

**DETERMINACIÓN DEL IMPACTO EN LA MOVILIDAD VEHICULAR DURANTE
EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA EVENTUAL SOLUCIÓN VIAL SOBRE
EL VIADUCTO GARCÍA CADENA UTILIZANDO MODELOS DE SIMULACIÓN**

GUSTAVO ADOLFO RODRIGUEZ SANGUINO



**Universidad Industrial De Santander
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2013**

**DETERMINACIÓN DEL IMPACTO EN LA MOVILIDAD VEHICULAR DURANTE
EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA EVENTUAL SOLUCIÓN VIAL SOBRE
EL VIADUCTO GARCÍA CADENA UTILIZANDO MODELOS DE SIMULACIÓN**

GUSTAVO ADOLFO RODRIGUEZ SANGUINO

**Trabajo de Grado presentado como requisito parcial Para optar por el título
de Ingeniero Civil**

**Director:
YERLY FABIAN MARTINEZ
Magister en Ingeniería Civil**

**Universidad Industrial De Santander
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2013**

DEDICATORIA

Este proyecto de grado va dedicado primero que todo a la bendición del señor, que con su gloria ilumina mi camino, a mi padre que con su esfuerzo y dedicación le debo mis éxitos presentes y futuros, a mi madre por quien lucho y deseo el éxito, a mis hermanos que son el complemento de mi diario vivir, y por último y no menos importantes a mis amigos que hicieron de mi paso por la UIS, una experiencia alegre y llena de vivencias entrañables.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	13
1. CONDICIÓN ACTUAL DEL FLUJO VEHICULAR SOBRE EL VIADUCTO GARCIA CADENA	15
2. ALTERNATIVAS DE CONSTRUCCION SOBRE EL VIADUCTO GARCIA CADENA	21
2.1 PUENTE PROYECTADO COSTADO ORIENTAL	21
2.2 AMPLIACIÓN DE LOS LLAMADOS TERCEROS CARRILES EN EL VIADUCTO	22
3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	24
4. FASES DEL PLAN DE MANEJO DEL TRÁFICO (PMT) DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO	25
4.1 FASE I	27
4.2 FASE II	28
4.3 FASE III	28
5. SOFTWARE UTILIZADO PARA ELABORAR LOS MODELOS DE SIMULACION DEL VIADUCTO GARCIA CADENA	30
6. MODELO DE SIMULACION DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE MOVILIDAD EN EL VIADUCTO GARCIA CADENA	32
7. MODELO DE SIMULACIÓN DE LA MOVILIDAD DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL VIADUCTO GARCÍA CADENA	35
8. MODELO DE SIMULACIÓN DE LAS CONDICIONES FUTURAS DE MOVILIDAD EN EL VIADUCTO GARCÍA CADENA	40
9. COMPARATIVO DE RESULTADOS DE LOS MODELOS DE SIMULACION	41
9.1 ESCENARIO ACTUAL VS DPC	41
9.2 ESCENARIO ACTUAL VS DPC	44

10. COMENTARIOS	45
11. CONCLUSIONES	46
CURRÍCULUM	48
BIBLIOGRAFÍA	49

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Movilidad viaducto García Cadena	15
Figura 2. Ubicación del sector de estudio [4]	15
Figura 3. Vista Panorámica del Viaducto García Cadena [5]	16
Figura 4. Bosquejo sección actual Viaducto García Cadena	16
Figura 5. Red de modelación propuesta	19
Figura 6. Rutas de decisión planteadas	20
Figura 7. Bosquejo Sección Transversal futura alternativa 1 [6]	21
Figura 8. Bosquejo Sección Transversal futura alternativa 2 [7]	22
Figura 9. Ampliación Viaducto García Cadena	24
Figura 10. Sección Proyectada sector Parada Antonia Santos – Puerta del Sol	24
Figura 11. PMT Fase I.	27
Figura 12. PMT Fase II.	28
Figura 13. PMT Fase III – Carril cerrado S-N	29
Figura 14. Software de macrosimulación utilizado.	30
Figura 15. Resultados Modelo de Simulación Condición Actual Viaducto García Cadena	33
Figura 16. Tabla de resultados TransCAD	34
Figura 17. V-Time-T & V-Dist-T	34
Figura 18. Resultados Modelo de Simulación Durante el proceso Constructivo Fase I – Acceso Cra 33 – Puerta del Sol	35
Figura 19. Tramo Acceso Cra 33 – Puerta del Sol Cerrado Fase I	36
Figura 20. Tabla de resultados TransCAD Fase I	36
Figura 21. Tramo Inicio Viaducto García Cadena – Puerta del Sol Cerrado Fase II	37
Figura 22. Tabla de resultados TransCAD Fase II y III	38

Figura 23. V-Time-T & V-Dist-T durante la fase II y III del proceso constructivo	39
Figura 24. Resultados Modelo de Simulación Condición Futura Viaducto García Cadena	40
Figura 25. Trans.Oriental – Situación Actual	41
Figura 26. Trans.Oriental-Durante la Fase II & III	41
Figura 27. Carretera Antigua – Situación Actual	43
Figura 28. Carretera Antigua – Durante la fase II & III	43
Figura 29. Tabla de resultados TransCAD Fase II y III	44

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Flujos vehiculares viaducto García Cadena	17
Tabla 2. Velocidades sector Puente Provenza – Puerta del Sol	18

RESUMEN

Título: DETERMINACIÓN DEL IMPACTO EN LA MOVILIDAD VEHICULAR DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA EVENTUAL SOLUCIÓN VIAL SOBRE EL VIADUCTO GARCÍA CADENA UTILIZANDO MODELOS DE SIMULACIÓN

Autor: Gustavo Adolfo Rodríguez Sanguino **

Palabras Clave: Plan de Manejo del Tránsito, Ampliación, Modelar, Macrosimulación, Movilidad.

En este trabajo de grado se presenta un estudio de las alternativas en movilidad que se podrían tomar durante un posible proceso constructivo en el Viaducto García Cadena, del mismo modo se hará el modelamiento en TransModeler de una de las alternativas dependiendo del proceso constructivo ya establecido, Con este modelamiento se busca conocer de antemano las problemáticas de movilidad que se podrían presentar, para así tomar los correctivos necesarios que ayuden a reducir el impacto sobre la movilidad. De igual manera este trabajo de proyecto de grado busca modelar la situación actual para así poder compararla con la situación en movilidad durante el proceso constructivo ayudándonos a encontrar PMT que permitan el menor traumatismo en la ciudadanía.

Se deben diseñar otras soluciones que ayuden a reducir el gran impacto que se producirá durante el proceso constructivo, como por ejemplo modalidades Pico y Placa que abarquen mayor cantidad de vehículos públicos y particulares, además de presencia permanente de autoridades del tránsito que ayuden a agilizar el flujo vehicular, impidiendo imprudencia de los conductores.

Al aumentar la capacidad, aumenta el tránsito atraído sobre el Viaducto García Cadena, es por ello que los resultados arrojan una mejoría en la movilidad pero aun así persiste un déficit en la movilidad.

