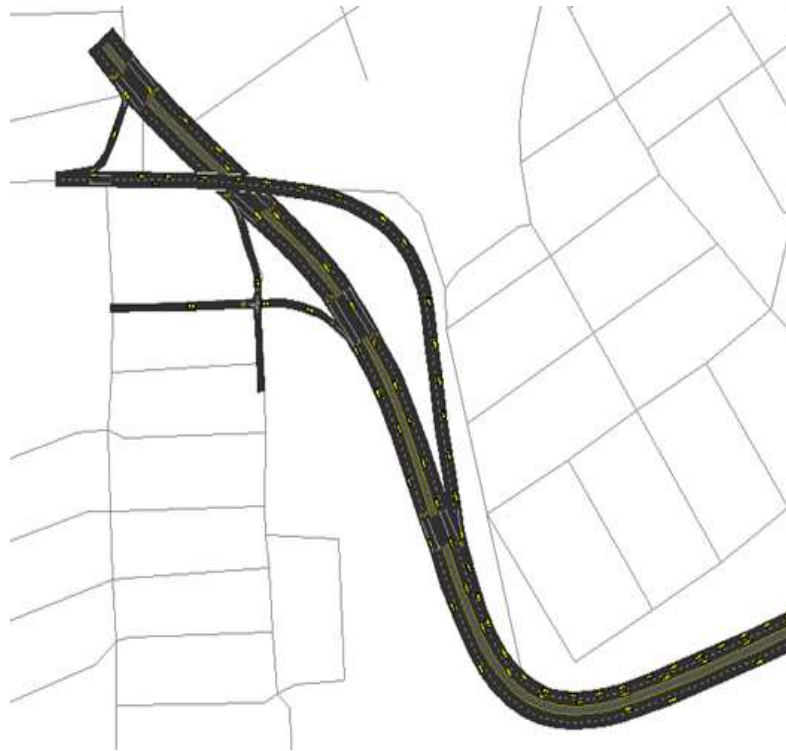
Actualmente la congestión en este tramo se presenta principalmente por la invasión del espacio público ocasionados por parte de comerciantes y/o vendedores ambulantes vinculados al servicio de la plaza, también por parqueo inadecuado sobre la vía principal de vehículos de carga y descarga que se encargan de entregar los productos de la plaza, supermercados y de varias ferreterías ubicadas en este sector, entre otros. La relación v/c tiene un valor de 0.83.

2.2.2 Alternativas de solución de acuerdo a la malla vial proyectada en el Plan Maestro de Movilidad: Para el Retorno Colegio Metropolitano del Sur se propone, además de la ampliación de la vía, el mejoramiento del retorno ya construido. Sin embargo, muy cerca de este retorno, el Plan Maestro de Movilidad propone la construcción de una vía doble calzada de la conexión carrera 12 con calle 12 hasta la calle 4 con carrera 8 entre el barrio Villabel y Santa Ana.

En el caso del CAI Niza, el Plan Maestro de Movilidad propone una intersección semaforizada. Actualmente la propuesta de semaforización en esta intersección es un hecho pero no ha sido una solución efectiva a éste problema de congestión, por eso la ampliación a una doble calzada podría ser una de las principales soluciones no sólo para este tramo sino también para el mejoramiento de la movilidad en el área metropolitana haciendo que los habitantes tengan más y mejores opciones a la hora de tomar una ruta para llegar a sus destinos.

