

Análisis de los factores de ajuste por utilización de carril en intersecciones semaforizadas de Bogotá D. C.

Analysing adjustment factors for using lanes at traffic-light-controlled intersections in Bogotá, Colombia.

Ricardo José Peña Lindarte¹

RESUMEN

Este artículo está basado en el planteamiento metodológico desarrollado en el *Manual de Capacidad de Carreteras de Estados Unidos (HCM - Highway Capacity Manual)*, de la Transportation Research Board (TRB), para el análisis de capacidad y niveles de servicio en intersecciones semaforizadas, asociado al factor de ajuste por utilización de carril (f_{LU}), que corresponde a uno de los once factores de ajuste propuestos en la metodología de cálculo, en el módulo de intensidades de saturación. La estimación del factor f_{LU} plantea la definición de una metodología teniendo en cuenta las condiciones operacionales de intersecciones semaforizadas en Bogotá D. C. a partir del análisis de las corrientes vehiculares, que incluye caracterización vial y del tránsito, con base en muestreos estadísticos, toma y procesamiento de información de campo y análisis de datos. El estudio establece, entre otros aspectos, ecuaciones que permiten obtener datos referenciales para la determinación de factores de ajuste por utilización de carril en vías de Bogotá en función de las tipologías de los accesos y el volumen vehicular prevaeciente para el análisis de intersecciones semaforizadas; por ejemplo, para el caso específico de vías con accesos de dos carriles directos (2CCD) la ecuación básica determinada fue $y = -3,03E-08X^2 + 3,44E-05X + 0,888988$, con coeficiente de correlación igual a 1,0, donde la variable dependiente y corresponde al factor f_{LU} y la variable independiente X es el volumen en vehículos mixtos/hora, ecuación considerada estadísticamente significativa. Finalmente, se presenta el análisis comparativo de los factores de ajuste por utilización de carril estimados en el estudio, comparando los valores recomendados por el HCM, sustentándose así las conclusiones y recomendaciones, de las cuales se extrae la validación de los factores recomendados por el HCM, y se propone utilizar para los proyectos de diseño y planeamiento semafórico los valores obtenidos en el estudio.

Palabras clave: intersecciones semaforizadas, flujos de saturación, capacidad y niveles de servicio.

ABSTRACT

This article was focused on analysing the lane use adjustment factor (f_{LU}) forming one of the eleven adjustment factors proposed in the current calculation methodology contained in the 2000 version of the Transportation Research Board's (TRB) Highway Capacity Manual (HCM) for analysing traffic-light-controlled intersection capacity in terms of saturation intensity. A methodology was established when analysing the f_{LU} factor that considered operational conditions regarding traffic-light-controlled intersections in Bogota. Road traffic flows were analysed, including characterising road traffic based on statistical sampling, field data collection and analysis. The project proposed equations allowing reference values to be gathered for determining adjustment factors regarding lane use on roads in Bogota in relation to existing access typologies and road traffic volume for analysing traffic-light-controlled intersections. For example, in the specific case of roads having direct double-lane access (2CCD), the basic equation was determined to be $y = -3,03E-08X^2 + 3,44E-05X + 0,888988$, having a 1.0 coefficient of correlation. The dependent variable y referred to the f_{LU} factor and the independent variable X was the volume of road traffic in mixed vehicles/hour. This equation was considered to be statistically relevant. A comparative analysis of the lane use adjustment factors estimated in the project is also presented and compared to the values recommended by the US Highway Capacity Manual. The project's conclusions and recommendations were thus sustained, validating the recommended factors summarised by the HCM and recommending that the results obtained from the project should be used in traffic-light-controlled design and planning projects.

Keywords: traffic-light-controlled intersection, saturation flow, service capacity and level.