Además de la ampliación del tramo Viaducto García Cadena – Puerta del Sol, se requiere de más infraestructura vial en otras partes de la ciudad para ayudar la actual problemática de movilidad que se presenta en toda la ciudad.

Se deben diseñar que den solución para los usuarios que desean ir a sus destinos, estas rutas podrían irse modificando en el transcurso de las fases descritas anteriormente.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico mecánicas. Escuela De Ingeniería Civil. Director: Yerly Fabián Martínez, Magister en Ingeniería Civil

ABSTRACT

Title: MOBILITY VEHICLE IMPACT DETERMINATION DURING A POSSIBLE TRAFFIC SOLUTION PROCESS ON GARCIA CADENA VIADUCT ROAD USING SIMULATION MODELS*

Author: Gustavo Adolfo Rodríguez Sanguino**

Key Words Traffic Management Plan, Large, Model, Macrosimulacion, Mobility.

In this work we present a study degree of mobility alternatives that could be taken for a possible construction process in the Viaduct Garcia Cadena, will likewise TransModeler modeling in one of the alternatives depending on the construction process and established with this modeling seeks to understand in advance the mobility issues that might come up, so take the necessary corrective measures to help reduce the impact on mobility. Similarly this degree project work seeks to model the current situation in order to compare it with the situation in mobility during the construction process helping us find PMT that allow less trauma to the citizenry.

Other solutions must be designed to help reduce the great impact that will occur during the construction process, such as Pico y Placa modalities covering as many public and private vehicles, in addition to the permanent presence of traffic authorities to help expedite the traffic flow, preventing recklessness of drivers.

By increasing capacity, increasing the traffic attracted to the Viaduct Garcia Cadena, which is why the results show an improvement in mobility but still remains a deficit in mobility.

Besides expanding the Viaduct section Garcia Cadena - Puerta del Sol, it requires more road infrastructure in other parts of the city to help the current problems of mobility that occurs throughout the city.

Should be designed to provide solutions for users who wish to go to their destinations, these routes could go changing in the course of the phases described above.

* Degree work

** Faculty of Physical Engineering Mechanical. Civil Engineering School. Directed Yerly Fabian Martinez, Master of Civil Engineering

INTRODUCCION

Bucaramanga y su área metropolitana se encuentra atravesando por un gran problema de movilidad a raíz de factores como el crecimiento desmedido del parque automotor en los últimos años, situación que se ve en datos brindados por “La Dirección de Tránsito de Bucaramanga la cual reportó, a diciembre de 2011, un total de 150.362 vehículos matriculados, de estos 75.576 fueron automóviles y 24.503 motocicletas. Mientras, que la Secretaría de Tránsito de Girón por su parte habló de 127.771 vehículos; de igual forma, la Dirección de Tránsito de Floridablanca mencionó 121.498 automotores; mientras que la Inspección de Tránsito de Piedecuesta sostuvo que en esta localidad ya existen 8.391 automotores matriculados, Siendo un 48,3% de estos vehículos corresponden a motocicletas”[1].

Si a lo anterior le sumamos sistemas de transporte público poco eficientes y atractivos, escasa infraestructura vial, además de falta de nuevas obras viales que ayuden a mitigar ese problema, y la poca planeación por parte de las autoridades municipales.

Resulta de alta prioridad la necesidad de invertir en nuevos proyectos de infraestructura vial (intercambiadores, ampliación de corredores existentes, configuración de nuevos corredores, etc.) para suplir la creciente demanda de transporte

Estos proyectos deben estar acompañados de medidas de gestión de tráfico durante su proceso de construcción con el ánimo de reducir al máximo posible el impacto negativo en la movilidad vehicular como consecuencia de cierres, desvíos, inseguridad, etc. Sin embargo, surge la necesidad de conocer de manera anticipada el comportamiento del flujo vehicular durante el proceso constructivo

mediante el uso de modelos de simulación del tráfico, avanzando así en el desarrollo de planes de manejo de tráfico (PMT) más óptimos.

En particular, para la movilidad del municipio resulta de gran importancia mejorar la oferta en infraestructura vial en el tramo vial sobre el VIADUCTO GRACIA CADENA porque es un punto de tránsito que es usado diariamente por 116.000 usuarios aprox. [3] que desean desplazarse desde el sur hacia el norte y viceversa para acudir a sus lugares de trabajo y estudio.

En este contexto, el presente artículo busca determinar si en aras de optimizar las condiciones del flujo vehicular durante la eventual construcción de una solución para el VIADUCTO GARCIA CADENA ¿es posible simular el impacto en la movilidad vehicular durante el proceso constructivo de una eventual solución vial utilizando modelos de simulación?

1. CONDICIÓN ACTUAL DEL FLUJO VEHICULAR SOBRE EL VIADUCTO GARCIA CADENA

El Viaducto García Cadena se encuentra localizado en el sur de la ciudad de Bucaramanga, fue construido en 1970 debido al creciente desarrollo urbanístico del área metropolitana de Bucaramanga de esta época, contaba con 4 carriles, dos en cada sentido, pero 20 años después fue necesario la ampliación del puente de 4 a 6 carriles.

Figura 1. Movilidad viaducto García Cadena



Figura 2. Ubicación del sector de estudio [4]



Figura 3. Vista Panorámica del Viaducto García Cadena [5]



El viaducto García Cadena tiene una longitud de 261 metros, consta de tres carriles en cada sentido, y desde el año 2009 cuando entro en funcionamiento el SITM Metrolinea, se dispuso de un carril exclusivo para los buses del sistema y 2 carriles mixtos.

Figura 4. Bosquejo sección actual Viaducto García Cadena



El flujo vehicular en este sector alcanza una velocidad entre 7 y 23Kph en hora pico de la noche en sentido N-S y de 10 a 12Kph en la hora pico del medio día en sentido S-N, si a esto le sumamos el aumento en el parque automotor de la ciudad de Bucaramanga y su área metropolitana vemos un escenario bastante crítico, y es que *“El Viaducto García Cadena es un puente con una capacidad de 4.600 vehículos por hora, muy distante de los 7.000 veh/h que transitan actualmente, y*

con una proyección de 9.000 veh/h para el 2030”, según la información consignada en el Plan Maestro de Movilidad de Bucaramanga.

Tabla 1. Flujos vehiculares viaducto García Cadena

SENTIDO NORTE - SUR				
TIPO DE VEHICULO	TOTAL DIA		TOTAL HORA PICO	
TAXI	16.139	30,9%	1.089	23,1%
AUTO	21.512	41,2%	2.104	44,7%
BUS	1.446	5,5%	156	6,6%
CAMION	867	4,2%	48	2,6%
MOTO	18.986	18,2%	1.917	20,4%
TOTAL VEHICULOS EQUIVALENTES	52.203		4.706	
SENTIDO SUR - NORTE				
TIPO DE VEHICULO	TOTAL DIA		TOTAL HORA PICO	
TAXI	12.086	28,0%	538	21,9%
AUTO	17.888	41,4%	1.017	41,5%
BUS	1.211	5,6%	139	11,3%
CAMION	844	4,9%	43	4,4%
MOTO	17.320	20,1%	861	17,6%
TOTAL VEHICULOS EQUIVALENTES	43.166		2.452	

Conociendo todos estos factores se hace evidente y urgente un mejoramiento de las condiciones de capacidad del puente, situación que ha sido estandarte de la actual administración municipal y ha sido objeto de muchos debates en el área metropolitana de Bucaramanga, es por eso que surge esta necesidad de analizar las alternativas que permitan mitigar esas condiciones negativas.

