

Planteamiento de solución a la congestión vehicular en la intersección de la calle 53 con Av. Caracas, Bogotá D.C.

Solution approach to vehicular congestion at the intersection of 53rd Street with Caracas avenue, Bogotá D.C.

Jonathan Casallas Junca¹, Carolina Segura Guevara².

¹Ingeniería Civil, Jonathan Casallas Junca, Universidad La Gran Colombia, Colombia,
jonathan.casallas@ulagrancolombia.edu.co.

²Ingeniería Civil, Carolina Segura Guevara, Universidad La Gran Colombia, Colombia, dsegura@ulagrancolombia.edu.co.

Resumen- El de investigación plantea la solución de la congestión vehicular que se presenta actualmente en la intersección de la calle 53 con av. Caracas en la ciudad de Bogotá, lo cual es el congestionamiento y truncamiento de los vehículos debido al mal parqueo vehicular alterando los tiempos de espera en la intersección, en la solución se tendrán en cuenta factores vehiculares y tiempos de cambio semafórico. Con las herramienta de soporte, se hace un análisis correspondiente para determinar mediante una modelación en software especializado en tránsito (Synrho 8), y variables dadas por el manual HCM-2010, donde se logra una inspección de la intersección en base a las características que se intervinieron para el estudio, se realizaron aforos vehiculares, levantamiento de la señalización y registros fotográficos. Con esta información se calculó la capacidad y el nivel de servicio de la intersección con el fin de plantear soluciones a la problemática y así seleccionar la adecuada teniendo en cuenta ventajas y desventajas que presenta la intersección. De acuerdo a los tipos de soluciones planteadas, se realizó la modelación en el programa Synrho 8, y de allí se seleccionó la solución más óptima para la problemática planteada. Se llegó a la conclusión que a partir de la solución seleccionada lo cual fue la adecuación de un carril en sentido oriente-occidente a occidente-oriente, con el fin de adicionar un carril al movimiento 3, dejando un carril en el movimiento 4, exclusivo para SITP, obteniendo un nivel de servicio de mejor clasificación para la intersección.

Palabras Clave: Congestión, vehículos, intersección, semaforización, capacidad.

Abstract- The one of investigation raises the solution of the vehicular congestion that is present at the intersection of 53rd street with av. Caracas in the city of Bogota, which is the congestion and truncation of vehicles due to poor vehicular parking altering the waiting times at the intersection, the solution will take into account vehicular factors and times of traffic change. With the support tools, a corresponding analysis is made to determine by means of a modeling in specialized software in transit (Synrho 8), and variables given by the manual HCM-2010, where an inspection of the intersection is obtained based on the characteristics that Were intervened for the study, were carried out vehicular, lifting of the signaling and photographic records. With this information, the capacity and the service level of the intersection were calculated in order to propose solutions to the problem and thus to select the appropriate one, taking into account the advantages and disadvantages of the intersection. According to the types of solutions proposed, the modeling was done in the program Synrho 8, and from there we selected the most optimal solution for the problem raised. It was concluded that from the selected solution which was the adaptation of a lane east-west to west-east, in order to add a lane to the movement 3, leaving a lane in movement 4, exclusive For SITP, obtaining a level of service of better classification for the intersection.

Keywords: Congestion, vehicles, intersection, traffic light, capacity.

I. INTRODUCCIÓN

Se En el presente trabajo de estudio se refiere a la solución de la congestión vehicular que se presenta en la intersección de la calle 53 con Av. Caracas en la ciudad de Bogotá, ya que por causa de aumento en el parque automotor y poblacional de ha venido afectando la movilización en la ciudad.

En este documento se identificó el problema mediante la recopilación de datos tomados in situ para describir el comportamiento tanto a nivel de servicio, capacidad, puntos críticos y características como señalización, semaforización y tiempos semafóricos de la intersección que se presentan en la actualmente.

