

2013-06-01

Análisis comparativo de intersecciones a nivel, en función de los movimientos a izquierda. Estudio de caso, Bogotá D. C.

Carlos Felipe Urazán Bonells

Universidad de La Salle, Bogotá, caurazan@unisalle.edu.co

Yeimi Johanna Pérez Hernández

Universidad de La Salle, Bogotá, yeiper00@hotmail.com

Zulma Lorena Rey Sierra

Universidad de La Salle, Bogotá, lorenarey86@hotmail.com

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/ep>

Citación recomendada

Urazán Bonells, Carlos Felipe; Pérez Hernández, Yeimi Johanna; and Rey Sierra, Zulma Lorena (2013) "Análisis comparativo de intersecciones a nivel, en función de los movimientos a izquierda. Estudio de caso, Bogotá D. C.," *Épsilon*: Iss. 20 , Article 10.

Disponible en:

This Artículos de investigación is brought to you for free and open access by the Revistas descontinuas at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Épsilon by an authorized editor of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

Análisis comparativo de intersecciones a nivel, en función de los movimientos a izquierda. Estudio de caso, Bogotá D. C.

CARLOS FELIPE URAZÁN BONELLS¹

YEIMI JOHANNA PÉREZ HERNÁNDEZ²

ZULMA LORENA REY SIERRA³

RESUMEN

Desde hace varios años la movilidad en las grandes ciudades refleja continuas complicaciones manifestadas en mayores demoras en los desplazamientos. Esos mayores tiempos se hacen más evidentes si la ruta es por vías principales y secundarias, donde las intersecciones desempeñan un papel relevante, especialmente si se requiere hacer un giro a izquierda. La proyección de futuros trazados viales principales y sus respectivas intersecciones precisa revisar el impacto que sobre los tiempos de viaje en los giros a la izquierda tienen opciones como: giro directo semafórico, giro tras realizar retorno, giro por oreja y giro por oreja manzana, entre las opciones más recurrentes. Es claro que en algunas circunstancias en que se proyectan mejoras a infraestructura vial en zonas ya desarrolladas urbanísticamente aparecen restricciones a la proyección del trazado debido principalmente a la dificultad para ocupar terrenos ya edificados. Por tanto, es importante conocer el impacto que ello genera en el tiempo de viaje del conductor. De un total de 31 giros a izquierda, analizados en 10 intersecciones, se concluye que el tiempo promedio de giro a izquierda con semáforo directo es de 23 s, mientras que en los giros a izquierda con oreja manzana se incrementa a 219 s y los casos de retorno antes del giro registran 427 s. Resulta una importante diferencia en los tiempos, cifras que pueden tornarse críticas al proyectarlas en un flujo vehicular significativo.

Palabras clave: semaforización, flujo vehicular, nivel de servicio, tiempo de recorrido.

¹ Ingeniero civil. Especialista en Administración de Obras de Construcción. Doctor en Gestión Territorial e Infraestructura del Transporte. Profesor Asociado III de la Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: caurazan@unisalle.edu.co

² Candidata a ingeniero civil, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: yeiper00@hotmail.com

³ Candidata a ingeniero civil, Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: lorenarey86@hotmail.com

FECHA DE RECEPCIÓN: 12 DE DICIEMBRE DE 2012 • FECHA DE APROBACIÓN: 18 DE MARZO DE 2013

Cómo citar el artículo: Urazán Bonells, C. F.; Pérez Hernández, Y. J. y Rey Sierra, Z. L. (2013). Análisis comparativo de intersecciones a nivel, en función de los movimientos a izquierda. Estudio de caso, Bogotá D. C. *Épsilon* (20), 173-190.

Comparative Analysis of Level Crossings and Left Turns. Case Study in Bogotá D. C.

ABSTRACT

For many years, mobility in big cities has faced ongoing issues represented in greater delays in travel times. These are more apparent when the route includes main and secondary roads, where intersections play an important role, particularly if a turn to the left is required. The projection of future main roads layout and corresponding intersections implies reviewing the impact that left-turn options, such as direct traffic light turn, turn after a u-turn, loop turn and turn going around the block, among others, would have on travel times. However, it becomes clear that there will be restrictions in some circumstances in which road infrastructure improvements are foreseen for already developed areas, mainly due to the fact that it is difficult to modify land occupied by buildings. Therefore, it is important to understand the impact that it generates in travel times. Out of 31 left turns, analyzed in 10 intersections, the conclusion is that the average time of a direct left turn with a traffic light is 23 seconds, whereas left turns going around the block increase to 219 seconds and left turns after a u-turn take up to 427 seconds. There is a considerable difference among the times, and these values can become critical when projected to a significant flow of vehicles.

Keywords: Traffic lights, vehicle flow, service level, travel time.

Análise comparativa de interseções a nível em função dos movimentos à esquerda. Estudo caso Bogotá D. C.

