

**RESUMEN:** Se presenta un diagnóstico de la operación del tránsito en la carrera 12 de Tunja, entre calles 18 y 22, mediante un estudio de observación del corredor en un día típico, en un periodo de alta demanda, se caracteriza dicho sistema mediante los estudios de ingeniería de tránsito pertinentes y basados en los parámetros definidos en el Highway Capacity Manual del año 2000 (HCM 2000). Se expone de una forma clara la metodología usada para lograr dicho fin y se muestran algunas alternativas propuestas para mejorar la movilidad del corredor con base en el análisis de la información primaria de los estudios y la modelación de las intersecciones en HCS 2000.

**PALABRAS CLAVE:** Caracterización, Tránsito, HCM2000, Operación.

**ABSTRACT:** This paper shows up a diagnosis of the operation of the traffic in the career 12 of Tunja among streets 18 and 22, by means of a study of observation of the corridor in a typical day in a period of discharge demands, characterizing this system by means of the pertinent studies of traffic engineering and based on the parameters defined in Highway Manual Capacity of the year 2000 (HCM 2000). This presents in a clear form the methodology used to achieve this objective and some alternatives proposals are shown to improve the mobility of the corridor with base in the analysis of the primary information of the studies and the model in the intersections with HCS 2000.

**KEYWORDS:** Characterization, Traffic, HCM2000, Operation.



# Caracterización de la Operación del Tránsito

## en la carrera 12 de Tunja basada en el HCM

Por: **HECTOR MAURICIO SANCHEZ ABRIL**  
Mag. en Ingeniería de Transporte, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia  
Docente e Investigador Grupo ACI, Facultad de Ingeniería Civil  
Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja, Colombia  
hsanchezma@ustatunja.edu.co



## INTRODUCCIÓN

Los problemas y las características de la movilidad en las diferentes ciudades son diversos y dependen del entorno, de las particularidades de las personas y de su cultura, por tanto, se requiere un estudio detallado, para identificar patrones, tendencias y comportamientos de las personas que habitan dichos lugares, con el objeto de diseñar sistemas de transporte acordes con sus características, de tal manera que se satisfagan las necesidades de movilidad, de acuerdo con el medio y lo que este espera.

El tránsito en un tramo específico posee unas características propias que definen las acciones necesarias para implementarse para mejorar la calidad de vida y movilidad de los usuarios. En el caso de la carrera 12 de Tunja se ha identificado como tramo importante por la dinámica de las actividades que allí se presentan, el comprendido entre las calles 18 y 22, teniendo en cuenta la incidencia que tienen otros puntos importantes de este corredor del centro de Tunja denominado "carrera 12" que inicia en la avenida Colón y termina en el parque Santander.

Se presenta entonces, por medio de este artículo, la metodología utilizada para caracterizar la operación del tránsito en el corredor mencionado, la información obtenida a partir de los estudios de tránsito realizados (BOX P.C. y J. C. Oppenlander. "Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito") y los resultados después de realizada la modelación con HCS2000. Finalmente se plantean las alternativas posibles de solución ante las deficiencias encontradas.

## II. DESARROLLO

### A. CARACTERIZACIÓN DEL TRÁNSITO

La caracterización del corredor de la carrera 12 (Figura 1) desde la calle 17 hasta la calle 20 se realizó con base en información primaria recolectada con la colaboración de los estudiantes del curso de sistemas de transporte de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás de Tunja. El corredor se muestra en la figura 1.

La fase 1 del proyecto consistió en la observación del corredor a estudiar, esta observación comprende los elementos del tránsito (usuarios: peatones y conductores), vehículos, infraestructura vial, dispositivos de control del tránsito, elementos del entorno y características autóctonas de comportamiento y conflictos).

La fase 2 consistió en la programación y ejecución de la toma de información mediante estudios de ingeniería de tránsito; esta fase involucró la programación de día y hora de toma de información, diseño de formatos de campo, programación y capacitación del personal necesario, consecución de materiales y equipos necesari-

os, recolección y digitalización de la información, tratamiento estadístico de la información, análisis y depuración e interpretación de los resultados de los estudios.

La fase 3 correspondió a la modelación y determinación de indicadores operativos del corredor que permitieron caracterizarlo.

La fase 4 consistió en el planteamiento de las alternativas para abordar la problemática del corredor. Se consideraron alternativas de bajo, mediano y alto costo. Se descartaron las alternativas de tipo integral, puesto que involucran una escala superior al entorno de análisis del estudio.



FIGURA 1. CARRERA 12 DE TUNJA

Fuente: Estudios Caracterización de la operación del Tránsito en la Carrera 12

### 1). FASE 1. OBSERVACIÓN

Este es el primer paso en el diagnóstico de la situación problemática en el corredor, para su realización, se escogió el día martes 14 de abril de 2009, a las 11:50 a.m.. El procedimiento consistió en recorrer la carrera 12 a pie y apreciar el comportamiento e interacción de los elementos involucrados en la operación del tránsito en el sector, dichas apreciaciones se consignaron para su posterior organización y consideración como posible efecto o causa de la problemática en el tramo.

El corredor corresponde a una vía arteria para la ciudad de Tunja, consta de una calzada de unos 7 metros de ancho con dos carriles de circulación, uno para cada sentido (Figura 1). Se encuentra orientada en sentido norte-sur, permite circular por el costado occidental de la zona central de la ciudad, se encuentra entre el centro y sitios de interés como: Funeraria San Francisco, Centro

Comercial Plaza Real, Zona de ferreterías y materiales para construcción (carrera 14), SENA, iglesia del Topo, ancianato municipal y la Universidad Santo Tomás, entre otros.

### 1.1 Infraestructura vial

La calzada vehicular y aceras presentan variaciones notables en su sección transversal. La superficie de rodadura está constituida por pavimento asfáltico en buen estado. La superficie de las aceras presenta grandes variaciones, su estado es malo en términos generales, no cuentan con rampas para acceso de peatones discapacitados, ni con el ancho efectivo mínimo para su circulación, se observa toda suerte de obstáculos interpuestos a la circulación peatonal por el corredor, tales como: vendedores ambulantes, carteles publicitarios, señales verticales, hidrantes, postes, escalones, rampas de garajes y huecos. La pendiente longitudinal de la vía es variable, siendo considerable en tramos como carrera 12 entre calles 20 y 21 y entre calles 17 y 18. Las aceras angostas dificultan los giros que realizan los vehículos que entran o salen a la carrera 12. La vía tiene buen drenaje.

### 1.2 Vehículos

Por el corredor transitan vehículos de todo tipo que se encuentran en Tunja pueden citarse: bicicletas, motocicletas, automóviles, taxis, microbuses, busetas y camiones pequeños. Los vehículos más observados son los de transporte público urbano, pareciera que los conductores de vehículo particular evaden el corredor por ser lento.

