

**ANÁLISIS DEL IMPACTO EN LA MOVILIDAD VEHICULAR POR LA
IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS BASADAS EN SISTEMAS
INTELIGENTES DE TRANSPORTE, UN CASO DE ESTUDIO PARA LA
CIUDAD DE BUCARAMANGA MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS DE
SIMULACIÓN.**

**FABIAN EDUARDO CAMACHO TOLOZA
JORGE LEONARDO TROUCHON OLIVARES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2015

**ANÁLISIS DEL IMPACTO EN LA MOVILIDAD VEHICULAR POR LA
IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS BASADAS EN SISTEMAS
INTELIGENTES DE TRANSPORTE, UN CASO DE ESTUDIO PARA LA
CIUDAD DE BUCARAMANGA MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS DE
SIMULACIÓN.**

**FABIAN EDUARDO CAMACHO TOLOZA
JORGE LEONARDO TROUCHON OLIVARES**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de:
Ingeniero Civil**

**Director
YERLY FABIAN MARTINEZ
Msc Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2015**

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida y por guiarme en cada paso que doy, por fortalecerme e iluminarme cada vez que lo necesitaba y por poner en mi camino a personas que sirvieron de apoyo y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi familia que gracias a ellos soy lo que soy ahora, a mi madre, mi abuela y mi tía por darme la oportunidad de ser profesional y guiarme a cada momento.

A Paola Ariza y a mi hijo Emanuel que son mi fortaleza para seguir adelante y no decaer en esos momentos de angustia, por ese gran apoyo y comprensión, amor cariño y paciencia que me brindan día a día.

Finalmente a mis profesores, gracias por su tiempo, por toda la sabiduría que me transmitieron en el desarrollo de mi formación profesional, especialmente al el director de la tesis quien con su conocimiento y apoyo nos supo guiar en el desarrollo de la presente tesis desde el inicio hasta su culminación.

Jorge L. Trouchon

Agradezco inmensamente a Dios, porque jamás me abandonó y me dio la fuerza, la sabiduría y la perseverancia para no desfallecer ante las dificultades q se presentaron es este largo camino, sin él nada de esto habría sido posible.

Dedico este gran logro a Maria Edilma Camacho Diaz, a Martha Toloza Rojas y a Bernarda Diaz de Camacho, las mujeres que has sido mis pilares principales que con sacrificio, esfuerzo y empeño han dado todo por mí, han estado a mi lado apoyándome, educándome, dándome consejos, siendo la luz que guía mi camino.

A Luis Eduardo Camacho Diaz (Q.E.P.D), mi padre, el hombre q lo dio todo por mí en el tiempo q tuve el honor de tenerlo a mi lado, del que aprendí muchísimas cosas, el que dejó a un lado sus sueños para ayudarme a cumplir los míos.

A nuestro director el Ing. Yerly Fabian Martinez, quien nos guio y apoyo con su conocimiento, que nos tuvo muchísima paciencia y nos colaboró inmensamente en el desarrollo de este proyecto.

A mis amigos, los cercanos que son muchos y no voy a nombrar porque no quisiera dejar a ninguno de lado, y los no tan cercanos q también son muchos, bueno a todos ellos que me apoyaron en momentos difíciles, con quienes compartí momentos agradables e inolvidables de los cuales quedaron anécdotas que no se olvidaran con el pasar de los años.

Por ultimo agradezco a todas las personas que fueron parte directa e indirecta de este gran sueño q se cumple.

Fabián Eduardo Camacho Toloza.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a:

Msc. Yerly Fabian Martinez, por el apoyo y orientación en todo el desarrollo del proyecto.

Al grupo de Geomatica, por facilitarnos el software Transmodeler y la información necesaria para desarrollar el presente trabajo.

La Universidad Industrial de Santander, los profesores de ingeniería civil y a todas aquellas personas que hicieron parte de nuestra formación profesional.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. CARACTERIZACIÓN DEL CORREDOR	18
1.1 CARRERA 21 CON AVENIDA ROSITA	19
1.2 CARRERA 21 (ENTRE LA CALLE 45 Y LA AVENIDA ROSITA)	19
1.3 CARRERA 21 CON CALLE 45	19
1.4 CARRERA 21 CON CALLE 41	20
1.5 CARRERA 21 CON CALLE 39	20
1.6 CARRERA 21 CON CALLE 37	20
1.7 CARRERA 21 CON CALLE 36	21
2. ALTERNATIVAS PLANTEADAS COMO MITIGACIÓN DEL IMPACTO NEGATIVO DE LA CONGESTIÓN EN LA MOVILIDAD VEHICULAR.	23
2.1 RADARES DE VELOCIDAD	23
2.2 PANELES DE MENSAJERÍA VARIABLE	25
2.3 RASTREADORES CON GPS	27
2.4 CÁMARAS DE CIRCUITO CERRADO DE TELEVISIÓN	29
2.5 SISTEMAS INTELIGENTES DE SEMÁFOROS	31
3. ANÁLISIS DE LA ALTERNATIVA A APLICAR EN EL CORREDOR DE ESTUDIO.	34
4. SEMAFOROS INTELIGENTES COMO HERRAMIENTA DE MITIGACION DEL IMPACTO CAUSADO EN LA MOVILIDAD POR LA CONGESTION VEHICULAR.	36

4.1 CALIBRACIÓN DEL MODELO	36
5. CONCLUSIONES.	38
BIBLIOGRAFÍA	40
ANEXOS	44

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Corredor de estudio	19
Figura 2. Radar de velocidad	24
Figura 3. Panel de mensajería variable	26
Figura 4. Localizador GPS	27
Figura 5. Circuito cerrado de TV	30
Figura 6. Semáforo inteligente	31

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Conteos de vehículos <i>de 1:00 p.m. a 2 p.m. (horario en el que aumenta el flujo vehicular debido a que las personas regresan a su lugar de trabajo).</i>	21
Tabla 2. Tasa de crecimiento anual corredor de la carrera 21	22

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Registro Fotográfico	44
Anexo B. Procedimiento llevado a cabo para el proceso de modelación utilizando el Software Transmodeler	48
Anexo C Matrices Origen/Destino de los conteos realizados desde la carrera 21 con avenida la rosita hasta la carrera 21 con calle 36, ingresados en TRANSMODELER	55
Anexo D <i>Delay</i> que arroja el modelo cuando se simula con la actual red de tráfico el cual muestra los nodos (ID)	57
Anexo E Malla vial del corredor de estudio	59
Anexo F Tiempos totales de viaje tanto para el tramo AB como para el tramo BA	60

RESUMEN

TÍTULO: ANÁLISIS DEL IMPACTO EN LA MOVILIDAD VEHICULAR POR LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS BASADAS EN SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE, UN CASO DE ESTUDIO PARA LA CIUDAD DE BUCARAMANGA MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN

AUTORES: FABIAN EDUARDO CAMACHO TOLOZA
JORGE LEONARDO TROUCHON OLIVARES**

PALABRAS CLAVES: Sistemas Inteligentes de Transporte, corredor vial, movilidad, red vehicular, intersección vial, circuito cerrado de TV, semáforos inteligentes.

En este artículo se presenta la segunda fase de la investigación ESTUDIO DE ALTERNATIVA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERSECCIÓN VIAL INTELIGENTE EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA, donde se pretende validar si la implementación de una de las alternativas presentadas en dicha investigación ayudaría en la mitigación de la congestión vehicular que se presenta a diario en la ciudad de Bucaramanga. En la presente investigación se toma como caso de estudio el corredor vial constituido por la carrera 21 entre Avenida la Rosita y la calle 36 en la ciudad de Bucaramanga. Incluye la caracterización del corredor en el cual se realizaron visitas de campo para determinar el estado de la infraestructura vial, un análisis basado en la revisión inicial de la literatura y artículos de investigación que permitan establecer una serie de alternativas que generen impacto en la movilidad vehicular. La alternativa implementada son los SEMAFOROS INTELIGENTES y con la ayuda del software TRANSMODELER se modelan los escenarios con las condiciones de movilidad antes y después de la implementación de los semáforos inteligentes para el corredor en estudio. Al final se presenta una comparación de los tiempos de viaje donde se comprueba que la implementación de este sistema de transporte inteligente impacta positivamente en la mitigación de la congestión vehicular.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de ingeniería civil. Director: Msc. Yerly Fabian Martinez

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF THE IMPACT OF THE IMPLEMENTATION OF STRATEGIES BASED ON SMART TRANSPORTATION SYSTEMS ON THE VEHICULAR MOBILITY, A CASE STUDY IN THE CITY OF BUCARAMANGA THROUGH THE USE OF SIMULATION TOOLS*

AUTHORS: FABIAN EDUARDO CAMACHO TOLOZA
JORGE LEONARDO TROUCHON OLIVARES**

Key words: Intelligent Transportation Systems, corridor, mobility, vehicular network, road intersection, closed circuit TV, intelligent traffic lights.