Se hace el análisis correspondiente con respecto a la información recopilada para determinar mediante una modelación en software especializado en tránsito y mediante variables dadas por el manual de la HCM -2010 (Highway Capacity Manual), para llegar a una solución plausible que permita mejorar la congestión vehicular que se presenta en la intersección

NATURALEZA DEL PROBLEMA

- En la ciudad de Bogotá, durante los últimos años se ha visto un incremento el parque automotor, sea en el sector particular o público y según cifras del año 2014, aproximadamente se encuentran registrados dos (2) millones de vehículos en la ciudad. En el sector automotor reporto un incremento de compra de vehículo del 11% con respecto al 2013 y es una de las cifras más altas registradas en los últimos 5 años, lo cual se explica principalmente por el crecimiento poblacional, económico y territorial de la ciudad. Esto conlleva a que la saturación y congestión vehicular se vea reflejada en las vías principales



Fig. 1 - Saturación y congestión en la intersección Calle 53 con Av. Caracas

Los problemas en el incremento en el parque automotor se incorporan consecuencias como el aumento en los tiempos de viajes, además a esta problemática se le puede agregar las demoras en los tiempos de espera por las semaforizaciones en las intersecciones donde hay más de dos ciclos semafóricos, lo cual no contribuye a la competitividad de la ciudad.

Con respecto a los factores mencionados anteriormente, el problema que sobresale en las intersecciones es el tiempo de demora en los ciclos semafóricos y reducción de velocidad, generando congestión vehicular hasta el punto de saturar las intersecciones.

la intersección de la calle 53 con Av. Caracas, es un punto crítico ya que la congestión vehicular genera saturación en la misma, además los vehículos de uso público tales como los taxis realizan parqueos indebidos, además los tiempos de espera se ven afectados por tiempo de prioridad al sistema de transporte Transmilenio, todo recae en especial al sentido occidente-oriente donde el giro tanto a la derecha como la a izquierda está prohibido, todos estos factores generan cuestiones y es allí donde se deben buscar soluciones adecuadas que puedan mejorar el nivel de servicio.

II. METODOLOGÍA

A. Diseño

La metodología de diseño con la que se va a realizar la investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que por medio de aforos vehiculares se obtendrán datos actuales tales como el volumen vehicular, tiempos de ciclos y fases semafóricas teniendo como fin, lograr obtener el nivel de servicio de la intersección permitiendo así, encontrar la incidencia vehicular en la misma.

La investigación es de tipo comparativo-evaluativo, ya que mediante este se lograra hacer una comparación por medio de la modelación, del estado actual de la intersección y el estado probable que podría llegar a tener a futuro llegando a cumplir el objetivo el cual es proponer una alternativa adecuada para la congestión vehicular.

B. Entorno.

La intersección está ubicada en la ciudad de Bogotá, en la localidad de chapinero, está limitada al norte con la calle 54, al sur con la calle 52, al occidente con la Carrera 15 y al oriente con la Carrera 13, esta intersección se encuentra sobre la calle 53 con Av. Caracas, zona que se estudió.

C. Intervenciones.

1. Caracterizar la zona a evaluar.
2. Realizar inventario de señalización (fotos, planos).
3. Recopilar datos de aforos vehiculares, ciclos y fases semafóricos

4. Determinar la capacidad de la intersección actualmente.
5. Identificar el nivel de servicio en el que se encuentra la intersección.

Herramientas de análisis

Es el máximo volumen de tránsito que logra entrar en una intersección sanforizada por un carril o grupo de carriles, si el semáforo estuviera siempre en verde; esta es expresada como la proporción horaria en unidades de vehículos por hora por carril (Veh/h/Carril).

Se calcula mediante la ecuación establecida por el Highway Capacity Manual (HCM).

$$S = S_o * N * F_w * F_{hv} * F_g * F_p * F_{bb} * F_a * F_{lu} * F_{lt} * F_{rt} * F_{lpb} * F_{rpb}$$

Ec. 2

Dónde:

Intensidad de saturación ideal (So): representa el promedio de flujo para un tráfico que tenga condiciones correspondientes o evaluadas de 1 en cada factor de ajuste, se tiene establecido como estándar un valor de 1900 veh/h/carril.