Con un eventual proceso constructivo que se desarrollaría en el Viaducto García Cadena, se hace necesario un estudio de la problemática generada en la vía, para eso se debe reunir información en las horas más críticas en cuanto a la movilidad que permita conocer el flujo vehicular existente para realizar el Plan de Manejo de Tráfico (PMT) , con estos datos modelamos en el software TransCAD para así obtener unos resultados que nos permitan conocer de antemano los posibles problemas que se presentarían y tomar las medidas pertinentes.

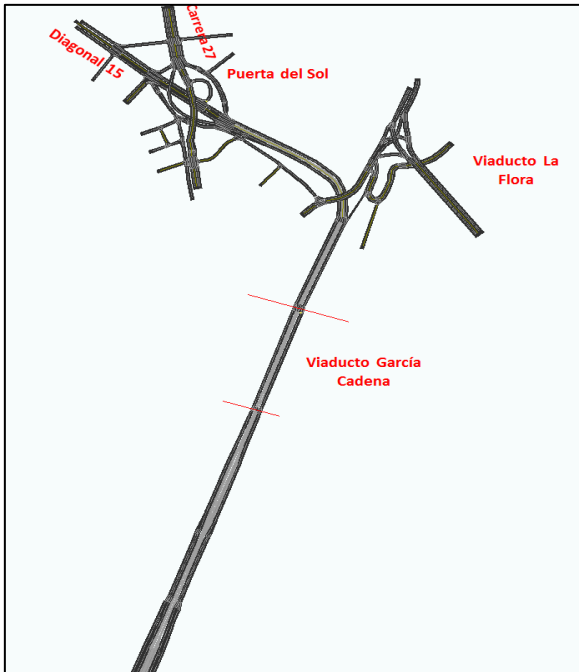
En la siguiente tabla se muestra la velocidad de flujo sobre el tramo vial comprendido entre el puente Provenza y la puerta del Sol, igualmente se muestra las velocidades de flujo en una proyección de 5, 10 y 20 años que permite ver cómo será el comportamiento de la movilidad para tener una idea de que tan crítica será la situación en ese sector vial.

Tabla 2. Velocidades sector Puente Provenza – Puerta del Sol

SENTIDO		ACTUAL		5 AÑOS		10 AÑOS		20 AÑOS	
		VELOCIDAD (Kph)	NDS	VELOCIDAD (Kph)	NDS	VELOCIDAD (Kph)	NDS	VELOCIDAD (Kph)	NDS
Sur - Norte	Puente Provenza - inicio Viaducto Garcia Cadena	● 29,5	C	● 23,6	D	● 18,4	E	● 16,0	E
	Inicio Viaducto Garcia Cadena - Final Viaducto Garcia Cadena	● 19,5	E	● 16,0	F	● 12,0	F	● 9,6	F
	Final Viaducto Garcia Cadena - acceso a Cra 33	● 20,5	D	● 16,8	E	● 13,1	F	● 10,5	F
	Acceso a Cra 33 - Puerta del Sol	● 23,4	D	● 19,2	E	● 14,8	F	● 12,8	F
Norte - Sur	Puerta del Sol - Final Viaducto Garcia Cadena	● 34,2	C	● 28,7	D	● 22,5	E	● 19,5	E
	Final Viaducto Garcia Cadena - Inicio Viaducto Garcia Cadena	● 26,5	D	● 21,9	E	● 17,1	E	● 14,9	F
	Inicio Viaducto Garcia Cadena - Puente Provenza	● 28,5	C	● 23,4	E	● 18,3	E	● 15,9	F

Establecidos los movimientos viales de interés para la simulación y examinada la zona de influencia del corredor en análisis se procedió a realizar la estructuración de la red de tráfico.

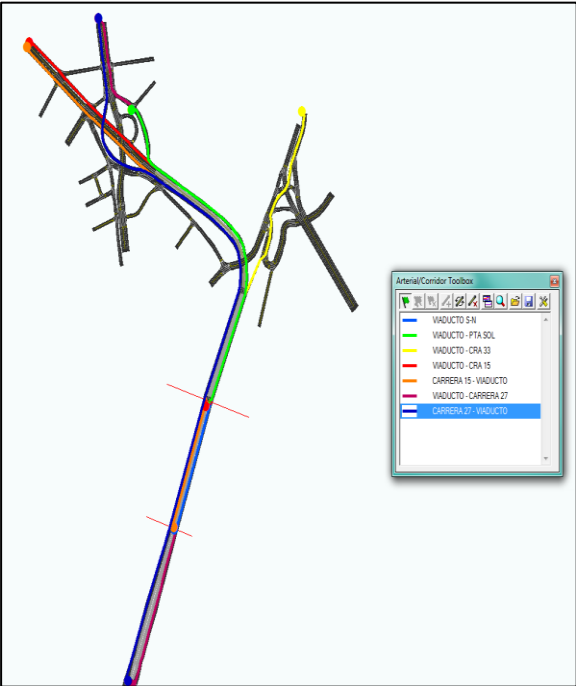
Figura 5. Red de modelación propuesta



Se debe resaltar que la solución propuesta debe resolver los problemas de movilidad en la zona planteada, por ello se debe elaborar una red que abarque desde el puente de Provenza en el sur, hasta la puerta del sol con sus conexiones hacia la carretera antigua, el Viaducto La Flora, la carrera 15 y la carrera 27.

Además dentro del proceso de simulación se establecen unas rutas que permitirán la obtención de resultados dentro del modelo, en la siguiente figura se muestran dichas rutas.

Figura 6. Rutas de decisión planteadas



2. ALTERNATIVAS DE CONSTRUCCION SOBRE EL VIADUCTO GARCIA CADENA

2.1 PUENTE PROYECTADO COSTADO ORIENTAL

Esta alternativa consiste en la construcción de un puente paralelo en el costado oriental del actual Viaducto García Cadena, con una longitud de 260 metros, pero también se hace necesario la intervención de los taludes del tramo entre el viaducto y la puerta del sol en el sentido Sur-Norte, para permitir la construcción de 2 nuevos carriles entre el viaducto y la Puerta del Sol. Se presume que la obra tendrá una longitud de 2.1 km, que comprende el tramo entre el puente de Provenza y la Puerta del Sol.

Figura 7. Bosquejo Sección Transversal futura alternativa 1 [6]



Una vez finalizada la construcción del puente proyectado el viaducto contara con diez carriles en total: dos para uso exclusivo del Sistema Integrado de Transporte Masivo Metrolinea y ocho más para el transito mixto de vehículos, con lo que se busca descongestionar este importante sector vial.