This article presents the second stage of the research “STUDY OF ALTERNATIVE FOR THE IMPLEMENTATION OF AN SMART VIAL INTERSECTION IN THE CITY OF BUCARAMANGA, which is intended to validate if the implementation of one of the alternatives presented in the research, would contribute to the traffic congestion presented every day in the city of Bucaramanga. The current research takes as case study the city road corridor constituted by the 21 Street between La Rosita Avenue and the 36 Street in the city of Bucaramanga. It includes the corridor characterization in which some field trips were carried out in order to determine the state of the road infrastructure, an analysis based on the initial review of literature and research articles in order to establish a series of alternatives generating an impact in the vehicular mobility. The implemented alternative is composed by the SMART TRAFFIC LIGHTS and with the assistance of TRANSMODELER software; scenarios are modeled with the mobility conditions before and after the implementation of smart traffic lights for the researched corridor. Finally, a comparison between the travel times is presented where it is tested out that the implementation of this smart transportation system has a positive impact on the mitigation of traffic congestion.

* Graduation Project

** Physical-Civil Engineering Faculty. Civil Engineering Department. Director: Msc. Yerly Fabian Martinez.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población en todas las ciudades del planeta ha traído como consecuencia el incremento en el uso de automotores provocando un aumento de la congestión y por ende el aumento en la emisión de gases perjudiciales para el medio ambiente, situación que se ha venido agravando con el tiempo asociado a la falta de planeación y la falta de educación vial.

A raíz de dichos problemas las ciudades se han visto obligadas a desarrollar estrategias enfocadas hacia el mejoramiento y optimización de los sistemas de transporte que ayuden a mitigar el impacto negativo que se produce en la movilidad.

Es por esto que ha surgido la necesidad de los sistemas inteligentes de transporte (ITS), tales como: localización y organización de flotas de vehículos, diseño de rutas, semaforización, creación de vehículos inteligentes y la construcción de carreteras inteligentes, para disminuir las congestiones del tráfico, reducir el tiempo normal utilizado por un viajero en sus traslados y aumentar la seguridad vial¹.

Dicho esto y producto de los problemas que presenta la red vehicular en COLOMBIA, es ahí donde la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER (UIS) realiza una primera investigación titulada ESTUDIO DE ALTERNATIVA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERSECCIÓN VIAL INTELIGENTE EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA, que toma como muestra de estudio el corredor vial en la ciudad constituido por la carrera 21 entre Avenida la Rosita y la calle 36,

¹ CINTEL. Movilizando el Transporte con Tecnología. Revista Colombiana de Telecomunicaciones. Vol. 17, No. 57, Agosto-Octubre 2010, pp. 9.

donde se plantearon algunas alternativas, como Radares de Velocidad, Paneles de Mensajería Variable, Rastreadores con GPS, Cámaras de Circuito Cerrado de Televisión y Sistemas Inteligentes de Semáforos, para poder darle solución a una problemática que ha venido empeorando con el transcurrir del tiempo².

Con base en lo anterior, surge la necesidad de esta investigación, donde se busca darle continuidad al estudio mencionado en el párrafo anterior, buscando validar si la implementación de una o varias de las alternativas mencionadas anteriormente repercutiría en un impacto positivo en la mitigación de los problemas de movilidad en el sector de estudio.

² SILVA C. Estudio de Alternativas para la Implementación de una Intersección Vial Inteligente en la Ciudad de Bucaramanga [Tesis de Pregrado]. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2014.

1. CARACTERIZACIÓN DEL CORREDOR

El corredor de estudio comprendido desde la carrera 21 con Avenida la Rosita hasta la carrera 21 con calle 36 de aproximadamente 5 cuadras, en sentido sur-norte, está ubicado en una zona comercial en el centro de la ciudad de Bucaramanga. Al realizar varias visitas de campo se observa que este eje vial cuenta con 3 carriles de circulación unidireccional que permite el ingreso al centro de la ciudad de vehículos provenientes de Girón, el sur de Bucaramanga y la zona de Cabecera, se caracteriza por un flujo masivo de automóviles (taxis y autos particulares), motocicletas, busetas y camiones especialmente en los intervalos de 7 a 8 am y de 1:30 a 3:30 pm debido a que son las horas donde gran cantidad de personas se desplazan hacia el centro de la ciudad. También se observa que algunos sectores presentan deterioro como agrietamiento y descascaramiento en el pavimento, que según indica el manual para la inspección visual de pavimentos flexibles esto es debido a las grandes variaciones de temperatura, humedad y a la posible falta de adherencia del asfalto con los agregados por una deficiente dosificación de asfalto en la mezcla³, generando en la infraestructura vial congestión vehicular. (Ver Figura 1)

La señalización vertical y horizontal (señal de pare, prohibido parquear, cebras) se encuentran en buenas condiciones, por otra parte los semáforos funcionan correctamente excepto el semáforo ubicado en la carrera 21 con calle 45 al cual no le funciona la luz amarilla.

³ INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá, 2006, cap 1, p 14-15.

Figura 1. Corredor de estudio



A continuación se caracterizan las intersecciones del corredor a estudiar que presentan deterioro en la infraestructura vial: (Ver fotografías Anexo A.)

1.1 CARRERA 21 CON AVENIDA ROSITA

En esta intersección se puede apreciar el agrietamiento y descascaramiento del pavimento.

1.2 CARRERA 21 (ENTRE LA CALLE 45 Y LA AVENIDA ROSITA)

En esta intersección aparte del agrietamiento, hay un hueco de tamaño considerable que no solo está afectando el flujo vehicular si no también el estado de los vehículos.

1.3 CARRERA 21 CON CALLE 45

En esta intersección aparte del agrietamiento y descascaramiento que presenta el pavimento también se observa que el semáforo izquierdo que está en sentido este-oeste tiene una falla en una de sus luces evitando que esta prenda.

1.4 CARRERA 21 CON CALLE 41

En esta intersección no se observa ninguna anomalía en la infraestructura vial.

1.5 CARRERA 21 CON CALLE 39

En esta intersección los semáforos funcionan correctamente, el inconveniente se encuentra en el pavimento, ya que en un sector se presenta una deformación por hundimiento y un agrietamiento.

1.6 CARRERA 21 CON CALLE 37

Dos cosas se observan en este sector, antes de la Cr 21 la Cll 37 es de dos carriles y al pasar la Cr 21 esta cambia a tres carriles. Y el deterioro de la vía se aprecia sobre la Cll 37.

1.7 CARRERA 21 CON CALLE 36

Esta última intersección también presenta fallas de infraestructura vial.

Con base en conteos que realizó la Universidad Industrial de Santander en el año 2009 para determinar el tránsito vehicular en el sector comprendido por la carrera 21 con Avenida Rosita hasta la carrera 21 con calle 36 y con la actualización de conteos realizada como parte de esta investigación el día 03 de febrero de 2015 en algunas de las intersecciones del corredor de estudio, las cuales fueron: la carrera 21 con Avenida la Rosita punto de inicio del corredor de análisis, la carrera 21 con calle 45, la carrera 21 con calle 41 y la carrera 21 con calle 37. (Ver Tabla 1)

Tabla 1. Conteos de vehículos de 1:00 p.m. a 2 p.m. (horario en el que aumenta el flujo vehicular debido a que las personas regresan a su lugar de trabajo).

Autos	Buses(SITM)	Buses	Camiones	Motos
175	13	4	6	129
188	16	7	14	214
221	13	4	7	261
340	14	5	7	518

Tomando como base la actualización de conteos, se calcularon unas tasas de crecimiento anual durante el periodo comprendido entre 2009 al 2015 para todos los vehículos que transitan esa vía y de esta forma poder conocer como ha sido la tendencia de crecimiento del flujo y poder realizar estimaciones de manera adecuada. (Ver Tabla 2)

Tabla 2. Tasa de crecimiento anual corredor de la carrera 21

Año	A	B(SITM)	B	C	M
2015	5.78%	7.26%	3.42%	1.04%	12.42%

Donde se puede observar un incremento en el uso de automóviles, donde el vehículo que más tuvo crecimiento fueron las motos, debido al bajo costo en combustible que ofrece y la reducción del tiempo en la movilidad cotidiana, además que la población ve este modo de transporte como una opción para evitar los problemas de congestión que se vienen generando. Se debe tener en cuenta que por el tramo en estudio circula la ruta P2 del sistema integrado de transporte masivo (SITM) cuyo recorrido inicia en el Barrio la Cumbre hasta la glorieta de San Francisco, que en el 2009 solo circulaba por la carrera 15, lo cual implica una disminución en el flujo de buses de transporte público debido a la implementación del SITM por el corredor de estudio.

2. ALTERNATIVAS PLANTEADAS COMO MITIGACIÓN DEL IMPACTO NEGATIVO DE LA CONGESTIÓN EN LA MOVILIDAD VEHICULAR.

Como se mencionó anteriormente partiendo del trabajo de investigación “ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERSECCIÓN VIAL INTELIGENTE EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA”, donde se plantearon cinco alternativas las cuales son: Radares de Velocidad, Paneles de Mensajería Variable, Rastreadores con GPS, Cámaras de Circuito Cerrado de Televisión y Sistemas Inteligentes de Semáforos; donde se estudiarán cada una de las alternativas por medio de referencias bibliográficas, cuáles han sido los resultados en otras ciudades y si han generado impacto en la movilidad vehicular, para seleccionar la más viable y la que más se adapte al corredor de estudio, luego con la ayuda del software poderla implementar.

2.1 RADARES DE VELOCIDAD

Son dispositivos de alta tecnología, capaces de monitorear por completo la vía, determinar sobre que carril circulan los vehículos y cuál es su velocidad. Proveen evidencia gráfica la cual es posteriormente procesada mediante un software⁴.