Número de carriles (N): es la cantidad de carriles que tiene el grupo de carril.

Factor de ajuste por ancho de carril (Fw): Esta establecido como estándar el valor de 3.65 metros y si este valor sobrepasa los 4.8 metros se debe analizar como de dos carriles.

Factor de ajuste por vehículos pesados en el flujo vehicular (Fhv): este factor tiene en cuenta el espacio que ocupa un vehículo pesado en relación con número de paradas diferentes de los vehículos ligeros, y se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_{hv} = \frac{100}{100 + PHV(ET-1)} \quad \text{Ec. 3}$$

Factor de ajuste por inclinación del acceso (Fg): Este factor se mantiene en un rango -6.0% a +10.0% inclinación de los accesos.

Factor de ajuste por existencia de carril de estacionamiento (Fp): este factor tiene en cuenta en efecto de fricción en el aparcamiento de grupo de carril, si no se presenta aparcamiento este valor será igual a 1, y si se presenta el tiempo de maniobra esta sobre un valor de 18 segundo, por lo cual se debe calcular con la siguiente ecuación:

$$F_p = \frac{N-0.1-\frac{18Nm}{3600}}{N} \geq 0.050 \quad \text{Ec. 4}$$

Factor de ajuste por tipo de área (Fa): se tiene en cuenta la ineficiencia relativa de las intersecciones en las zonas comerciales en comparación con aquellas zonas situadas en otros lugares y se debe a la complejidad y congestión en el entorno de zonas comerciales.

Factor de ajuste por utilización de carril (Flu): se calcula para estimar la saturación del flujo por carril o grupo con más de un carril exclusivo, pero si el carril de grupo tiene carriles exclusivos el factor es 1.

Factor de ajuste por giros a la izquierda (Flt): Factor intenta reflejar el efecto de la geometría que tiene esta maniobra, además de mostrar el conflicto que tiene en la intersección cuando se realiza este giro. Se debe tener en cuenta si los giros son protegidos, permitidos o protegidos-permitidos. Se determina mediante la ecuación:

$$F_{lt} = \frac{1}{El} \quad \text{Ec. 5}$$

Factor de ajuste por giros a la derecha en un grupo de carril (Frt): de igual manera que el factor de ajuste a la izquierda se deben tener en cuenta los mismos parámetros y se determina por la ecuación:

$$F_{rt} = \frac{1}{El} \quad \text{Ec. 6}$$

Factor de ajuste por estacionamiento de bus (Fbb): Teniendo en cuenta el impacto de los autobuses en una intersección, la distancia para recoger y descargar pasajeros es entre 76 m y la línea de parada. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_{bb} = \frac{N - \frac{14.4.Nb}{3600}}{N} \geq 0.050 \quad \text{Ec. 7}$$

Los factores de ajuste por movimientos de los peatones a la derecha y a la izquierda (Flpb y Frpb) no se tuvieron en cuenta en el estudio.

(3)

➤ Capacidad vial (C)

Es el número máximo de vehículos o unidades de tráfico que pueden pasar por un punto dado durante un determinado tiempo, el cual depende del diseño geométrico y de los usuarios. Algunos factores que pueden afectar la capacidad vial son; la infraestructura de la vía y la cantidad de vehículos que pueden transitar por la misma. Para establecer la capacidad vial se debe tener la siguiente ecuación:

$$C = N * S \frac{g}{c} \quad \text{Ec. 8}$$

Proporción de verde efectivo es denominado (g/c)

➤ Nivel de servicio (N.s)

Para calcular el nivel de servicio se necesita determinar las demoras que muestra cada grupo de carril que se presenta en unidades de segundo (s), estas demoras se estiman por medio de la ecuación:

$$d = d1 (PF) + d2 \quad \text{Ec. 9}$$

La demora uniforme (d1) se calcula de la siguiente manera:

$$d1 = \frac{g \cdot 0.5 \cdot C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min\left(1, \frac{v}{C}\right)\right]} \quad \text{Ec. 10}$$

Cabe aclarar que C en la ecuación anterior es el ciclo semafórico.