RESUMO

Há vários anos que a mobilidade nas grandes cidades reflete contínuas complicações manifestadas em mais demoras nos deslocamentos. Essas demoras se tornam mais evidentes se a rota é por vias principais e secundárias, onde as interseções desempenham um papel relevante, especialmente se há a necessidade de um cruzamento à esquerda. A projeção de futuros direcionamentos das rodovias principais e suas respectivas interseções precisa revisar o impacto que sobre os tempos de viagem nos cruzamentos à esquerda têm opções como: curva direta semafórica, curva depois de realizar retorno, curva em forma de orelha e curva em forma de “orelha completa”, entre as opções mais recorrentes. É claro que em algumas circunstâncias em que se projetam melhoras à infraestrutura rodoviária em zonas já desenvolvidas urbanisticamente aparecem restrições à projeção dos direcionamentos, devido principalmente à dificuldade para ocupar terrenos já edificados. Portanto, é importante conhecer o impacto que isso gera no tempo de viagem do motorista. De um total de 31 cruzamentos à esquerda, analisados em 10 interseções, foi possível concluir que o tempo aproximado de cruzamento à esquerda com semáforo direto é de 23 s, em quanto que nos cruzamentos à esquerda com curva em forma de “orelha completa” se incrementa a 219 s e nos casos de retorno antes do cruzamento registram 427 s. Resulta uma importante diferencia nos tempos, cifras que podem tornar-se críticas ao projetá-las em um fluxo veicular significativo.

Palavras chave: semaforização, fluxo veicular, nível de serviço, tempo de percurso.

Introducción

Bogotá es una ciudad con una población que se acerca a los 8 millones de habitantes, cifra enmarcada desde 1985 en una tasa de crecimiento promedio estimada de 151.000 habitantes/año (DANE, 2012). El crecimiento poblacional no se ha gestionado de manera compacta y ha llevado a una extensión continua de la mancha urbana, acompañada de un aumento en el parque automotor de vehículos particulares de 124.000 vehículos/año, y de 1500 vehículos/año para el transporte público. Ese crecimiento poblacional y, por tanto, vehicular, lleva a otros indicadores que afectan negativamente la movilidad en la ciudad. A partir del 2008 la velocidad promedio de los vehículos particulares se reduce en 2,3 km/h anual (*Bogotá cómo vamos*, 2012).

La complicación para la movilidad urbana que significa el aumento progresivo del parque automotor redundando en mayores tiempos de desplazamiento especialmente en movilidad obligada (trabajo, estudio). El problema lo expone claramente el ex-viceministro de Transporte Felipe Targa en entrevista al diario *Portafolio* (2011):

El aumento de la tasa de motorización —propiedad de vehículos particulares—, se ha comenzado a acelerar en Colombia, y seguirá haciéndolo a medida que el ingreso promedio de la población aumente, el valor real de los vehículos disminuya y existan mayores facilidades de crédito. Y estos son procesos que, afortunadamente, vienen ocurriendo en Colombia.

Debido a la problemática planteada, parte de la solución es la renovación infraestructural a la cual el Distrito le apuesta en el actual Plan de Desarrollo. Como parte de los proyectos estratégicos del Programa de Movilidad Humana del Plan de Desarrollo Distrital se incluye la “ampliación, mejoramiento y conservación de la infraestructura vial vehicular y peatonal del Distrito” (Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., 2012). Bajo la anterior premisa de intervención en infraestructura vial ha de contemplarse la necesidad de proyectar diferentes mecanismos para realizar giros vehiculares a izquierda en intersecciones, a fin de obtener el mayor beneficio en ahorro de tiempo para el conductor. Por ello es necesario establecer los tiempos promedio que tarda un vehículo particular en hora punta en completar un giro a izquierda en una intersección, en una gama de opciones como: giro directo semafórico, giro después de hacer retorno, oreja manzana y oreja. Ese análisis permitirá

tomar decisiones respecto de la infraestructura por proyectar o modificar y su impacto en el nivel de servicio de la intersección.

El porqué del análisis para movimientos a la izquierda es la gran diferencia en tiempo requerido respecto a los movimientos directo y a la derecha, tal como se expondrá más adelante. El estudio se realizó en hora punta en diferentes intersecciones de vías principales y secundarias en la localidad de Usaquén (Bogotá D. C.) debido a la facilidad para la toma de datos y el relativo alto flujo vehicular de la zona, pues el flujo vehicular en hora punta se ve afectado por la incapacidad operativa de los mismos corredores para atender la demanda vehicular actual, lo que genera situaciones de congestamiento vehicular que afectan la calidad de vida de sus habitantes y vuelven poco eficaz la economía propia y de la región (Concejo de Bogotá, 2012).

La importancia de analizar las intersecciones radica en que el nivel de servicio de la vía principal se ve afectado pues es recurrente la necesidad de disminuir la velocidad, y en algunas ocasiones se presentan importantes esperas debido a la semaforización obligada para realizar alguno de los movimientos: directo, giro a izquierda, giro a derecha. Las demoras son causadas principalmente por la obligada reducción de la velocidad, y si la intensidad del tráfico es elevada puede ser preciso esperar durante algún tiempo antes de poder atravesar la intersección, lo que generaría mayor demora y, según la situación, posible congestamiento vial (Dirección General de Tráfico, 2012). La investigación llevada a cabo establece los efectos que la geometría vial, el uso del suelo y los dispositivos de control de tránsito tienen en los tiempos de giro en las intersecciones elevadas en una vía arteria.