⁴ AUTOTRAFFIC Radares de Velocidad. [en línea] Disponible en: <http://autotraffic.mx/radares-velocidad.php> [Citado 11 de abril de 2015]

Figura 2. Radar de velocidad



Fuente: CONSEJOS CONDUCIR radares tramo [en línea] disponible en: http://consejosconducir.racc.es/es/radares_tramo

Todos los radares de velocidad funcionan con el mismo principio, es decir, generan una onda electromagnética en dirección al vehículo o motocicleta, esta rebota y regresa a la antena del radar proporcionando la velocidad de circulación y posteriormente registrando la matrícula de los automotores⁵.

Un ejemplo de este tipo de tecnologías se encuentra en la ciudad de Medellín donde desde febrero de 2014 entraron en funcionamiento dos radares móviles de velocidad, con el fin de que los ciudadanos no excedan los límites permitidos, para evitar accidentes de tránsito y para salvar vidas, ya que un accidente cuya causa sea el exceso de velocidad trae como consecuencia heridas graves o inclusive la muerte. Actualmente se registra un 25% menos de incidentes en los 200 metros alrededor de los radares respecto al 2010, año en el que no se había implementado este sistema⁶.

Otro ejemplo es en Perú en la ciudad del Callao, donde se instalaron veinte nuevos sensores de velocidad en las principales vías con la finalidad de reducir a cero los

⁵ CARROYA Radares de Velocidad: cómo funcionan, mitos y verdades. [en línea] Disponible en: http://www.carroya.com/contenido/clasificar/claves_para_conductores/senales_de_transito/home/ARTICULO-WEB-PTL_NOTA-13067286.html [Citado 11 de abril de 2015]

⁶ MEDELLIN Secretaría de Movilidad implementará dos radares móviles de velocidad para salvar más vidas en las vías. [en línea] Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/movilidad/component/k2/secretaria-de-movilidad-implementara-dos-radares-moviles-de-velocidad-para-salvar-mas-vidas-en-las-vias> [Citado 2 de mayo de 2015]

índices de siniestralidad en la provincia constitucional. Estudios de movilidad realizados por el municipio provincial y otras entidades han detectado la presencia de “puntos negros” (donde se producen accidentes de tránsito), por lo cual consideraron que era necesario tomar acciones preventivas. En ese sentido, se detalló que se tiene previsto instalar estos sensores, principalmente, en la zona de ingreso y salida del Callao. El uso de esta tecnología ha dado muy buenos resultados en las avenidas La Marina, Óscar R, entre otras donde se ha logrado erradicar los puntos negros o zonas de accidentes⁷

2.2 PANELES DE MENSAJERÍA VARIABLE

Son dispositivos de control de tránsito que trabajan con una matriz continua de LED y deben estar ubicados en las principales vías emitiendo información en tiempo real, de letras, símbolos o ambos, los cuales Pueden estar colocados a un lado o sobre la carretera.

⁷ EL COMERCIO Instalarán 20 nuevos sensores de velocidad en principales vías del Callao. [en línea] Disponible en: <http://elcomercio.pe/lima/ciudad/instalaran-20-nuevos-sensores-velocidad-principales-vias-callao-noticia-316268> [Citado 2 de mayo de 2015]

Figura 3. Panel de mensajería variable



Fuente: AESYS paneles de mensajes variables [en línea] Disponible en: <http://www.aesys.com/es/-paneles-de-LED-y-sistemas-de-visualizacion-de-las-informaciones/tr%C3%A1fico/paneles-de-mensajes-variables>

La función de estos dispositivos es brindar información a los usuarios acerca de las condiciones cambiantes a fin de mejorar la operación de la red vehicular, reducir accidentes e informar a los conductores de cambios en la velocidad de conducción, de carriles de circulación o rutas, o simplemente advertir de cambios en las condiciones de tránsito futuras⁸

Para que este tipo de señal tenga credibilidad por parte de los usuarios, es conveniente que la información que se transmita sea verídica y confiable. Algunos de los mensajes que pueden ser mostrados con este tipo de señal son los siguientes:

- Niveles de congestionamiento o retrasos en vías principales.
- Vías alternas para llegar a un destino.
- Vías en mantenimiento y desviación por obras o accidentes⁹.

⁸ ACHA DAZA J, Señales de Mensajes Variables para el Control del Tránsito Vehicular, Instituto Mexicano del Transporte. México, 2002, cap 2, p 5-7.

⁹ INSTITUTO NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRE Manual Venezolano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito,. Venezuela, 2011, cap. 2-5, p 131.

En la Universidad de Minnesota, se realizó la evaluación de la eficacia de los paneles de mensajería variable y los resultados fueron contundentes. El tiempo de viaje se redujo un 22,2% en las horas pico, del mismo modo en las horas no pico el tiempo de viaje se redujo el 12,1%¹⁰.

Otro ejemplo de esta alternativa es el proyecto que manejó la empresa canadiense VER-MAC en San Diego - California - Estados Unidos que consistió en manejar una zona de alta congestión vehicular usando paneles portátiles de mensaje variable. Los antecedentes del proyecto eran los siguientes: La congestión vehicular de ingreso al Holiday Mall se extiende hasta las autopistas 805 y 163 siendo esto un problema de movilidad que ha estado presente por varios años. Adicionalmente, pendientes pronunciadas y puntos ciegos en varias esquinas aumentan la problemática causando esto un alto nivel de accidentalidad en las horas pico y en las temporadas de vacaciones y descuentos. Los resultados que dejó la implementación de dicho proyecto fue un 66% de reducción en accidentes, Reducción de mantenimiento en la vía causado anteriormente por la alta accidentalidad¹¹.

2.3 RASTREADORES CON GPS

Detectar el lugar en que ocurrió un accidente es vital, el apoyo con GPS es crucial para la ubicación del suceso y producir tiempos de respuesta más cortos a la hora de desembotellar los canales¹².

Figura 4. Localizador GPS

¹⁰ LEVINSON David. Effectiveness Evaluation of VMS Using Empirical Loop Detector Data. Universidad de Minnesota, 2002

¹¹ ANDINA TRAFFIC, "Manejo Exitoso de Zona de Alta Congestión de Tráfico con un Sistema Inteligente de Paneles de Mensaje Variable", ITS como Base de Ciudades Inteligentes e Innovadoras. Edición No 10, Marzo de 2013, p 12-13.

¹² LOCALIZADOR GPS TRACKER Rastreador GPS. [en línea] Disponible en: <http://localizadorgpstracker.com.mx/rastreador-gps> [Citado 12 de abril de 2015].



Fuente MIRAQUECHOLLO: localizadores gps para motos coches y otros vehículos [en línea] Disponible en: <https://miraquechollo.wordpress.com/2014/03/27/localizadores-gps-para-motos-coches-y-otros-vehiculos/>

El localizador o rastreador GPS funciona mediante una red de satélites que se encuentran alrededor del planeta que transmiten señales indicando el posicionamiento¹³.

Existen diversas tecnologías para hacer posible que el sistema de tráfico inteligente sea eficiente, y una de esas viene hacer el sistema de posicionamiento global, porque permite localizar los vehículos y su movimiento en tiempo real, lo cual genera un gran aporte para estudio puesto que la transmisión de la información al usuario en tiempo real es fundamental para la toma de decisiones y constituye una de las aplicaciones que convierte los vehículos y las autopistas en "inteligentes".

En cuanto a la seguridad del conductor, el GPS también tiene aportes importantes, debido a que este sistema va mostrando al conductor común la ruta más apropiada a seguir a través de una red de calles o carreteras interpretadas por el sistema del auto, permitiendo así al conductor dedicarse con mayor atención (completamente) al manejo y la seguridad de su vehículo¹⁴.

¹³ LOCALIZADOR GPS TRACKER¿Para qué usar un localizador GPS? [en línea] Disponible en: <https://localizadorgpstracker.com.mx/blog/consejos/254-para-que-usar-un-localizador-gps> [Citado 3 de mayo de 2015]

¹⁴ Mireille Antichán, José Morán y Steve Núñez. Sistema de Posicionamiento global aplicado al tráfico inteligente para organismos de emergencia. Revista electrónica de estudios telemáticos. Volumen 8 Edición No 2, Año 2009. p 61. [Citado 15 de julio de 2015]

Son varias las experiencias de la aplicación de la tecnología del GPS. Concretamente en Barcelona se está desarrollando un sistema de control de la flota de autobuses urbanos mediante GPS para la mejora de la eficiencia del servicio. Esta experiencia consiste en la instalación de un aparato localizador en los autobuses de la ciudad de manera que reenviando la señal a un centro de control, se pueda saber en todo momento la posición de cada uno de los vehículos de la flota de autobuses. Este sistema permite en primer lugar el control de los vehículos y la gestión de las frecuencias mejorando de este modo la regularidad del servicio. Por otro lado también permite tener informados a los usuarios mediante la instalación de paneles informativos en las estaciones del tiempo de espera que falta hasta la llegada del siguiente autobús¹⁵.

2.4 CÁMARAS DE CIRCUITO CERRADO DE TELEVISIÓN

Es una red conformada por cámaras de video operadas desde el centro de control que permiten el monitoreo visual en cualquier escenario, visualizando las diferentes situaciones anómalas que se presenten constantemente y adelantándose a los hechos, logrando tener una reacción inmediata y adecuada¹⁶.

Desde los mismos centros se determina la inclinación o enfoque de las cámaras. Así se obtiene un video de vigilancia en tiempo real el cual es supervisado por personal humano calificado a cargo del centro de control quienes están en contacto permanente con los agentes de tránsito para la atención oportuna de los incidentes.

