

Análisis vehicular en la carrera 7 de Bogotá D.C. intersección de estudio carrera 7 x calle 116

Vehicular analysis in the carrera 7 of Bogotá D.C. intersection of study carrera 7 x calle 116

Daniella Rodríguez Urrego^{*}
Viviana Garnica Quiroga^{**}
Liz Yineth Gómez Castro^{***}
Camilo Andrés Portela Cárdenas^{***}

DOI: <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.2.2885>

RESUMEN

El incremento vehicular en las ciudades demanda infraestructura vial que garantice movilidad eficiente, segura y confortable, tanto a nivel vehicular como a escala peatonal. Se conoce que las intersecciones semaforizadas son espacios que permiten el desplazamiento seguro del peatón de un punto a otro y otorga a los vehículos la posibilidad de cambio de dirección, como giros a la izquierda (GI) o en U; la realización de estas maniobras altera los tiempos de viaje de los vehículos en circulación, saturando la intersección con mayor intensidad. Es importante identificar el impacto que genera los GI en las intersecciones con fase semafórica destinada para tal fin, por tal razón se referencia la Carrera 7, sobre este corredor se encuentran 40 intersecciones con 53 GI semaforizados; teniendo en cuenta este índice se establece como punto de estudio, una de las intersecciones con mayor flujo vehicular y nivel de servicio (NS) F como lo es la Carrera 7 x Calle 116; así mismo se indica una propuesta de disminución a dos fases del control semafórico existente, con lo cual dicha intersección pararía a un NS teórico C.

Palabras clave: giro izquierdo, intersección semaforizada, nivel de servicio.

ABSTRACT

The increase of vehicles in cities requires road infrastructure that guarantees efficient, safe and comfortable mobility, both at the vehicular level and at the pedestrian level. It is known that traffic light intersections are spaces that allow the safe movement of the pedestrian from one point to another and give the vehicles the possibility of changing direction, such as left turns (GI) or U-turns; completion of these maneuvers alters the traveling times of the vehicles in circulation, saturating the intersection with greater intensity. It is important to identify the impact generated by the GI in the intersections with a traffic light phase created for this purpose, for that reason reference is made to Carrera 7, on this corridor there are 40 intersections with 53 GI traffic lights; taking into account this index is established as a point of study, one of the intersections with greater vehicular flow and level of service (NS) F as it is the Carrera 7 x street 116; also indicates a proposal of reduction to two phases of the existing traffic control, whereby said intersection would stop a theoretical NS.

Key words: left turns, traffic light intersections, level of service.

Como citar:

D. Rodríguez Urrego, V. Garnica Quiroga, L. Gómez Castro, y C. Portela Cárdenas, «Análisis vehicular en la carrera 7 de Bogotá D.C. Intersección de estudio carrera 7 x calle 11»6, *ingeniare*, n.º 23, pp. 83-96, nov. 2017. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.2.2885>

^{*} Ing. Civil MsC. en Transporte, territorio y urbanismo; Programa Ingeniería Civil Universidad Piloto de Colombia. daniella-rodriguez@unipiloto.edu.co

^{**} Ing. Civil Especialista en tránsito y transporte; Programa Ingeniería Civil Universidad Piloto de Colombia. viviana-garnica@unipiloto.edu.co

^{***} Ing. Civil; Programa Ingeniería Civil Universidad Piloto de Colombia.

1. INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo los giros a la izquierda son movimientos o maniobras que se realizan en algunas intersecciones semaforizadas para acceder a vías que hacen parte del recorrido de los ciudadanos para llegar al punto de destino. Según Nikiforos S. et al (2016), ante la necesidad de mejorar la eficiencia operativa de las intersecciones es necesario prestar atención a dichos giros, teniendo en cuenta que en ocasiones son los responsables de incrementar la demora operativa [1]. Estos giros aumentan las fases semafóricas alargando en ocasiones el tiempo de ciclo y por tal razón saturando la intersección en horas de máxima demanda [2]. A nivel de tráfico, Ma W, et al (2017) establecen que maximizar la capacidad de las vías se ha convertido en una prioridad conociendo el aumento en el parque automotor y la disminución de recursos para desarrollar mayor capacidad [3]. Por lo ya mencionado y ante la problemática originada por este tipo de movimiento se encuentran medidas de mitigación a nivel mundial: en Sur América, específicamente en Argentina, según la ley de tránsito nacional número 2148 del 2010 en su artículo 6.1.10 *Vehículos en intersecciones semaforizadas*, se prohíben los giros a la izquierda en intersecciones de doble mano o sentido, como ejemplo la Avenida Uruguay, donde se prohibieron los GI a partir de Julio de 2013, con el fin de dar prioridad a la circulación del transporte público y reducción de los tiempos de viaje [4]; en Estados Unidos de América, en las vías de doble sentido con carriles múltiples para realizar los giros a izquierda se utiliza un carril exclusivo, clasificado por los departamentos estatales de este país como carril de giro a la izquierda de dos sentidos, el cual se utiliza también para dividir la direccionalidad de la vía, esto con el fin de agilizar y reducir los puntos de conflicto en las intersecciones [5]. En España, el código de tráfico y seguridad vial en su artículo 76, numeral 2 establece: *“En vías interurbanas, los ciclos y ciclomotores de dos ruedas, si no existe un carril especialmente acondicionado para el giro a la izquierda, deberán situarse a la derecha, fuera de la calzada siempre que sea posible, e iniciarlo desde ese lugar”*. Así mismo, existen otras alternativas para tratar los giros a la izquierda, se tiene como ejemplo el ayuntamiento de Pamplona en la intersección Avenida Pio XII por la Calle Iturrama, donde realizan giros a la izquierda indirectos, lo cual reduce la accidentalidad y puntos de conflicto.

