

## FORMATO DE DESCRIPCIÓN DE LA TESIS

➤ AUTOR O AUTORES

Apellidos Correa Zúñiga Nombres Eduardo Mario  
Apellidos Valencia Moreno Nombres Sergio Julio

➤ TÍTULO Y SUBTÍTULO Planteamiento de soluciones al problema de congestión vehicular y peatonal en el tramo comprendido en la carrera 7 entre calles 39 y 45.

➤ CIUDAD Bogotá AÑO DE ELABORACIÓN 2005

➤ NÚMERO DE PÁGINAS 183

➤ TIPO DE ILUSTRACIONES \_\_\_\_\_

➤ MATERIAL ANEXO (fotografías, dibujos, cuadros, planos, mapas, otros)

Fotografías, cuadros y planos

➤ FACULTAD Ingeniería PROGRAMA Civil

➤ TÍTULO OBTENIDO Ingeniero Civil

➤ MENCIÓN (en caso de recibir alguna calificación especial)

➤ DESCRIPTORES (palabras claves que utilizará la Biblioteca para clasificar los temas que trata la Tesis)

Estudio de tránsito y transporte urbano.



---

---

## TABLA DE CONTENIDO

1.	MARCO CONCEPTUAL	18
1.1.	Arterias urbanas	18
1.2.	Señales verticales	18
1.2.1.	Señales preventivas	18
1.2.2.	Señales reglamentarias	19
1.2.3.	Señales informativas	19
1.3.	Señalización horizontal	21
1.4.	Intersecciones reguladas por semáforos	22
1.4.1.	Semáforos	22
1.4.2.	Tiempo de verde, tiempo de verde efectivo y tiempo perdido en el ciclo semafórico	24
1.4.3.	Capacidad y nivel de servicio	25
1.4.3.1.	Capacidad de las intersecciones reguladas por semáforos	26
1.4.3.2.	Nivel de servicio para intersecciones reguladas por semáforos	26
1.4.3.3.	Relaciones entre capacidad y nivel de servicio en intersecciones reguladas por semáforos	28
1.4.3.4.	Determinación del flujo de saturación	28
1.4.3.4.1.	Intensidad de saturación base ( $s_0$ )	29
1.4.3.4.2.	Factor de ajuste por ancho de carril ( $f_w$ )	29
1.4.3.4.3.	Factor de ajuste para vehículos pesados e inclinación ( $f_{hv}$ )	29



---

1.4.3.4.4.	Factor de ajuste por estacionamiento ( $f_p$ )	29
1.4.3.4.5.	Factor de ajuste por autobuses ( $f_{bb}$ )	30
1.4.3.4.6.	Factor de ajuste por tipo de área ( $f_a$ )	30
1.4.3.4.7.	Factor de ajuste por utilización de carril ( $f_{lu}$ )	30
1.4.3.4.8.	Factor de ajustes por giros a la derecha ( $f_{rt}$ )	30
1.4.3.4.9.	Factor de ajuste por giro a la izquierda ( $f_{lt}$ )	31
1.4.3.4.10.	Factor de ajuste para peatones y bicicletas ( $f_{ipb}$ , $f_{rpb}$ )	33
1.4.4.	Determinación de capacidad y v/c en intersecciones semaforizadas	36
1.4.4.1.	Capacidad (c)	36
1.4.4.2.	Proporción v/c	37
1.4.4.3.	Efecto de cola inicial	37
1.5.	Peatones	42
1.5.1.	Intersecciones semaforizadas	42
1.5.2.	Niveles de servicio en zonas peatonales	44
2.	CARACTERIZACIÓN	48
2.1.	Caracterización del tramo	49
2.1.1.	Usos del suelo	50
2.1.1.1.	Caracterización de usuarios de transporte	51
2.1.2.	Inventario de señalización	52
2.1.2.1.	Señalización vertical	54