¹⁵ UPCOMMONS Sistemas de información aplicados al transporte. [en línea] Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6313/10/09.pdf> [Citado 4 de mayo de 2015]

¹⁶ STBG Circuito Cerrado de Televisión CCTV. [en línea] Disponible en: www.stbg.webs.tl [Citado 11 de abril de 2015]

En Medellín el circuito cerrado de TV (CCTV) está compuesto por 80 cámaras operadas desde el Centro de Control de Tránsito que permiten el monitoreo visual con el propósito de detectar incidentes que puedan afectar la movilidad. A través de estas cámaras, un equipo humano calificado genera reporte del estado de las vías para la atención más oportuna de incidentes¹⁷.

Figura 5. Circuito cerrado de TV



Fuente: PROCOMIT cctv [en línea] Disponible en <http://www.procomit.cl/cctv/>

La finalidad de esta alternativa consiste en monitorear constantemente el corredor vial, realizar seguimiento a los incidentes de tránsito, brindar apoyo a los agentes de tránsito en la atención de incidentes y obtener datos en tiempo real para informar a la ciudadanía y realizar estudios de comportamiento vial¹⁸.

Estudios a nivel mundial demuestran que en las zonas de influencia de las cámaras se reducen los accidentes de tránsito entre un 20% y un 25%, además la atención de los incidentes permite obtener una reducción de los tiempos de respuesta promedio equivalente al 16,4%. Las mejoras en los tiempos de respuesta también generan beneficios importantes para la productividad de la

¹⁷ MEDELLIN Cámaras de CCTV. [en línea] Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/simm/camaras-de-circuito-cerrado> [Citado 4 de mayo de 2015].

¹⁸ MEDELLIN Sistema inteligente para la movilidad de Medellín. [en línea] Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/simm/11-sistema-inteligente-de-movilidad/3-sistema-inteligente-de-movilidad> [Citado 15 de julio de 2015].

ciudad, En el Urban Mobility Report 2010 de USA se menciona lo siguiente: Se ha identificado que los incidentes de tránsito son el principal factor para el incremento de la congestión en USA, aportando un 25% del tiempo adicional de viaje¹⁹.

2.5 SISTEMAS INTELIGENTES DE SEMÁFOROS

- ¿Qué es un semáforo?

Un semáforo es un dispositivo de señalización posicionado en las intersecciones de las calles para controlar o regular el tránsito vehicular.

- ¿Qué es un controlador de semáforos?

Es un aparato electrónico que regula el tráfico de vehículos en las intersecciones de camino, cambiando los patrones de luz que se muestran en un semáforo de acuerdo a una programación de tiempos y secuencias.

- ¿Qué es un sensor?

Es un dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, etc.

Figura 6. Semáforo inteligente

¹⁹ ANDINA TRAFFIC, “ITS como base de ciudades inteligentes e innovadoras”, ITS como Base de Ciudades Inteligentes e Innovadoras. Edición No 10, Marzo de 2013, p 91.



Fuente: NGENESPAÑOL [en línea+ disponible en: <http://www.ngenespañol.com>]

- ¿En qué consiste un semáforo inteligente?

El semáforo consistirá en la combinación de los tres componentes ya explicados anteriormente, al controlador se le programara de tal manera que reaccione de acuerdo a las señales que le manden los sensores (de presencia, proximidad, visión artificial) estos sensores detectaran la presencia de carros que están esperando de un lado y del otro, mandándole la señal al controlador para que cambia de luz verde a roja o viceversa; dando los tiempos de acuerdo al número de carros que estén esperando en la intersección así dará prioridad dándoles más tiempo de luz verde donde este el mayor número de carros esperando; a su vez los semáforos estarán conectados entre sí por medio de una máquina que procesara la información enviada por los sensores, previendo a los demás controladores de semáforos para que sepan que viene un gran número o un número pequeño de vehículos²⁰.

Al implementar esta alternativa se generaría un impacto positivo en el corredor ya que este sistema ofrece ventajas al reducir el consumo de combustible y la contaminación ambiental, también permite una mayor dinámica en la intersección, optimizando y ordenando el tránsito. Una muestra de que esta alternativa funciona es el SISTEMA DE SEMAFORIZACION que presento la Universidad Nacional de

²⁰ GRANICH, A. Semáforos Inteligentes. Universidad de Sonora, México. [en línea] Disponible en: <https://docs.google.com/document/d/1xvsngrAZt0C13mN0r861zlpMRyhufifqr28QkQcbF8k/edit?hl=es&pli=1> [Citado 11 de abril de 2015]

San Juan UNSJ y fue premiado por la Asociación Argentina de Control Automático²¹.

Otra investigación que demuestra que los semáforos inteligentes arrojan resultados positivos es la de Sistema de semaforización inteligente en la ciudad de Bogotá implementada para mejorar los tiempos de recorrido del sistema Transmilenio un artículo que se publicó en Bogotá el 22 de abril del 2013 donde lograron determinar que la implementación de esta alternativa mejoraría continuamente el tráfico, se presentó un 17 % de disminución de la longitud de cola vehicular, hubo una mejora de 38,1 % en la velocidad promedio y de 7,8 % en la velocidad máxima promedio, aproximadamente²². Además, ofrece otros beneficios tales como:

- Administrar la red semafórica según el tráfico vehicular.
- Maximizar los desplazamientos por la ciudad, reduciendo los tiempos de recorrido.
- Minimizar las paradas de los vehículos.
- Reducir el tiempo de espera en los semáforos.
- Dar seguridad a los movimientos de los usuarios de la vía y proteger al peatón.

²¹ ARGENTINA INVESTIGA Semáforos Inteligentes. [en línea] Disponible en: http://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?id=478#.VUHba9J_Okq [Citado 13 de abril de 2015]

²² ROGELEZ, F. Sistema de semaforización inteligente en la ciudad de Bogotá para mejorar los tiempos de recorrido del sistema Transmilenio [Tesis de Pregrado]. Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, 2013.

3. ANÁLISIS DE LA ALTERNATIVA A APLICAR EN EL CORREDOR DE ESTUDIO.

En el ámbito interurbano la aplicación de los sistemas inteligentes de transporte por carretera permite hablar de "carreteras inteligentes", es decir aquellas vías con sistemas de información a tiempo real que van a permitir: la regulación y control en los accesos, la captura de datos para medir intensidad, velocidad y la detección automática de incidentes, el control lineal de la vía, el control de entradas a la vía y la información de itinerarios.

Los efectos que proporciona los sistemas de tráfico inteligentes sin duda alguna son positivos, puesto que brindan una mejor calidad de vida a los conductores, disminuyendo el tiempo que tardarían en trasladarse de un lugar a otro, y reduciendo el grado de incertidumbre antes y durante el viaje de una determinada ruta, puesto que reciben información de las condiciones del tráfico en tiempo real²³.

Todas las alternativas planteadas anteriormente ejercen un papel fundamental en el desarrollo de una movilidad eficaz y eficiente, sin embargo debido a las limitaciones del software con el que se realizara el debido modelamiento solo se va a utilizar una de las alternativas mencionadas y son LOS SEMAFOROS INTELIGENTES.

El software a utilizar como herramienta de modelación se llama TRANSMODELER, es un potente simulador de escenarios vehiculares. Este

²³ MIREILLE Antichán, José Morán y Steve Núñez. Sistema de Posicionamiento global aplicado al tráfico inteligente para organismos de emergencia. Revista electrónica de estudios telemáticos. Volumen 8 Edición No 2, Año 2009. p 64. [Citado 15 de julio de 2015]

software es suministrado por la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER UIS y el grupo GEOMATICA de la ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL.

La implementación de los SEMAFOROS INTELIGENTES se hará a lo largo de las cuatro intersecciones semaforicas que contiene el corredor de la Carrera 21 desde la avenida la Rosita hasta la calle 36, el cual se espera que con su implementación este ayude en la optimización de los tiempos de espera en las intersecciones debido al gran volumen vehicular que a diario transita en él.

Con su implementación también se pretende obtener una mayor fluidez vehicular debido a la permanencia de luz verde unos segundos más para priorizar los tramos que más alberguen vehículos en comparación con los tramos que presentan poca concurrencia.

4. SEMAFOROS INTELIGENTES COMO HERRAMIENTA DE MITIGACION DEL IMPACTO CAUSADO EN LA MOVILIDAD POR LA CONGESTION VEHICULAR.

Con la ayuda del SOFTWARE TRANSMODELER se realizó un modelo de la actual red de transito vial por medio de la herramienta Pretimed Sequential Signal Timings el cual me permite ingresarle los tiempos semafóricos que presenta el corredor, (Ver Anexo B) el cual fueron tomados en campo en todas las intersecciones del corredor de estudio.

4.1 CALIBRACIÓN DEL MODELO

Se simula la actual red de tráfico vial para poder revisar si los datos que está tomando en cuenta el programa son coherentes con los datos de los conteos ingresados en las matrices, (Ver Anexo C), llegado el caso que no halla coherencia en los datos se realiza un proceso de calibración el cual consiste en comparar los datos de las matrices ingresadas con los datos que arroja TRANSMODELER (Ver Anexo D), se calcula un porcentaje de error y se verifica que este no se pase del 5%, si se pasa se revisa la malla que se generó (Ver Anexo E) para poder observar si falta o sobra algún giro para de esta manera agregarlo o quitarlo dependiendo el caso.