Esta propuesta tiene como ventaja que durante la construcción del puente proyectado no se intervendrá el puente actual permitiendo avanzar en la ejecución sin que se altere el flujo vehicular en ninguno de los dos sentidos, continuando con el comportamiento actual de la movilidad, que solo se verá afectado en el sentido Sur-Norte cuando se empiece con la intervención del talud oriental en el sector entre el viaducto García Cadena y la Puerta del Sol, para lo cual se hace necesario el diseño rutas alternas para el desplazamiento de los vehículos.

Estas rutas alternas deben estar acompañados de un Plan de Manejo del Trafico que permita a los usuarios movilizarse de manera ordenada, ágil y en el menor tiempo posible, para que así se produzca el menor impacto durante la los carriles adicionales.

Es importante tener definido cuál será la ruta a seguir para la implementación de un adecuado plan de movilidad que provoque el menor traumatismo en el flujo vehicular de la ciudad.

2.2 AMPLIACIÓN DE LOS LLAMADOS TERCEROS CARRILES EN EL VIADUCTO

Figura8. Bosquejo Sección Transversal futura alternativa 2 [7]



Esta propuesta consiste en la construcción de un carril en cada sentido del viaducto, esta propuesta sugiere un refuerzo en la estructura del puente, como también la implementación de una estructura metálica que sea sencilla de adaptar, que minimice el tiempo para su ejecución, sin que altere en gran medida el flujo vehicular durante la ejecución de la obra. Esta obra tiene sus ventajas con respecto a la primera pues es más económica y más rápida de ejecutar.

Durante la realización de esta obra se debe interrumpir el paso por el viaducto por un sentido a la vez, así como por el tramo entre el viaducto y la puerta del sol durante la construcción de los carriles adicionales en cada sentido.

3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA

Figura 9. Ampliación Viaducto García Cadena



Durante la elaboración del presente proyecto se conoció que la administración municipal de Bucaramanga acordó la construcción de un puente proyectado en el costado oriental al actual viaducto García Cadena, además de la construcción de dos carriles más en el sentido Sur-Norte. Dicha decisión coincide con la primera de las alternativas propuestas para el mejoramiento del tráfico en el sector vial entre el puente de Provenza y la puerta del Sol.

Figura 10. Sección Projectada sector Parada Antonia Santos – Puerta del Sol



4. FASES DEL PLAN DE MANEJO DEL TRÁFICO (PMT) DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO

Las fases del plan de manejo del tráfico se elaboran con el ánimo de mitigar el impacto generado por las obras en este corredor primario sobre la movilidad vehicular, movimiento de maquinaria, personal en la obra, siempre con el cumplimiento de las normas de la regulación del tránsito.

El Plan de Manejo del Trafico debe ir acompañado de una gran planeación por parte de los contratistas, donde se deben evaluar todos los posibles escenarios, condiciones de la ruta a intervenir como de los desvíos, comportamiento de los usuarios, tránsito atraído, así como todos los elementos que ayuden a conocer de manera anticipada los posibles problemas que se presenten durante el proceso constructivo, esto con el ánimo de crear planes de manejo del trafico más sólidos y que puedan atender a posibles situaciones de manera rápida y efectiva.

Es importante mencionar que para evitar un mayor traumatismo, y para elaborar un adecuado PMT se debe

- ✓ Evitar en lo posible la restricción u obstrucción de los flujos vehicular.
- ✓ Ofrecer a los usuarios una señalización clara y de fácil interpretación, que les facilite la toma de decisiones en forma oportuna, ágil y segura.
- ✓ Permitirle al transporte público y particular la optimización de velocidades, distancias y tiempos de recorrido, de acuerdo con los cierres parciales o totales requeridos para la ejecución de las obras.
- ✓ Garantizar seguridad de los usuarios y trabajadores durante los cierres totales o parciales por ejecución de obra. **[8]**

A continuación se enuncian las fases que se tendrán en cuenta en el plan de manejo de tráfico se tiene configurado de la siguiente manera:

1. Durante la construcción del puente proyectado no se cortara total ni parcialmente el flujo vehicular en ninguno de los dos sentidos, pues esta construcción será paralela y no será necesario la intervención del puente existente con esta primera etapa.
2. Se suspenderá el tránsito de los dos carriles mixtos en sentido Sur – Norte desde la parada Antonia Santos hasta la Puerta del Sol, para la intervención del costado oriental.
3. Finalizado el ítem anterior se cortara el flujo completamente desde el sector conocido como Motoreste y la Puerta del Sol en sentido Sur - Norte, esto con el fin de adelantar trabajos en la redistribución de carriles y construcción de la estructura del pavimento para el uso del SITM Metrolinea

Para reducir lo máximo posible el traumatismo en la movilidad se deberá usar los siguientes elementos durante la ejecución del PMT de este corredor primario.

- ✓ Señales informativas: Estas alertan e informan a los usuarios sobre la aproximación a un lugar donde las condiciones normales de circulación han sido modificadas.
- ✓ Barricadas de colores llamativos que se deberán colocar perpendicularmente al flujo para impedir totalmente el flujo de vehículos.
- ✓ Sobre las barricadas se deberán colocar señales que informe que la vía está cerrada.
- ✓ Avisos que informen sobre la entrada y salida de maquinaria a la obra, estas señales deben ser claras, y estar colocadas a la vista de los usuarios.
- ✓ Se debe hacer cerramiento del área de trabajo, aislando completamente los frentes de intervención, mediante la instalación de tela polipropileno verde y/o malla fina azul.

4.1 FASE I

Durante la construcción del puente proyectado en el costado oriental del Viaducto García Cadena no se tiene proyectado el cierre del flujo, hasta finalizados los trabajos de corredor entre la parada Antonia Santos Y la Puerta del Sol.

Figura 11. PMT Fase I.



Cierre total de los dos carriles mixtos, en sentido Sur – Norte en el tramo entre calle 68 y La Puerta del Sol, sin perturbar el tránsito en el carril exclusivo del SITM Metrolinea para no afectar la movilidad del transporte público en la ciudad. Realizando un desvío por la calle 68 para llegar a la Cra 33. Hasta voltear por la calle 62, para los usuarios que deseen ir hacia la Cra 27 o hacia la Cra 15.

4.2 FASE II

Cierre total de los dos carriles mixtos, en sentido Sur-Norte, en el tramo parada Antonia Santos –Cll 68, sin afectar el tránsito sobre el carril exclusivo del SITM Metrolinea no afectando la movilidad del transporte público. Realizando el desvío por Motoreste hacia la Cra 30, subiendo por la calle 93 donde se pondrá elegir entre la Cra 33 (Carretera Antigua) o subir hasta la Trans. Oriental para tomar el Viaducto La Flora para llegar a la Cra 33 en el sector del Colegio La Merced.

Figura 12. PMT Fase II.



4.3 FASE III

Esta fase abarca el cierre total de los dos carriles mixtos en sentido Sur –Norte desde Motoreste hasta la Puerta del Sol, por trabajos de ensamble de los dos puentes, redistribución de carriles y construcción de la estructura del pavimento para los carriles del SITM Metrolinea. Durante la ejecución de esta fase los usuarios de este corredor vial deberán seguir usando las rutas de desvíos que se usaron en la fase II.