En estudios similares se han encontrado planteamientos de intersecciones de flujo continuo, pero no se hallaron evaluaciones respecto a la influencia de elementos como retornos, dispositivos de control y presencia de orejas manzana en el flujo vehicular (Caracol Radio, 2012; *El Nuevo Siglo*, 2012). En otro estudio, Vélez (2011) presenta un análisis comparativo entre las denominadas turbo-glorietas y las glorietas convencionales, pero no determina variables comparativas como tiempo y velocidades. Por su parte, Martín (2012) realiza una comparación de capacidad y funcionalidad de distintos tipos de glorieta a partir de diferentes métodos analíticos, sin profundizar en criterios urbanísticos. Pensando en la optimización

de intersecciones, Chávez *et al.* (2002) consideran que se debe avanzar en el mejoramiento del nivel de servicio por medio de la introducción de software para el análisis y control vial, logrando una mejor sincronización semafórica. El estudio se fundamentó en la Avenida Sexta norte de la ciudad de Cali. La ciudad de Ibagué también ha sido objeto de análisis de algunas de sus intersecciones semaforizadas, y concluyó la necesidad de ampliar la red semafórica a partir de la proyección futura de flujo vehicular, presentando la operativa y el coste de implementación (Castro, 2000). Otros tantos documentos encontrados comparan los tipos de intersecciones enmarcados en premisas de diseño geométrico sin evaluar variables funcionales como la velocidad de cruce por la intersección.

Metodología aplicada

La investigación se desarrolló a partir de información primaria en campo y por medios digitales. Por facilidad en la toma de datos se seleccionaron intersecciones ubicadas en una misma localidad de Bogotá D. C., la localidad de Usaquén, con una muestra de 10 intersecciones entre vías primarias y secundarias: calle 134 con carrera 9, calle 147 con carrera 7, calle 127 con carrera 15, calle 142 con carrera 15, calle 151 con carrera 19, calle 127 con carrera 7, calle 134 con carrera 7, calle 140 con carrera 9, calle 147 con carrera 15, y calle 153 con carrera 7 (figura 1).

La muestra se seleccionó bajo la premisa de variedad en la disposición de infraestructura para los movimientos a la izquierda. Luego, para cada movimiento en las intersecciones se analizaron las variables: disposición de infraestructura (oreja, oreja manzana, semáforo para giro directo, necesidad de hacer retorno) (figuras 2 y 3), tiempo requerido para el movimiento, distancia de recorrido, flujo vehicular, composición vehicular, presencia de semáforo y número de intersecciones para realizar cada uno de los movimientos (izquierda, directo, derecha), fases semafóricas. A partir de los datos de tiempo y distancia se obtuvo el valor de velocidad de recorrido. Esta información, obtenida de aforos de 15 min realizados 3 veces en hora punta a. m. en cada intersección y de tiempos registrados en recorridos propios, fue registrada en video para su posterior análisis.

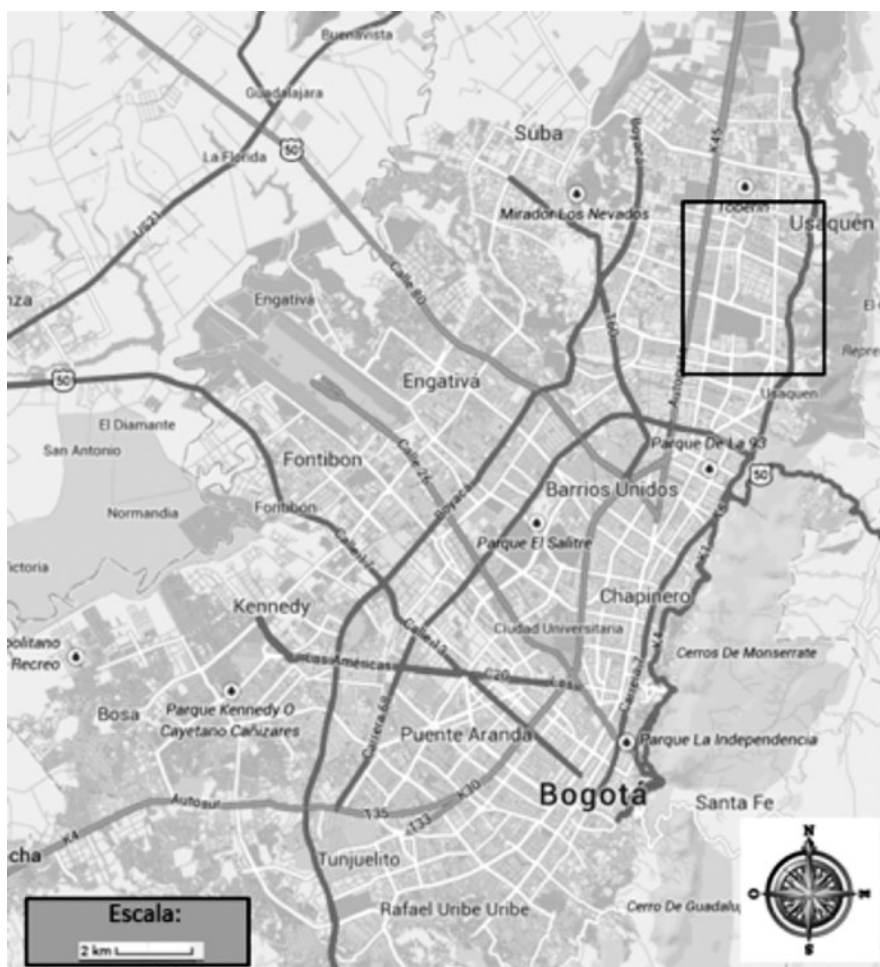


Figura 1a. Sector de estudio en Bogotá D. C.