Recibido: abril 29 de 2009

Aceptado: marzo 19 de 2010

Introducción

Las formulaciones matemáticas que se desarrollan en los estudios de tránsito se basan principalmente en la evaluación de los tres elementos básicos que componen el tránsito: usuarios (Peatones y

conductores), vehículos y sistema vial (clasificación funcional y características geométricas). En general, los modelos matemáticos que se utilizan para los análisis del tránsito son tomados de estudios realizados en Estados Unidos por la TRB y recopilados en el HCM de ese país, estudios que en la mayoría de los casos no podrían ser aplicados directamente dada la variabilidad del compor-

¹ Ingeniero Civil, Universidad Francisco de Paula Santander, Bogotá, Colombia. Especialista, en Transportes, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. M.Sc., en Transporte, Universidad Nacional de Colombia. Profesor Asistente, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. rjpenal@unal.edu.co

tamiento operacional de los elementos básicos, debiéndose partir de un análisis general de la cultura de los peatones y conductores en el uso de la infraestructura vial, hasta llegar a un análisis particular de las condiciones topográficas, climáticas y de operación vehicular por regiones.

No obstante lo anterior, los modelos matemáticos y las metodologías de toma de información, procesamiento, cálculo y análisis de resultados suministrados por el HCM se han constituido en referentes básicos para el desarrollo de investigaciones que permiten establecer el comportamiento específico de los elementos básicos de la ingeniería de tránsito para la evaluación de condiciones operacionales particulares.

El presente documento compila el estudio realizado sobre el factor de ajuste por utilización de carril f_{LU} , que corresponde a uno de los once factores de ajuste propuestos en la actual metodología de cálculo contenida en el HCM para el análisis de capacidad y niveles de servicio de intersecciones semaforizadas, en el módulo de intensidades de saturación, teniendo en cuenta las condiciones operacionales de algunas intersecciones semaforizadas en Bogotá D. C., localizadas en vías arterias y en zonas no comerciales, a partir del análisis de información primaria de volúmenes vehiculares.

La consideración de seleccionar las vías arterias localizadas en zonas no comerciales tiene como fin racionalizar el marco muestral y concentrar el desarrollo del estudio en las vías con mayores volúmenes vehiculares, como son las vías arterias, donde se obtienen mayores beneficios económicos al proporcionar un adecuado planeamiento del tránsito.

En el desarrollo del estudio se adelantaron las siguientes actividades:

-Recopilación de información secundaria relacionada con los volúmenes vehiculares en intersecciones semaforizadas.

-Selección muestral de las intersecciones semaforizadas a evaluar.

-Diagnóstico de las características viales de las intersecciones reguladas por semáforos seleccionadas.

-Elaboración de una guía metodológica específica para la estimación del factor de utilización de carril f_{LU} en la ejecución de la toma de información de volúmenes vehiculares en campo.

-Toma de información en campo.

-Procesamiento y análisis de la información de campo mediante la aplicación de métodos de cálculo y estadísticos.

-Determinación de los factores por utilización de carril f_{LU} del estudio.

-Análisis y validación de los factores de ajuste por utilización de carril f_{LU} , calculados bajo las condiciones operacionales locales y su relación con los recomendados por el HCM.

-Recomendaciones y conclusiones del estudio.

Marco referencial

El factor de ajuste por utilización de carril que propone el HCM versión 2000² toma como referencia el flujo de carril con el volumen vehicular más alto en función de la evaluación con los volú-

menes vehiculares presentes en el grupo de carriles, basado en la siguiente formulación matemática:

$$f_{LU} = \frac{v_g}{(v_{g1} * N)} \quad (1)$$

En donde:

v_g : volumen vehicular sin ajustar para el grupo de carriles (veh/hora).

v_{g1} : volumen vehicular sin ajustar en el carril con el volumen vehicular más alto del grupo de carriles (veh/hora).

N: número de carriles en el grupo de carriles.

En la tabla 1 se presentan los valores de los factores de utilización de carril recomendados por el HCM versión 2000, en función de los movimientos presentes en la intersección para cada grupo de carril, así como del número de carriles que lo conforman.