En Colombia, en la ciudad de Envigado se plantea la eliminación de este tipo de maniobras, se argumenta que con esta medida no se busca incrementar velocidades sino establecerla constante que permita reducir así los tiempos de viaje [6].

La capital de Colombia (Bogotá D.C.) en los últimos años, ha presentado una creciente problemática en la congestión vehicular, como la mayoría de capitales del mundo, estos problemas de movilidad evidencian atascos en cualquier hora del día sin importar tipo de vía, modo o si es público o particular. Esta congestión además de generar caos en la movilidad desencadena otras externalidades como contaminación del aire y costos en la salud [6]. La demanda vehicular diaria en la capital está aproximadamente en 700.000 vehículos para el año 2012, según la Secretaria de Movilidad [7]. En general, la congestión en Bogotá se debe a factores como la expansión demográfica y geográfica, el crecimiento acelerado del

parque automotriz, la deficiencia de infraestructura vial, la carencia de un sistema de transporte público de calidad, el regular estado de la malla vial, la deficiencia en el sistema semafórico, entre otros factores. La demanda vial es mayor a la oferta creando un desequilibrio en el sistema de movilidad de la ciudad. Bocarejo J, (2009), muestra que en Colombia se presenta un crecimiento en la propiedad de vehículos particulares tipo Gompertz y es producto de la relación PIB per cápita y la tasa de motorización, bajo ese modelo se estima que en Bogotá para el año 2040 existan aproximadamente 4 millones de vehículos [8].

Para la Secretaría de Movilidad, la velocidad promedio de recorrido, es una variable fundamental para determinar la eficiencia del sistema de transporte de la ciudad, tanto particular como pública y su conocimiento es primordial para desarrollar el plan de movilidad de la ciudad [3]. Este parámetro de medición presenta la velocidad promedio para Bogotá en 24.2 Km/h para el año 2.012 [3] mientras que para el 2.015 disminuyó a 19,3 Km/h [9].

La Carrera 7 de la ciudad Bogotá D.C, es una vía arterial principal que recorre la capital en sentido norte-sur-norte con una longitud de recorrido vehicular aproximada de 21,6 km desde la Calle 26 hasta la Calle 235, límite del distrito capital. Valor obtenido por lectura directa en el mapa de Bogotá del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. La Carrera 7 según el POT del año 2.013 es categorizada como una v-2, conformada por dos calzadas para cada sentido de circulación norte-sur y sur-norte, cada una de ellas distribuidas de 2 a 4 carriles y construidas en pavimento flexible. Según la Secretaría Distrital de Planeación la Carrera 7 alberga un volumen vehicular en los periodos de máxima demanda de 2.800 Veh/h/sentido, el 90% es de carácter particular [11].

Para el 2.014 este corredor urbano contaba con un total de 40 intersecciones semaforizadas continuas, las cuales son las responsables de controlar el volumen vehicular en tránsito. Estas intersecciones, están separadas a una distancia media de 0,55 km; en esta red semafórica existen 53 giros a la izquierda cada 380 m aproximadamente, impidiendo el flujo vehicular continuo y como consecuencia tiempos de espera incrementales y menor velocidad promedio de recorrido. El documento generado por la Secretaría de Movilidad Distrital para el año 2.012[11] presenta que la velocidad de recorrido para la Carrera 7 se encuentra entre 10 y 20 km/h generando como consecuencia directa el aumento del tiempo de desplazamiento de los recorridos en dicho corredor.

El tramo donde se encuentra la reducción de velocidad a 10-20 km/h según la Secretaría de movilidad está en el trayecto comprendido desde la Calle 106 hasta la Calle 147 [7], situación que es reafirmada por la Subdirección de esta entidad, "Gerencia Carrera 7a" quienes dicen que en horas punta el corredor muestra una velocidad de aproximadamente 14-16 km/h presentándose en la proximidad a la mayoría de las intersecciones, 10 en total y en el mayor número de giros a la izquierda, 20 en conjunto [11]. Por consiguiente, se puede decir que el corredor de la Carrera 7 presenta alto volumen de tráfico con intersecciones muy próximas y con maniobras reguladas por semáforos que, en su mayoría, aumentan los tiempos de espera generando colas y, por ende, congestión vehicular. Es decir, a mayor número de

giros a la izquierda, mayores las demoras para transitar por el corredor. En la Figura 1 se muestra las intersecciones semaforizadas presentes sobre el corredor de la Carrera 7.