Fuente: elaboración propia.



Figura 3. Casos de oreja (rojo, arriba) y oreja manzana (amarillo, abajo) para giro a izquierda. Calle 134 con carrera 9

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, el análisis de los tres posibles movimientos tuvo como finalidad corroborar que se requiere un tiempo significativamente superior para el giro o movimiento a la izquierda, respecto de los otros dos. Por tanto, para el análisis final se manejaron solo los movimientos implicados para este giro. Posteriormente, la información de campo también permitió identificar la condición del tránsito por medio del correspondiente nivel de servicio en la intersección (solo en cinco intersecciones elegidas aleatoriamente para corroborar condiciones no adecuadas: nivel D en adelante), aplicando los lineamientos expuestos por el *Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte* de la Alcaldía Mayor de Bogotá D. C. (2005).

Finalmente, se hizo un análisis comparado de los movimientos a la izquierda ordenando las mejores disposiciones infraestructurales en función de los menores tiempos requeridos, resaltando las condiciones particulares de cada movimiento como: presencia de semáforos e intersecciones en el recorrido y longitud.

Análisis de resultados

A continuación se presenta el análisis de los resultados respecto a la condición de nivel de servicio, la composición vehicular, la relación flujo-distancia-tiempo, y la clasificación de las intersecciones estudiadas en función de la velocidad promedio y la disposición de infraestructura para los movimientos a la izquierda.

Nivel de servicio y composición vehicular

El nivel de servicio se evaluó para cinco de las diez intersecciones, con la única intención de corroborar, mediante ese indicador, que la condición de las intersecciones en hora punta era suficientemente compleja en cuanto a tránsito y, por tanto, amerita estudiar el impacto de los tiempos y las velocidades vehiculares.

Como resultado se obtuvo:

Calle 134 con 7: nivel de servicio D: 53,59 s de demora en la intersección.

Calle 142 con 15: nivel de servicio E: 66,33 s de demora en la intersección.

Calle 151 con 19: nivel de servicio E: 59,63 s de demora en la intersección.

Calle 127 con 7: nivel de servicio F: 81,73 s de demora en la intersección.

Calle 147 con 7: nivel de servicio F: 222,79 s de demora en la intersección.

Cabe recordar que el nivel de servicio en intersecciones semaforizadas “se basa en la demora promedio por parada por vehículo para varios movimientos dentro de la intersección. Aunque la relación v/c afecta la demora, existen otros parámetros que la afectan más fuertemente, como la calidad de la sincronía, la duración de las fases de verde, la duración del ciclo y otros” (Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., 2005).

Otro aspecto por resaltar es que los resultados anteriores coinciden con los criterios de nivel de servicio para intersecciones semaforizadas expuestos en el *Highway Capacity Manual* de 2010. En el nivel de servicio D las demoras suelen estar entre 35 y 55 s, influenciadas por congestionamientos de largos ciclos o altas relaciones v/c que ocasionan la detención frecuente de los vehículos. En el nivel de servicio E las demoras suelen presentarse entre 55 y 80 s, generadas por condición de ciclo o relación v/c superiores al nivel de servicio anterior. Por último, para el nivel de servicio F las demoras superan los 80 s, presentando una condición de congestionamiento, es decir, cuando el flujo vehicular iguala o excede la capacidad de la intersección.

La incidencia de vehículos pesados en el tránsito se descartó al registrar un componente de vehículos livianos del 90 % como valor promedio en todas las intersecciones.

Relación del tiempo de recorrido con la distancia y el flujo vehicular

Inicialmente se establecieron las condiciones de flujo vehicular para cada uno de los movimientos de las diez intersecciones, lo que dio como resultado los valores expuestos en las tablas 1, 2 y 3. Son valores promedio para el flujo vehicular y el tiempo, y valor máximo para las longitudes.

Al analizar cada intersección la tendencia a los menores flujos vehiculares es a los movimientos a la derecha, seguido por los movimientos a la izquierda y los movimientos directos con flujos que prácticamente duplican los anteriores (llegando a valores de 1328 veh/h, cuando los otros dos movimientos no superan los 620 veh/h).

Respecto a las distancias por recorrer, las mayores se registran en las intersecciones con oreja manzana (llegando a los 864 m), seguidas por aquellos que requieren hacer un retorno en el recorrido para el movimiento a la izquierda (llegando a los 331 m), mientras que las distancias restantes registran como tope 64 m.

Por su parte, los tiempos de recorrido promedio se registran en un rango no muy amplio (de 5 a 13 s) para los movimientos directos y a la derecha, con una tendencia a ser mayor en los primeros. Los movimientos a la izquierda se mantienen dentro de este rango o muy cercanos, a excepción de las intersecciones que cuentan con

retornos y oreja manzana (llegando a valores de 215 s y un excepcional de 390 s), es decir, las mismas intersecciones que presentan grandes longitudes para movimiento a la izquierda. Por lo anterior, la relación de las tres variables expone que los tiempos de recorrido están ligados más a la longitud por recorrer que al flujo vehicular.