Tabla 1. Factores de utilización de carril recomendados por el HCM para el análisis de intersecciones semaforizadas

Movimientos en los grupos de carriles	No de carriles en los grupos de carriles	Porcentaje del tránsito en el carril de mayor carga	Factor de utilización de carril recomendado f_{LU}
Flujos directos	1	100.0	1.0
	2	52.5	0.952
	3 ^a	36.7	0.908
Giro izquierdo exclusivo	1	100.0	1.0
	2 ^a	51.5	0.971
Giro derecho exclusivo	1	100.0	1.0
	2 ^a	56.5	0.885

^a Si el número de carriles es mayor que el presentado en la tabla se recomienda efectuar las mediciones de campo o, su excepción, tomar el menor valor recomendado de f_{LU} de acuerdo al grupo de carriles. Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras de Estados Unidos (HCM), versión 2000.

Los valores consignados en la tabla anterior son los que se analizan en esta ponencia para las condiciones de operación vehicular e infraestructura de la malla vial arterial en Bogotá D. C., con el propósito de contribuir a una planificación ajustada a las condiciones de operación en intersecciones semaforizadas —pues de acuerdo con los resultados se podrían obtener optimizaciones en el cálculo de la capacidad—, y al diseño de nuevos proyectos viales con similares connotaciones.

El estudio se desarrolló en Bogotá D. C., capital de la República de Colombia y del departamento de Cundinamarca, situada en la Sabana de Bogotá, al pie de los cerros de Guadalupe y Monserrate, a los 4° 35' 56" de latitud norte y 74° 04' 51" de longitud oeste, con una extensión aproximada de 1.605 Km². Su altura sobre el nivel del mar es de 2.600 m y tiene una temperatura media de 12,9 °C, precipitación media anual de 986 mm y presión atmosférica de 752 mb.

La metodología de cálculo que plantea el HCM para el análisis de intersecciones semaforizadas comienza con la selección de una saturación "ideal" dada por la capacidad máxima vehicular que puede operar la intersección bajo condiciones ideales del sistema vial, del tránsito y de los usuarios de la infraestructura, situación que se va ajustando de acuerdo con las condiciones prevalecientes de cada una de las intersecciones a partir de la utilización de factores de ajuste que pretenden reflejar el efecto ejercido por una o varias condiciones prevalecientes sobre las condiciones ideales.

Teniendo en cuenta lo anterior, se tiene que los valores de cada uno de los factores de ajuste se deben establecer a partir de la fija-

² La fórmula propuesta viene implementándose desde la actualización en 1997 de la tercera edición del Manual de capacidad de carreteras y la cuarta edición la adoptó en iguales condiciones.

ción de las demás factores que pueden alterar las condiciones operacionales. Para el caso en particular del estudio, en el análisis del factor de ajuste por utilización de carril (f_{IU}) se fijaron y controlaron los siguientes parámetros para la selección del marco muestral de las intersecciones semaforizadas a evaluar:

-Factor de ajuste de estacionamiento, f_p : malla vial arterial de Bogotá D. C. Al seleccionar este tipo de infraestructura vial se controla que en la evaluación del factor f_{IU} no se incorpore el estacionamiento como variable prevaleciente, ya que en ese tipo de vías éste está prohibido³ y adicionalmente los volúmenes vehiculares no permiten efectuarlo.

-Factor de ajuste por el tipo de área, f_a : área de estudio externa al sector financiero y comercial de Bogotá: controlando las ineficiencias operacionales fundamentadas en la complejidad y congestión general existente.

-Factor de inclinación de la rasante, f_g : accesos con pendientes longitudinales en el rango [-1%, 1%], minimizando los efectos generados por esta interferencia.

-Factor de ajuste a bloqueo por la operación de buses, f_{bb} : composiciones vehiculares hasta del 10% de vehículos de transporte público colectivo, limitando los impactos de la corriente vehicular por maniobras de ascenso y descenso de pasajeros en el área aledaña de la intersección semaforizada.