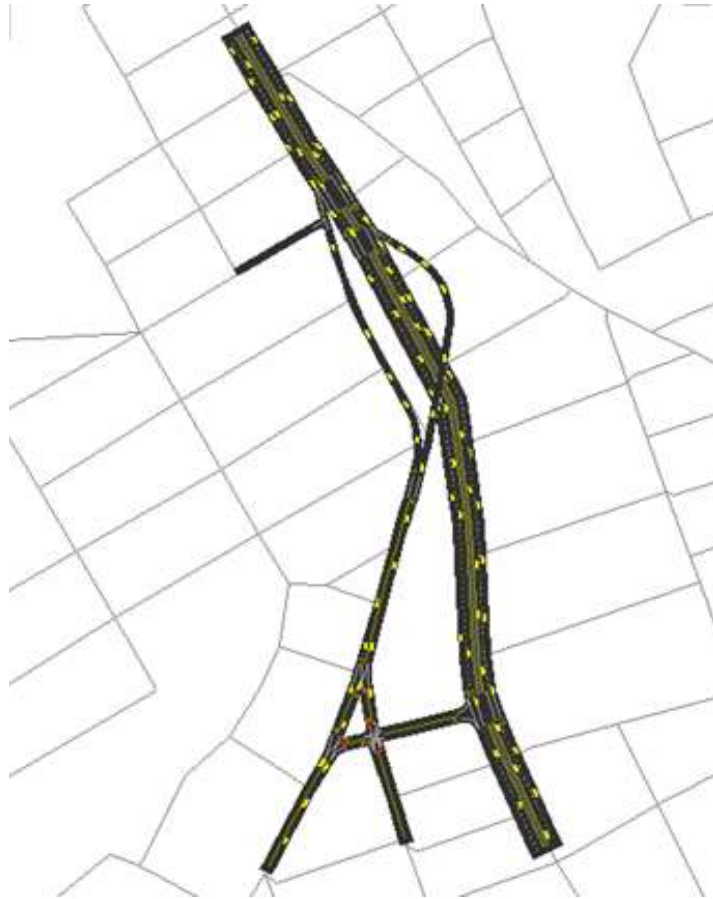
Sin embargo, para garantizar la interconexión oriente-occidente se propone un paso elevado con dos carriles en un solo sentido, que inicie a un costado de la carrera 32 desde el barrio La Castellana y que baje por la calle 112 del barrio Niza hasta llegar a la vía paralela de la autopista Bucaramanga-Floridablanca. De ésta manera los vehículos que vengán recorriendo la carretera antigua en sentido sur-norte y deseen tomar la autopista puedan hacerlo (figura 7).

Figura 7. Paso elevado Niza



Para los vehículos que estén realizando su recorrido sobre la autopista Bucaramanga-Floridablanca y deseen acceder a la carretera antigua, deben subir por el puente de Provenza y tomar la diagonal 105 al norte hasta la Plaza Satélite en donde también se propone un paso elevado sobre la carrera 33 que se conecte con la carretera antigua a un costado de ésta. (Figura 8).

Figura 8. Paso elevado plaza satélite



Finalmente, con el propósito de minimizar el impacto a la movilidad generado por el desorden de actividades de mercado en la Plaza Satélite, el Plan Maestro de Movilidad propone un plan de regularización del sitio (La entrada no debe ubicarse sobre la red vial principal local; Zonas de carga y descarga apropiadas, fuera de las vías públicas; Restricción del estacionamiento en vías de acceso directo, entre otras.) de forma que mejore las condiciones de movilidad en el sector.

2.3 ELABORAR EL DISEÑO EN FASE PRELIMINAR DE LA NUEVA VÍA:

Técnicamente la ampliación de la carretera antigua pretende incrementar el volumen de tránsito, aumento en la velocidad de recorrido y eliminar sitios críticos de accidentabilidad aprovechando la infraestructura existente hasta donde sea posible.

El diseño en fase preliminar de la vía sigue los lineamientos de la propuesta de mejoramiento establecida en el plan maestro de movilidad (PMM) 2011 – 2030.

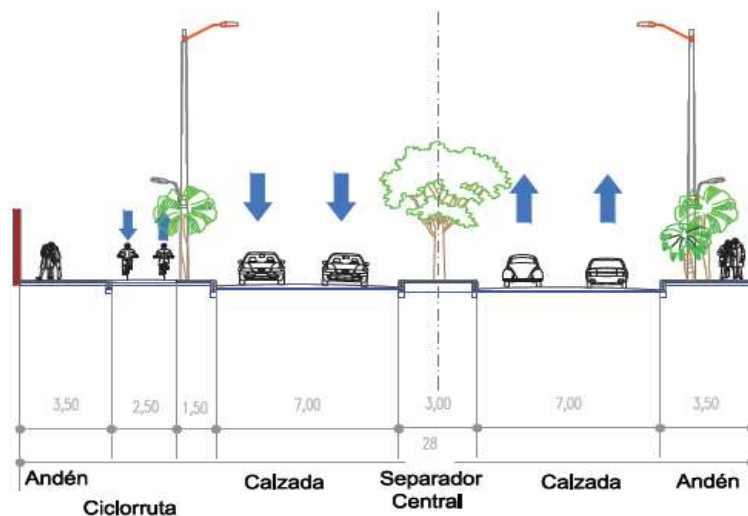
Tabla 7. Propuesta de mejoramiento del PMM para la carretera antigua

	Carretera Antigua Bucaramanga - Floridablanca
Sistema arterial	Vía Metropolitana secundaria
Transporte masivo	Se permiten rutas pretroncales
Transporte colectivo	No se Permite
Transporte de carga	No se permite transporte de carga intermunicipal, se permite vehículos de carga para distribución interna, limitado a tres ejes y carga < 15 Ton
Acceso	El acceso solo a generadores de mayores flujos de tránsito (escala zonal y metropolitana) con carriles de aceleración y desaceleración. Con acceso protegido a peatones.
Velocidad de diseño	50 Kph

Perfil vial

El plan maestro de movilidad propone un perfil vial tipo 7 el cual cuenta con una doble calzada, dos carriles por sentido, ancho de carril de 3,5 m, separador con zona verde de 3 m, andenes de 3,5 m y ciclo ruta a un costado de la vía de 2,5 m.