### 1.3 Peatones

Los tipos de peatón en el corredor son muy variados, desde estudiantes universitarios, de colegios, caminantes del centro, personas de compras, en busca de abordar vehículos de transporte público, comerciantes informales, etc. Pueden identificarse peatones con movilidad restringida como: personas con coche de bebé, con niños en brazos, paquetes y población vulnerable con discapacidad física.

### 1.4 Aspectos ambientales

La carrera 12 se ve muy contaminada, las fachadas de las casas y la superficie de las señales verticales tienen un tono gris debido a la polución causada por los vehículos, las lluvias y las condiciones climáticas. El ruido se percibe alto (se carece de estudios para definir la cantidad de decibeles) y es común el uso de la bocina por parte de los conductores, aunque está prohibido en la zona central del corredor.

### 1.5 Dispositivos de control

El corredor cuenta con semáforos en el parque Santander, Calle 21 (Funeraria San Francisco) y Calle 18. Se observa la presencia de señalización vertical, hay demar-

cación horizontal en las intersecciones, hace cerca de dos meses se instaló un resalto de lomo plano "pompeyano" para permitir la continuidad del flujo peatonal por la calle 20 que comunica el centro con Plaza Real mediante una calle peatonal.

### 1.6 El Tránsito

La afluencia de vehículos y peatones en la carrera 12 es creciente, hay problemas de movilidad vehicular en el corredor en ambos sentidos, el más crítico es sur-norte debido a las maniobras de parada para ascenso y descenso de usuarios del transporte público (los haya o no). La pendiente longitudinal de la vía en sentido norte-sur implica un alto consumo de combustible en condiciones de congestión (entre la calle 21 y la 20). Se observa que se realizan a lo largo del corredor maniobras de adelantamiento en ambos sentidos bajo condiciones inverosímiles, algunos conductores impacientes, al ver la fila en el carril, se aventuran a adelantar por el carril de flujo contrario causando el bloqueo de ambos sentidos y la consecuente utilización de la bocina (este fenómeno intentó atacarse hace algunos años mediante la colocación de bordillo canalizador en la línea de centro, lo cual resultó peor).

Para el peatón que atraviesa la carrera 12 resulta "beneficiosa" la parada de los vehículos de transporte público, que generan el bloqueo del carril y con ello la facilidad de paso entre los vehículos, sin embargo, se presentan maniobras de cruce peligrosas, el peatón no tiene adecuada visibilidad del flujo en ambos sentidos (especialmente si hay vehículos detenidos) y suelen presentarse conflictos con motocicletas o vehículos adelantantes. Resulta de interés el estudio de la interacción vehículo-peatón en el cruce de la calle 20 (resalto pompeyano).

## 2). FASE 2. ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO

Con el fin de caracterizar el tránsito en el corredor de la carrera 12, se planteó la realización de estudios de ingeniería de tránsito considerando la zona más conflictiva, para ello se tuvo en cuenta la intersección semaforizada de la carrera 12 con calle 18 y la intersección no semaforizada de la carrera 12 con calle 19. El criterio de selección de estos puntos fue el considerable flujo peatonal y el conflicto del mismo con los vehículos, así mismo la presencia del conflicto vehículo-vehículo.

### 2.1 Estudios de Inventarios

Su objetivo fue determinar las características geométricas de la red vial, localización de señalización y dispositivos de control del tránsito, así como la ubicación y capacidad de zonas de estacionamiento en la vía y parqueaderos privados. Estos inventarios fueron realizados el día sábado 18 de abril de 2009, desde las 07:00 a.m.

Los materiales y equipos necesarios para realizar estos

estudios fueron: cinta métrica, nivel Abney, cámara digital, formato de campo, planillera, lápiz, borrador, chaleco reflectivo, y de ser necesario materiales para canalización (conos, barricadas, delineadores, paletas).

### 2.1.1 Inventario de la red vial

El objetivo de este estudio es caracterizar la geometría del corredor, así como el estado de la infraestructura. En la figura 2 se muestra un plano del tramo, que comprende las intersecciones de la calle 19 y calle 18 respectivamente, puede observarse la localización de las señales verticales, caras del semáforo, flechas de sentido y movimientos por carril, demarcación de paradero de transporte público colectivo urbano, línea de centro de calzada, senderos peatonales y aceras. Las dimensiones del corredor se encuentran en el plano y en los formatos diligenciados que están en el anexo al final del documento.



FIGURA 2. DETALLE DE LA GEOMETRÍA, SEÑALIZACIÓN Y DISPOSITIVOS  
Fuente: Estudios Caracterización de la Operación del Tránsito en la Carrera 12

En términos generales, el estudio de inventario de la carrera 12 arrojó los siguientes resultados:

- En promedio, las cuadras miden alrededor de 112 metros.
- La pendiente más alta de la vía es del 7% (entre calle 22 y 20)
- El ancho de calzada es muy variable, tiene un rango entre 5,90 m (entre calle 19 y 18) y 9,56 m (entre Av. Colón y calle 22 en el parque Santander) con un ancho medio de 6,3 m.
- La superficie de rodadura está constituida por un pavimento flexible en buen estado.
- Las aceras son angostas, tienen un ancho medio de 1,2 m (sin descontar obstáculos) y la superficie más común es baldosa, en términos generales, se encuentran en regular estado.

### 2.1.2 Inventario de señalización y dispositivos de control

Este estudio busca determinar la localización, tipificación y estado de la señalización, demarcación y dispositivos de control del corredor tales como semáforos, reductores de velocidad y restricciones de circulación significativas.

En la figura 3 se observa una parte del plano correspondiente a la carrera 12 en el sector de la intersección con la calle 20. Puede observarse la presencia de un camellón o resalto pompeyano que se instaló para facilitar el paso de los peatones y dar continuidad a la calle 20 en su condición de prelación por ser peatonal.

La figura 3 también muestra la señalización y demarcación entre las calles 19 y 20.