-Factor de vehículos pesados, f_{hv} : composiciones vehiculares hasta del 5% de vehículos pesados tipo camión, que adicionado a la restricción de operación del transporte público, garantiza un indicador inferior del 15% de vehículos pesados, controlando los efectos de operación y ocupación espacial vehicular.

-Factores de ajuste por giros a la derecha o a la izquierda en el grupo de carriles, f_{RT} y f_{LT} : tipología de accesos que excluya los giros permitidos derechos e izquierdos con carriles compartidos o exclusivos, disminuyendo los impactos que generan movimientos diferentes a los directos en la operación de las intersecciones semaforizadas.

-Factores de ajuste por peatones y bicicletas, f_{lpb} y f_{rpb} : factores controlados indirectamente al seleccionar el área de estudio.

-Factor de ajuste por ancho del carril, f_w : factor controlado indirectamente al seleccionar accesos semaforizados sobre la malla vial arterial, garantizando uniformidad de anchos de carriles entre los 3,0 y 3,6 m.

Otros criterios

- Accesos con régimen de operación saturado.
- Descarte de intersecciones semaforizadas con regulación exclusiva del tránsito vehicular con pasos peatonales o de bicicletas.
- Descarte de accesos con operación de sistemas BRT.
- Accesos pavimentados y con demarcación en buen estado.

³ El artículo 76 de la Ley 769 de 2002, Código Nacional de Tránsito Terrestre, establece: "Lugares prohibidos para estacionar. Está prohibido estacionar vehículos en los siguientes lugares:... en vías arteriales...", y el numeral 3 del artículo 184 del Decreto 619 de 2000 - Plan de Ordenamiento Territorial para Bogotá determina: "Artículo 184. Prohibición de estacionamientos... 3. Se prohíbe el estacionamiento sobre calzada en las vías del Plan Vial Arterial".

Metodología

Definidos los parámetros generales, se realizó un análisis integral de caracterización de la infraestructura vial y del tránsito, con el fin de determinar los accesos a evaluar, así:

-Caracterización de la infraestructura vial: actividad efectuada con base en los planos generales de Bogotá, definiendo el tipo de vía, los componentes de la sección vial y la continuidad de la trayectoria. Con base en los esquemas de intersecciones semaforizadas se determinó el número de carriles por calzada y la tipología de los accesos. De manera complementaria, se efectuaron levantamientos de campo de ancho de carriles, pendientes, estado del pavimento y estado de la demarcación.

Teniendo en cuenta el número de carriles de cada grupo de acceso (2 ó 3), los movimientos permitidos (derecho, izquierdo o derecho) y la configuración física de la intersección u operación semaforizada (giro exclusivo o compartido), se planteó la codificación de los accesos aplicables al estudio (Tabla 2).

Tabla 2. Codificación de los accesos de las intersecciones semaforizadas en estudio.

Codificación	Tipo de acceso
2CR	Con 2 carriles directos
2CCD	Con 2 carriles directos, carril derecho compartido
2CCI	Con 2 carriles directos, carril izquierdo compartido
2CCDCI	Con 2 carriles directos, carriles derecho e izquierdo compartido
2CED	Con 2 carriles directos y con un carril derecho exclusivo
2CEI	Con 2 carriles directos y con un carril izquierdo exclusivo
2CCDEI	Con 2 carriles directos, carril derecho compartido y con un carril izquierdo exclusivo
3CR	Con 3 carriles directos
3CCD	Con 3 carriles directos, carril derecho compartido
3CCI	Con 3 carriles directos, carril izquierdo compartido
3CCDCI	Con 3 carriles directos, carriles derecho e izquierdo compartido
3CED	Con 3 carriles directos y con un carril derecho exclusivo
3CEI	Con 3 carriles directos y con uno o dos carriles izquierdos exclusivo
4CCD	Con 4 carriles directos, carril derecho compartido
4CCI	Con 4 carriles directos, carril izquierdo compartido
4CEI	Con 4 carriles directos y con dos carriles izquierdos exclusivo
5CCD	Con 5 carriles directos, carril derecho compartido
5CCDEI	Con 5 carriles directos, carril derecho compartido y con un carril izquierdo exclusivo