El factor de progresión (PF), la cual está en proporción del tiempo de verde, se determinan por la siguiente ecuación:

$$PF = \frac{\left[\frac{1.33}{\frac{g}{C}}\right]}{1 - \frac{g}{C}} \quad \text{Ec. 11}$$

Por último, el incremento de demora se evalúa y es válido en todos los términos de saturación, por medio de la ecuación:

$$d2 = 900 T \left[\left(\frac{v}{C} - 1\right) + \sqrt{\left(\frac{v}{C} - 1\right)^2 + \frac{8kl\left(\frac{v}{C}\right)}{CT}} \right] \quad \text{Ec. 12}$$

D. Análisis estadísticos.

Fase 1: Capacidad y Nivel de Servicio

- Caracterizar la zona a evaluar.
- Realizar inventario de señalización (fotos, planos).
- Recopilar datos de aforos vehiculares, ciclos y fases semafóricos
- Determinar la capacidad de la intersección actualmente.
- Identificar el nivel de servicio en el que se encuentra la intersección.

Fase 2: Análisis de alternativas de solución

- Establecer gráficamente las alternativas en la intersección.
- Ventajas y desventajas de los 3 tipos de solución
- Seleccionar la alternativa con mayor margen de solución.

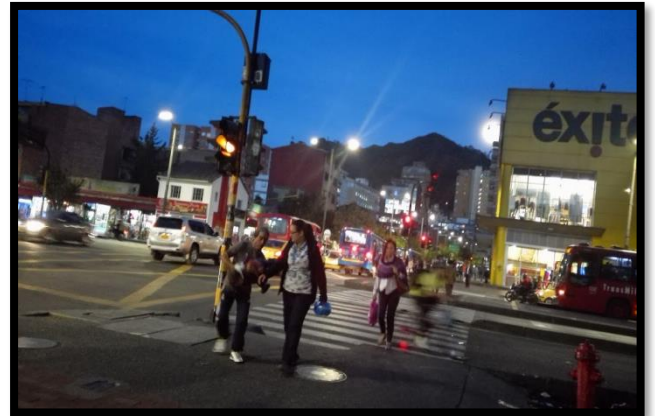
Fase3: modelación a partir de las soluciones:

- Modelación en software Synchro.
- Evaluar el nivel de servicio y capacidad de la intersección actual.
- Comparar el nivel de servicio y capacidad actual con respecto a la proyección a 20 años.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A. Diagnostico

La avenida Caracas es una de las principales vías de la Ciudad de Bogotá; está conformado por ocho carriles, estando 4 carriles en pavimento flexible y 4 carriles en pavimento rígido, 4 carriles operan en sentido Norte-Sur y 4 Sur-Norte, 4 carriles están destinados para el uso exclusivo del sistema de transporte Masivo Transmilenio, la Avenida Caracas está clasificada como malla vial



arterial con calles semaforizadas con giros permitidos.

Fig. 3 Intersección Calle 53 con Av. Caracas

El tipo de intersección que se presenta en la zona de estudio es de 4 ramales, especialmente se clasifica en intersección en cruz, con direcciones perpendiculares en la cual se presenta un cruce entre dos vías importantes como lo es la Av. Caracas y la Calle 53.

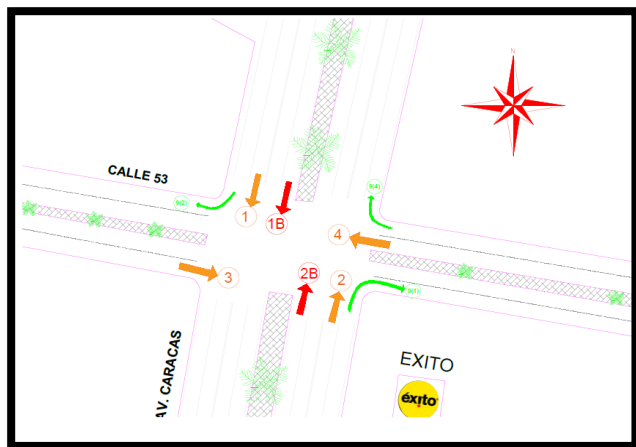


Fig. 5 Dirección de cada movimiento.