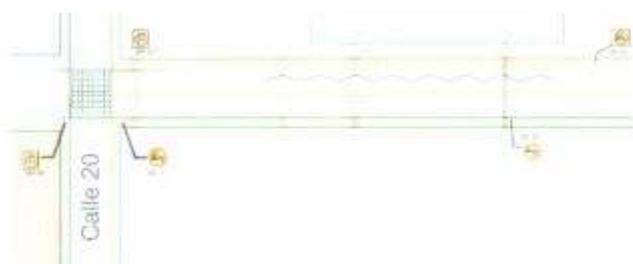


FIGURA 3. SEÑALIZACIÓN Y DISPOSITIVOS DE CONTROL EN LA CALLE 20  
Fuente: Estudios Caracterización de la Operación del Tránsito en la Carrera 12

La carrera 12 cuenta con una buena demarcación horizontal, aunque la pintura se ve algo desgastada, recientemente se han realizado estas labores en las intersecciones y se destaca el hecho de que el paso de peatones ha sido demarcado utilizando el esquema de un peatón demarcado en el paso peatonal o al lado de este, como se muestra en la fotografía denominada figura 1; en el caso de las intersecciones semaforizadas, la demarcación es adecuada y se ajusta a las especificaciones del manual de señalización vial como se muestra en la fotografía de la figura 4.



FIGURA 4. DEMARCACIÓN DE PASO PEATONAL EN INTERSECCIÓN SEMAFORIZADA.  
Fuente: Estudios Caracterización de la Operación del Tránsito en la Carrera 12

### 2.1.3 Inventario de estacionamientos

Su objetivo es determinar la oferta de estacionamiento en el corredor, tanto en la vía como en parqueaderos privados. Como resultado se encontró que no existe oferta de estacionamiento en la vía, y en el corredor se encuentran algunos parqueaderos privados cuya tarifa media es de \$1000/hora, los estacionamientos, su localización y capacidad se muestran en la TABLA I.

TABLA I  
ESTACIONAMIENTOS EN LA CARRERA 12

Estacionamiento	Tarifa/hora	Capacidad (autos)
Cra 12 N° 15-88	\$1000	25
Surtimax Cra 12 N° 17-48	\$1000	30
Cra 12 N° 18-56	\$1000	40
Policia Cra 12 N° 19-78	Solo Vehiculos oficiales	-
<b>TOTAL</b>		<b>95</b>

Fuente: Estudios Caracterización de la Operación del Tránsito en la Carrera 12

## 2.2 Estudio de volúmenes de tránsito vehiculares en intersecciones

Con base en los patrones de movilidad en la ciudad de Tunja en el año 2005, se determinó que la hora de máxima demanda es entre las 11:45 y las 12:45 del día. Se optó por recolectar la información en un día típico (miércoles) durante el periodo indicado, la toma de información se realizó en forma simultánea con otros estudios que se mencionarán más adelante. Se seleccionaron dos intersecciones del corredor, con base en la observación realizada, se seleccionó la carrera 12 con calle 18 (intersección semaforizada) y la intersección de la carrera 12 con calle 19 (no semaforizada).

El estudio tuvo como objetivo determinar la variación, distribución por movimientos y composición del tránsito vehicular en las intersecciones. La variación indicará como cambia el flujo de vehículos dentro del periodo pico, con base en esta información se determina el factor de hora pico; La distribución se refiere a la cuantificación de las maniobras que realizan los conductores en la intersección y la composición muestra los diferentes tipos de vehículo que se involucran en la demanda de la intersección.

### 2.2.1 Resultados para la intersección de la carrera 12 con calle 19

La intersección se muestra en la figura 5, tiene 4 ramas o brazos, de los cuales 3 son accesos y se clasifica como señalizada del tipo intersección de prioridad, con un acceso controlado con señal de Pare (Tipo TWSC en la metodología HCM 2000). En la figura 5 se muestra el esquema de la intersección, así como la codificación de los movimientos que en ella se realizan, esta codificación se diseñó con base en la norma RILSA, que se utiliza comúnmente en las entidades de tránsito en Colombia.

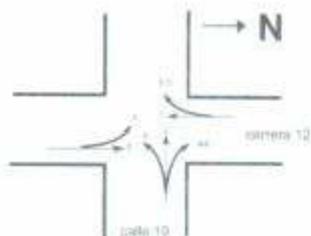


FIGURA 5. ESQUEMA DE LA INTERSECCIÓN CARRERA 12 - CLL 19  
Fuente: Estudios Caracterización de la Operación del Tránsito en la Carrera 12

TABLA II.  
RESULTADO AFORO CRA 12 - CLL 19

Acceso	Movimiento	PERIODO					Total
		11:45-12:00	12:00-12:15	12:15-12:30	12:30-12:45		
E	4	12	14	15	13	54	
	8	6	1	3	2	12	
	9(4)	5	9	4	10	28	
	Total Acceso	23	24	22	25	94	
N	1	22	44	38	41	145	
	9(1)	31	33	25	32	121	
	Total Acceso	53	77	63	73	266	
	2	65	68	66	73	272	
S	5	12	8	13	9	42	
	Total Acceso	77	76	79	82	314	
	TOTALES	153	177	164	180	674	

Fuente: Estudios Caracterización de la Operación del Tránsito en la Carrera 12

Factor de Hora Pico (FHP)

Para toda la intersección:

$$VHMD = 674 \text{ Veh / h}$$

$$FHP = \frac{VHMD}{m \cdot q_{\max}} \quad FHP = \frac{674}{4 \cdot 180} = 0.94$$

Para el acceso Oriental (E):

$$VHMD = 94 \text{ Veh / h}$$

$$FHP = \frac{VHMD}{m \cdot q_{\max}} \quad FHP = \frac{94}{4 \cdot 25} = 0.94$$

Para el acceso Norte (N):

$$VHMD = 266 \text{ Veh / h}$$

$$FHP = \frac{VHMD}{m \cdot q_{\max}} \quad FHP = \frac{266}{4 \cdot 77} = 0.86$$

Para el acceso Sur (S):

$$VHMD = 314 \text{ Veh / h}$$

$$FHP = \frac{VHMD}{m \cdot q_{\max}} \quad FHP = \frac{314}{4 \cdot 82} = 0.96$$

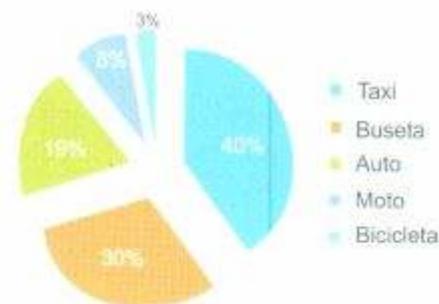


FIGURA 6. COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO CARRERA 12 - CLL 19  
Fuente: Estudios Caracterización de la Operación del Tránsito en la Carrera 12

### 2.2.2 Resultados para la intersección de la carrera 12 con calle 18

La intersección es semaforizada. En la figura 7 se muestra el esquema de la intersección así como la codificación de los movimientos que en ella se realizan.