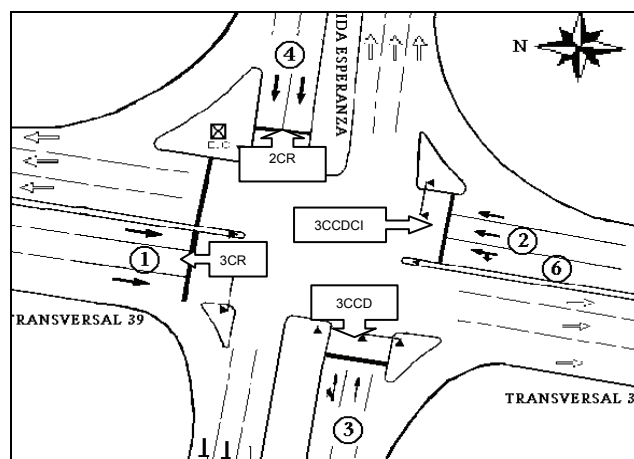


Figura 1. Representación gráfica de los accesos tipo 2CR, 3CR, 3CCDCI y 3CCD

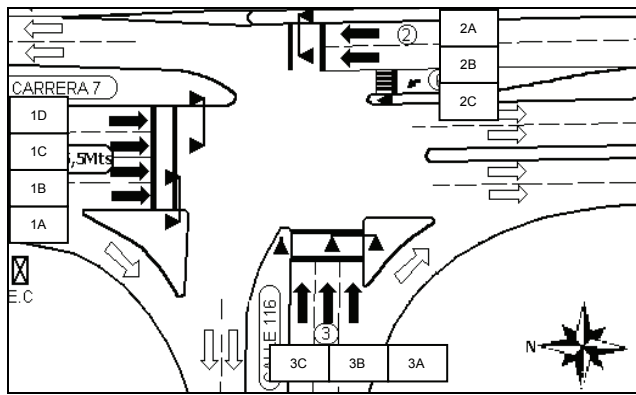


Figura 2. Ejemplo de representación gráfica de la codificación de carriles
Fuente: Elaboración propia.

-Caracterización del tránsito: actividad realizada con base en los registros históricos de volúmenes vehiculares, obteniéndose información en la hora de máxima demanda asociada a volúmenes, composición y movimientos vehiculares permitidos. Para la determinación del factor f_{LU} se recopiló información primaria de volúmenes vehiculares, para cada uno de los carriles que conforman el grupo de carriles de acceso, tomando un intervalo de agrupación cada 5 minutos. En la figura 1 se ilustran algunas representaciones gráficas de codificación de los accesos.

Para facilitar el proceso de análisis de la información recopilada y la evaluación del factor de utilización del carril para los grupos de ellos, se denominaron los carriles con el número del sentido del flujo vehicular, seguido con la letra a la cual corresponde el carril en estudio (Figura 2).

-Código del sentido del flujo vehicular:

Flujo vehicular sentido norte – sur	Código 1
Flujo vehicular sentido sur – norte	Código 2
Flujo vehicular sentido occidente – oriente	Código 3
Flujo vehicular sentido oriente – occidente	Código 4

-Código del carril: nombrando con la letra A el carril exterior de la calzada, con la letra B el carril siguiente, y así sucesivamente.

Finalizados los trabajos de campo, se obtuvo información técnica válida en 88 accesos de 48 intersecciones semaforizadas, localizadas en 13 corredores viales, asociada a 233 carriles en 90 grupos de ellos, correspondiente a un nivel de confianza de la muestra del 82%.