Figura 13. PMT Fase III – Carril cerrado S-N



5. SOFTWARE UTILIZADO PARA ELABORAR LOS MODELOS DE SIMULACION DEL VIADUCTO GARCIA CADENA

Figuro 14. Software de macrosimulación utilizado.



El presente trabajo se realizó utilizando la herramienta "TransCad Transportation Planning Software"

En la actualidad los problemas de transporte no solo se han hecho más comunes, sino que han tomado mayor severidad que nunca, tanto en los países industrializados como en los países en desarrollo; y constituyen una caracterización diaria en la vida de los habitantes de las ciudades.

TransCAD es un sistema de información geográfica (SIG) diseñado especialmente para profesionales del transporte con el objeto de almacenar, mostrar y analizar datos de transporte. [9]

TransCAD extiende los tradicionales modelos de datos SIG para incluir los datos objeto de los estudios de transporte, tales como:

- ✓ Redes de transporte
- ✓ Matrices
- ✓ Rutas y sistema de ruta
- ✓ Datos con referencias lineales

Es de nuestro interés analizar el efecto en la movilidad de Bucaramanga y su área metropolitana con el cierre temporal del Viaducto García Cadena y la ampliación

del mismo. Es por ello que TransCAD es la herramienta ideal que nos permitirá cumplir los objetivos del presente proyecto con la simulación de tres escenarios que son:

- ✓ Modelo de Simulación de las condiciones actuales en movilidad del Viaducto García Cadena

- ✓ Modelo de simulación de la movilidad durante el proceso constructivo en el Viaducto García Cadena.

- ✓ Modelo de Simulación de las condiciones futuras de movilidad en el Viaducto García Cadena.

6. MODELO DE SIMULACION DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE MOVILIDAD EN EL VIADUCTO GARCIA CADENA

Conociendo las condiciones actuales del Viaducto García Cadena, como son longitudes, velocidades, tiempos, flujo vehicular, número y ancho de la calzada, capacidad de las rutas, se puede establecer mediante el uso TransCad, el nivel de saturación de las rutas.

Para la elaboración del escenario actual se utilizó el modelo “Stochastic User Equilibrium (SUE)” o equilibrio estocástico del usuario, este modelo *“busca las condiciones de equilibrio, cada usuario elige la ruta de mínimo costo de viaje percibido: en otras palabras, bajo condiciones de SUE ningún usuario puede reducir el costo propio percibido de recorrido y por tanto todos quedan sobre su recorrido factible.”*[10]

Ademas fue necesario tener informacion de la matriz Origen – Destino, el flujo vehicular que transita por la ciudad y en especial por este corredor vial, velocidad y tiempo de los vehiculos, ancho y numero de carriles de toda la zona de estudio, como tambien conocer iguales parametros en las principales vias alternas que puedan ser utilizadas por los usuarios.

Una vez recopilada toda la informacion y establecido el metodo que mejor simule el comportamiento del flujo vehicular, se procede a la calibracion de los modelos en TransCAD para obtener unos resultados confiables, para poder determinar los objetivos del presente proyecto.

En la siguiente grafica observamos los resultados arrojados por el modelo de simulacion, en ella se ve acumulacion del trafico sobre el Viaducto Garcia Cadena, pues la relacion V/C (Volumen/Capacidad) en este sector se encuentra 1 a 1.25, y

es que estos resultados no se alejan de la realidad pues en la actualidad por el viaducto transitan 7000 veh/h, cuando solo se tiene capacidad para 4.600 veh/h.

Figura 15. Resultados Modelo de Simulación Condición Actual Viaducto García Cadena

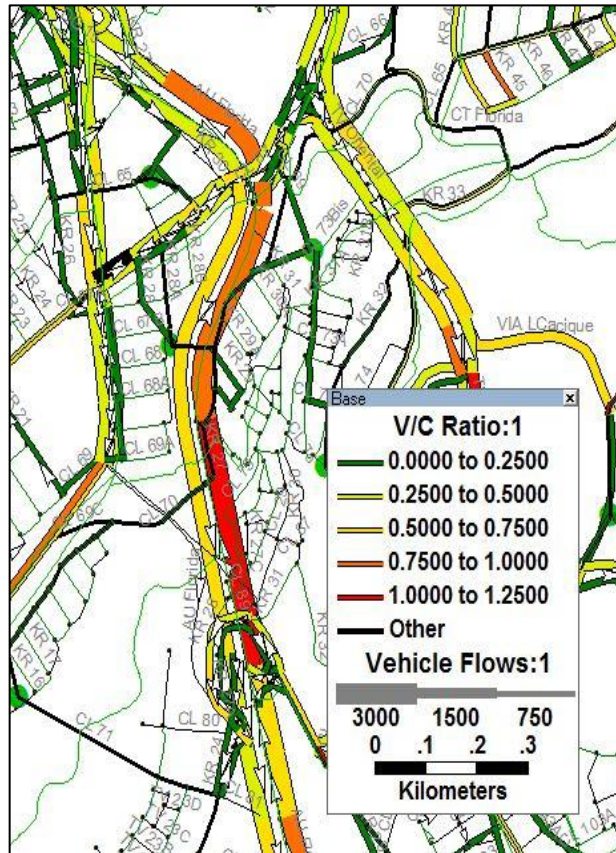


Figura 16. Tabla de resultados TransCAD

ID	Value
8648	
Length	0.43
Velocidad	30.00
Time	0.85
Capacidad_BA	2514
Alpha	0.40
Beta	5.50
Autos_BA	2800
Bus_BA	273
BA_Flow	2839.8000
TOT_Flow	2839.8000
MAX_voc	1.1296
AB_speed	--
BA_speed	16.8363

La tabla de resultados arrojada por TransCad nos muestra que la velocidad en la figura No. 15 es de 16.8363 Kph, muy por debajo de los 30Kph de diseño con que cuenta el viaducto. El Flujo BA (S-N) que es de 2839.8 Veh/h también está por encima de la capacidad con que fue calibrado el modelo que es de 2514 Veh/h.

Figura 17. V-Time-T & V-Dist-T

Running Results		
Relative Gap	:	0.00
RMSE	:	13.30
% RMSE	:	18.24
Max Flow Change	:	296.10
Equilibrium reached	: Yes	
Total V-Time-T	:	390489.44
Total V-Dist-T	:	161114.74
Centroid V-Time-T	:	16084.85
Centroid V-Dist-T	:	5361.18
V-Time-T w/o Centroids	:	374404.59
V-Dist-T w/o Centroids	:	155753.56

Estos resultados son fundamentales pues expresan el tiempo y la distancia recorrida por los vehículos.

V-Time-T, significa el tiempo que recorrieron todos los vehículos por la malla vial de la ciudad de Bucaramanga que en este caso es 374404.59 horas. En tanto V-Dist-T significa la distancia recorrida por todos los vehículos en la malla, que es igual a 155753.56 millas.