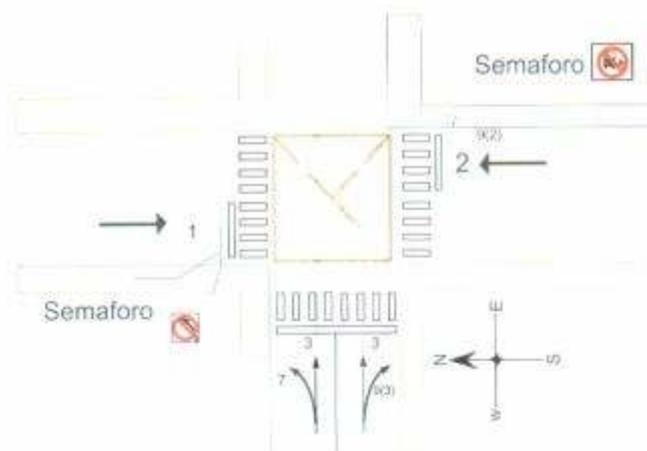


FIGURA 7. ESQUEMA DE LA INTERSECCIÓN CRA 12 - CLL 16  
Fuente: Estudios Caracterización de la operación del Tránsito en la Carrera 12

TABLA III.

Acceso	Movimiento	PERIODO				Total
		11:45-12:00	12:00-12:15	12:15-12:30	12:30-12:45	
S	2	45	68	68	67	248
	9(2)	35	30	32	30	127
	Total Acceso	80	98	100	97	375
N	1	26	37	44	36	143
	Total Acceso	26	37	44	36	143
W	3	65	55	60	50	230
	9(3)	1	2	0	0	3
	7	14	18	24	18	74
	Total Acceso	80	75	84	68	307
TOTALES		186	210	228	201	825

Fuente: Estudios Caracterización de la operación del Tránsito en la Carrera 12

### Factor de Hora Pico (FHP)

Para toda la intersección:  
VHMD = 825 Veh / h

$$FHP = \frac{VHMD}{m * q_{max}} \quad FHP = \frac{825}{4 * 228} = 0.90$$

Para el acceso Sur (S):  
VHMD = 375 Veh / h

$$FHP = \frac{VHMD}{m * q_{max}} \quad FHP = \frac{375}{4 * 100} = 0.94$$

Para el acceso Norte (N):  
VHMD = 143 Veh / h

$$FHP = \frac{VHMD}{m * q_{max}} \quad FHP = \frac{143}{4 * 44} = 0.81$$

Para el acceso Occidental (W):  
VHMD = 307 Veh / h

$$FHP = \frac{VHMD}{m * q_{max}} \quad FHP = \frac{307}{4 * 84} = 0.91$$

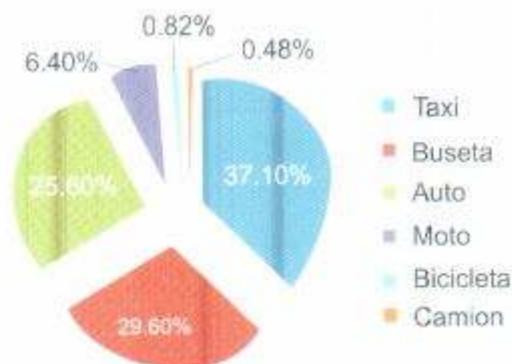


FIGURA 8. COMPOSICIÓN DEL TRÁNSITO CRA 12 - CLL 16  
Fuente: Estudios Caracterización de la operación del Tránsito en la Carrera 12

## 2.3 Estudio de Volúmenes de Tránsito Peatonales en Intersecciones

El objetivo de este estudio es cuantificar el número de peatones que cruzan la intersección y que entran en conflicto directo con los vehículos.

### 2.3.1 Volumen peatonal en la carrera 12 con calle 19

Dentro de la planeación del estudio, se diseñó una codificación para que fuese más sencillo el proceso de toma de información. En la figura 7 se muestra esta codificación. El estudio se desarrolló entre las 12:00 y las 12:15 del día miércoles 22 de abril de 2009 conjuntamente con los demás estudios realizados en el corredor.

TABLA IV.

### FLUJO PEATONAL EN UN PERIODO DE 15 MINUTOS

PERIODO	MOVIMIENTO AFORADO											
	N1	N2	E1	E2	X1	X2	S1	S2	W1	W2	y1	y2
12:00-12:05	14	12	13	6	0	0	47	22	16	17	0	0
12:05-12:10	14	30	22	9	0	0	42	27	22	11	0	0
12:10-12:15	22	27	14	10	1	0	46	18	14	10	0	0
TOTAL	50	69	49	25	1	0	135	67	52	38	0	0
TOTAL p/h	200	276	196	100	4	0	540	268	208	152	0	0

Fuente: Estudios Caracterización de la operación del Tránsito en la Carrera 12

### 2.3.2 Volumen peatonal en la carrera 12 con calle 18

TABLA V.

### FLUJO PEATONAL EN UN PERIODO DE 15 MINUTOS CRA 12 - CLL 18

PERIODO	MOVIMIENTO AFORADO											
	N1	N2	E1	E2	X1	X2	S1	S2	W1	W2	y1	y2
Flujo 15 min	5	11	18	26	2	0	42	23	30	16	0	1
Flujo p/h	20	44	72	104	8	0	168	92	120	64	0	4

Fuente: Estudios Caracterización de la operación del Tránsito en la Carrera 12

## 2.4 Estudio de ocupación vehicular

Este estudio se realizó en la carrera 12 entre las calles 19 y 20, se consideró la ocupación de vehículos tipo taxi, automóviles y motocicletas, los resultados obtenidos se muestran en la TABLA VI.

**TABLA VI.**  
**OCUPACIÓN VEHICULAR EN LA CARRERA 12**  
**SENTIDO N-S**

	OCUPACIÓN					PROMEDIO PONDERADO
	0	1	2	3	4	
Automóvil	0	14	20	2	1	1.73
Taxi	26	8	6	1	2	0.72
Moto	0	21	3	0	0	1.13

Fuente: Estudios Caracterización de la operación del Tránsito en la Carrera 12

**TABLA VII.**  
**OCUPACIÓN VEHICULAR EN LA CARRERA 12**

	OCUPACIÓN					PROMEDIO PONDERADO
	0	1	2	3	4	
Automóvil	0	15	12	5	1	1.76
Taxi	33	6	6	0	0	0.40
Moto	0	6	0	0	0	1.00

Fuente: Estudios Caracterización de la operación del Tránsito en la Carrera 12

Llama la atención la baja ocupación media de taxis (cerca de 0.6 pasajeros por vehículo) comparada con la de automóviles particulares (1.7), esto confirma la sobreoferta existente de taxis, considerando que son casi el 40% de los vehículos en las intersecciones del corredor.