Figura 9. Perfil vial tipo 7



Ancho total	mínimo 28,00 m	Número de carriles tráfico	mínimo 2 (según diseño)
Separador central	mínimo 3,00 m	Ancho carril tráfico	máximo 3,50 m
Ancho andén	mínimo 3,50 m	Ancho ciclo ruta	mínimo 2,50 m

Fuente: Plan maestro de movilidad, Floridablanca 2011 – 2030.

Cartografía

El grupo de investigación Geomática aportó al presente proyecto mapas topográficos de la vía con curvas de nivel cada 2 m, predios, afluentes hídricos así

como fotografías aéreas de la parte norte de la vía, no obstante se utilizaron imágenes satelitales de Google Maps [3].

2.3.1 Identificar posibles alternativas: Con la intención de evaluar diferentes corredores se definieron 3 posibles alternativas (Anexos 1, 2, 3) trazando líneas de ceros y definiendo tramos homogéneos de 3km a 4 km asignando sus respectivas velocidades de tramo (V_{TR})

Tabla 8. Cuadro comparativo de alternativas

Alternativa	Aprovechamiento del corredor actual	VTR (kph)	Afectación predial y social
1	88.96%	20 - 30	Baja
2	73.60%	40 -50	Media
3	55.46%	50 -60	Alta

La alternativa 2 cumple con la propuesta establecida en el PMM aprovechando una parte importante del corredor actual y generando una afectación aceptable dado el perfil vial a usar, proyectándose como la mejor alternativa en factores técnicos y económicos.

Para hacer el trazado y diseño del alineamiento horizontal se siguieron los criterios del manual de diseño geométrico de carreteras del INVIAS - Capítulo 2. Controles para el diseño geométrico, y en el Capítulo 3. Diseño en planta del eje de la carretera, así como el control de radios consecutivos de acuerdo a lo indicado en el capítulo 3, numeral 3.5 [4].

Tabla 9. Controles para el diseño geométrico alternativa 2.

VTR (Kph)	curva	Segmento recto	longitud (m)	Delta (grados)	Vch en Sentido creciente del absc (Kph)	Vch en Sentido decreciente del absc (Kph)	Vch definitiva (Kph)	Veth (kph)	Rc (m)	Peralte %	Entretangencia (m)
50		1	139.1								68.4
	1	2	331	64.11	50	60	60		113	8	141.7
	2	3	372.8	70.43	60	70	70	70	168	8	130.2
	3	4	515.3	71.55	60	60	60	70	172	7.2	321.9
	4	5	204.3	63.2	70	70	70	70	113	8	71.6
	5	6	407.5	58.45	60	70	70	70	113	8	283.12
	6	7	497.8	40.02	70	60	70	70	168	8	396.34
40	7	8	354.4	26.97	70	50	70	70	168	8	280.83
	8	9	168.4	42.72	50	50	50	70	85	8	77.3
	9	10	221.2	68.46	40	50	50	50	85	8	93
	10	11	386.2	63.79	40	60	60	60	113	8	88
	11	12	507.2	144.47	50	40	50	60	73	8	168
	12	13	232.4	89.19	60	40	60	60	113	8	93.4
	13	14	236.7	27.41	60	40	60	60	113	8	130.4
	14	15	228	94.37	50	40	50	60	73	8	73.3
	15	16	209.4	71.17	40	40	40	50	106	6	119.2
	16	17	166.3	22.19	40	50	50	50	73	8	135.1
	17	18	324.6	26.05	40	50	50	50	73	8	291.3
	18	19	182.5	25.47	50	50	50	50	73	8	143
	19	20	206.8	34.94	50	50	50	50	73	8	147.02
	20	21	370.7	37.97	50	50	50	50	107	7.4	317.86
	21	22	207.56	24.76	50	50	50	50	73	8	134.2
	22	23	307.75	76.31	40	50	50	50	73	8	74.7
	23	24	313.6	134.88	50	50	50	50	73	8	92.6
	24	25	338.65	63.57	50	50	50	50	73	8	273.6
	25	26	179.07	30.44	50	50	50	50	73	8	135.3
26	27	131.09	38.46	50	50	50	50	73	8	107.3	

Intersección con las vías principales

La conexión de la vía en estudio con las arterias principales presentes en la actualidad así como las vías proyectadas en el PMM es un requerimiento indispensable, motivo por el cual se presenta en esta etapa conceptual las siguientes propuestas, que permitan la articulación de la vía con la red vial metropolitana aumentando la conectividad oriente – occidente y garantizando una distribución permanente del flujo vehicular.