Determinación de factores por utilización de carril

Para el análisis de datos se aplicó estadística descriptiva, determinando las variables de media aritmética, desviación estándar y coeficiente de variación, a fin de revelar las tendencias y características del tránsito en cuanto a la estimación del factor f_{LU} haciendo la evaluación por tipo de acceso. En la tabla 3 se exponen los factores f_{LU} determinados.

De otro lado, a fin de establecer una relación entre los volúmenes vehiculares y los factores f_{LU} en intersecciones semaforizadas, bajo las condiciones operacionales locales, se procedió al análisis gráfico de los cálculos de la información de campo aplicando regresiones lineal, polinómica, logarítmica, exponencial o potencial, en función del número de carriles que conforman los grupos, adoptando como parámetro de referencia el coeficiente de determina-

ción R^2 , que indica la relación de ajuste entre los datos y el modelo estadístico.

La amplitud de los intervalos de agrupación de los volúmenes vehiculares fue de 500 vehículos/hora, y el modelo gráfico se generó con los valores promedio de los factores de utilización de carril en relación con los valores promedios de los volúmenes vehiculares existentes en cada uno de los intervalos. A continuación se detallan los resultados obtenidos.

-Accesos dos carriles directos (2CR): modelo gráfico $y = -7,02E-09X^2 + 9,61E-05X + 0,80674$

-Accesos tres carriles directos (3CR): modelo gráfico $y = 2,5E-08X^2 + 1,72E-05X + 0,6851$

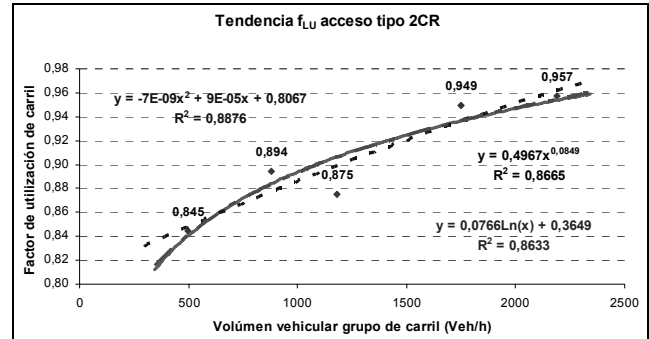


Figura 3. Modelo gráfico calibrado, acceso tipo 2CR

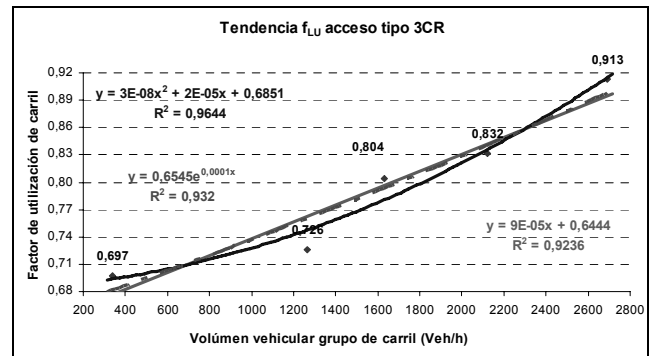


Figura 4. Modelo gráfico calibrado, acceso tipo 3CR

Conclusiones

En el estudio se identificó que es posible lograr la calibración de variables utilizadas en las metodologías planteadas por la TRB en el HCM de acuerdo con las condiciones operacionales locales. En la tabla 6 se presenta el análisis comparativo entre los factores f_{LU} recomendados por el HCM y los calculados en el estudio bajo las condiciones operacionales de Bogotá D. C.

Los factores de ajuste por utilización de carril sugeridos para el análisis de intersecciones semaforizadas para Bogotá determinaron un incremento del 0,53% de la incidencia en el factor por distribución de los flujos vehiculares en el análisis de intersecciones semaforizadas conformadas por grupos de carriles con dos carriles de flujos directos, determinándose un 0,04 de desviación estándar de los datos con respecto de la media, reflejados en un 4,2% de coeficiente de variación. En forma contraria, y en beneficio de la capacidad en los grupos de carriles conformados por tres carriles directos y dos carriles con giros exclusivos a la izquierda, se obtuvo para cada uno de los casos una disminución del factor de ajuste

por utilización de carril recomendados por el HCM del 1,5%⁴ y del 0,2%.

se registran niveles de saturación, así como factores de hora pico superiores a 0,80.