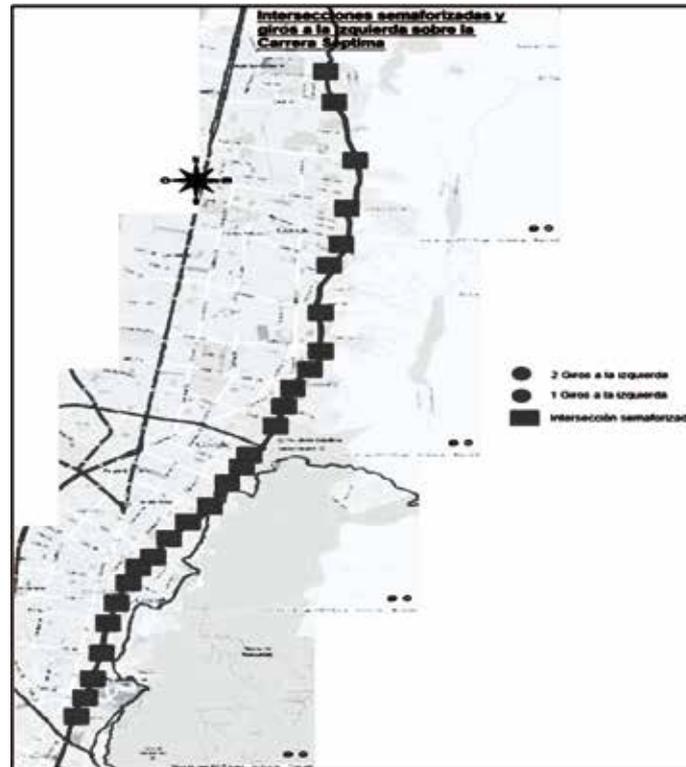


Figura 1. Intersecciones semaforizadas- Giros a la izquierda.

Fuente: Elaboración propia

2. METODOLOGÍA

El desarrollo de la investigación se hizo a partir de información primaria obtenida en campo por parte de los autores, fue tomada durante días típicos (martes, miércoles y jueves), por un tiempo de 14 horas. Los aforos fueron tomados mediante cámaras de video y los datos fueron discriminados por tipo de vehículo y direccionalidad. La intersección fue seleccionada bajo el criterio de inspección visual y técnica realizada en las 37 intersecciones que presentan GI, tomando la intersección de la Carrera 7 por Calle 116 como referencia de estudio debido al alto tráfico vehicular. Se identificó: infraestructura, control semafórico, velocidad de paso, entre otros factores. A partir de los volúmenes vehiculares, toma de información de tiempos semafóricos y aforos peatonales en campo, se dispuso, haciendo uso del Highway Capacity Manual 2010 y corroborado con el software Synchro, a identificar la capacidad actual de la intersección y proponer el rediseño de la misma.

3. LOCALIZACIÓN – INTERSECCIÓN DE ESTUDIO

3.1. Zona de estudio

La intersección objeto de estudio se encuentra localizada al Nororiente de la ciudad Bogotá, específicamente en la localidad de Usaquén y en la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) de Usaquén, No 14, según el Plan de ordenamiento territorial (POT) de 2.013.

La Carrera 7 (Avenida Alberto Lleras Camargo) con Calle 116 (Avenida Pepe Sierra), está influenciada al occidente por el tráfico de la Carrera 9 entre la Calle 119 y Calle 113 y al oriente por el Centro Comercial Hacienda Santa Bárbara. Esta intersección provee un punto de acceso para diferentes zonas económicas del norte de la ciudad.

3.2. Descripción de la Intersección

La intersección de la Carrera 7 con Calle 116 por su geometría se clasifica como una intersección tipo “T” canalizada. En la Tabla 1 se presenta la información general de las vías que componen esta intersección.

Tabla 1. Información general de la intersección.

Especificación	Carrera 7	Calle 116
Tipo de vía (POT)	V-2	V-3
Sentido de operación	N-S, S-N	E-W, W-E
No. de calzadas	2	2
No de carriles por sentido	4	2
Tipo de Pavimento	Flexible	Flexible

Fuente: Elaboración propia

4. DATOS- INFORMACIÓN

4.1. Movimientos – volumen vehicular

En la Figura 2 se identifican los movimientos que presenta la intersección de estudio, presentando un total de seis (6) movimientos, de los cuales dos (2) son Giros a la izquierda.

Los GI se describen como movimientos 6 y 7, estos giros protegidos, permiten el tránsito vehicular desde el acceso sur hacia la calle 116 (movimiento 6) y desde el acceso occidente a la carrera 7 (movimiento 7), además cuenta con dos giros a derecha y por último los movimientos directos en sentido norte-sur y sur-norte. De los movimientos establecidos y exhibidos, un total de 5 movimientos aforados se presentan a continuación (Tabla 2), con la cantidad de vehículos que transitan por el área de estudio en un día.