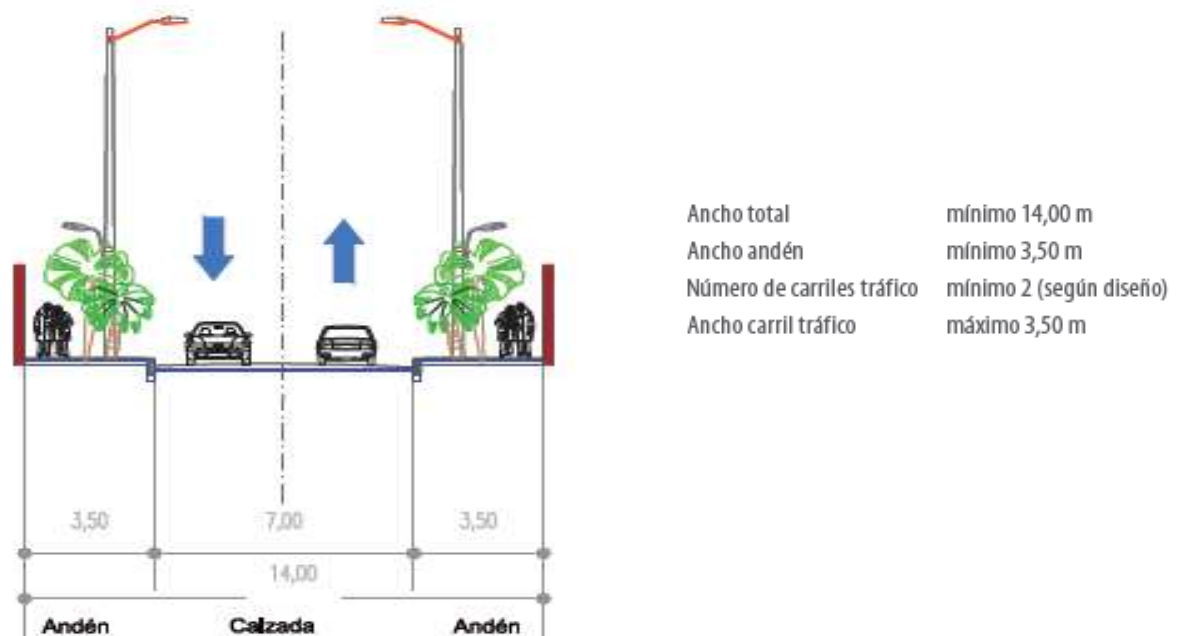
Mejoramiento de la intersección con el puente del C.C Cacique implementando un ramal de enlace en sentido sur – occidente permitiendo a los vehículos que transitan por la carretera antigua en sentido sur – norte tomar el puente para dirigirse hacia el viaducto García Cadena y otro ramal en sentido norte – oriente brindando la posibilidad a los vehículos que recorren la carretera antigua en sentido norte – sur la posibilidad de tomar el puente del C.C. Cacique en sentido oriente, así como el rediseño de los carriles de aceleración y desaceleración existentes. (Figura 10)

Figura 10. Intersección Puente C.C. Cacique



Debido a la localización de predios inamovibles a lado y lado de la vía, así como el paso bajo el viaducto La Flora, se plantea la reducción de la sección transversal de la vía por un perfil vial tipo 13 en el tramo comprendido entre la intersección con el puente C.C. Cacique y la carrera 36 con calle 56.