Este proceso de calibración es necesario realizarlo porque a pesar que se ingresa la matriz con los conteos realizados en campo TRANSMODELER asigna datos y al hacerlo puede que se pierdan datos o que aparezcan más datos en las intersecciones de esta manera se establece si los datos arrojados al simular la actual red de tráfico vial son coherentes con los datos ingresados.

Una vez calibrado el modelo se establece un nuevo escenario, el cual consiste en simular sistemas inteligentes de semáforos por medio de la herramienta *Pretimed Concurrent Signal Timings* el cual permite sincronizar los semáforos y coordinar el tráfico de manera que libere la intersección con mayor flujo vehicular.

Se ejecutó el programa TRNASMODELER para de esa manera poder obtener los resultados de los tiempos totales de viaje que arrojan los dos modelos para así compararlos y analizar si con la implementación de semáforos inteligentes se genera un impacto positivo en la mitigación de la congestión vehicular. (Ver tabla Anexo F).

Comparando los modelos se pudo evidenciar que el impacto de los semáforos inteligentes en la mitigación de la congestión vehicular para el año 2015 fue positivo, donde el tiempo de viaje promedio de los vehículos sin la implementación de dicho sistema inteligente de transporte fue de 8.2 minutos para el tramo AB y 6.1 minutos para el tramo BA y una vez implementado el sistema dio un tiempo promedio de 6.6 minutos para el tramo AB y 5.14 minutos para el tramo BA mejorando el tránsito vehicular en un 19.7% para el tramo AB y 15.3% para el tramo BA.

5. CONCLUSIONES.

En relación al transporte las ciudades de todo el mundo comparten o afronta retos similares, desde los problemas relacionados con la seguridad, el deterioro de la infraestructura, el impacto sobre el medio ambiente y el incremento de la congestión vehicular. Estos eventos han llevado a las administraciones encargadas de la movilidad y el transporte a pensar en soluciones inteligentes, para proporcionar una red de transporte más rentable y una movilidad mejorada para las ciudades.

Los objetivos planteados se llevaron a cabo con éxito, siendo el análisis del impacto en la movilidad por la implementación de semáforos inteligentes uno de los más importantes y que arrojó resultados positivos, demostrando que todas las alternativas son herramientas que en cierta medida colaboran al mejoramiento de la movilidad.

Por otra parte hay que tener en cuenta que si bien la implementación de los semáforos inteligentes mejora la movilidad del corredor de estudio va aumentar el flujo vehicular hacia los otros corredores de la ciudad trasladando la congestión a otros puntos de la misma, por lo cual deberían aplicarse y ejecutarse las alternativas en toda la ciudad.

Una solución eficiente de la problemática, es contar con sistemas de tráfico inteligentes que tomen el control de los semáforos desde su centro de mando, decidiendo el tiempo de cambio de luces y mejorando el flujo vehicular en el corredor, no obstante los sistemas inteligentes de transporte deben poder recomendar destinos pertinentes más cercanos y desvíos más cortos para reducir la congestión vehicular que se esté generando en el corredor.

El análisis del modelo de movilidad calibrado a partir de los datos tomados en los aforos, indica que se producen situaciones donde se presenta congestión en las diferentes intersecciones del corredor, y por tanto, la aplicación de sistemas inteligentes de transporte representa beneficios importantes en la mitigación de la congestión.

BIBLIOGRAFÍA

ACHA DAZA J, Señales de Mensajes Variables para el Control del Tránsito Vehicular, Instituto Mexicano del Transporte. México, 2002, cap 2, p 5-7.

ANDINA TRAFFIC, “ITS como base de ciudades inteligentes e innovadoras”, ITS como Base de Ciudades Inteligentes e Innovadoras. Edición No 10, Marzo de 2013, p 91.

ANDINA TRAFFIC, “Manejo Exitoso de Zona de Alta Congestión de Tráfico con un Sistema Inteligente de Paneles de Mensaje Variable”, ITS como Base de Ciudades Inteligentes e Innovadoras. Edición No 10, Marzo de 2013, p 12-13.

ARGENTINA INVESTIGA Semáforos Inteligentes. [en línea] Disponible en: http://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?id=478#.VUHba9J_Okq [Citado 13 de abril de 2015]

AUTOTRAFFIC Radares de Velocidad. [en línea] Disponible en: <http://autotraffic.mx/radares-velocidad.php> [Citado 11 de abril de 2015]

CARROYA Radares de Velocidad: cómo funcionan, mitos y verdades. [en línea] Disponible en: http://www.carroya.com/contenido/clasificar/claves_para_conductores/senales_de_transito/home/ARTICULO-WEB-PTL_NOTA-13067286.html [Citado 11 de abril de 2015]

CINTEL. Movilizando el Transporte con Tecnología. Revista Colombiana de Telecomunicaciones. Vol. 17, No. 57, Agosto-Octubre 2010, pp. 9.

EL COMERCIO Instalarán 20 nuevos sensores de velocidad en principales vías del Callao. [en línea] Disponible en: <http://elcomercio.pe/lima/ciudad/instalaran-20-nuevos-sensores-velocidad-principales-vias-callao-noticia-316268> [Citado 2 de mayo de 2015]

GRANICH, A. Semaforos Inteligentes. Universidad de Sonora, México. [en línea] Disponible en: <https://docs.google.com/document/d/1xvsngrAZt0C13mN0r861zlpMRyhufifqr28QkQcbF8k/edit?hl=es&pli=1> [Citado 11 de abril de 2015]

INSTITUTO NACIONAL DE TRANSPORTE TERRESTRE Manual Venezolano de Dispositivos Uniformes para el Control de Tránsito,. Venezuela, 2011, cap. 2-5, p 131.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá, 2006, cap 1, p 14-15.

LEVINSON David. Effectiveness Evaluation of VMS Using Empirical Loop Detector Data. Universidad de Minnesota, 2002

LOCALIZADOR GPS TRACKER Rastreador GPS. [en línea] Disponible en: <http://localizadorgpstracker.com.mx/rastreador-gps> [Citado 12 de abril de 2015].

LOCALIZADOR GPS TRACKER ¿Para qué usar un localizador GPS? [en línea] Disponible en: <https://localizadorgpstracker.com.mx/blog/consejos/254-para-que-usar-un-localizador-gps> [Citado 3 de mayo de 2015]

MEDELLIN Cámaras de CCTV. [en línea] Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/simm/camaras-de-circuito-cerrado> [Citado 4 de mayo de 2015].

MEDELLIN Secretaría de Movilidad implementará dos radares móviles de velocidad para salvar más vidas en las vías. [en línea] Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/movilidad/component/k2/secretaria-de-movilidad-implementara-dos-radares-moviles-de-velocidad-para-salvar-mas-vidas-en-las-vias> [Citado 2 de mayo de 2015]

MEDELLIN Sistema inteligente para la movilidad de Medellín. [en línea] Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/simm/11-sistema-inteligente-de-movilidad/3-sistema-inteligente-de-movilidad> [Citado 15 de julio de 2015].

Mireille Antichán, José Morán y Steve Núñez. Sistema de Posicionamiento global aplicado al tráfico inteligente para organismos de emergencia. Revista electrónica de estudios telemáticos. Volumen 8 Edición No 2, Año 2009. p 61. [Citado 15 de julio de 2015]

MIREILLE Antichán, José Morán y Steve Núñez. Sistema de Posicionamiento global aplicado al tráfico inteligente para organismos de emergencia. Revista electrónica de estudios telemáticos. Volumen 8 Edición No 2, Año 2009. p 64. [Citado 15 de julio de 2015]

ROGELEZ, F. Sistema de semaforización inteligente en la ciudad de Bogotá para mejorar los tiempos de recorrido del sistema Transmilenio [Tesis de Pregrado]. Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, 2013.

SILVA C. Estudio de Alternativas para la Implementación de una Intersección Vial Inteligente en la Ciudad de Bucaramanga [Tesis de Pregrado]. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2014.

STBG Circuito Cerrado de Televisión CCTV. [en línea] Disponible en: www.stbg.webs.tl [Citado 11 de abril de 2015]

UPCOMMONS Sistemas de información aplicados al transporte. [en línea]
Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6313/10/09.pdf>
[Citado 4 de mayo de 2015]

ANEXOS

Anexo A. Registro Fotográfico

Carrera 21 con Avenida Rosita





Carrera 21(entre la calle 45 y la avenida Rosita)