---

2.1.2.1.1.	Señales reglamentarias	54
2.1.2.1.2.	Señales informativas	56
2.1.2.1.3.	Señales preventivas	56
2.1.2.2.	Señalización horizontal	57
2.1.2.2.1.	Marcas longitudinales	57
2.1.2.2.2.	Marcas transversales	58
2.1.3.	Estado de la vía	58
2.2.	Caracterización de las intersecciones semaforizadas	58
2.2.1.	Intersección semaforizada kra 7 x calle 45	60
2.2.1.1.	Condiciones normales de operación	61
2.2.1.2.	Condiciones de operación en contraflujo	62
2.2.2.	Intersección semaforizada kra 7 x calle 39	62
2.2.2.1.	Condiciones normales de operación	63
2.3.	Caracterización del transporte público colectivo	64
3.	TOMA DE INFORMACIÓN	68
3.1.	Volúmenes vehiculares	70
3.2.	Volúmenes peatonales	72
3.3.	Ocupación vehicular	74
3.4.	Tiempos de recorrido por el método de las placas de matrícula	74



---

4.	RESULTADOS	75
4.1.	Componente de tránsito	76
4.1.1.	Aforos vehiculares	76
4.1.1.1.	Características del tránsito vehicular intersección kra 7 x calle 39	83
4.1.1.2.	Características del tránsito vehicular intersección kra 7 x calle 45	87
4.2.	Componente de transporte público individual	90
4.2.1.	Ocupación transporte público individual, sentido sur – norte	90
4.2.2.	Ocupación transporte público individual, sentido norte – sur	96
4.3.	Componente de transporte público	101
4.3.1.	Oferta de transporte	101
4.3.2.	Componente de transporte público colectivo	110
4.4.	Componente peatonal	113
4.4.1.	Intersección calle 45	113
4.4.2.	Intersección calle 39	118
4.4.3.	Túnel peatonal	122
5.	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	126
5.1.	Análisis de componente de transito	127
5.1.1.	Intersección kra 7 x calle 39	132



---

5.1.2.	Intersección kra 7 x calle 45	138
5.2.	Análisis de pasos peatonales	143
5.2.1.	Intersecciones semaforizadas	143
5.2.1.1.	Calle 39 x kra 7	145
5.2.1.2.	Calle 45 x kra 7	150
5.2.2.	Paso peatonal túnel subterráneo	153
5.2.2.1.	Nivel de servicio debido a intensidad	153
5.2.2.2.	Nivel de servicio debido a velocidad	159
6.	DIAGNÓSTICO	160
6.1.	Congestión vehicular	161
6.1.1.	Intersección semaforizada kra 7 x calle 39	161
6.1.2.	Intersección semaforizada kra 7 x calle 45	162
6.1.3.	Tramo de estudio	163
6.2.	Congestión peatonal	164
6.2.1.	Intersección semaforizada calle 45	164
6.2.2.	Intersección semaforizada calle 39	165
6.2.3.	Paso peatonal túnel subterráneo	167
7.	SOLUCIONES Y CONCLUSIONES	168
7.1.	Intersecciones semaforizadas	169
7.1.1.	Eliminar las paradas de buses en las intersecciones	169



7.1.2.	Intersección kra 7 x calle 45: carril de giro exclusivo a la derecha en el acceso 2	171
7.2.	Tramo de estudio	172
7.2.1.	Zona amarilla para llevar a cabo las actividades de ascenso y descenso de pasajeros de los vehículos de transporte público individual.	172
7.3.	Peatones	173
7.4.	Políticas de transporte	174
7.4.1.	Transmilenio	175
7.4.2.	Bus/vao	177



---

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Relación entre tipo de llegada y relación de pelotón ( $R_p$ )	31
Tabla 1.2	Carros de paso equivalentes $E_{L1}$ para giros a la izquierda permitidos.	32
Tabla 1.3	Selección de las variables del modelo de demora, por caso	41
Tabla 1.4	Niveles de servicio peatonal	44
Tabla 2.1	Profesores vinculados a la Pontificia Universidad Javeriana	51
Tabla 2.2	Personal administrativo vinculado a la Pontificia Universidad Javeriana	51
Tabla 2.3	Estudiantes vinculados a la Pontificia Universidad Javeriana	52
Tabla 2.4	Inventario de señalización vertical	55
Tabla 2.5	Movimientos posibles en intersecciones	60
Tabla 2.6	Movimientos permitidos intersección Kra 7 x calle 45, en condiciones normales.	63
Tabla 2.7	Movimientos permitidos intersección Kra 7 x calle 45, operando en contraflujo.	63
Tabla 2.8	Movimientos permitidos intersección Kra 7 x calle 39, en condiciones normales	65
Tabla 2.9	clasificación de vehículos de transporte público colectivo según su capacidad	65
Tabla 2.10.	Caracterización del transporte público colectivo	66
Tabla 4.1	Determinación del volumen diario total ajustado por factor de expansión, intersección Kra 7 x calle 39	78