Figura 11. Perfil vial tipo 13

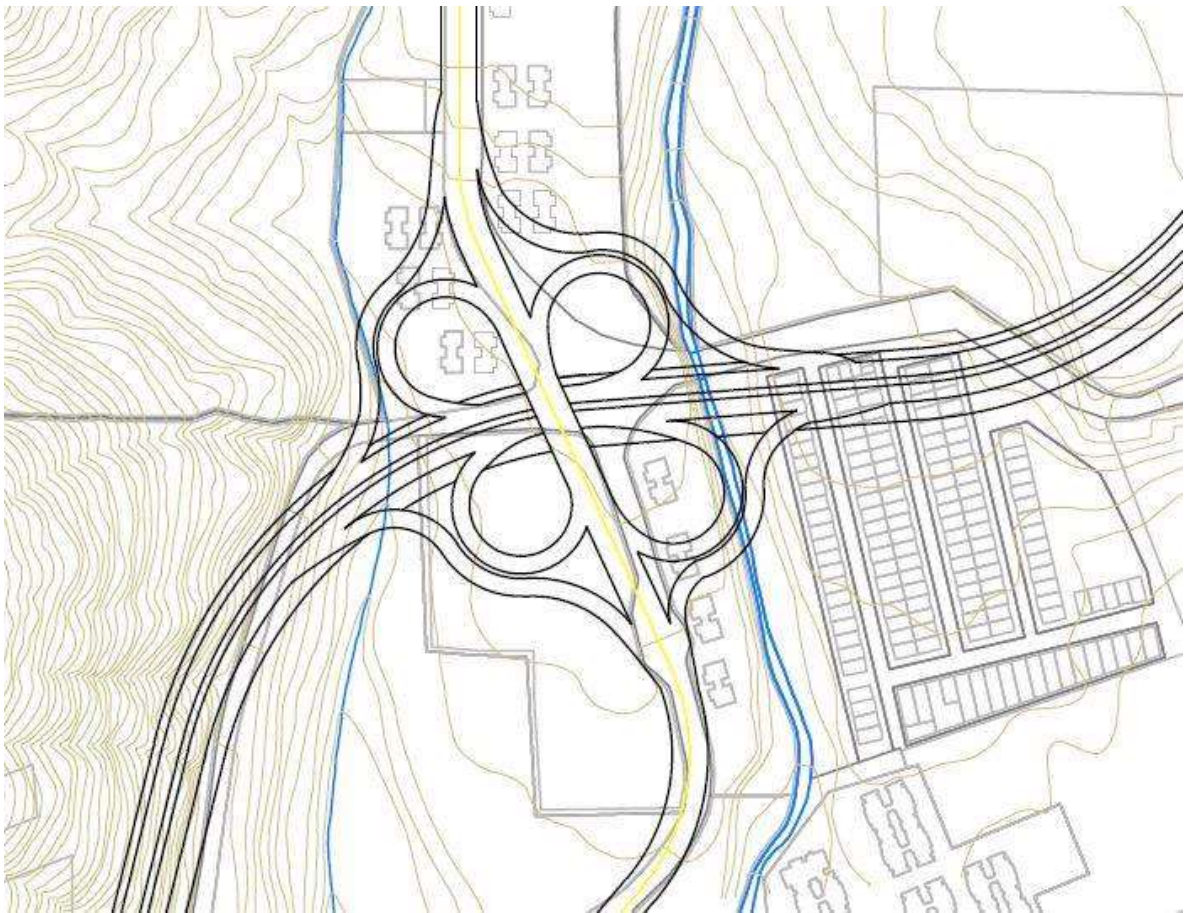


Fuente: Plan maestro de movilidad, Floridablanca 2011 – 2030.

La intersección Bucarica se localiza en el cruce del proyecto con la vía transversal Bucarica en los límites de las comunas uno, tres y seis del municipio de Floridablanca. La propuesta concebida como una intersección a desnivel tipo trébol distribuye el flujo vehicular proveniente de los barrios Bucarica y Caracolí, incluyendo los vehículos de los sectores de Altamira, Limoncito y Andes que decidan tomar la transversal Bucarica con origen o destino a las zonas de Lagos, Cañaverál o el Bosque; así como el tránsito que circula por el proyecto cuyo origen o destino sea el municipio de Bucaramanga transitando por las comunas siete y cuatro del municipio de Floridablanca y hacia el sur para conectar con el casco antiguo de

Floridablanca. Propuesta establecida en el marco del PMM – reconfiguración de la estructura vial.