Tabla 1. Flujo vehicular por intersección (veh/h)

INTERSECCIÓN	DIRECTO	IZQUIERDA	DERECHA
Calle 134 con 9	1212	568	620
Calle 147 con 7	1160	508	112
Calle 127 con 15	260	156	224
Calle 142 con 15	312	84	64
Calle 151 con 19	224	88	56
Calle 127 con 7	1328	620	104
Calle 134 con 7	1328	652	108
Calle 140 con 9	584	156	112
Calle 147 con 15	928	528	60
Calle 153 con 7	1132	364	116

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Distancia en intersecciones por movimiento en metros

INTERSECCIÓN	DIRECTO	IZQUIERDA	DERECHA
Calle 134 con 9	45,61	864,56	34,98
Calle 147 con 7	33,08	47,07	29,91
Calle 127 con 15	48,96	917,00	17,76
Calle 142 con 15	39,88	721,20	15,44
Calle 151 con 19	23,08	27,18	12,34
Calle 127 con 7	25,21	35,12	34,98
Calle 134 con 7	43,71	37,60	21,91
Calle 140 con 9	39,74	667,83	16,49
Calle 147 con 15	42,97	61,93	15,15
Calle 153 con 7	64,44	331,28	20,36

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Tiempo de recorrido por movimiento en s

INTERSECCIÓN	DIRECTO	IZQUIERDA	DERECHA
Calle 134 con 9	10,35	214,95	13,05
Calle 147 con 7	5,10	11,40	6,60
Calle 127 con 15	13,65	390,00	4,65
Calle 142 con 15	9,15	210,00	4,73
Calle 151 con 19	6,90	14,10	3,90
Calle 127 con 7	4,95	9,30	10,50
Calle 134 con 7	10,74	10,17	5,70
Calle 140 con 9	11,40	233,29	4,43
Calle 147 con 15	7,65	9,81	13,01
Calle 153 con 7	10,20	119,60	4,20

Fuente: elaboración propia.

La figura 4 muestra la incidencia de los movimientos a la izquierda en los tiempos de recorrido. Mientras los movimientos directos registran altos flujos vehiculares (llegando al orden de 1 300 veh/h), los tiempos no superan los 30 s. Por el contrario, los movimientos a la izquierda no superan un flujo de 700 veh/h, pero los tiempos requeridos llegan a cifras cercanas a los 200 s y superiores.

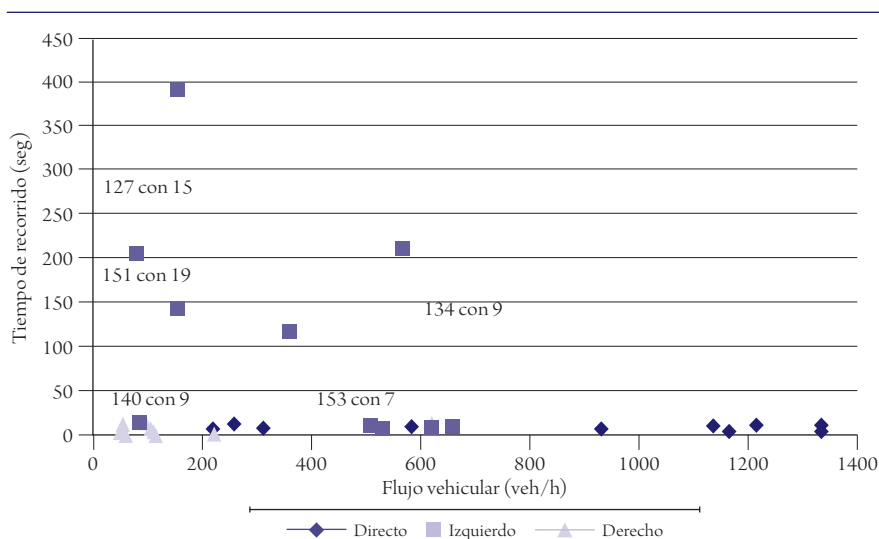


Figura 4. Flujo vehicular frente a tiempo de recorrido

Fuente: elaboración propia.

En la figura 4 se registra una intersección en movimiento a la izquierda con el mayor tiempo de recorrido a la vez que tiene un bajo en flujo vehicular (cerca de 400 s y menos de 200 veh/h). Se trata de la intersección de la calle 127 con carrera 15 la cual tiene la particularidad de que en el movimiento de norte a oriente presenta una oreja manzana de gran longitud (917 m) y dos semáforos en el trayecto, circunstancia que eleva significativamente el tiempo para lograr el giro a la izquierda.

La segunda intersección de mayor tiempo es la calle 151 con carrera 19. El tiempo cercano a los 200 s se debe a que las fases que permiten giros a la izquierda son cortas con respecto a las fases para movimientos directos, lo que resulta en que la espera de giros a la izquierda es mucho mayor con respecto a los otros movimientos.

La tercera intersección que se destaca por su alto tiempo de recorrido y por tener un flujo vehicular considerable es la calle 134 con carrera 9. Esta intersección se destaca por ser la única de las seleccionadas que tiene un giro de oreja semaforizada en el sentido sur-occidente, que es un giro a la izquierda. A pesar de que contar con una oreja es una gran opción por reducción de tiempo, este caso tiene la particularidad de que al finalizar el trazado de la oreja se llega a un sistema de filas de espera ocasionado por un semáforo en una vía secundaria como es la calle 134.