Carrera 21con Calle 45



Carrera 21 con Calle 41



Carrera 21 con Calle 39



Carrera 21 con Calle 37



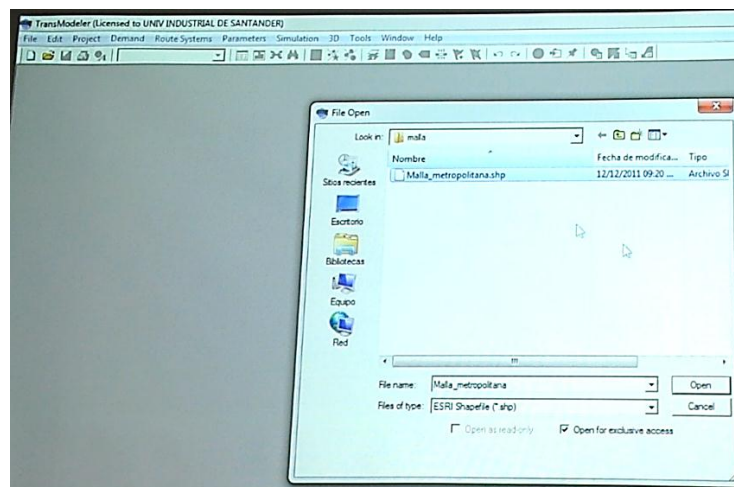
Carrera 21 con Calle 36

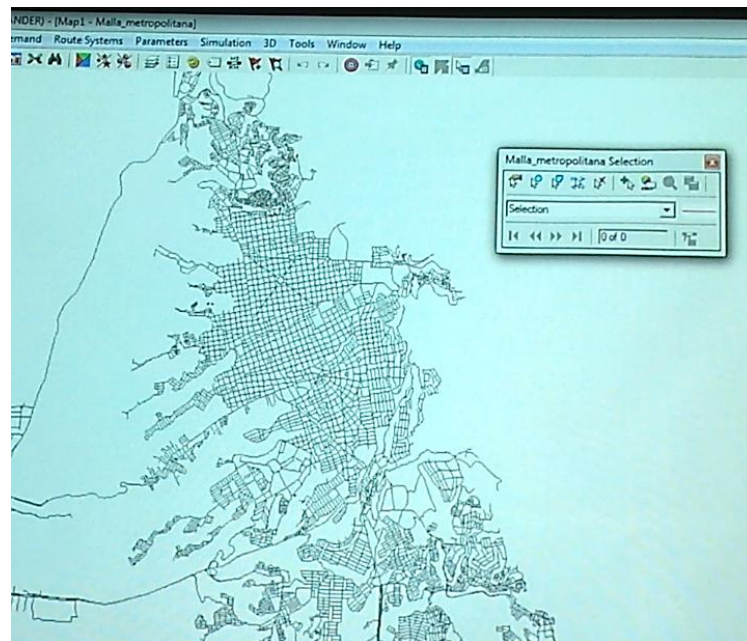


Anexo B. Procedimiento llevado a cabo para el proceso de modelación utilizando el Software Transmodeler

1. Delimitar, Dibujar y Establecer Propiedades y Características del corredor de estudio

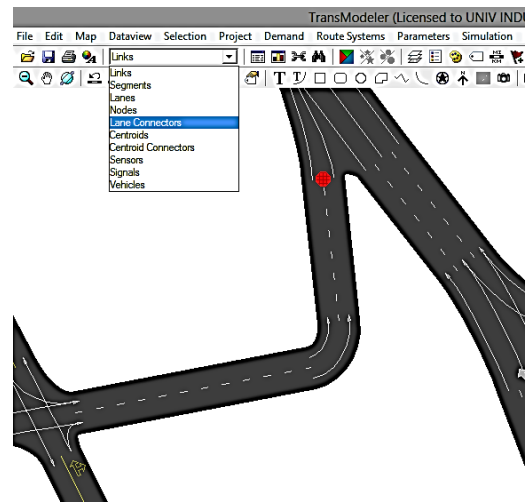
Transmodeler ofrece la opción de iniciar una malla vial desde cero o cargar un archivo q contenga la malla vial sobre la cual se desea trabajar. Para esta investigación se contaba con la malla vial de Bucaramanga y su área metropolitana en un archivo tipo Shape (.shp), así q se trabajó sobre esta misma.



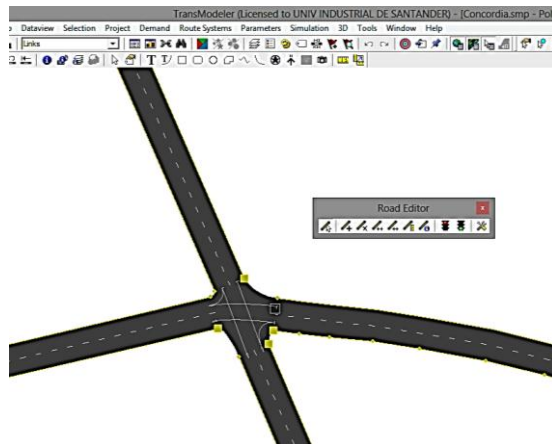


Una vez establecida la malla vial, se crea un nuevo proyecto de *Simulation Project*, para cambiar el tipo de archivo (.shp) a un archivo de simulación con extensión propia de transmodeler, inicialmente se creara un archivo geográfico (.dbd) y posteriormente se guardara con la extensión del archivo de simulación (.smp).

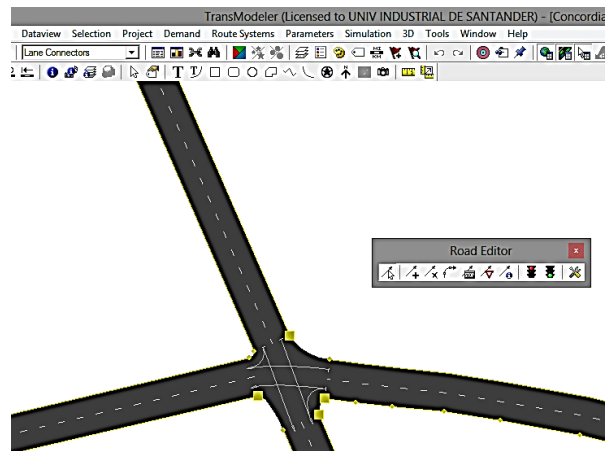
Luego de tener el archivo de simulación se empieza a esquematizar el corredor vial sobre el cual se va a trabajar mediante capas, la capa *link* permite establecer los elementos q representan las vías y la capa *Lane Connectors* es la capa que determina los giros en las intersecciones.



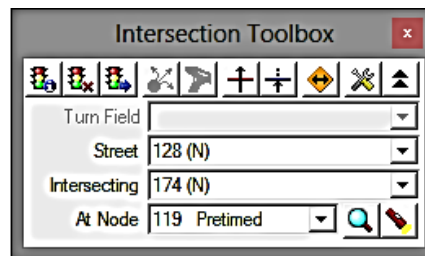
Con la capa *Link* activada se selecciona la herramienta *Road editor*, con la cual se dibuja y se establecen las características de la vía (separadores, número de carriles, sentido y dirección de circulación, cruces, etc).



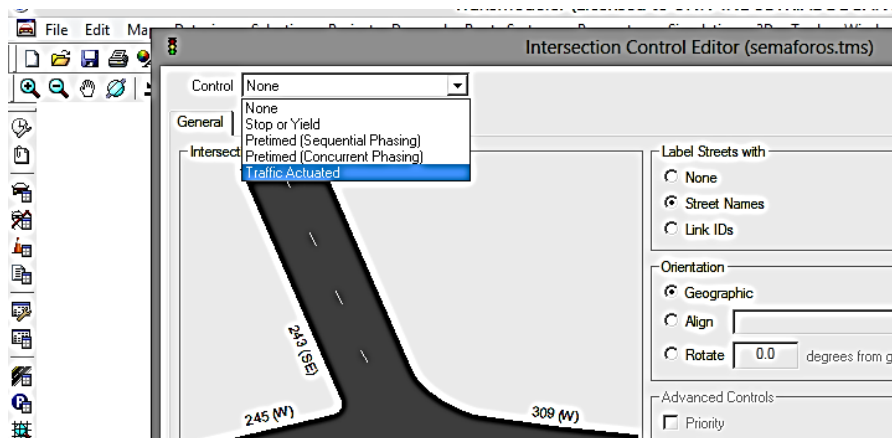
Ahora se establecen los giros permitidos y no permitidos activando la capa *Lane Connectors*



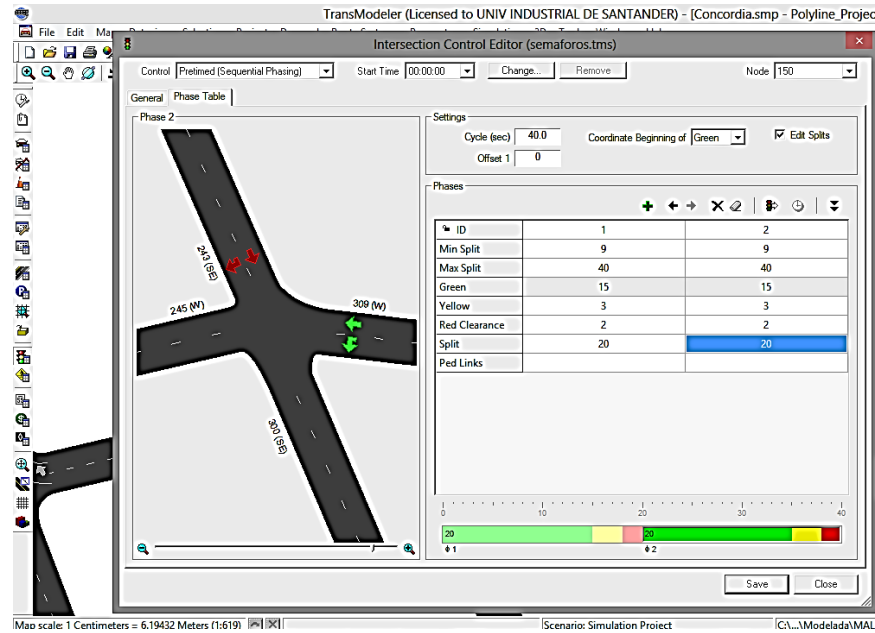
Se procede con la ubicación de semáforos con la herramienta *Intersection Toolbox*



Donde se establecerán el tipo de semáforo (Pare o ceda el paso, Fases Secuencial, Fases Concurrentes ó Trafico Actuado).