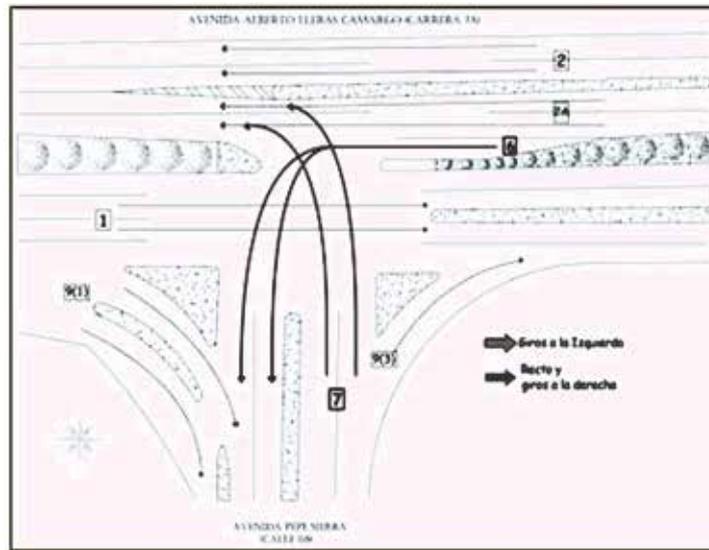


Figura 2. Movimientos de la intersección.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Movimientos y Volúmenes vehiculares de la intersección de estudio.

Acceso	Movimiento	Código	Vehículos/día
Norte	Directo	1	32.138
	Giro a la Derecha	9(1)	8.306
Sur	Directo	2	22.600
	Giro a la Izquierda	6	5.323
Oeste	Giro a la Izquierda	7	6.678
TOTAL			75.045

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Figura 3. la participación que presenta los movimientos directos 1 y 2 en la intersección es aproximadamente 43% y 30% respectivamente; los GI representan en el tránsito de la intersección, un total de 16%. La cantidad de vehículos que a diario transitan en la intersección de la Carrera 7 por Calle 116 ascienden a 67.751 vehículos particulares y de transporte público 7.294, lo que ratifica la preferencia del vehículo particular sobre el transporte público en la ciudad, el factor de ocupación vehicular para el 2.014 era de 1,59 personas por vehículo [12].

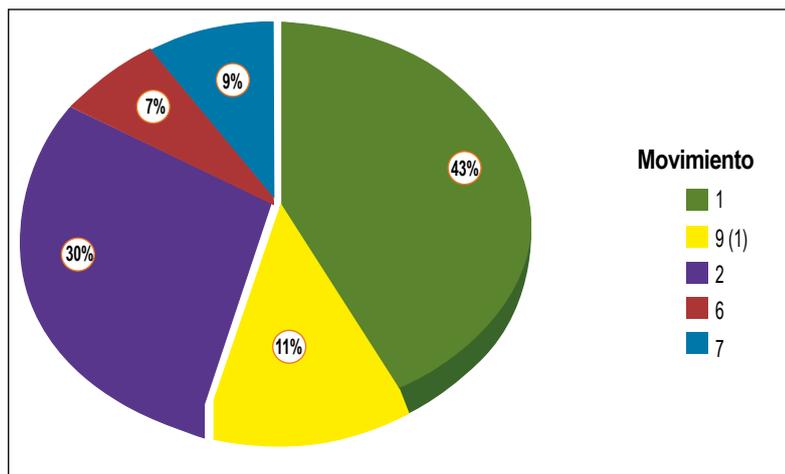


Figura 3. Participación direccional de la intersección.

Fuente: Elaboración propia

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Intersección Actual

A partir de los volúmenes aforados se determinó el periodo horario donde se encuentra el mayor número de vehículos en la intersección, tiempo conocido como hora pico o de máxima demanda, el cual está comprendido entre las 10:15 y 11:15 hora militar, con un volumen total de 6.767 Veh/h distribuidos por direccionalidad y tipo de vehículo como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición vehicular de la intersección en hora pico.

Movimiento	Vehículos (10:15-11:15)			
	Liviano	Bus	Camión	Totales
1	2.965	301	104	3.370
9(1)	724	9	23	756
2	546	167	34	747
2A	854	0	12	866
6	431	10	4	445
7	557	0	26	583
Total	6.077	487	203	6.767

Fuente: Elaboración propia

En la hora pico, se puede observar que el 90% de los vehículos en la intersección son de tipo particular. Se identifica que el volumen registrado de los GI es similar entre ellos, catalogándose como un volumen nivel medio, representando un aumento en el tiempo de espera en los movimientos directos, los cuales son mayores en un 55% aproximadamente a estos giros.

El Factor Hora Pico (F.H.P) calculado para el flujo vehicular de la intersección es de 0,98 se interpreta como un flujo uniforme en el periodo de máxima demanda, es decir el volumen que transita en los cuatro periodos de 15 minutos es muy similar el uno del otro y en promedio transita un total de 1.890 veh/15 min. El mayor flujo se presenta en el periodo de 10:30 a 10:45 y el menor entre las 11:00 y las 11:15.