Al analizar la relación distancia-tiempo, la gráfica 2 establece que para una regresión lineal aplicada a las intersecciones que registran mayores tiempos de recorrido se obtiene un ajuste adecuado con un R^2 de 0,91 y por tanto se confía en la ecuación resultante. La ecuación de la recta de ajuste indica una pendiente de 0,33 la cual representa una velocidad promedio de 11 km/h, obtenida del inverso de la relación tiempo/distancia.

Adicionalmente se puede establecer que las mayores distancias registradas coinciden con los giros a la izquierda en donde no hay semáforos directos, como son los casos de: calle 140 con 9, calle 142 con 15, calle 134 con 9; siendo intersecciones con giros a la izquierda por medio de oreja manzana, que pueden llegar a valores cercanos a los 800 m; como caso extremo está la calle 127 con 15, donde hay semáforos para giros a la izquierda en algunos movimientos, pero en otro presenta oreja manzana con longitud hasta de 917 m (figura 5).

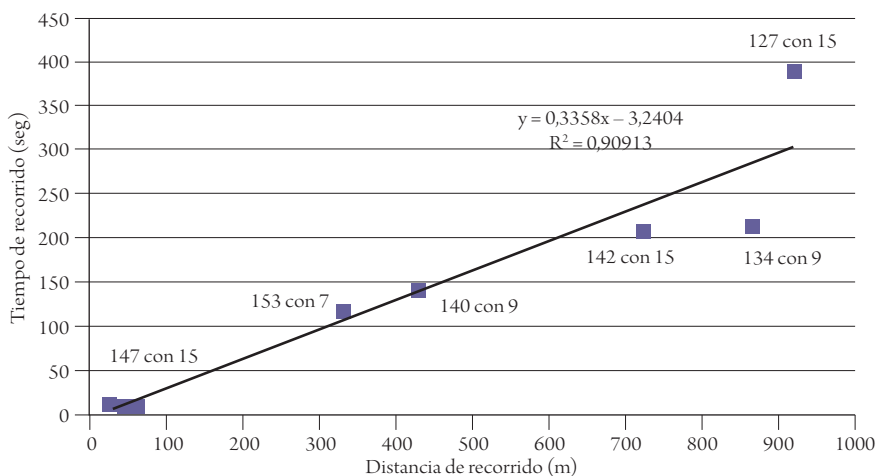


Figura 5. Distancia frente a tiempo de recorrido: giro a la izquierda

Fuente: elaboración propia.

Análisis de velocidad

El análisis comparado de las intersecciones se ha establecido en función de la velocidad de recorrido en los giros a la izquierda, dato que resulta de la relación distancia/tiempo.

Las velocidades significativamente bajas (inferiores a 10 km/h) se presentan para giros a la izquierda en las intersecciones de la calle 151 con 19 y la calle 127 con 15 (figura 6). La primera, aunque tiene semáforos directos y distancia relativamente corta (27 m) resulta demorada con respecto a otras intersecciones debido a fases relativamente cortas para los movimientos a la izquierda (entre 23 y 30 s).

En el caso de la 127 con 15, la intersección se destaca por disponer para el movimiento norte-este de una oreja manzana con recorrido de 917 m, que incluye dos semáforos. Una segunda opción para ese mismo movimiento es tomar un retorno que se encuentra sobre la calle 127 a 450 m de la intersección y con 965 m de recorrido total, con presencia de un semáforo en el trayecto.

Las siguientes siete intersecciones muestran velocidades que oscilan entre los 10 y los 15 km/h, con un valor promedio de 12,75 km/h (figura 6):