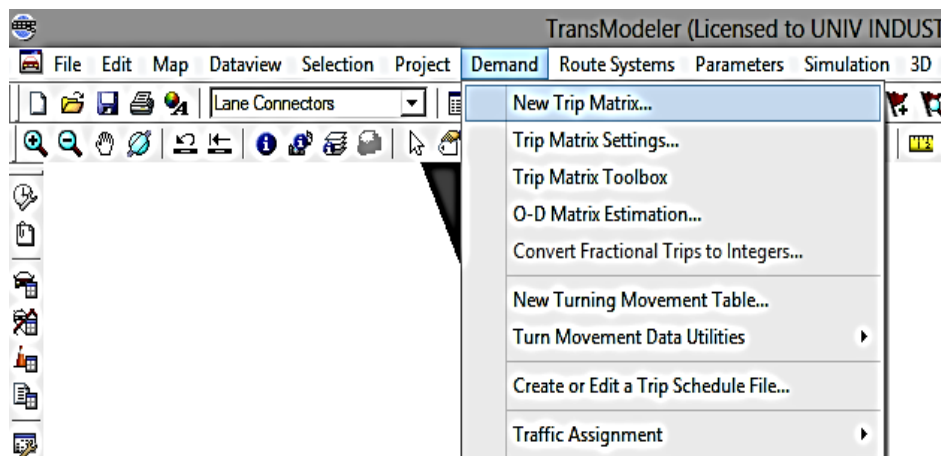


Luego se asigna el número y el orden de las fases (giros permitidos) y los tiempos semafóricos. Estos tiempos que se ingresan son los que se tomaron en campo.

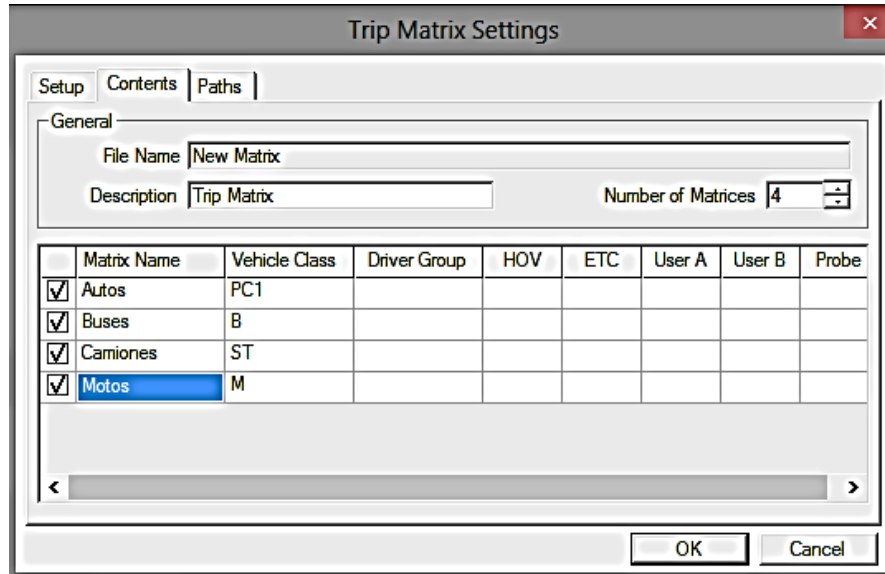


2. Crear la Matriz de Datos (Entrada y salida de vehículos en el corredor de estudio) y Correr Simulacion.

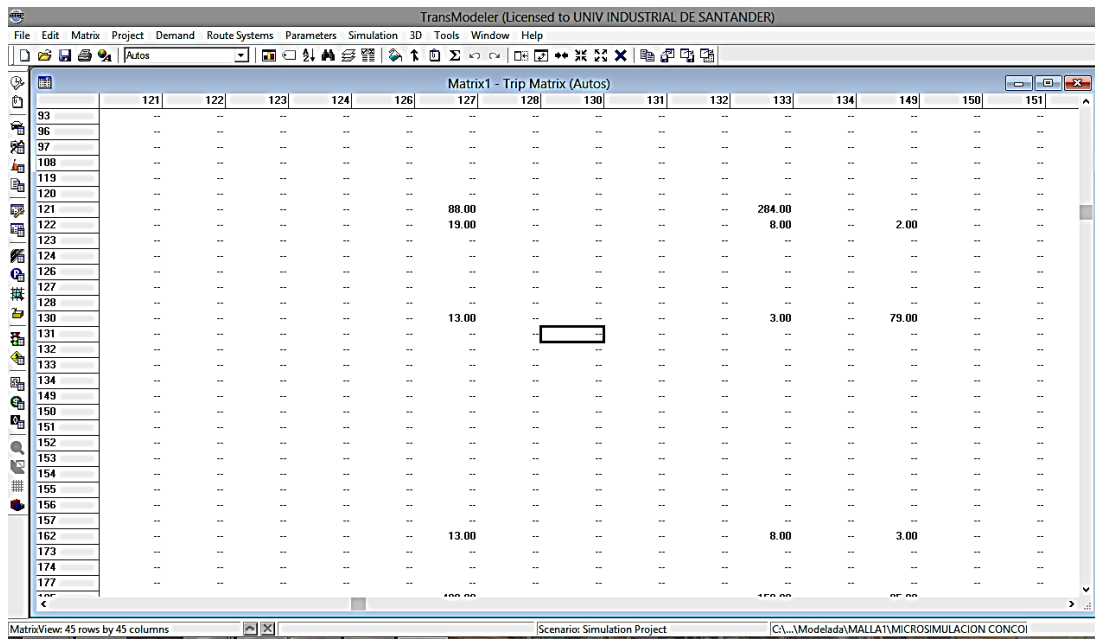
En la barra de herramientas buscar la opción *Demand* y luego hacer click en *New Trip Matrix*



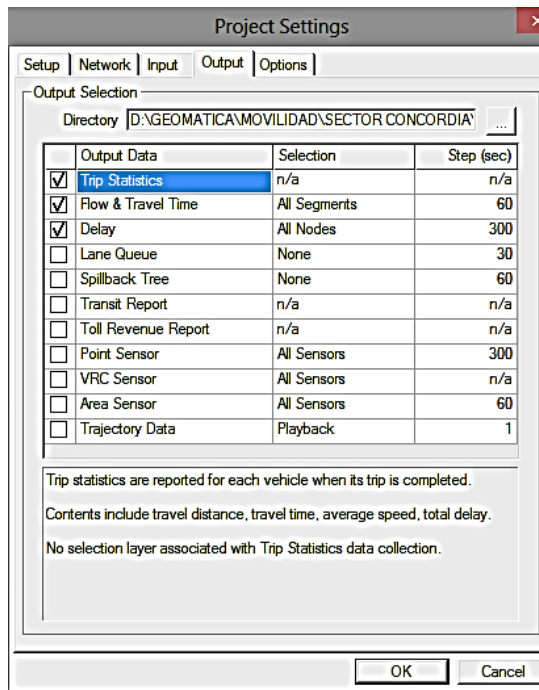
Luego se establecen las sub-matrices de los tipos de vehículos que se van a tomar en cuenta para la modelación y de esta manera el software reconozca los vehículos con los que va a trabajar



Se procede a cargar cada una de las matrices Origen-Destino con los datos que arrojo la proyección del flujo vehicular



Por último, en *Project Settings* se escogen los datos que nos necesitamos que el software arroje al final de la simulación y se procede con la simulación.



Anexo C Matrices Origen/Destino de los conteos realizados desde la carrera 21 con avenida la rosita hasta la carrera 21 con calle 36, ingresados en TRANSMODELER

Estas tablas son las matrices Origen/Destino de los conteos realizados desde la carrera 21 con avenida la rosita hasta la carrera 21 con calle 36, ingresados en TRANSMODELER antes de correr el modelo.

AUTOS							
DESTINO \ ORIGEN	127	133	149	162	195	206	221
121	56	180					
122	12	5	1				
130	8	2	50				
162	8	5	2		85		
185	316	100	60	140	80	159	69
195	12	4	2	293			
196	70	5	2				
206	6						540
221						94	

BUSES							
DESTINO \ ORIGEN	127	133	149	162	195	206	221
121							
122							
130							
162							
185	47						
195							
196	2						
206							22
221						10	