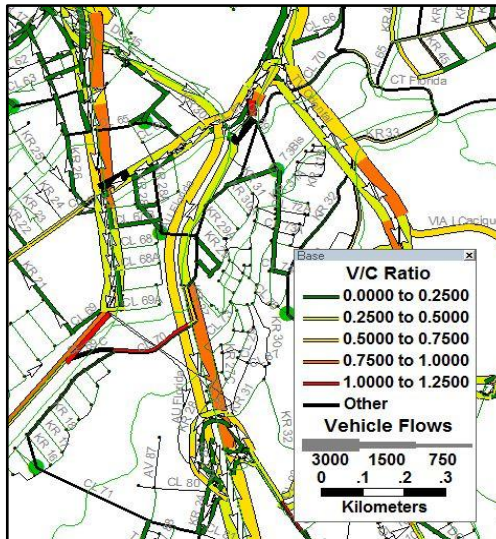
7. MODELO DE SIMULACIÓN DE LA MOVILIDAD DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO EN EL VIADUCTO GARCÍA CADENA

Fase I

Como se había explicado anteriormente en esta segunda etapa tendrá 3 fases, por lo tanto fueron necesario 2 modelos de simulación.

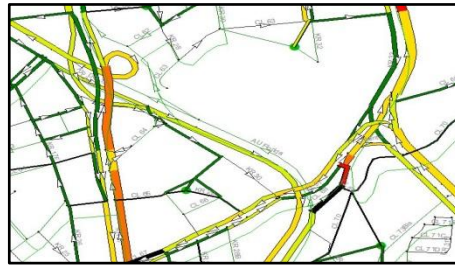
Para la realización del modelo de simulación de la fase I fue necesario cortar el flujo de movilidad[11] en el corredor entre el acceso a la Cra 33 y la Puerta del Sol, esto con el fin de adelantar los trabajos corte y estabilización del talud oriental, y la construcción de los dos carriles proyectados en esa zona.

Figura 18. Resultados Modelo de Simulación Durante el proceso Constructivo Fase I – Acceso Cra 33 – Puerta del Sol



La imagen a continuación nos permite observar la ausencia de flujo en el sector mencionado, pues los links pertenecientes a este corredor fueron modificados para simular un cierre total en ese sentido.

Figura 19. Tramo Acceso Cra 33 – Puerta del Sol Cerrado Fase I



Los resultados destacables de esta simulación son los arrojados en los links ID 17841 que corresponde a la ruta de acceso a la Cra 33, pues al estar cerrado parte de la autopista el tránsito se encontraría forzado a tomar esta vía, por lo tanto el modelo nos muestra el colapso de este tramo vial.

Figura 20. Tabla de resultados TransCAD Fase I

Attribute	Value
ID	17841
Length	0.08
Velocidad	20.00
Time	0.23
Ancho_calzada	6.4000000000
Fa	0.96
Estado_pavimento	--
Capacidad_AB	928
Alpha	0.78
Beta	3.80
AB_Flow	1474.0000
TOT_Flow	1474.0000
AB_Time	1.2774
MAX_voc	1.5884
AB_speed	3.6193

En la tabla se observa una circulación de 1474 vehículos muy por encima de su capacidad que corresponde a 928 vehículos, registrando un aumento de 58.84% veh/hora. En cuanto a la velocidad observamos una reducción de 81.9% de la velocidad de diseño, sin duda alguna estos resultados nos muestran que durante esta primera fase se presentara una gran congestión en esta zona, por lo cual se

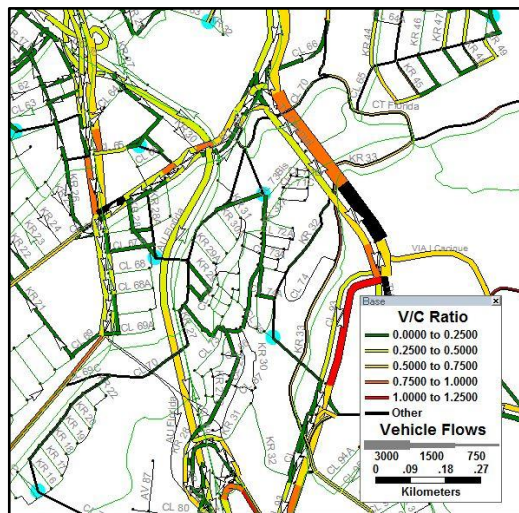
deben diseñar rutas alternas que den solución para los usuarios que tienen como destino la Cra 33.

Fase II

Con el modelamiento de las fases II y III que implicarían el cierre total en sentido Sur – Norte del tramo comprendido entre el sector de Motoreste y la Puerta del Sol se busca predecir el flujo vehicular en las rutas que se verán inmediatamente afectadas por este cierre.

La siguiente figura arrojada por TransCAD muestra la inexistencia del flujo en la ruta objeto de la presente investigación, igualmente se observa un cambio en el comportamiento del flujo en las rutas alternas como la Trans. Oriental y la carretera antigua que nos permite llegar la Cra 33.

Figura 21. Tramo Inicio Viaducto García Cadena – Puerta del Sol Cerrado Fase II

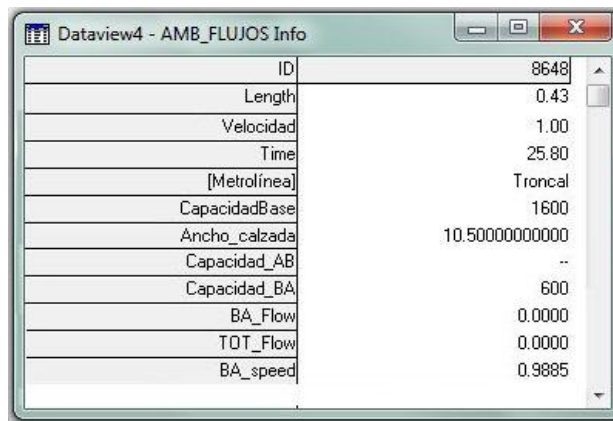


Para obtener los resultados acordes con la situación proyectada en esta fase fue necesario calibrar el modelo y hacerle algunos cambios, como por ejemplo poner una velocidad mínima, afectando el tiempo de desplazamiento, y también reducir

la capacidad del viaductos, hay que resaltar que si se usan valores iguales a cero, el software de simulación arroja error.

Una vez efectuados los cambios anteriormente dichos obtenemos los resultados mostrados en la siguiente tabla, en ella vemos un flujo igual a cero y una velocidad menor a uno. Esto nos indica que los cambios permiten una modelación deseada durante las fases II y III.

Figura 22. Tabla de resultados TransCAD Fase II y III



Variable	Valor
ID	8648
Length	0.43
Velocidad	1.00
Time	25.80
[Metrolínea]	Troncal
CapacidadBase	1600
Ancho_calzada	10.5000000000
Capacidad_AB	--
Capacidad_BA	600
BA_Flow	0.0000
TOT_Flow	0.0000
BA_speed	0.9885

A continuación los resultados arrojados muestran un aumento en los parámetros V-Time-T, aumentando con respecto a la condición actual del Viaducto García Cadena pasando de 374.404,59 a 395.22,5 horas, esto quiere decir que el tiempo que gastaron todos los vehículos en recorrer toda la malla aumento, al igual que el parámetro V-Dist-T (Distancia recorrida por todos los vehículos) pasando de 155.753,56 a 160.746.58 millas.