---

Tabla 4.2	Determinación del volumen diario total ajustado por factor de expansión, intersección Kra 7 x calle 45	78
Tabla 4.3	Composición de volúmenes vehiculares en los accesos a la intersección de la Kra 7 x calle 39	85
Tabla 4.4	Composición vehicular intersección Kra 7 x Calle 45, en los diferentes accesos	86
Tabla 4.5	Variación horaria volúmenes vehiculares Kra 7 x avenida 39, en los períodos de aforo	86
Tabla 4.6	Cálculo factor hora punta de la Kra 7 x calle 39	88
Tabla 4.7	Composición de volúmenes vehiculares en los accesos a la intersección de la Kra 7 x calle 45	89
Tabla 4.8	Composición vehicular intersección Kra 7 x Calle 45, en los diferentes accesos	89
Tabla 4.9	Variación horaria volúmenes vehiculares carrera 7 x calle 45, en los períodos de aforo	90
Tabla 4.10	Cálculo factor hora punta de la Kra 7 x calle 45	91
Tabla 4.11	Nivel de ocupación transporte público individual en la hora crítica, Kra 7 x calle 39 sentido sur – norte	93
Tabla 4.12	Nivel de ocupación transporte público individual en la hora crítica, Kra 7 x calle 45 sentido sur – norte	94
Tabla 4.13	Variación de pasajeros de transporte público individual en el tramo, sentido sur norte en la hora crítica	96
Tabla 4.14	Tasa de ocupación y/o desocupación de taxis en el tramo, sentido sur norte en la hora crítica	97
Tabla 4.15	Nivel de ocupación transporte público individual en la hora crítica, Kra 7 x calle 45 sentido norte – sur	98
Tabla 4.16	Nivel de ocupación transporte público individual en la hora crítica, Kra 7 x calle 39 sentido norte – sur	99



---

Tabla 4.17	Variación de pasajeros de transporte público individual en el tramo, sentido norte – sur en la hora crítica	101
Tabla 4.18	Tasa de ocupación y/o desocupación de taxis en el tramo, sentido norte – sur en la hora crítica.	102
Tabla 4.19	Vehículos de transporte público / hora en los períodos de estudio, Kra 7 x calle 39, sentido sur – norte	103
Tabla 4.20	Vehículos de transporte público colectivo / hora en los períodos de estudio, Kra 7 x calle 45, sentido sur – norte	104
Tabla 4.21	Vehículos de transporte público colectivo, Kra 7 x calle 39 sentido norte– sur, en los períodos de aforo	108
Tabla 4.22	Vehículos de transporte público colectivo, Kra 7 x calle 45 sentido norte – sur, en los períodos de aforo	109
Tabla 4.23	Períodos de encuestas de ocupación visual	113
Tabla 4.24	Capacidad y número de pasajeros transportados en vehículos de servicio público colectivo, de acuerdo al nivel de ocupación.	113
Tabla 4.25	Oferta y demanda de transporte público colectivo, Kra 7 sentido sur-norte	114
Tabla 4.26	Oferta y demanda de transporte público colectivo, Kra 7 sentido norte – sur	114
Tabla 4.27	Volúmenes peatonales en la Kra 7 x calle 45, en los períodos de aforo	116
Tabla 4.28	Volúmenes peatonales en la Kra 7 x calle 39, en los períodos de aforo	120
Tabla 4.29	Volúmenes peatonales en la Kra 7 x calle 41, en los períodos de aforo	124
Tabla 5.1.	Parámetros requeridos para el análisis operacional de las intersecciones semaforizadas del tramo de estudio	129