Se realizó un análisis de flujo según lo establecido por Cal y Mayor [13]. La tasa de flujo (q) que se calcula para la intersección en el periodo aforado es de 1.443 veh/15min, esto como la frecuencia teórica de cuantos vehículos pasan en un intervalo de tiempo (15 min), y el volumen horario máximo (Q) de 6.565 Veh/h. La Figura 4 muestra las variaciones y el comportamiento del tránsito de manera gráfica para la intersección, con el valor (q) obtenido.

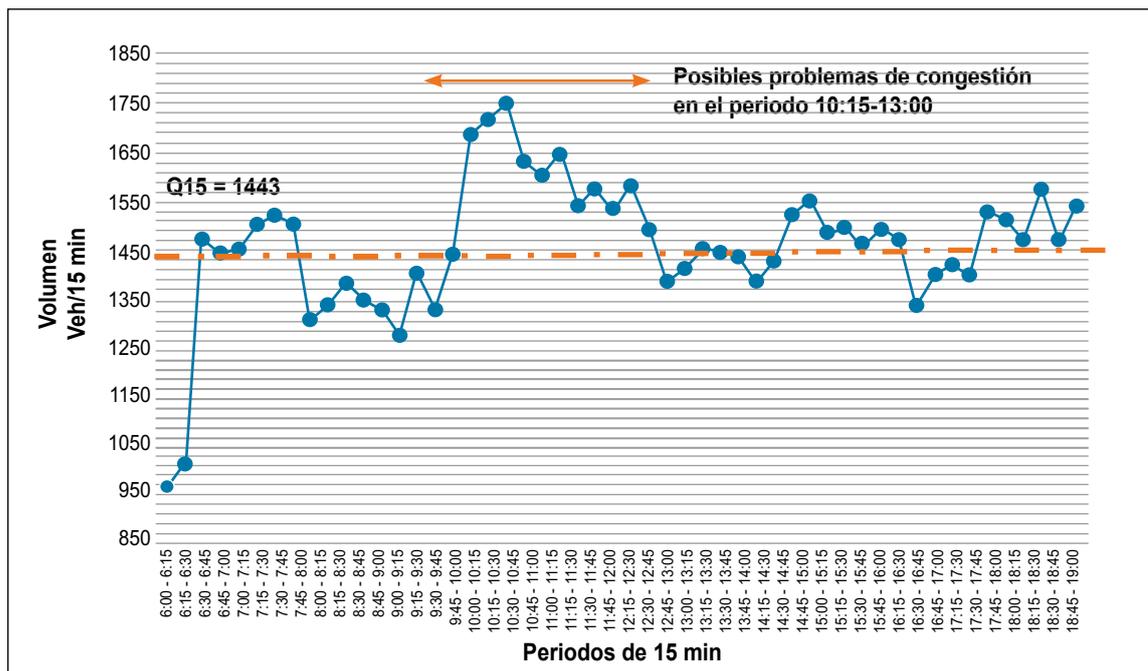


Figura 4. Comportamiento vehicular en la intersección.

Fuente: Elaboración propia

Como lo muestra la Figura 4 el problema de congestión o represamiento vehicular en la intersección se presenta al final de la mañana, lo que corresponde también a la hora pico (10:15-11:15), presentándose en esta hora un total de 6.988 Veh/h que difiere al valor horario máximo obtenido (Q) de 6.565 Veh/h,

se puede deducir que con respecto al promedio que presenta la figura, aproximadamente el 52% de los volúmenes aforados en 15 minutos superan este valor por lo cual se concluye que la intersección se encuentra sobresaturada y por ende la calidad de servicio de esta desmejora respecto al periodo inicial.

Según lo establecido en el Highway Capacity Manual (HCM 2010) [14] para la determinación de la capacidad y nivel de servicio, es necesario generar el flujo de saturación y las demoras por grupos de carril (GC) con base a los datos obtenidos anteriormente como son la hora pico y el F.H.P. La Figura 5 presenta los grupos de carril presentes en la intersección.