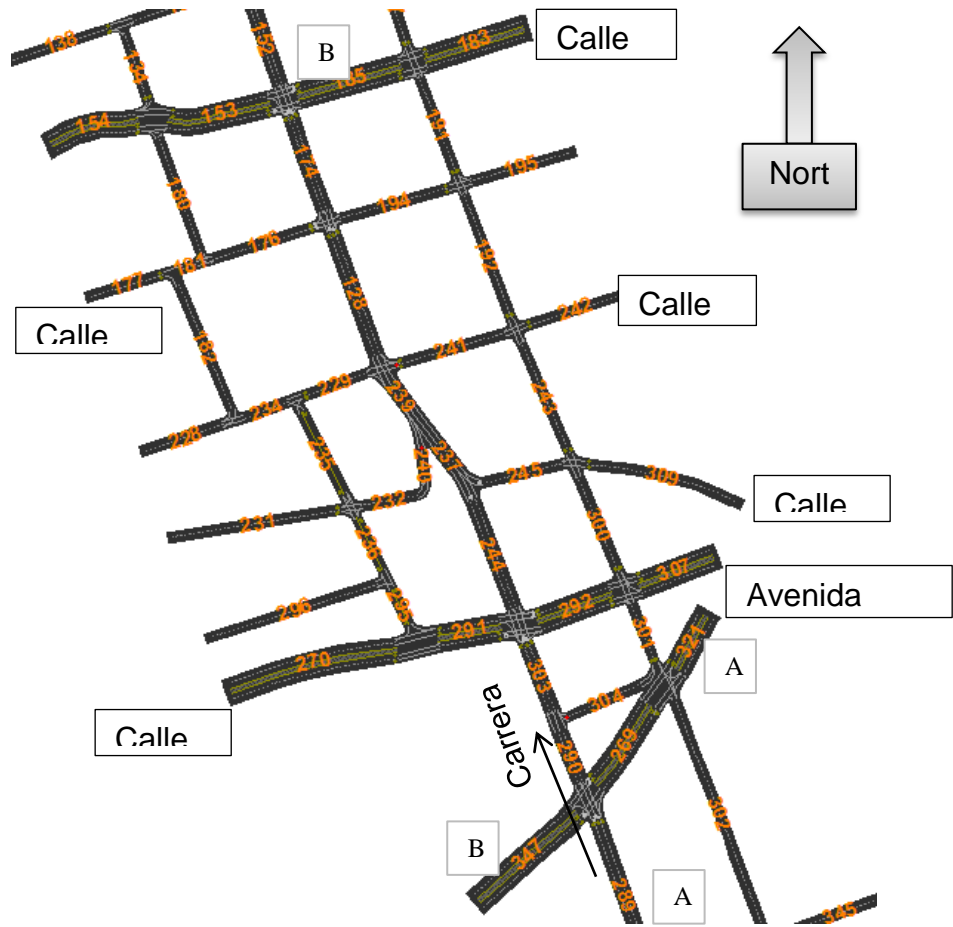
CAMIONES							
DESTINO \ ORIGEN	127	133	149	162	195	206	221
121	3	6					
122	1						
130							
162	1				10		
185	15	2	1	5	5	1	5
195	2	1	1	17			
196	1						
206							3
221						2	

MOTOS							
DESTINO \ ORIGEN	127	133	149	162	195	206	221
121	45	150					
122	17	5	2				
130	12	3	30				
162	4	4	2		90		
185	453	130	50	170	110	141	68
195	20	5	11	172			
196	66	8	3				
206	8						390
221						80	

Anexo D *Delay* que arroja el modelo cuando se simula con la actual red de tráfico el cual muestra los nodos (ID)

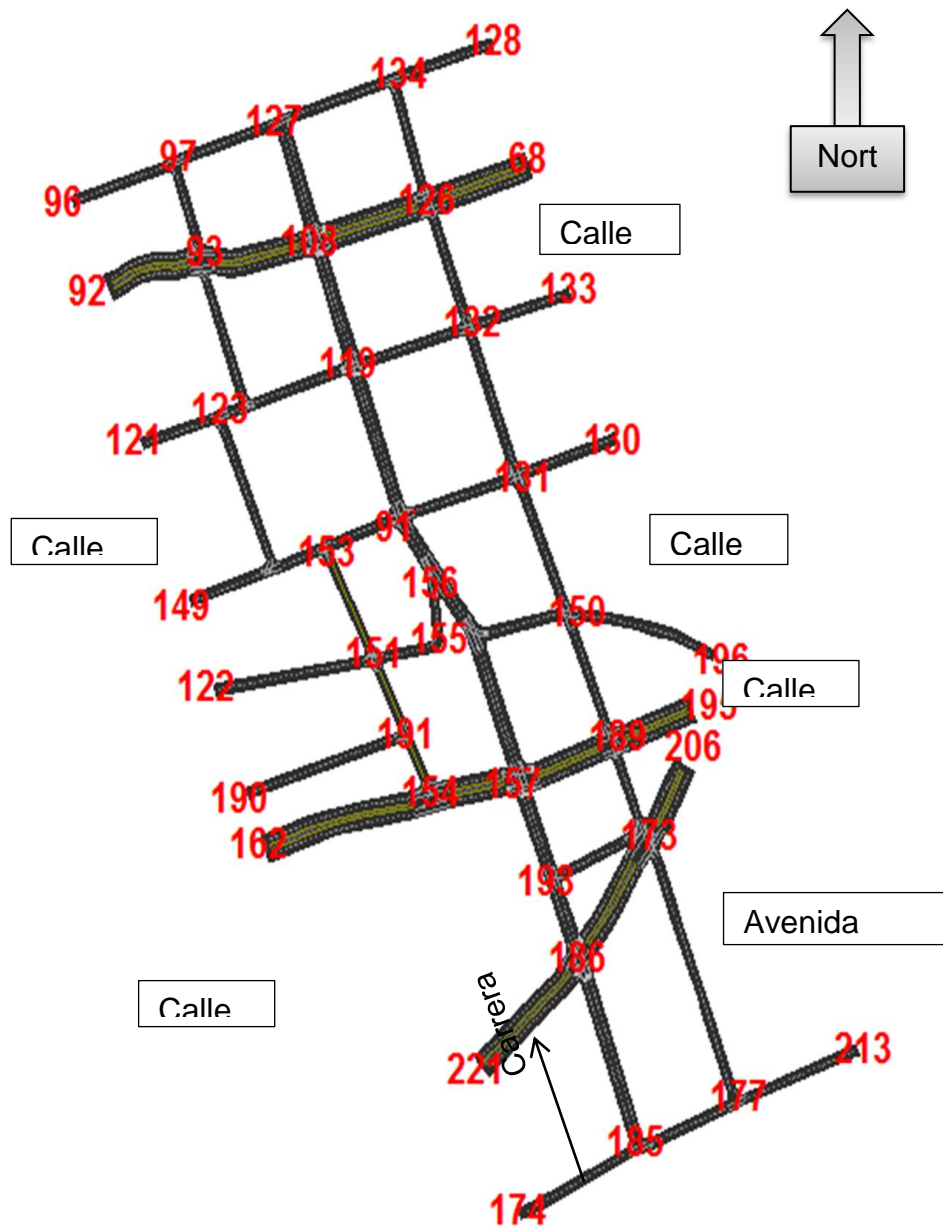
Esta tabla es el *delay* que arroja el modelo cuando se simula con la actual red de tráfico el cual muestra los nodos (ID), permitiendo observar el número de vehículos que TRANSMODELER asigna en cada intersección.

ID	AB Count	BA Count	AB_Dir
185	173	350	W
153	168	362	W
176	488		E
245	176		W
240	47		N
241	113		W
269	1100	516	SW
347	1150	208	SW
289	2331		N
291	844	229	W
292	587	419	W
304	27		SW



Anexo E Malla vial del corredor de estudio

Malla vial del corredor de estudio donde podemos observar los link (ID) Origen/Destino (Ver Anexo C), además de permitir corregir giros también con los link nos permite ubicar los datos que se van a ingresar.



**Anexo F Tiempos totales de viaje tanto para el tramo AB como para el tramo
BA**

En este anexo se puede evidenciar los tiempos totales de viaje tanto para el tramo AB como para el tramo BA el cual se interpretaron calculando cual había sido el tiempo de viaje promedio en las dos tablas y comparando por medio de un porcentaje de error cuanto había sido su impacto, para así poder saber si la implementación de semáforos inteligentes genera un impacto positivo en la mitigación de la congestión.

Sistema Inteligente de Semaforos			Red de Trafico Actual		
ID	AB Avg_Travel_Time	BA Avg_Travel_Time	ID	AB Avg_Travel_Time	BA Avg_Travel_Time
130	18.6		130	28.3	
187	6.4	6.4	187	7.1	6.6
196	7.7		196	7.8	
194	11.3		194	10.9	
154	4.7		154	4.7	
155	5.0	9.3	155	5.0	14.8
156	3.3	3.0	156	3.4	3.0
176	6.8		176	9.0	
178	10.0		178	14.4	
179	4.1		179	4.1	
183	1.0		183	1.0	
185	4.0	3.8	185	4.0	3.9
197	5.7		197	5.8	
230	4.3		230	4.3	
231	5.0		231	5.0	
233	9.4		233	9.5	
234	3.5		234	3.4	
247	7.0		247	9.9	
236	3.2		236	3.2	
237		7.9	237		9.5
238		4.2	238		4.8
239	1.7		239	1.8	

Sistema Inteligente de Semaforos		
ID	AB Avg_Travel_Time	BA Avg_Travel_Time
241	1.4	
242	5.0	
243	10.6	
244	5.7	
246	10.5	
271	8.5	5.6
272	5.8	5.5
291	22.3	
349	5.5	6.4
292	3.2	
293	3.8	5.9
294	7.0	5.2
297		3.6
303	5.6	
305	9.6	
306	9.3	
309	3.0	2.9

Red de Trafico Actual		
ID	AB Avg_Travel_Time	BA Avg_Travel_Time
241	1.5	
242	4.9	
243	9.8	
244	5.9	
246	16.9	
271	25.5	5.6
272	5.9	5.4
291	17.3	
349	5.7	10.9
292	4.3	
293	3.8	6.0
294	12.3	5.5
297		3.7
303	5.5	
305	26.6	
306	9.5	
309	3.1	3.0