B. Inventario de señalización.

Para el estudio se conocieron todas las señales en todos los accesos, tanto señales verticales como horizontales.



Fig. 4 Señalización en la intersección.

A continuación los movimientos permitidos en la intersección de la calle 53 con Av. Caracas.

ACCESO	MOVIMIENTO	CODIGO
NORTE	Directo	1
	Directo TM	1B
	Giro a la Derecha	9(1)
SUR	Directo	2
	Directo TM	2B
	Giro a la Derecha	9(2)
OESTE	Directo	3
ESTE	Directo	4
	Giro a la Derecha	9(4)

Tabla. 1 Movimientos permitidos en la intersección

C. Puntos de conflicto.

Se definieron los puntos de conflicto los cuales son aquellos puntos de trayectoria donde se da la probabilidad accidente en la intersección así están relacionados por maniobras de convergencia, divergencia o cruce.

A continuación los puntos generados por conflicto en la intersección.

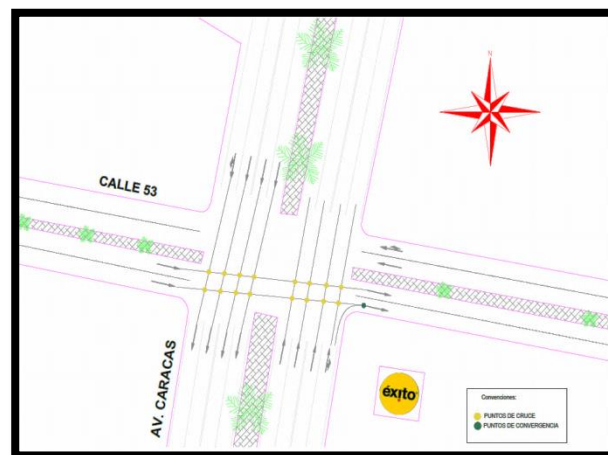


Fig. 6 Puntos de conflicto en la intersección.

D. Semaforización.

En la intersección de estudio, se verificaron in situ la ubicación y duración de los semáforos tanto para los ciclos como para las fases en cada uno de los movimientos, en la siguiente tabla se ilustra los diferentes tiempos de cada semáforo en la intersección.

		TIEMPO (seg)			
		VERDE	AMBAR	ROJO	AMBAR
MOV. 1	1	59,78	2,93	55,67	1,63
	2	59,12	2,55	55,73	1,69
	3	59,18	2,64	55,79	1,67
PROMEDIO		59,36	2,71	55,73	1,66
MOV. 2	1	58,12	2,55	56,20	1,83
	2	58,34	2,90	56,13	1,90
	3	58,78	2,50	56,15	2,00
PROMEDIO		58,41	2,65	56,16	1,91
MOV. 3	1	42,10	2,49	73,10	1,89
	2	43,10	2,80	73,10	1,89
	3	42,20	2,70	73,10	1,89
PROMEDIO		42,47	2,66	73,10	1,89
MOV. 4	1	42,60	2,40	73,05	1,80
	2	42,70	2,80	73,10	1,80
	3	42,50	2,70	73,19	2,00
PROMEDIO		42,60	2,63	73,11	1,87

Tabla. 2 Ciclos semafóricos para cada movimiento.

E. Nivel de Servicio

Descripción de los niveles de servicio		
N.S	Características de la operación	DEMORA (Seg)
A	Baja demora, sincronía extremadamente favorable y ciclos cortos, los vehículos no hacen alto	< 5.00
B	Ocurre con una sincronía y ciclos cortos, los vehículos empiezan a detenerse	5.1 a 15.00
C	Ocurren con sincronía regular y/o ciclos largos, los ciclos en forma individual empiezan a fallar	15.1 a 25.00
D	Empieza a notarse la influencia de congestionamiento, ocasionados por un ciclo largo y/o una sincronía desfavorable, muchos vehículos se detienen	25.1 a 40.00
E	empieza el limite aceptable de la demora; indica una sincronía muy pobre, grandes ciclos y relaciones v/c mayores, las fallas en ciclos son frecuentes	40.00 a 60.00
F	El tiempo de demora es inaceptable para la mayoría de los conductores, ocurren cuando los valores de flujo exceden a la capacidad de la intersección o cuando las relaciones v/c sean menores de 1 pero con una sincronía muy pobre	> 60.00