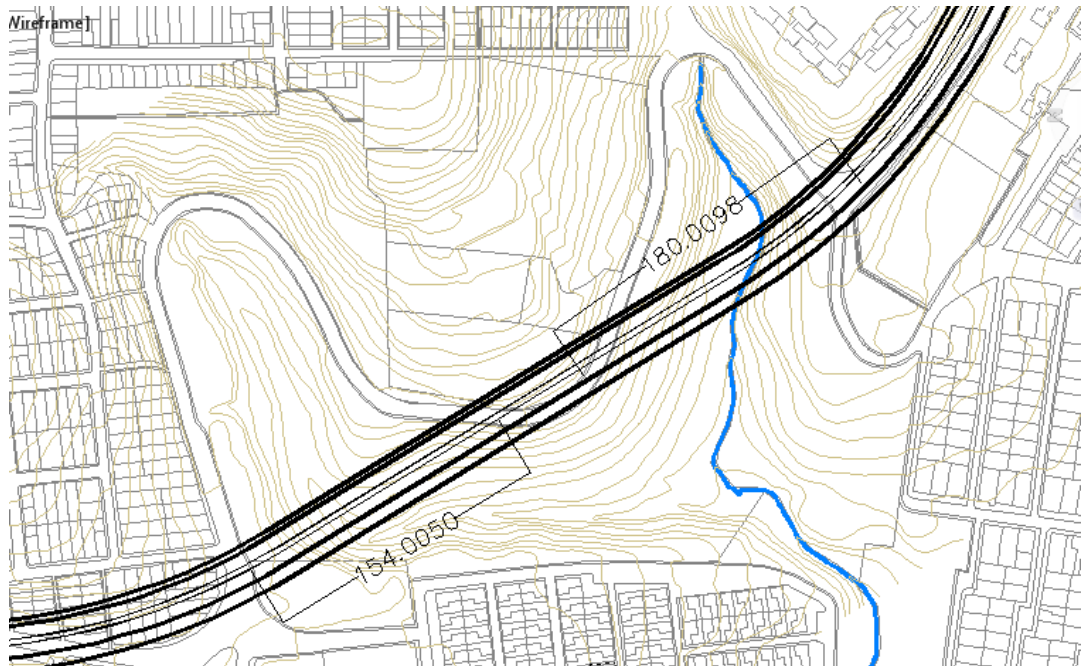
Figura 12. Intercambiador Bucarica



La propuesta de mejoramiento establecida pretende lograr el aprovechamiento de la banca existente así como la rectificación de puntos críticos correspondientes a curvas internas y externas en con el objetivo de brindar mayor seguridad a los usuarios, motivo por el cual se plantea la construcción de dos puentes con

longitudes de 154 m y 180 m respectivamente, ubicados en la zona conocida como quebrada La Calavera del barrio Santa Ana.

Figura 13. Puentes propuestos barrio Santa Ana



2.4 GENERAR EL MODELO DE MICRO SIMULACIÓN PARA LA PROPUESTA DE MEJORAMIENTO ESTABLECIDA:

Con el ánimo de precisar si la propuesta de mejoramiento establecida contribuye al progreso en la movilidad de los habitantes, se crearon 2 escenarios de micro simulación: uno de la situación actual y otro con la alternativa de solución propuesta, para cada uno de los puntos críticos de congestión además de los puntos de inicio y entrega del proyecto.

Tabla 10. Escenarios de micro simulación

	Situación Actual			Ampliación		
	2015	2020	2030	2015	2020	2030
Bucarica	X	X	X	-	X	X
CAI Niza	X	X	X	-	X	X
Plaza Satélite	X	X	X	-	X	X
Puente C.C. Cacique	X	X	X	-	X	X
Cra36 con CII56	X	X	X	-	X	X

La micro simulación consiste básicamente en la construcción de modelos de viaje, basados en matrices origen-destino, que permiten evaluar el impacto del tráfico sobre futuros escenarios de planeamiento y de esta manera extraer conclusiones de sus resultados que ayuden a la toma de decisiones.

Para éste caso, las matrices origen-destino se elaboraron a partir de los resultados obtenidos en la macro simulación con sus respectivas proyecciones al año 2020 y 2030.

Resultados:

Los resultados de esta simulación se concentran principalmente en valores de velocidad promedio, demoras promedio y niveles de servicio para cada una de las configuraciones viales propuestas. Éstos resultados obtenidos en cada uno de los escenarios planteados se simularon para la hora pico de 7:00 am a 8:00 am en sentido sur-norte.

A continuación se presenta el funcionamiento actual de cada sector y una proyección a 5 y 15 años que muestra cómo se comportarían en caso de que no se implementara ningún tipo de solución.

Tabla 11. Resultados de la situación actual

		SITUACION ACTUAL		
		V (Kph)	D (seg/veh)	NDS
BUCARICA	2015	15.524	2.935	F
	2020	11.378	3.273	F
	2030	4.416	148.745	F
NIZA	2015	9.905	5.110	F
	2020	4.101	81.346	F
	2030	4.113	129.418	F
PLAZA SATELITE	2015	10.791	21.545	F
	2020	10.647	34.721	F
	2030	5.902	54.918	F
CACIQUE	2015	8.219	12.733	F
	2020	7.280	41.494	F
	2030	2.774	62.983	F
CRA 36	2015	23.272	2.668	D
	2020	19.583	2.882	E
	2030	8.418	97.536	F

Posteriormente, se presenta cómo sería el funcionamiento de cada sector en caso de que se implementaran cada una de las soluciones propuestas, anteriormente mencionadas con sus respectivas proyecciones a 5 y 15 años.