## 2.5 Estudio de maniobras de estacionamiento

### 2.5.1 Maniobras de estacionamiento cerca a las intersecciones analizadas en la carrera 12

**TABLA VIII.**  
**MANIOBRAS REGISTRADAS SOBRE LA CARRERA 12**  
**ENTRE CALLE 18 Y 19**

Periodo de tiempo	Maniobras de estacionamiento en la Vía	PARQUEADERO		Paradas de autobús
		IZQUIERDA	DERECHA	
11:45 – 11:50	4		1	10
11:50 – 11:55	3	1		11
11:55 – 12:00	6		1	9
Total 15 min.	13	1	2	30
Total Hora	52	4	8	120

Fuente: Estudios Caracterización de la operación del Tránsito en la Carrera 12

## 2.6 Estudio de demoras en intersecciones

El objetivo de este estudio es determinar directamente en campo, la magnitud de las demoras vehiculares en alguno de los accesos de la intersección, con el fin de determinar si los resultados de la modelación se adaptan a la realidad. Se obtuvo lo siguiente:

Tiempo de detención =  $219 \cdot 15 = 3285$  s

Tiempo de detención promedio =  $3285 / 89 = 36.91$  s/veh

Tiempo de detención promedio para los que paran =  $3285 / 46 = 71.4$  s/veh

% de vehículos que paran =  $4600/89 = 52\%$

Según la metodología HCM (TABLA 17-2 del HCM2000), el acceso está funcionando a nivel de servicio E.

Tiempo de detención =  $397 \cdot 15 = 5955$  s

Tiempo de detención promedio =  $5955 / 120 = 49.63$  s/veh

Tiempo de detención promedio para los que paran =  $5955 / 81 = 73.52$  s/veh

% de vehículos que paran =  $8100/120 = 67.5\%$

Según la metodología HCM 2000 TABLA 17-2, el acceso está funcionando a nivel de servicio D.

## 2.7 Estudio de distribución por carriles

La carrera 12 cuenta solamente con un carril para cada sentido, en el caso de la calle 19, este acceso también consta solo de un carril, pero en la calle 18 se encontró la siguiente distribución:

**TABLA IX.**  
**DISTRIBUCIÓN POR CARRILES EN LA CALLE 18.**  
**ACCESO W DE LA INTERSECCIÓN CRA 12 CON CALLE 18**

CARRIL	
DERECHO	IZQUIERDO
54 (61%)	35 (39%)
<b>TOTAL</b>	<b>89 (100%)</b>

Fuente: Estudios Caracterización de la operación del Tránsito en la Carrera 12

## 2.8 Estudio de velocidad y demoras en el corredor por el método de vehículo flotante

El estudio se realizó en la carrera 12, entre calles 14 y 23 en sentidos sur – norte y viceversa, el día 22 de abril del año 2009, entre las 11:50 – 12:50 pm. Las condiciones del corredor en el momento de realizar el estudio eran: el carril en sentido sur – norte se encontraba casi todo el tiempo bloqueado por vehículos de transporte público en el tramo del paradero entre la calle 19 y la calle 20, la longitud de la cola alcanzaba alrededor de una cuadra, en los tres recorridos, un agente de tránsito dio la indicación de adelantar a los vehículos de Transporte público colectivo urbano (TPCU) detenidos, utilizando el carril de circulación en sentido norte – sur, el cual presentaba buen flujo y permitía claramente mayor velocidad. En la figura 9 se muestra la variación temporal de la

velocidad media de marcha y recorrido en cada uno de los recorridos realizados a diferente hora, puede notarse que en el caso de los recorridos en sentido norte – sur, mostrados en color rojo, el primer recorrido, iniciado a las 12:02 fue el más lento, mientras que el segundo recorrido fue el más rápido. Por otra parte, al recorrer el corredor en sentido sur – norte; se encontró que la velocidad no varía significativamente y su valor es cerca de la mitad de la velocidad en el sentido contrario. Esta situación muestra con claridad que el sentido más crítico en la operación del corredor es el sentido sur - norte, con una velocidad de recorrido de solo 8.06 Km/h (considerando que se hizo el adelantamiento a los vehículos de TPCU), para el sentido norte – sur la velocidad de recorrido es de 14.98 Km/h, esta es una velocidad media apenas aceptable para este corredor.

En la figura 10, se muestra la variación espacial de la velocidad a lo largo del corredor, con base en 5 tramos que se definieron en función de las características del tránsito, estos son: Parque Santander – Funeraria San Francisco – Calle 19 – Calle 18 – Calle 17 – Avenida Colón (calle 14). Se encontró que el tramo con menor velocidad es entre la calle 18 y la calle 19 (en ambos sentidos), seguido por el tramo entre la funeraria San Francisco y la calle 19.

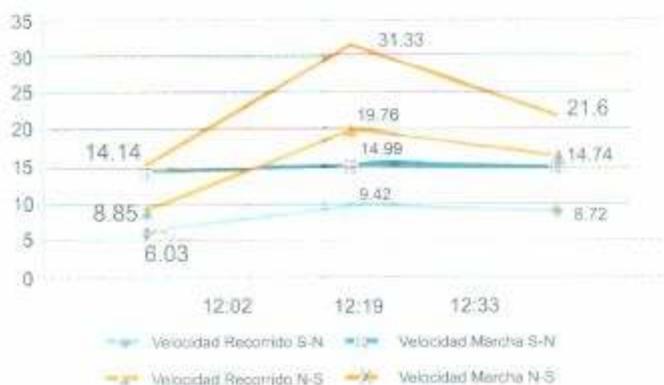


FIGURA 9. VARIACIÓN TEMPORAL DE LA VELOCIDAD EN LA CARRERA 12  
Fuente: Estudios Caracterización de la Operación del Tránsito en la Carrera 12

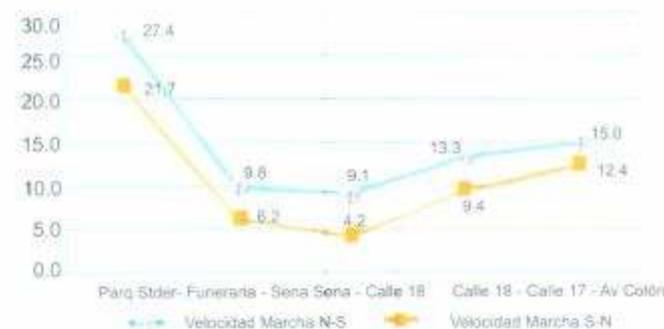


FIGURA 10. VARIACIÓN ESPACIAL DE LA VELOCIDAD EN LA CARRERA 12  
Fuente: Estudios Caracterización de la Operación del Tránsito en la Carrera 12

En la figura 11 se muestra la distribución de las demoras por su causa, se encontró que la mayor causa de demora es congestión (39.82%), seguida por semáforo (33.78%) y luego por transporte público (21.08%). Estas tres causas suman el 95% de las demoras detectadas en el corredor. Es necesario aclarar que la demora tipificada como congestión se determinó cuando el vehículo es detenido en cola tras un vehículo que no es de TPCU, sin embargo, se observó que la fila se generaba efectivamente por paradas de este tipo de vehículos, de esta forma, puede asumirse que las dos causas de detención son iguales, por lo tanto, el transporte público colectivo es responsable directo del 51.9% de las demoras en el corredor. Cabe resaltar la demora que se atribuye al semáforo, ya que este valor se debe al bloqueo causado en el carril y a que los vehículos en la fila del semáforo no podían ser evacuados a una tasa óptima (Se dio lo conocido como flujo de saturación).