Tabla. 3 Determinación del N.S

F. Soluciones planteadas

- Cambio en el ciclo semafórico: en esta solución se plantea realizar un cambio para los tiempos en cada una de las fases semafóricas hasta lograr una mejor clasificación de la intersección, se tiene que tener en cuenta que para el sistema masivo de transporte Transmilenio, el cual circula sobre la troncal de la Caracas en sentido norte-sur y viceversa, el tiempo efectivo que se le da por prioridad es mayor que el tiempo efectivo en verde para la calle 53, entonces, para esta solución el cambio realizado en los tiempos es muy poco variable.
- Puente o deprimido para el sistema masivo de transporte Transmilenio, donde solo se hace intervención a la infraestructura sobre la tronca de Caracas y se hace un cambio en los ciclos semafóricos ya que para el sistema masivo de Transmilenio no será necesario el uso de dispositivos semafóricos.
- Contraflujo vehicular en sentido occidente-orient, donde se altera la circulación en los carriles adecuando un carril del sentido oriente-occidente en sentido contrario y dejando solo un carril en este sentido con uso exclusivo para SITP.

En la intersección de estudio se presentan condiciones críticas, establecidas en el documento, las cuales se presentan por puntos de conflictos entre los diferentes movimientos, mayormente se presentan en los

movimientos 3 y 2, ya que se requiere reutilizar los espacios que se tienen en la intersección, los cuales son regulados con los ciclos semafóricos dando un aumento a los tiempos efectivos en el que se pueda obtener un mejor tránsito de vehicular, solucionando así estos puntos críticos, la capacidad y nivel de servicio de la intersección, mejorando los parámetros de calidad en una intersección como lo son rapidez, confort y seguridad para los usuarios.

Mejor alternativa

A partir del análisis realizado, se obtuvieron los niveles de servicios y las demoras de tiempos actuales en la intersección, así, se seleccionó la mejor alternativa definida como contraflujo vehicular en sentido occidente-orient, basado en factores técnicos, económicos (costos) y tiempos de ejecución en su intervención en la infraestructura, a continuación una ilustración de la solución.

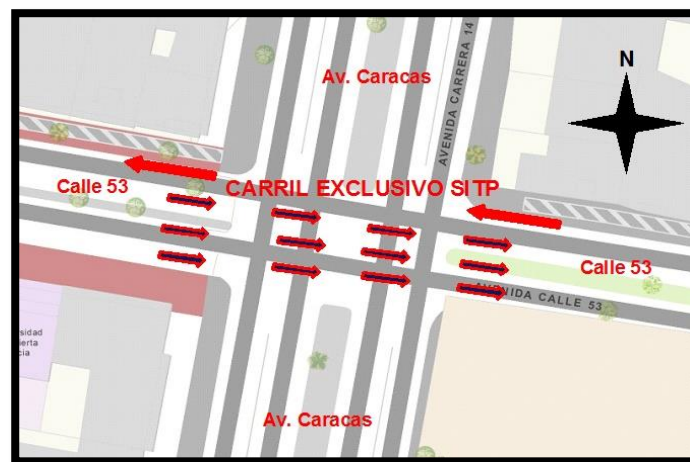


Fig. 7. Contraflujo vehicular sentido occidente-orient

G. Modelación

La modelación se realizó en el software Synchro 8, a continuación se muestra la modelación de la intersección con su nivel de servicio actual, así esta modelación tiene como fin verificar los datos obtenidos por los cálculos.