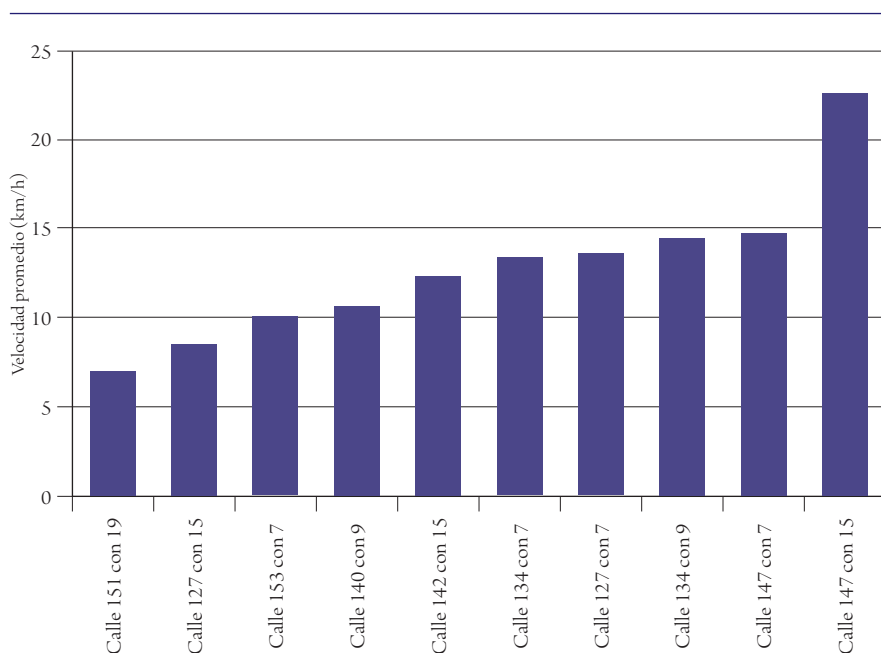


Figura 6. Velocidad promedio: giro a la izquierda

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, como valor extremo, la intersección de la calle 147 con carrera 15 se presenta con el mejor comportamiento en cuanto a velocidad (22 km/h) debido a que cuenta con bahía corta semaforizada para giros a la izquierda en el centro de la intersección, y las inmediaciones al culminar los giros a la izquierda no demandan estacionamientos por actividad comercial. A diferencia de la intersección que presenta la menor velocidad (calle 151 con 19), esta intersección recorre mayor longitud (60 m frente a 27 m) en menor tiempo (10 s frente a 14 s). Otros tres factores que diferencian las dos intersecciones son: primero, que la carrera 19 presenta un trazado de ciclovía, hecho que demora el cruce a la izquierda al no haber semáforo para los ciclistas (el vehículo cruza sigilosamente con el fin de evitar colisionar con un ciclista, y si el segundo se aproxima posiblemente el primero le dé paso), como sí ocurre en la intersección con la calle 153 de la misma carrera. Como segundo factor se tiene que al realizarse el cruce de norte a este se presenta una bahía de estacionamiento comercial que al estar en funcionamiento para entrada o salida de vehículos puede hacer frenar a quien realiza el cruce en mención. Finalmente, en ese mismo cruce de norte a este los vehículos suelen hacer doble fila para un solo carril de cruce por lo cual suele haber demora en el mismo por

cuello de botella en reducción 2 a 1. La combinación de esos tres factores muestra un diferencial importante (que se refleja en los niveles de servicio) al comparar dos intersecciones que a pesar de contar con semáforos de giro a la izquierda (situación que se considera ideal por acortar distancia y tiempo en el cruce) registran velocidades de recorrido sustancialmente diferentes y extremas para la muestra estudiada.

Clasificación de las intersecciones en tres grupos por velocidad

El análisis comparado en función de la velocidad de recorrido para los movimientos a la izquierda permitió establecer tres grupos de intersecciones dentro de la muestra: la de mejor velocidad (15 a 25 km/h), las de velocidad media (10 a 15 km/h) y las de menor velocidad (5 a 10 km/h).

Pero más allá de la velocidad como variable o indicador discriminatorio por grupos de intersecciones se manifiestan cinco condicionantes adicionales que coinciden con la clasificación por velocidad (tabla 4):

1. Nivel de servicio de la intersección. Las intersecciones con mejores velocidades registran, como era de esperarse, mejor nivel de servicio que las de velocidades mayores.
2. Disponibilidad de estacionamientos públicos por actividad comercial. Este indicador se ha determinado en bajo, medio y alto mediante observación y criterio de los investigadores. Se encuentra tendencia a que en los alrededores de las intersecciones con mejores velocidades hay escasa actividad comercial y, por tanto, baja demanda por estacionamiento. Lo contrario se aprecia con facilidad en la calle 127 con 15, intersección rodeada de una intensa actividad comercial y oferta de parqueaderos, hecho que incide en una reducción sustancial de la velocidad vehicular en las vías que le circundan.
3. Nivel de conflicto con los peatones. Este se ha clasificado en bajo, medio y alto según criterio de la metodología para hallar el factor de equivalencia por vuelta a la derecha empleado para determinar los ADE (Automóvil Directo Equivalente) (Cal y Mayor, 2007). El nivel de peatones se liga a la actividad comercial de la zona.

La distancia de recorrido en el movimiento a la izquierda. A este respecto se tiene una relación evidente, y es que a menor distancia de trayecto, mayor es la velocidad.

- Número de semáforos presentes en el movimiento a la izquierda. A mayor número de semáforos, la tendencia implica menores velocidades, pues el tiempo en fila de espera disminuye la velocidad de recorrido. La tendencia ideal sería la de semáforos directos con un solo semáforo, seguida por el esquema de semáforos directos con dos semáforos; luego, giros por orejas u orejas manzana con dos semáforos en el trayecto, y finalmente orejas manzana que impliquen más de dos semáforos como es el caso de la calle 127 con 15 en el trayecto de norte a este al dar la vuelta a la manzana frente al centro comercial Unicentro.
- Tipo de infraestructura para el movimiento a la izquierda. La tendencia encontrada es que en las intersecciones con mayores velocidades hay semáforos para giro directo. En las del segundo rango hay combinación de orejas manzana y semáforos directos, y en el rango de menores velocidades la tendencia para el giro a la izquierda es por medio de retornos u orejas manzana.