Tabla 12. Resultados con ampliación

		AMPLIACIÓN		
		V (Kph)	D (seg/veh)	NDS
BUCARICA	2015	-	-	-
	2020	44.687	0.235	A
	2030	18.145	15.982	E
NIZA	2015	-	-	-
	2020	42.156	0.330	A
	2030	32.919	11.315	C
PLAZA SATELITE	2015	-	-	-
	2020	42.872	0.406	A
	2030	14.379	9.772	F
CACIQUE	2015	-	-	-
	2020	34.570	2.976	C
	2030	14.143	16.845	F
CRA 36	2015	-	-	-
	2020	19.629	2.425	E
	2030	8.030	39.153	F

Los resultados obtenidos para la situación actual con sus proyecciones a 5 y 15 años evidencian una disminución progresiva en la velocidad promedio del corredor haciéndola demasiado baja y deteriorando aún más el nivel de servicio además de aumentar las demoras en el tiempo de viaje, indicando la urgencia de una intervención.

Por otro lado, los resultados obtenidos para cada una de las propuestas de mejoramiento muestran un aumento significativo en las velocidades promedio entre

8.5 y 38 kph, y una disminución en las demoras de hasta 132 seg/veh, a pesar de que en algunos casos el nivel del servicio se mantenga en ambos escenarios.

2.5 PRE FACTIBILIDAD:

Características técnicas

La propuesta de mejoramiento está conformada por dos tramos con una longitud total de 6860 m a lo largo de los cuales se pretende brindar óptimas condiciones de seguridad, movilidad y comodidad para los usuarios.

Tamo 1. Comprendido entre la carrera 8 con calle 3 hasta la intersección del proyecto con la calle 93 con una longitud total de 5415 m, contempla la ampliación a doble calzada con separador de 3 m, andenes de 3.5 m y ciclo ruta a un costado de la vía, rectificando puntos críticos del corredor existente para garantizar velocidades de marcha entre 40 kph y 50 kph con radios de curva mínimo de 73 m, implementación de dos puentes de longitud 154 y 180m en el sector de la quebrada La Calavera, construcción de dos pasos elevados en los sectores CAI Niza y plaza satélite e intersecciones a nivel en el cruce del proyecto con la transversal Bucarica y calle 93.

Tramo 2. Rehabilitación y mejoramiento del sector de calzada sencilla existente implementando el perfil vial tipo 13 (figura 11), entre la intersección del proyecto con calle 93 hasta la carrera 36 con calle 56 con una longitud total de 1445 m.

Costo estimado del proyecto

A continuación se hará una descripción de los ítems que conforman el presupuesto:

Predios: Corresponde a los costos de adquisición y titularización de los predios necesarios para proyecto.

Obra civil: Corresponde a los costos de construcción del proyecto, los cuales incluyen la ampliación a doble calzada, intercambiadores, puentes y pasos elevados, las obras para el equipamiento urbano, la señalización vial y las obras correspondientes al manejo del impacto causado por la construcción.

Administración, imprevistos y utilidades: Corresponde a los gastos en que se incurre para la dirección del proyecto en todos sus frentes (jurídico, económico, técnico). Igualmente los gastos generados en todo el proceso, desde el momento de la pre factibilidad del proyecto hasta la puesta en operación del mismo y su recaudo, de la misma manera los costos ocasionados por obras adicionales o extras que no se pudieron prever antes de la ejecución del proyecto, así como el valor de los reajustes a los precios unitarios, debidos a que la ejecución de las obras se hace en un periodo mayor a seis meses.

Interventoría: Costo derivado de la asesoría a la entidad contratante para garantizar el cumplimiento de normas técnicas en el diseño y la ejecución del proyecto.

Tabla 13. Presupuesto

ITEM		VALOR ITEM	VALOR PARCIAL
PREDIOS			\$ 110.632.200.000
OBRA CIVIL			\$ 183.645.186.000
AMPLIACION DOBLE CALZADA C. ANTIGUA		\$ 76.155.186.000	
INTERCAMBIADOR BUCARICA		\$ 35.000.000.000	
PUNTES QUEBRADA LA CALAVERA		\$ 36.740.000.000	
PASOS ELEVADOS NIZA Y PLAZA SATELITE		\$ 33.250.000.000	
INTERSECCION PUENTE C.C. CACIQUE		\$ 2.500.000.000	
A.I.U.	35%		\$ 64.275.815.100
INTERVENTORIA	7%		\$ 12.855.163.020
COSTO TOTAL ESTIMADO (COP)			\$ 371.408.364.120

Para el cálculo del presupuesto se tomaron como referencia valores globales de licitaciones de proyectos similares que actualmente se desarrollan en el área metropolitana de Bucaramanga.