FIGURA 11. CAUSA DE DEMORAS EN EL CORREDOR  
Fuente: Estudios Caracterización de la Operación del Tránsito en la Carrera 12

## 2.9 Estudio de velocidad a flujo libre

El sitio escogido para realizar este estudio fue la carrera 12 entre las calles 18 y 19 S-N, por ser uno de los tramos más críticos del corredor. La realización de este estudio fue compleja principalmente en el sentido sur – norte, puesto que el corredor permanece con vehículos detenidos casi todo el tiempo, y es necesario que en el momento de realizar el estudio, se tengan las condiciones prevalecientes (flujo peatonal, composición vehicular, maniobras). El estudio se realizó el día jueves 23 y martes 28 de abril de 2009, en horas de la tarde. Se trabajó con una muestra de 30 vehículos en cada sentido. En la TABLA X, puede notarse que la velocidad media a flujo libre es de 26.4 Km/h en el sentido norte – sur, y es ligeramente menor en el sentido sur – norte, es posible que la velocidad a flujo libre en el sentido S-N sea mayor por la pendiente y geometría, sin embargo, dadas las condiciones prevalecientes en el corredor, este dato es aceptable.

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA	SENTIDO	
	S-N	N-S
Media	25.50	26.38
Error típico	1.18	1.13
Mediana	24.00	24.00
Moda	24.00	24.00
Desviación estándar	6.46	6.18
Varianza de la muestra	41.69	38.17
Curtosis	-0.27	4.18
Coefficiente de asimetría	0.03	1.71
Rango	24.00	30.00
Mínimo	12.00	18.00
Máximo	36.00	48.00
Suma	765.14	791.31
Percentil 15	18.90	21.77
Percentil 85	33.48	28.80
Cuenta	30.00	30.00
Nivel de confianza(95.0%)	2.41	2.31

Fuente: Estudios Caracterización de la operación del Tránsito en la Carrera 12

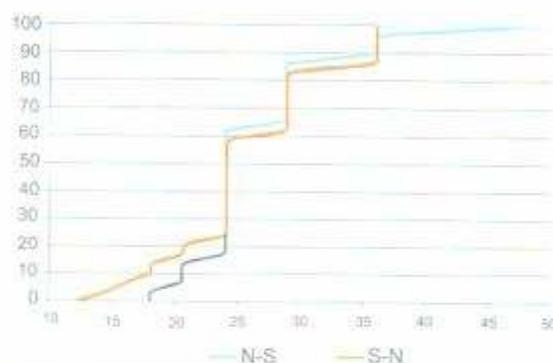


FIGURA 12. PERCENTILES DE VELOCIDAD A FLUJO LIBRE

Fuente: Estudios Caracterización de la Operación del Tránsito en la Carrera 12

## 2.10 Antecedentes de accidentalidad en el corredor

Se tuvo en cuenta información secundaria que fue recolectada y procesada en el proyecto de grado titulado "Determinación de Índices de seguridad vial "ISV" para la ciudad de Tunja", adelantada por las estudiantes Katherin Castro y Andrea Zambrano, de la escuela de Ingeniería en Transporte y Vías de la Facultad de Ingeniería en la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Entre los años 2002 y 2007, en la intersección de la carrera 12 con calle 19, se presentaron 15 accidentes de tránsito, de los cuales 11 fueron choques y 4 atropellamientos a peatones. Entre las calles 19 y 20 se presentaron 15 accidentes de tránsito, 7 choques y 8 atropellos.

En el documento de referencia, se menciona respecto al análisis del punto crítico en la carrera 12 con calle 19 "Las principales causas de accidentes registradas en los informes son: no respetar la prelación de la vía ni la distancia de seguridad entre vehículos por parte de los conductores y además se destaca la imprudencia y el afán de los peatones por cruzar la calle, acompañado por los vehículos que vienen en contravía."

## 3). FASE 3. MODELACIÓN Y RESULTADOS

La modelación del corredor se realizó mediante el uso de la metodología del Highway Capacity Manual (HCM 2000), se modeló la intersección señalizada de la carrera 12 con calle 19, la intersección semaforizada de la carrera 12 con calle 18 y el corredor completo.

### 3.1 Modelación de la intersección carrera 12 con calle 19

Los datos provenientes de los estudios de inventario, volúmenes vehiculares y peatonales, maniobras de estacionamiento y paradas de transporte público colectivo urbano, se introdujeron al software HCS 2000 generando los resultados que se muestran en la TABLA XI. Para esta modelación se utilizó el software HCS.

MOVEMENT	1	4	7	8	9	10	11	12
Lane Config	LT						LTR	
v (vph)	43						98	
G(m) (vph)	484						5	
v/c	0.09						19.60	
95% queue length	0.29						14.21	
Control Delay	13.2						9795	
LOS	B						F	
Approach Delay							9795	
Approach LOS							F	

Fuente: Estudios Caracterización de la Operación del Tránsito en la Carrera 12

Los resultados de la modelación de la TABLA XI muestran algunas características desproporcionadas respecto de las condiciones reales observadas, por ejemplo: la demora promedio en el acceso sur de la carrera 12 es de solo 13.2 segundos se genera un nivel de servicio B, versus lo medido en campo que fue 36.91 segundos por vehículo, que indica un nivel de servicio E.

El acceso oriental, indica un nivel de servicio F, con una demora de 9795 segundos por vehículo, según los resultados del modelo, la capacidad del acceso es de solo 5 vehículos por hora, por lo que el volumen sobrepasa en 19.6 veces la capacidad.

Si se respetaran las prelación de movimientos, esta condición se presentaría en la realidad, básicamente debido al flujo en la carrera 12 y al volumen peatonal que atraviesa todos los accesos.