Estos resultados son acordes con lo que se esperaría, pues es lógico pensar que en un eventual cierre total del Viaducto García Cadena los usuarios deban coger por otras rutas alternas, incrementando la distancia y el tiempo de sus recorridos.

Figura 23. V-Time-T & V-Dist-T durante la fase II y III del proceso constructivo

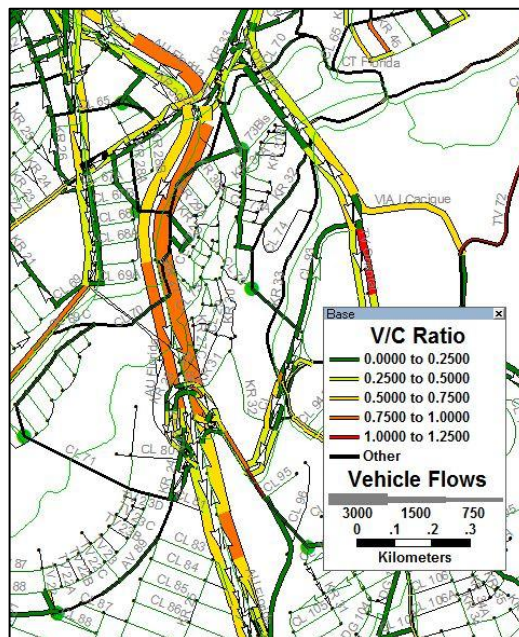
Running Results		
=====		
Relative Gap	:	0.01
RMSE	:	6.07
% RMSE	:	8.02
Max Flow Change	:	131.28
Equilibrium reached	:	Yes
Total V-Time-T	:	411299.73
Total V-Dist-T	:	166103.55
Centroid V-Time-T	:	16072.23
Centroid V-Dist-T	:	5256.97
V-Time-T w/o Centroids	:	395227.50
V-Dist-T w/o Centroids	:	160746.58

8. MODELO DE SIMULACIÓN DE LAS CONDICIONES FUTURAS DE MOVILIDAD EN EL VIADUCTO GARCÍA CADENA

Para la modelación del escenario futuro se volvió a calibrar el modelo aumentando el número de carriles para que se ajuste a las condiciones con que contara el puente, pues este contara con 5 carriles en cada sentido por lo tanto su capacidad también aumentara. Una vez realizados estos cambios se procedió a reabrir en el modelo de simulación el tránsito por este importante sector vial.

La grafica a continuación muestra la relación Volumen/Capacidad, una vez culminados los trabajos de ampliación, y si los comparamos con los resultados obtenidos en el modelo de simulación actual, vemos un alivio en la movilidad a simple vista.

Figura 24. Resultados Modelo de Simulación Condición Futura Viaducto García Cadena



9. COMPARATIVO DE RESULTADOS DE LOS MODELOS DE SIMULACION

En un primer comparativo vamos a analizar el comportamiento del flujo Actual y DPC (Durante el Proceso Constructivo), seguidamente haremos el mismo análisis pero esta vez con los escenarios Actual y Futuro.

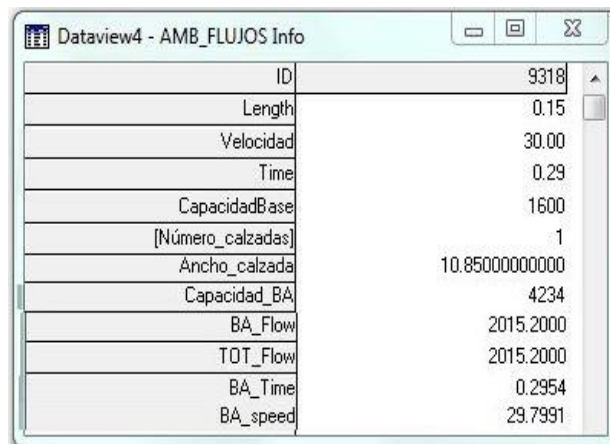
9.1 ESCENARIO ACTUAL VS DPC

Cierto es que durante el proceso constructivo el flujo por el viaducto va a ser cortado, y es de suponer que la movilidad debe buscar rutas alternativas para llegar a sus destinos.

Los usuarios que deseen desplazarse del Sur hacia el Norte tienen dos rutas alternas principalmente y ellas son: La carretera antigua y el Viaducto La Flora. Pues bien, en TransCAD podemos predecir cómo será el flujo por estas rutas.

Trans. Oriental

Figura 25. Trans.Oriental – Situación Actual



Parameter	Value
ID	9318
Length	0.15
Velocidad	30.00
Time	0.29
CapacidadBase	1600
[Número_calzadas]	1
Ancho_calzada	10.8500000000
Capacidad_BA	4234
BA_Flow	2015.2000
TOT_Flow	2015.2000
BA_Time	0.2954
BA_speed	29.7991

Figura 26. Trans.Oriental-Durante la Fase II & III

ID	8421
Length	0.17
Velocidad	30.00
Time	0.34
CapacidadBase	1600
[Número_calzadas]	1
Ancho_calzada	13.500000000000
Capacidad_BA	2789
BA_Flow	3753.1111
TOT_Flow	3753.1111
BA_Time	1.0236
BA_speed	9.8438

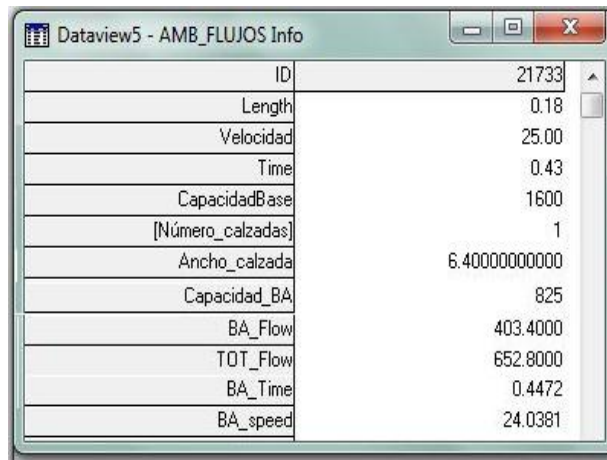
Los resultados obtenidos muestran un dramático aumento en la movilidad que transita por el viaducto La Flora pasando de 2015.2 veh/hora a 3753.1 veh/hora, lo cual nos quiere decir que se presenta un aumento del **86.24%**, sin duda una cifra alarmante si se tiene en cuenta que actualmente es complicado el flujo por ese corredor vial.

Por otra parte también se examinó el comportamiento de la velocidad, asando de 29.79 Kph a 9.84 Kph, presentándose un descenso del 66.96%, estos resultados nos muestran que el impacto en la movilidad durante el proceso constructivo va a ser bastante fuerte, presentándose flujos aún más bajos de los existentes.