Tabla 4. Clasificación de las intersecciones según velocidad promedio en giro a la izquierda

VELOCIDAD (KM/H)	15-25	10-15	5-10
Intersecciones	Calle 147 con 15	Calle 134 con 9 Calle 142 con 15 Calle 127 con 7 Calle 134 con 7 Calle 140 con 9 Calle 147 con 7 Calle 153 con 7	Calle 151 con 19 Calle 127 con 15
Nivel de servicio	B – C	D – E	F
Disponibilidad de estacionamientos sobre el lugar	Bajo	Medio	Alto
Nivel del conflicto con los peatones	Bajo	Medio	Alto
Distancia (m)	0-500	100-500	500-1000
	2 semáforos	1-2 semáforos	2-3 semáforos
Tipo de estructura	Semáforos directos	Oreja manzana-semáforos directos	Oreja manzana-retornos

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Una de las primeras premisas corroboradas en este trabajo es que sin importar el diseño de la intersección, los giros o movimientos a la izquierda son los que registran menor velocidad debido a que son los que consumen mayores tiempos de trayecto y, por ende, son mayores las distancias que se deben recorrer.

Por otro lado, las proyecciones de futuras intersecciones que involucren vías primarias o secundarias deben considerar los siguientes criterios: en primer lugar, la disposición de infraestructura para los movimientos a la izquierda, con preferencia por semáforos con carril exclusivo para giro, debidamente proyectado este último para demandas futuras, buscando minimizar o eliminar la formación de segundas filas cuando se disponga de un solo carril en la salida de la intersección, pues genera el consecuente cuello de botella. Como siguiente opción se propende por orejas, y en último lugar por las denominadas oreja manzana, dependiendo estas últimas de su longitud y el número de semáforos e intersecciones con prioridad de pare que se presenten en el trayecto.

Pero la infraestructura dispuesta para el movimiento a la izquierda no solo se ve afectada por la longitud de recorrido y el flujo vehicular. Otro problema encontrado que disminuye notablemente la velocidad de recorrido en el giro de la intersección es la presencia de actividades que obliguen a los vehículos a detener momentáneamente su marcha, como es el caso de salida y entrada a estacionamientos públicos, así como ciclovías no reguladas por semáforos. Una importante actividad comercial en las calles de salida de la intersección es muestra de ello. Por lo anotado se recomienda que los futuros trazados urbanísticos contemplen que las entradas y salidas a intersecciones de primer y segundo orden permitan la circulación de un amplio flujo vehicular sin interrupciones en la marcha, logrando mejor velocidad, menos demoras y coadyuvando a mantener niveles de servicio que no sobrepasen la categoría D.

Referencias

Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2005). *Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte*. Bogotá.

- Alcaldía Mayor de Bogotá D. C., Secretaría Distrital de Movilidad (2012). *Presentación del Plan de Desarrollo Distrital 2012-2016*. Recuperado de: http://www.movilidadbogota.gov.co/hiwebx_archivos/ideofolio/presentacin-plan-de-desarrollo-sector-de-movilidad_4193.pdf
- Bogotá cómo vamos (2012, diciembre). *Sector movilidad*. Recuperado de: <http://www.bogotacomovamos.org/sectores/movilidad/>
- Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J. (2007). *Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones*. 8° edición. México: Alfaomega.
- Caracol Radio. *Tránsito lento en la entrada a Bogotá por la Autopista Norte* (2011, abril 25). Bogotá D.C. Recuperado de: <http://www.caracol.com.co/noticias/bogota/transito-lento-en-la-entrada-a-bogota-por-la-autopista-norte/20110425/nota/1459495.aspx>
- Castro, W. (2000). Estudio de la capacidad vial en intersecciones a nivel para la ciudad de Ibagué. *Revista Ingeniería e Investigación*, 46, 56-63.
- Chávez, A. et al. (2002). Metodología para la óptima coordinación de corredores viales semaforizados utilizando software especializado (trabajo de grado). Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Concejo de Bogotá D.C. (2012, noviembre). *Proyecto de acuerdo 171 de 2011*. Recuperado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=42999>.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2012, diciembre). *Proyección de población 2005 a 2020*. Recuperado de: www.dane.gov.co/
- Diario *El Nuevo Siglo* (2011, octubre 25). Bogotá D.C. Recuperado de: <http://www.elnuevosiglo.com.co/articulos/10-2011-sos-por-la-movilidad-de-la-autopista-norte.html>.
- Diario Portafolio (2011, septiembre 29). Motorización y competitividad de las ciudades. Recuperado de: <http://www.portafolio.co/opinion/motorizacion-y-competitividad-las-ciudades>
- Dirección General de Tráfico. Ministerio del Interior, Gobierno de España (DGT) (2012, agosto). *Intersecciones: concepto, funcionamiento y clasificación*. Madrid. Recuperado de: http://www.dgt.es/was6/portal/contenidos/documentos/la_dgt/recursos_humanos_empleo/oposiciones/TEMA_076.pdf
- Highway Capacity Manual (HCM) (2010). *Transportation Research Board of the National Academies*. Washington D.C.
- Martin, M. (2012). *Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de glorietas con flujos de tráfico descompensados mediante microsimulación de tráfico*. Cátedra Abertis, Barcelona. Recuperado de: http://www.catedrasabertis.com/material/premio/media/LLIBRE_Premi_Abertis_Gasulla_2012.pdf

Vélez, E. (2011). *Análisis comparativo entre glorietas tradicionales y glorietas espirales o turbo-glorietas. Ventajas e inconvenientes. Capacidad y ubicación*. Recuperado de: http://eduardovelez.nom.es/files/Art_TG1.pdf.