### 3.2 Modelación de la intersección carrera 12 con calle 18

Esta es una intersección semaforizada que se modela y analiza con base en los parámetros definidos en el capítulo 16 del HCM 2000. Los resultados finales permiten concluir que:

El modelo determina que la intersección está trabajando



a nivel de servicio D, el acceso más crítico es el Sur, que arroja una demora promedio de 55.9 segundos por vehículo, es decir, que está funcionando a nivel de servicio E, este acceso tiene una capacidad de 418 vehículos por hora.

Los resultados obtenidos son coherentes con los datos tomados en campo, pues se midió una demora promedio por vehículo en el acceso sur de 49.63 segundos.

El flujo de saturación calculado con la metodología HCM 2000 es de 1888 vehículos por hora de verde en el acceso W, 788 en el acceso S y 647 en el N.

### 3.3 Modelación del corredor de la carrera 12

Se intentó modelar el corredor de la carrera 12 con la metodología de arterias urbanas, sin embargo se encontró que los datos del corredor están fuera de rango, ya que la velocidad a flujo libre medida fue de cerca de 28 Km/h, pero la mínima aceptada por el software es de 40 Km/h, de acuerdo a la TABLA 15-2 del HCM2000, este hecho hace que independientemente de los datos que se involucren en el análisis se tendrá un nivel de servicio muy bajo en ambos sentidos.

El mejor criterio para trabajar el análisis del corredor es el análisis de las velocidades y demoras provenientes del estudio de vehículo flotante, estas arrojarían resultados del nivel de servicio F en el sentido sur – norte (velocidad de recorrido = 8.06 Km/h) y E en el sentido norte – sur (velocidad de recorrido = 14.98 Km/h), suponiendo que el corredor es clase IV.

### 3.4 Algunas conclusiones de la modelación

Con base en los resultados de la modelación, puede concluirse que:

El software no representa las características operativas de las intersecciones señalizadas del corredor, ya que trabaja con base en la prelación del corredor principal y los movimientos peatonales, y esta condición no se da en la carrera 12; además no permite introducir el efecto del bloqueo del carril que permite que los vehículos de la vía secundaria accedan a la intersección.

El software HCS 2000 modela bien las intersecciones semaforizadas, sin embargo, hay un efecto significativo en la sensibilidad de la respuesta respecto del número de maniobras de parada de buses y salida de vehículos de parqueaderos.

La modelación de corredores urbanos de la metodología HCM 2000 requiere ajustes para el caso de corredores como la carrera 12, que tiene unas características operativas con tan bajas especificaciones que se sale de rango. Esta condición sugeriría considerar otros rangos operativos en cuanto a velocidades a flujo libre que se adapten al medio.

## 4). FASE 4. Conclusiones y análisis del corredor y planteamiento de alternativas

### 4.1 Análisis del Corredor

**4.1.1 Lo malo:** La carrera 12 opera en condiciones muy malas en sentido sur – norte, el flujo es tan forzado que llega a afectar el sentido norte – sur debido a maniobras de adelantamiento constantes.

Según los resultados de los estudios de tránsito, es insostenible mantener doble sentido de circulación. La longitud de la cola en dirección al norte llega incluso hasta dos cuadras, alcanzando desde la calle 19 (Univer-

sidad Santo Tomás) hasta el acceso sur de la intersección de la calle 18, causando el bloqueo de las intersecciones con la calle 18 y 19. Este efecto no permitió la determinación en campo del flujo de saturación. Los peatones corren gran riesgo al circular por las aceras angostas, las maniobras de cruce peatonal presentan conflicto con los vehículos adelantantes y con los de sentido norte - sur. Las aceras se encuentran en regular estado, aunque hay rampas para acceso de sillas de ruedas.

**4.1.2 Lo bueno:** La Secretaría de Tránsito determina la presencia de al menos un agente en la carrera 12 entre calles 19 y 20, para que, en los periodos pico, apresure a los conductores de transporte público en el paradero, el agente también gestiona los adelantamientos, reduciendo el tiempo de viaje de los vehículos tipo automóvil, motos y taxis.

El constante bloqueo del carril S-N, hace que haya brechas para el paso peatonal, de no ser así, el alto volumen de peatones generaría un grave problema operativo en este corredor.

El corredor está bien señalizado y demarcado, es utilizado en gran medida por vehículos de transporte público, y está muy cerca de la zona centro de la ciudad. En sentido norte - sur funciona muy bien, permite velocidades de operación adecuadas. El estudio de vehículo flotante resultó de mucha utilidad para entender las características de operación de la carrera 12.

## 4.2 Alternativas de bajo costo

**4.2.1 No efectuar acción alguna:** El corredor tiene una tendencia a reducir la velocidad de recorrido, el número de vehículos es creciente, aunque la baja velocidad hace que muchos usuarios tiendan a utilizar vías alternas, la ciudad no cuenta con vías rápidas, en este caso, las alternativas no superan en gran medida la carrera 12. El flujo peatonal por otra parte es muy alto, y con aceras tan angostas (1.2 m) es muy probable que los conflictos con los vehículos se incrementen con el tiempo.

**4.2.2 Redistribución de rutas de transporte público colectivo urbano:** Esta medida implica el cambio del itinerario de muchas rutas que pasan por la carrera 12 en sentido sur - norte, esto mejoraría la operación del corredor, pero el problema sería trasladado a las vías alternas como la carrera novena o las carreras 15 y 16.

**4.2.3 Reasignación de sentidos de flujo:** Con base en las características geométricas de la carrera 12 (ancho medio de calzada = 6.3 m), y el porcentaje de vehículos de transporte público (40% taxis y 30% busetas), es necesario que funcione solo en un sentido de circula-

ción, con un carril exclusivo para transporte público colectivo urbano y zonas de parada de taxis claramente definidas. El sentido de circulación recomendado es sur - norte que es el que presenta mayor flujo actual.

### 4.2.4 Restricción de circulación por tipo de vehículo:

El alto porcentaje de taxis en el corredor y su bajo nivel de ocupación media, sugiere la necesidad de limitar el número de este tipo de vehículos, así como la circulación de autos particulares (20%), esto puede lograrse mediante una medida de tipo pico placa en el corredor. Esta restricción tendría un efecto temporal y podría generar problemas de inconformidad de los usuarios. Esta opción podría enfocarse a definir el uso exclusivo del corredor para los vehículos de transporte público colectivo, al menos en las horas pico en los días entre semana. Podría también pensarse en el cobro de peaje por congestión en estos periodos.

### 4.2.5 Controlar el tiempo de espera en el paradero:

Esta medida es muy similar a la que ya se está efectuando, implicará un control más estricto en los paraderos, determinando un tiempo máximo por vehículo, que debe provenir de un estudio de transporte, (por ejemplo ascenso - descenso), un tiempo de 10 segundos por vehículo podría ser un valor inicial.