Carretera antigua

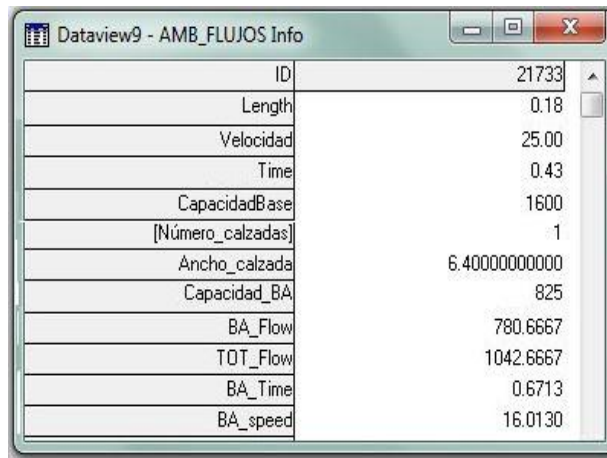
Otra de las rutas que ayudarían a dar solución al problema del desplazamiento es la carretera antigua, una vía que a pesar de su conexión del Sur con el Norte, no podría ofrecer un gran aporte a la problemática en movilidad que atravesaría la ciudad durante el proceso constructivo.

Figura 27. Carretera Antigua – Situación Actual



Variable	Valor
ID	21733
Length	0.18
Velocidad	25.00
Time	0.43
CapacidadBase	1600
[Número_calzadas]	1
Ancho_calzada	6.40000000000
Capacidad_BA	825
BA_Flow	403.4000
TOT_Flow	652.8000
BA_Time	0.4472
BA_speed	24.0381

Figura 28. Carretera Antigua – Durante la fase II & III

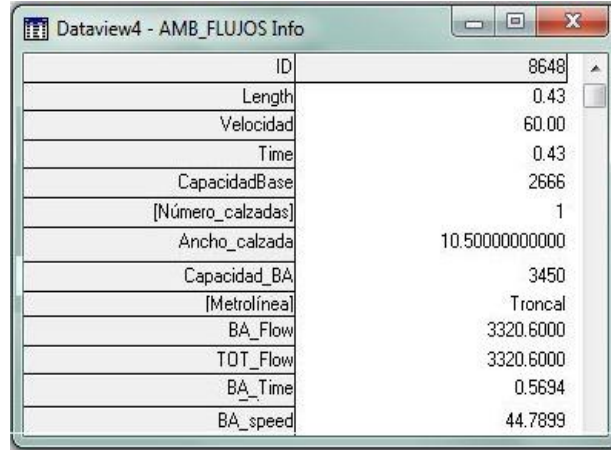


Variable	Valor
ID	21733
Length	0.18
Velocidad	25.00
Time	0.43
CapacidadBase	1600
[Número_calzadas]	1
Ancho_calzada	6.40000000000
Capacidad_BA	825
BA_Flow	780.6667
TOT_Flow	1042.6667
BA_Time	0.6713
BA_speed	16.0130

Los resultados que apreciamos para la ruta de la vía conocida como la carretera antigua no son más adelantadores, y es que si miramos que los datos en las anteriores tablas encontramos un aumento en el flujo del 93.52%, pasando de 403.40 veh/h a 780.66 veh/h, en cuanto a la variación de la velocidad se registra una descenso del 16.013% de la velocidad promedio en esa ruta.

9.2 ESCENARIO ACTUAL VS DPC

Figura 29. Tabla de resultados TransCAD Fase II y III



Variable	Valor
ID	8648
Length	0.43
Velocidad	60.00
Time	0.43
CapacidadBase	2666
[Número_calzadas]	1
Ancho_calzada	10.50000000000
Capacidad_BA	3450
[Metrolínea]	Troncal
BA_Flow	3320.6000
TOT_Flow	3320.6000
BA_Time	0.5694
BA_speed	44.7899

Si comparamos los resultados de la tabla anterior con la Figura No. 15 (Tabla de resultados TransCAD) datos hallados para la situación actual vemos un aumento significativo en la velocidad del flujo sobre el Viaducto García Cadena pasando de 16.836Kph a 44.79Kph.

10. COMENTARIOS

1. Se pueden presentar errores en la toma de datos, o en la calibración d los modelos que afecten los resultados obtenidos.
2. Es importante resaltar que la capacidad de las rutas alternas puede verse afectada por las condiciones actuales, como por ejemplo el estado del pavimento, el nivel de servicio entre otros.

11. CONCLUSIONES

- ✓ El presente proyecto demuestra la importancia de utilizar modelos de simulación debido a la cantidad de escenarios, rutas y decisiones que pueden ser adoptadas por los usuarios.
- ✓ Se deben diseñar que den solución para los usuarios que desean ir a sus destinos, estas rutas podrían irse modificando en el transcurso de las fases descritas anteriormente.
- ✓ La modelación del escenario actual mostro una gran similitud con lo observado en campo, en cuanto a velocidad y congestión de este tramo vial.
- ✓ Durante el proceso constructivo se observó una gran disminución de las velocidades en toda la zona de influencia del proyecto, afectando la movilidad en toda la ciudad.
- ✓ Se deben diseñar otras soluciones que ayuden a reducir el gran impacto que se producirá durante el proceso constructivo, como por ejemplo modalidades Pico y Placa que abarquen mayor cantidad de vehículos públicos y particulares, además de presencia permanente de autoridades del tránsito que ayuden a agilizar el flujo vehicular, impidiendo imprudencia de los conductores.
- ✓ Al aumentar la capacidad, aumenta el transito atraído sobre el Viaducto García Cadena, es por ello que los resultados arrojan una mejoría en la movilidad pero aun así persiste un déficit en la movilidad.

- ✓ Además de la ampliación del tramo Viaducto García Cadena – Puerta del Sol, se requiere de más infraestructura vial en otras partes de la ciudad para ayudar la actual problemática de movilidad que se presenta en toda la ciudad.

CURRÍCULUM

Yerly Fabián

MARTINEZ ESTUPIÑAN

Ingeniero Civil M Sc

Profesor Planta, Esc. de Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

yerfamar@uis.edu.co

Gustavo Adolfo

RODRIGUEZ SANGUINO

Estudiante, Escuela de Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

tavo_adolfor256@hotmail.com

BIBLIOGRAFÍA

- [1]** Parque Automotor del área creció un 12,5% - Vanguardia Liberal, Feb 05/12
- [2]** Así cambio en ambiente de Bucaramanga en 10 años – Vanguardia Liberal, Feb 25/13
- [3]** Estudio de Toma de Velocidades – Grupo de Investigación GEOMATICA; Marzo de 2013
- [4]** Definen los Diseños del tercer carril – Vanguardia Liberal, Dic 31/12
- [5]** Ni un minuto ha perdido el Gobierno de Bucaramanga, en su propósito de construir el tercer carril para la ciudad - Prensa de la Alcaldía de Bucaramanga
- [6]** Secretaria de Infraestructura de Bucaramanga
- [7]** Expertos debaten proyectos para el “García Cadena” – Vanguardia Liberal, May 16/12
- [8]** Plan de Manejo de Trafico – MetroPlus S.A 2009
- [9]** TransCAD – Caliper Corporation; www.caliper.com/transcad/objetos.htm
- [10]** Modelos de Transporte – Juan de Dios Ortúzar & Luis G. Willumsen: Universidad de Cantabria 2008
- [11]** Grupo de investigación Geomatica