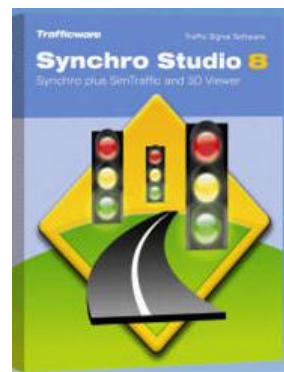


Fig.8. Software Synchro 8

La modelación se hizo respecto al estado actual de la intersección, teniendo en cuenta las variables ya establecidas como los son el nivel de servicio, la capacidad, el volumen máximo de vehículos en hora pico, los aforos por movimientos, la saturación y el ciclo semafórico. A continuación la modelación en el software Synchro 8.



Fig. 9. Volúmenes vehiculares en la intersección

A continuación el nivel de servicio en la intersección a partir de la modelación.



Fig. 10. Nivel Servicio vehiculares en la intersección

IV. CONCLUSIONES

A partir de la solución seleccionada el cual fue la adecuación de un carril en sentido oriente-occidente a occidente-oriente, con el fin de adicionar un carril al movimiento 3, y además de ello que un único carril en el movimiento 4, exclusivo para el SITP, se obtuvo un nivel de servicio de mejor clasificación para la intersección.

Para esta solución no fue necesaria la intervención en los tiempos semafóricos y tampoco una intervención en la infraestructura de la intersección.

A corto plazo el puente vehicular, generara un cambio favorable en la intersección para los usuarios, donde el nivel de servicio actualmente se encuentra en E y con el

punto cambiario a C a corto plazo, y las velocidades de recorrido sobre la intersección de la calle 53 con avenida Caracas, mejora ya que el flujo vehicular del acceso norte y sur de los carriles de Transmilenio está libre de regulación semaforizadas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a todas las personas que nos ayudaron y apoyaron especialmente a la Ing. Daniela Rodríguez, nuestra asesora disciplinar, y al profesor Roy Morales nuestro asesor metodológico, los cuales estuvieron presentes en todo el proceso de nuestro trabajo de grado.

REFERENCIAS

- [1]. BAÑÓN BLASQUEZ, Luis. 1999. MANUAL DE CARRETERAS, Trabajo fin de carrera, Universidad de Alicante, Escuela Politécnica Superior., Capítulos 7, 8 y 14. 1999.
- [2]. D. Rodriguez, «Revisión del HCM 2010 y 2000 intersecciones semaforizadas s», ART. Ingenium, vol. 16, n.º 32, pp. 19-31, mayo, 2015.
- [3]. HIGHWAY CAPACITY MANUAL, edición N° 4, 2008 Cap. 8, 15 y 16.
- [4]. INVIAS 2008, Manual de diseño Geometrico de Carreteras. Cap, p. 27
- [5]. HUMBERTO SANCHEZ, estimación de la afectación de la capacidad en intersecciones semaforizadas como consecuencia del estado del pavimento, Universidad nacional de Colombia, Fac. Ing. Civil, Tesis 2015.
- [6]. PEÑA LINDARTE, Jose. Análisis de los factores de ajuste por utilización de carril en intersecciones semaforizadas de Bogotá D. C., Art. Ing. e investigación vol 30. 1 abril de 2010, Bogotá.
- [7]. RIVERA, J.J. Julian y otros (2008). Análisis por microsimulación de las minirotondas urbanas. Art. Ingenieria12-3 (2008) Pag 33-44. Bogota, 2008.
- [8]. SECRETARIA DISTRITAL DE MOVILIDAD, Movilidad en cifras 2014, Bogota 2014.
- [9]. ORTEGON CACERES, Yinet, 2014. ESTUDIO GEOMÉTRICO A DESNIVEL PARA POSIBLES INTERSECCIONES VEHICULARES EN LA CARACAS TRAMO CALLE 76 - CALLE 28, Proyecto de grado, Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito, Fac. Ing Civil. Bogota, 2014.
- [10]. URAZAN BONELLS, Felipe y otros (2013). Análisis comparativo de intersecciones a nivel, en función de los movimientos a izquierda. Estudio de caso, Bogotá D.C, Epsilon(20), 173-190.