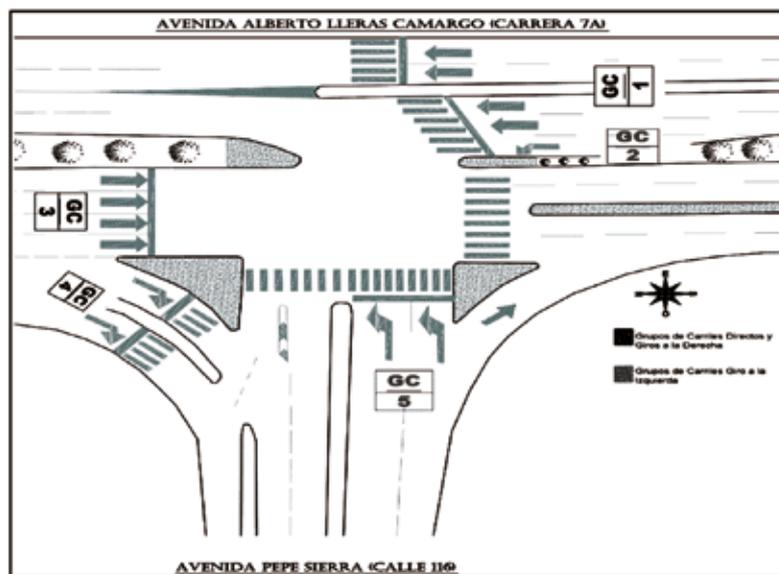


Figura 5. Grupos de carriles en la hora pico de la intersección.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al estudio realizado los GC2, GC3 y GC5 presentan un Nivel de Servicio F, en estos grupos se encuentran directamente los GI y el movimiento directo norte-sur. Los GC restantes arrojaron un nivel de servicio A. Respecto a la intersección en general se indica una relación de volumen/capacidad (V/C) de 0,96 y una demora total de 114,18 s determinando un nivel de servicio F, este nivel indica que la intersección de la Carrera 7 por Calle 116 se encuentra saturada. La Figura 6, muestra que los giros a la izquierda (GC2 y GC5), presentan una relación V/C alta, en especial el movimiento seis (sur-occidente) el cual tiene un valor de 1,78; es decir, que el volumen real excede del teórico en un 78%; para el movimiento siete (occidente-norte) se presenta esta tendencia en 7%, y para el movimiento uno (GC3) a pesar que tiene un número de carriles amplio en comparación de los G.I. presenta que el volumen que transita se excede en 16%. El análisis realizado anteriormente en términos de capacidad (V/C) permite determinar que la intersección se encuentra sobresaturada en términos de diseño y de planeación de fases del ciclo semafórico. Las demoras que presentan los grupos de carriles son relacionadas con la proporción del verde efectivo (g/c) asignado para cada movimiento y/o GC.

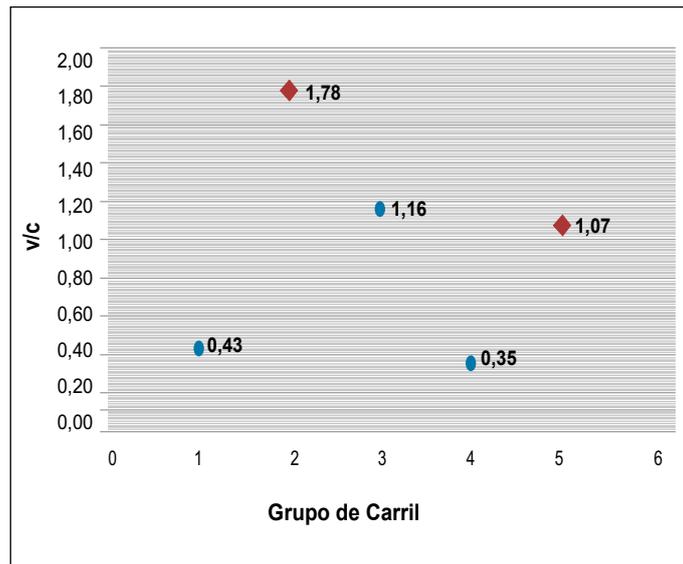


Figura 6. Relación crítica (V/C) por grupo de carriles situación actual.

Fuente: Elaboración propia

Como lo muestra la Figura 7, las demoras en los GC2 y GC5 se presentan por la mínima asignación de tiempos de verde en las tres fases semafóricas que existen actualmente, para el movimiento seis (sur-occidente) se encuentra adjudicado el 17% del tiempo del ciclo semafórico y para el movimiento siete (occidente-norte) el 12%, generando tiempos de demoras considerables en los GI (397,79 s mov 6 y 72,37 s movimiento 7). Como resultado el nivel de servicio de la intersección presenta deficiencia en términos de rapidez y flujo continuo, debido a las colas que se presentan en los movimientos de conflicto, con una demora operacional de 1,90 min y un nivel de servicio F.

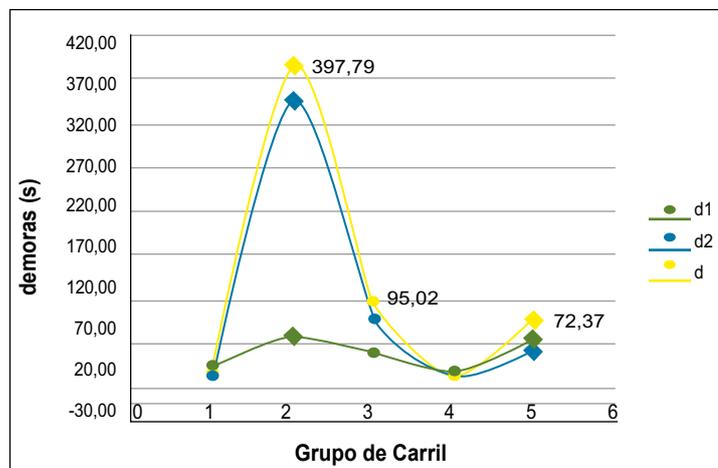


Figura 7. Demoras por grupo de carriles situación actual.