### 4.2.6 Campañas educativas a conductores y pasajeros:

esta es una medida a largo plazo, su efecto inmediato es muy poco, pero permitirá que los usuarios del sistema se concienticen de la importancia de respetar los sitios destinados a paraderos de transporte público.

## 4.3 Alternativas de mediano costo

### 4.3.1 Sistema piloto de Transporte Inteligente:

Implementar un sistema de transporte inteligente piloto, que permita administrar el uso del corredor brindando información sobre su estado operativo antes de entrar al mismo, indicando rutas alternas por sentidos, además permitirá sancionar a los conductores que propendan al bloqueo de la vía con maniobras de parqueo inapropiadas o excesivas.

### 4.3.2 Aumentar ancho de aceras y definir un carril con bahías paraderos:

Esta medida está pensada de manera integral para la interacción adecuada entre vehículos y peatones en el corredor, consiste en aumentar el ancho de las aceras de 1.2 m a 2.4 m a cada lado, de manera que solo se configura un carril para vehículos, el cual estaría diseñado considerando la localización de bahías de paraderos de transporte público colectivo y taxis (si estos se permiten en el corredor).

### 4.3.3 Sistemas de transporte sostenible - intensificación del uso de la bicicleta:

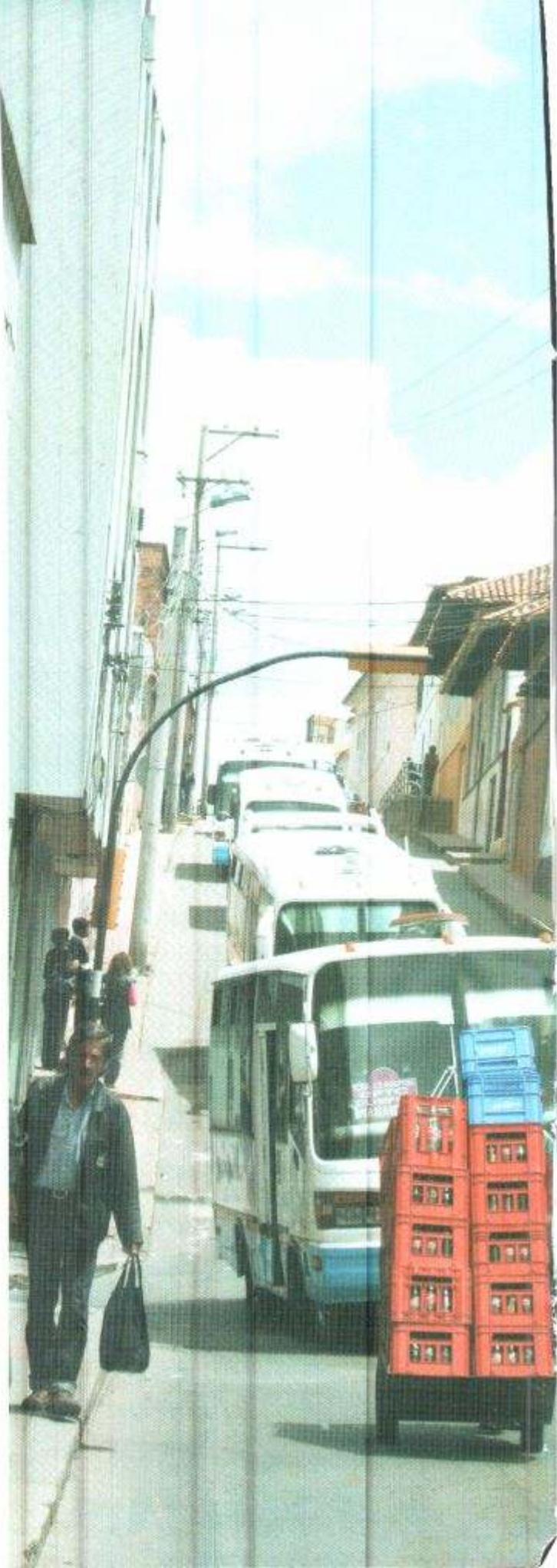
Esta medida buscaría que

las personas que realizan viajes en sentido sur – norte, utilizaran la bicicleta como vehículo para su viaje. Las bicicletas serían de uso público y serían transportadas periódicamente desde lugares de almacenamiento donde el usuario las depositaría cerca del final de su viaje en el norte de la ciudad hasta los depósitos del sur para volver a ser utilizadas en el siguiente viaje.

#### 4.4 Alternativas de alto costo

**4.4.1 Carrera 12 peatonal desde la calle 18 hasta la calle 21:** Implica la construcción de un corredor tipo arteria multicarril, con un mínimo de 6 carriles, esta vía nueva seguiría el trazado de la actual carrera 16 o carrera 14 y permitiría definir un corredor alterno con mayor capacidad y lejos del centro histórico, conectaría con rapidez la zona sur occidental de la ciudad con el centro y la zona nororiental. Esta medida podría generar cambios en el uso del suelo, por lo que atraería más tránsito.

**4.4.2 Sistema de transporte público colectivo mediante vehículos con mayor capacidad:** El uso de vehículos de transporte público con mayor capacidad de pasajeros, con varias puertas de acceso y salida, disminuiría el número de vehículos que paran. Aunque incrementaría la duración de las paradas, estas serían en número mucho menos.



#### AGRADECIMIENTOS

El autor reconoce el valioso apoyo de los estudiantes integrantes del seminario "Movilidad e Investigación" y de quienes cursaron la asignatura Sistemas de Transporte durante el primer semestre de 2008 en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás Toluca en la toma de entrevistas.

#### REFERENCIAS

BOY, R.C. y J. C. Cooperlander. "Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito", México, D.F.: Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., 4<sup>ta</sup> ed., 1985.

CAL Y MAYOR, Reyes Rafael y CÁRDENAS, Gissela Janina. Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones. Séptima edición. México D.F.: 1996.

CÁRDENAS, G. Daniel H., DÍAZ, M. Sonia E. y POVEDA, D. Juan D. La Movilidad Urbana en Toluca 1993-2000.

DUEÑAS RUIZ, Domingo Ernesto. Apuntes de clase de la asignatura "Estudios de Tránsito y Transporte" del programa de Maestría en Ingeniería con énfasis en Transporte. Toluca, 2008.

SECRETARÍA DE TRANSPORTO Y TRANSPORTE, Cal y Mayor y Asociados. Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito e el Transporte (Serie I "Marco Conceptual", Santa Fe de Bogotá, Col., 2004).

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Highway Capacity Manual HCM. Washington D.C., 2000.