Fuentes de financiamiento para el proyecto

En aras de establecer un sistema de financiamiento para solventar el costo estimado del proyecto se proponen las siguientes fuentes de financiación:

- La Contribución de valorización se presenta como herramienta fundamental por su campo de aplicación e impacto financiero en la gestión municipal permitiendo financiar en forma parcial la ejecución de la obra.
- La sobretasa a la gasolina es otra fuente de financiación que puede contribuir a la ejecución del proyecto, razón por la cual, el ente territorial deberá evaluar

que recursos disponibles tiene por este rubro y a qué plazo puede comprometerlos.

- También cabe destacar que los ingresos corrientes anuales del ente territorial de libre destinación y las transferencias de la nación son las principales fuentes de los municipios del área metropolitana de Bucaramanga utilizadas para financiar los programas y proyectos de inversión.

3. CONCLUSIONES

La situación actual del sistema vial muestra que el área metropolitana de Bucaramanga ha presenciado en los últimos años un creciente desarrollo económico generando una demanda significativa de transporte y, consecuentemente, un incremento del parque automotor. Para mejorar dichas condiciones de tránsito y la capacidad del actual sistema vial, se torna necesaria la implantación de un proyecto de mejorías que contemple las conexiones de la red vial enlazando gran parte de los municipios.

Con base en los resultados obtenidos a través de la macro simulación se observa que la ampliación a doble calzada de la carretera antigua impacta de forma notable y positiva en la movilidad del área metropolitana de Bucaramanga dada la evaluación de tres puntos críticos sobre la autopista Floridablanca evidenciando la disminución en los tiempos de viaje y el porcentaje de flujo vehicular.

Actualmente la carretera antigua en el marco del plan maestro de movilidad – jerarquización de la malla vial, se proyecta como una vía metropolitana secundaria. La propuesta de mejoramiento y rehabilitación del corredor establece las bases técnicas mínimas que cumplirá con los parámetros de servicio inherentes a esta clasificación, atendiendo los puntos críticos de la vía con obras de infraestructura eficientes brindando velocidad de diseño de 50 kph, aprovechando una parte importante de la vía existente con un impacto predial y social moderado teniendo en cuenta el alcance del proyecto.

De los resultados obtenidos de la micro simulación se puede concluir que las alternativas de solución propuestas para los puntos críticos de congestión distribuyen en forma óptima el flujo vehicular sobre la vía disminuyendo los tiempos de viaje en un 75%, así como una mejoría significativa en la capacidad y los niveles de servicio de todo el corredor.

El valor total estimado del proyecto puede estar sujeto a variaciones debido a que no se realizaron estudios precisos de costos sobre el área de afectación directa del corredor. Dado lo anterior, se recomienda realizar los estudios de factibilidad para determinar con mayor exactitud si el proyecto es rentable a partir de estudios más detallados.

CITAS

- [1]. Alcaldía de Floridablanca - Universidad Industrial de Santander. (2011). Plan maestro de movilidad, Floridablanca 2011 – 2030. Floridablanca, Colombia.
- [2]. CASTILLO RANGEL, Miguel Andres y MARTÍNEZ ESTUPIÑAN Yerson Fabian. y PORRAS DÍAZ, Hernán Modelo de asignación de tráfico y su uso en la priorización de proyectos viales del área metropolitana de Bucaramanga. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011. p. 8.
- [3]. Floridablanca – Santander, Colombia; <https://maps.google.es/>; Mayo 16 del 2015.
- [4]. Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Manual de Diseño Geométrico de Carreteras, Bogotá Colombia año 2008.

BIBLIOGRAFIA

ALCALDÍA DE FLORIDABLANCA. Plan maestro de movilidad, Floridablanca 2011 – 2030. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander / Alcaldía de Floridablanca, 2011.

CASTILLO RANGEL, Miguel Andres y MARTÍNEZ ESTUPIÑAN Yerson Fabian. y PORRAS DÍAZ, Hernán Modelo de asignación de tráfico y su uso en la priorización de proyectos viales del área metropolitana de Bucaramanga. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011. p. 8.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS -INVIAS, Manual de Diseño Geométrico de Carreteras. Bogotá, D.C: INVIAS, 2008.