Tabla 3. Determinación de factores f_{LU} del estudio

Dos carriles directos (2CR)		Valores período pico									
Dirección	Sentido	Período	Vol. Veh. grupo de carriles	FHP	Composición vehicular			% Utilización del carril			Factor de utilización de carril
					VL	B	C	A	B	C	
Calle 72 x Carrera 43	E-W	16:05 - 17:05	1294	0,77	88,5%	5,6%	6,0%	46,3%	53,7%	-	0,931
Carrera 7 X Calle 112	S-N	19:05 - 20:05	1802	0,83	99,9%	0,1%	0,0%	49,1%	50,9%	-	0,983
Avenida 68 X Diagonal 3	S-N	06:05 - 07:05	2037	0,86	98,6%	0,2%	1,1%	52,6%	47,4%	-	0,950
Avenida 68 X Calle 23	N-S	06:25 - 07:25	2058	0,80	99,1%	0,0%	0,8%	51,0%	49,0%	-	0,980
Avenida Boyacá X Diagonal 9	N-S	06:00 - 07:00	2077	0,84	98,1%	0,3%	1,6%	45,5%	54,5%	-	0,917
Carrera 7 X Calle 106	N-S	06:15 - 07:15	2236	0,84	99,8%	0,0%	0,2%	48,1%	51,9%	-	0,964
Avenida Boyacá X Diagonal 9	S-N	06:00 - 07:00	2301	0,84	99,1%	0,3%	0,6%	52,5%	47,5%	-	0,952
Avenida 68 X Calle 66	N-S	06:20 - 07:20	2441	0,84	99,9%	0,0%	0,1%	50,9%	49,1%	-	0,982
Tres carriles directos (3CR)		Valores período pico									
Dirección	Sentido	Período	Vol. Veh. grupo de carriles	FHP	Composición vehicular			% Utilización del carril			Factor de utilización de carril
					VL	B	C	A	B	C	
Autopista Medellín X Transversal 96	E-W	20:00 - 21:00	2225	0,64	96,5%	0,9%	2,6%	41,6%	29,1%	29,3%	0,801
Avenida Ciudad de Quito X Calle 2	S-N	06:15 - 07:15	2584	0,84	99,5%	0,1%	0,3%	34,5%	33,6%	31,9%	0,967
Avenida Ciudad de Quito X Avenida 3	N-S	16:25 - 17:25	2610	0,79	98,0%	0,1%	2,0%	35,1%	33,1%	31,8%	0,950
Avenida Boyacá X Calle 126A	N-S	06:20 - 07:20	2639	0,79	91,8%	4,9%	3,3%	24,7%	34,5%	40,8%	0,817
Autopista Medellín X Transversal 92A	W-E	06:25 - 07:25	2752	0,76	92,1%	5,3%	2,5%	22,3%	37,8%	39,9%	0,835
Avenida Ciudad de Quito X Avenida 3	S-N	06:20 - 07:20	2859	0,80	98,8%	0,2%	1,0%	33,4%	33,5%	33,2%	0,996
Dos carriles exclusivos izquierdos (2CEI)		Valores período pico									
Dirección	Sentido	Período	Vol. Veh. grupo de carriles	FHP	Composición vehicular			% Utilización del carril			Factor de utilización de carril
					VL	B	C	A	B	C	
Avenida Boyacá X Avenida Iberia	N-S	06:15 - 07:15	973	0,65	96,0%	3,5%	0,5%	48,4%	51,6%	-	0,969