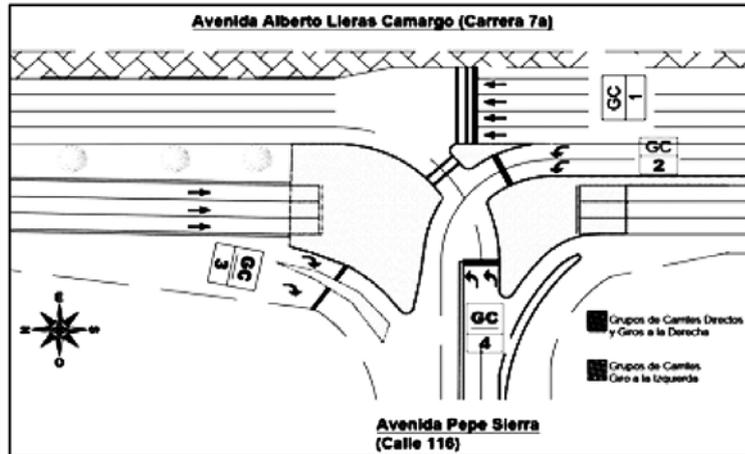
Fuente: Elaboración propia

5.2. Intersección Modificada

La solución planteada para dar respuesta al problema en la intersección de estudio proviene de la combinación de alternativas de control de tráfico que buscan reducir el tiempo de demora en los giros a izquierda y el mejoramiento del nivel de servicio de la intersección. Esta propuesta comprende:

5.2.1. Paso elevado

Esta alternativa de paso a desnivel se encuentra en el acceso norte para el movimiento uno (norte-sur) la i



ión
8.

Figura 8. Grupo de carriles de la mejor alternativa de solución en la intersección.

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Ciclo semafórico Óptimo

Debido al re direccionamiento del flujo vehicular del acceso norte, las fases semafóricas se reducen a dos (2) fases semafóricas (Figura 9) con un ciclo de 120 s, para un total de 30 ciclos por hora.



Figura 9. Ciclo semafórico óptimo intersección modificada.

Fuente: Elaboración propia

El ciclo propuesto proporciona más tiempo efectivo (verde) a los giros izquierdos, quedando igualmente protegidos y se describen de la siguiente manera: Fase I: los movimientos 2 y 6 inician al mismo tiempo, en esta fase la proporción de verde efectivo (g/c) para el giro izquierdo aumenta en comparación con la distribución actual, incrementándose en 21%. Fase II: los movimientos 9(1) y 7 circulan de manera simultánea, para el GI igualmente la proporción de verde efectivo (g/c) aumenta en 15%.

La relación volumen / capacidad de la intersección con la situación actual y la modificación proyectada a 5,10 y 20 años, se indica en la Figura 10, observando que en las condiciones presentes la proporción de capacidad de flujo (V/C) se reduce en 43% y se llegará a un nivel igual al del escenario actual en un periodo de 10 años aproximadamente.

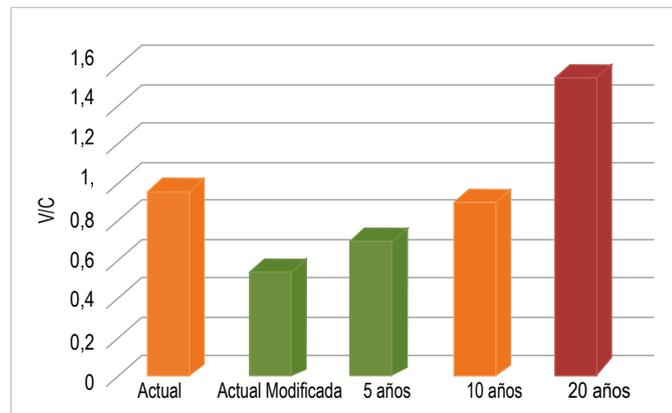


Figura 10. Comparación de proporción de flujo vehicular (V/C).

Fuente: Elaboración propia.

La disminución en este parámetro se debe principalmente al aumento de carriles y ampliación de longitud de almacenamiento correspondiente al movimiento 6, estos factores aumentan la cantidad de vehículos que pueden transitar de manera segura y rápida, teniendo que la relación (V/C) es de 0,36 para este giro a izquierda, lo que significa que alrededor de 1.261 vehículos pueden movilizarse por estos dos carriles. Teniendo como precedente que el flujo más cargado de la intersección fue re direccionado (norte-sur) se establece una afectación positiva para el parámetro V/C en los flujos de maniobra izquierda.

Producto de la modelación con el software Synchro se obtuvieron reducciones notables de las demoras con relación a la situación actual (Figura 11). Teniendo en cuenta la figura mencionada, el nivel de servicio para los giros a izquierda se aumentan llegando a un nivel C, con demoras promedio de 29 s por el aumento de capacidad y la reducción de fases.