Tabla 4. Datos de la calibración del modelo gráfico para el acceso tipo 2CR

Rango Vol. Máx. (Veh/h)	Vol. Máx Promedio (Veh/h)	f_{LU}
[0 - 2500]	1659	0,924
[0 - 500]	495	0,845
[500 - 1000]	880	0,894
[1000 - 1500]	1182	0,875
[1500 - 2000]	1751	0,949
[2000 - 2500]	2192	0,957

Tabla 5. Datos de la calibración del modelo gráfico para el acceso tipo 3CR

Rango Vol. Máx. (Veh/h)	Vol. Máx Promedio (Veh/h)	f_{LU}
[0 - 3000]	1995	0,832
[0 - 500]	341	0,697
[500 - 1000]	-	-
[1000 - 1500]	1264	0,726
[1500 - 2000]	1629	0,804
[2000 - 2500]	2120	0,832
[2500 - 3000]	2689	0,913

De las observaciones de campo se identificó que en intersecciones semaforizadas con volúmenes mayores a 700 vehículo/hora/carril

ta, lo cual obliga a la detención de vehículos en este carril en espera del cambio de fase.

En general, los parámetros estadísticos obtenidos, tales como desviación estándar, coeficiente de variación, coeficiente de correlación y variaciones relativas y absolutas en el análisis de la información, demuestran la confiabilidad de los datos recolectados, ya que para el estudio se determinó un nivel de confianza del 82%.

El estudio genera perspectiva a investigaciones futuras, las cuales deberían ir enfocadas a la calibración y validación de factores de ajuste complementarios que representen las condiciones prevalentes del tráfico y a la generación de una metodología propia para el análisis de capacidad y niveles de servicio de intersecciones semaforizadas, haciendo énfasis en que a la fecha en Bogotá D. C. se han definido los factores de ajuste por vehículos pesados (f_{HV}), por maniobras de estacionamiento (f_p) y por obstrucción de buses (f_{bb}), y con este estudio, el factor de ajuste por utilización de carril (f_{LU}).

Bibliografía

Bastidas, C., Flujo de Saturación en Intersecciones Semaforizadas en Santafé de Bogotá., Tesis presentada a la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá D.C., para optar al grado de Ingeniero Civil, 1999.

⁴ Obteniéndose una desviación estándar de 0,09 y un coeficiente de variación del 9,6%.

CAL & MAYOR Y ASOCIADOS, S. C., Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte en Santa Fe de Bogotá., Alcaldía Mayor de Santa Fe de Bogotá, Secretaría de Tránsito y Transporte., The World Bank., Bogotá D.C., 1998.

Departamento Administrativo de Planeación Distrital., Plan de Ordenamiento Territorial para Bogotá D.C., Bogotá D.C., 2000.

Transportation Research Board. Highway Capacity Manual (HCM). 4a edición., National Research Council, Washington D.C., 2000.

McSHANE R., William y ROESS P., Roger., Traffic Engineering, Prentice-Hall., Inc. A Paramount Communications Company., New Jersey, 1990, pp. 660.

Tabla 6. Análisis comparativo de los factores f_{LU} calculados en el estudio y los factores f_{LU} recomendados por el HCM

Movimientos en los grupos de carriles	No. de carriles en los grupos de carriles	Porcentaje del tránsito en el carril de mayor carga	Factor de utilización de carril sugerido para Bogotá D.C.
Flujos directos	1	100.0	1.0
	2	50.5	0.957
	3	34.5	0.894
	4	30.7 ¹	0.815 ¹
Giro izquierdo exclusivo	1	100.0	1.0
	2 ²	51.6	0.969
Giro derecho exclusivo ²	1	100.0	1.0
	2 ²	56.5	0.885

Fuentes: Manual de Capacidad de Carreteras, versión 2000, y cálculos propios.

² Si el número de carriles es mayor que el presentado en la tabla se recomienda efectuar las mediciones de campo, o tomar el menor valor recomendado de f_{LU} de acuerdo con el grupo de carriles. ¹ No requiere estimación.

ND = La muestra seleccionada para el estudio no tiene este tipo de grupo de carril.