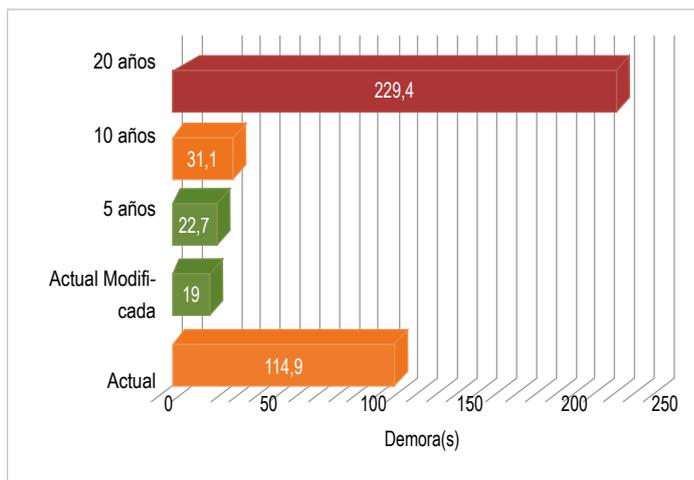


Figura 11. Comparación demoras por grupo de carril.

Fuente: Elaboración propia.

6. CONCLUSIONES

Siendo la carrera 7 una de las vías principales de la Bogotá, categorizada como v-2 según el POT de la ciudad, es importante realizar estudios que planteen posibles alternativas de mejoramiento en la movilidad. En este trabajo se propone para el caso de los giros a izquierda en la intersección de la Carrera 7 por Calle 116 una intervención constituida por: un puente vehicular sobre el acceso norte, la reacomodación de los carriles en el acceso sur y la asignación de un ciclo semafórico óptimo.

Bajo esta propuesta los puntos de conflicto se reducen de 32 a 10, en consecuencia, existe la disminución de probabilidad en accidentalidad y disminución de los tiempos de operación de toda la intersección, pasando de 114,9 s a 16,9 s, evidenciando disminución de atasco en la intersección con incidencia positiva en el corredor.

Sin embargo, la intervención en el acceso norte desmejora el valor escénico del entorno, por ejemplo, debido a la altura del puente, el rango visual desde el occidente y hacia el Centro Comercial Santa Bárbara disminuye.

Finalmente, en el desarrollo de los planes semafóricos se sugiere considerar con mayor detenimiento el impacto que pueden generar fases exclusivas para los giros izquierdos y así mitigar los efectos negativos asociados a los mismos.

REFERENCIAS

- [1] Nikiforos S, Tate S & Kirk A, 2016, Left-turn phasing decisions based on conflict analysis. *Transportation Research Procedia*. Volume 14, 2016, Pages 3390-3398. doi: 10.1016/j.trpro.2016.05.291
- [2] Xuan Y, Daganzo C & Cassidy M., 2011, Increasing the capacity of signalized intersections with separate left turn phases. *Transportation Research Part B: Methodological*. Volume 45, Issue 5, June 2011, Pages 769-781. doi:10.1016/j.trb.2011.02.009
- [3] Ma W, Liu Y, Zhao J & Wu N., 2017, Increasing the capacity of signalized intersections with left-turn waiting áreas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Volume 105, November 2017, Pages 181-196. doi:10.1016/j.trb.2011.02.009
- [4] Dirección centro capacitación de transporte y tránsito de Córdoba, Argentina, Guía de Estudio, Julio de 2012, disponible en http://www2.cordoba.gov.ar/portal/wp-content/uploads/downloads/2013/03/GUIA_ESTUDIO.pdf
- [5] MUTCD, Manual on Uniform Traffic Control Devices, 2013, p.1 .Departamento de transporte de los Estados Unidos, Disponible en http://mutcd.fhwa.dot.gov/services/publications/fhwaop02090/twtmarkings_longdesc.htm
- [6] Secretaria de Movilidad Envigado, Envigado busca eliminar giros a la izquierda para una mejor movilidad, disponible en <http://www.eltiempo.com/colombia/medellin/envigado-quiere-eliminar-los-giros-a-la-izquierda-para-una-mejor-movilidad-193886>
- [7] Bigazzi A & Figliozzi M., 2016. Marginal costs of freeway traffic congestion with on-road pollution exposure externality. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* Volume 57, November 2013, Pages 12-24. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2013.09.008>
- [8] Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Secretaria de Movilidad, Movilidad en cifras 2012, disponible en http://www.movilidadbogota.gov.co/hiwebx_archivos/audio_y_video/final%20cifras%202012.pdf
- [9] Bocarejo J, 2009, La movilidad bogotana en el largo plazo y las políticas que garanticen su sostenibilidad. *Revista de ingeniería*. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia. ISSN. 0121-4993. <http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n29/n29a10.pdf>
- [10] David Osorio, "Bogotá pierde 7 millones de horas al año en trancones". Periódico El Tiempo, 3 feb 2015, pp 1.
- [11] Secretaria de movilidad, Gerencia Carrera Septima, disponible en <http://www.movilidadbogota.gov.co/?sec=74>
- [12] Redacción Vehículos, "El carro compartido busca ser viable frente a los problemas de movilidad de Bogotá" Periódico El Tiempo, Agosto 2014.
- [13] Rafael Cal y Mayor Reyes Spíndola, James Cárdenas, Ingeniería de Transito Fundamentos y Aplicaciones. Séptima edición, Ediciones Alfaomega SA, México D.F., México, 1994, pp 246-253.
- [14] Transportation Research Board, Highway Capacity Manual 2010. Committee Executive TRB, Washington D.C., 2010, Vol 1 Cap 5, Vol 3 Cap 18.