---

Tabla 5.2	Inventario infraestructura vial – vías transversales	130
Tabla 5.3	Inventario infraestructura vial – vías longitudinales	130
Tabla 5.4	Porcentaje de vehículos pesados por sentido y movimiento, intersección Kra 7 x Calle 39	131
Tabla 5.5.	Porcentaje de vehículos pesados por sentido y movimiento, intersección Kra 7 x Calle 45	131
Tabla 5.6.	Cálculo del factor de ajuste de la progresión	131
Tabla 5.7.	Tiempos del ciclo semafórico intersección CII 45	132
Tabla 5.8.	Tiempos del ciclo semafórico intersección CII 39	132
Tabla 5.9.	Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS, Kra 7 x Calle 39 en el período de la mañana (7:00 – 9:00)	135
Tabla 5.10.	Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS, Kra 7 x Calle 39 en el período de la tarde (13:00 – 15:00)	137
Tabla 5.11	Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS, Kra 7 x Calle 39 en el período de la noche (17:30 – 19:30)	138
Tabla 5.12	Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS, Kra 7 x Calle 45 en el período de la mañana (7:00 – 9:00)	140
Tabla 5.13	Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS, Kra 7 x Calle 45 en el período de la tarde (13:00 – 15:00)	142
Tabla 5.14	Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS, Kra 7 x Calle 45 en el período de la noche (17:30 – 19:30)	143
Tabla 5.15	Niveles de servicio peatonal	145



---

Tabla 5.16	Resumen determinación de nivel de servicio	146
Tabla 5.17	Resumen determinación de nivel de servicio para período de máxima oleada y afectado debido a vehículos que giran a la derecha	147
Tabla 5.18	Resumen determinación de nivel de servicio	147
Tabla 5.19	Resumen determinación de nivel de servicio para período de máxima oleada y afectado debido a vehículos que giran a la derecha	148
Tabla 5.20	Resumen determinación de nivel de servicio	148
Tabla 5.21	Resumen determinación de nivel de servicio para período de máxima oleada	149
Tabla 5.22	Resumen determinación de nivel de servicio	150
Tabla 5.23	Resumen determinación de nivel de servicio para período de máxima oleada y afectado debido a vehículos que giran a la derecha	151
Tabla 5.24	Resumen determinación de nivel de servicio	152
Tabla 5.25	Resumen determinación de nivel de servicio para período de máxima oleada y afectado debido a vehículos que giran a la derecha	152
Tabla 5.26	Resumen determinación de nivel de servicio	152
Tabla 5.27	Resumen determinación de nivel de servicio para período de máxima oleada y afectado debido a vehículos que giran a la derecha	153
Tabla 5.28	Intensidad de peatones discriminado por período de 15 min	153
Tabla 5.29	Resumen determinación de nivel de servicio	156



---

Tabla 5.30	Resumen determinación de nivel de servicio	157
Tabla 5.31	Resumen determinación de nivel de servicio	158
Tabla 5.31	Resumen determinación de nivel de servicio	159
Tabla 7.1.	Comparación entre la condición actual y una condición hipotética sin paradas de buses en los diferentes accesos de la intersección de la Kra 7 x Calle 39	169
Tabla 7.2.	Comparación entre la condición actual y una condición hipotética sin paradas de buses en los diferentes accesos de la intersección de la Kra 7 x Calle 45	170
Tabla 7.3.	Comparación entre la condición actual y una condición hipotética que se presentaría si no hubiera parada de buses en las intersecciones	171
Tabla 7.4.	Cantidad y porcentaje de vehículos que realizan los movimientos directo y giro a la derecha en la intersección de la Kra 7 x Calle 45	172
Tabla 7.5.	Condición actual y condición que se presentaría con carril de giro exclusivo a la derecha y sin paradas de buses en la intersección, en el acceso 2 de la Kra 7 x Calle 45	173
Tabla 7.6.	Comparación de las condiciones de demora y nivel de servicio actual, sin paradas de buses y sin paradas de buses con giro exclusivo a la derecha en el acceso 2 de la intersección de la Kra 7 x Calle 45	173
Tabla 7.7.	Ancho peatonal necesario para obtener un nivel de servicio C, en el túnel peatonal, partiendo del volumen peatonal presentado en la hora crítica	175
Tabla 7.8.	Ancho peatonal necesario para obtener un nivel de servicio D, en el túnel peatonal, partiendo del volumen peatonal presentado en la hora crítica	176



## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.1.	Caso III: Demora inicial por cola, con evacuación temprana durante T	38
Gráfica 1.2.	Caso IV: Demora inicial por cola, cuando la cola decrece durante T	38
Gráfica 1.3.	Caso V: Demora inicial por cola, cuando la cola se incrementa durante T	39
Gráfica 2.1.	Personal vinculado a la Universidad Javeriana	52
Gráfica 2.2.	Composición total del transporte público colectivo en el tramo de estudio, por sentido de circulación	65
Gráfica 2.3.	Composición de transporte público colectivo en el tramo de estudio, en sentido sur – norte	66
Gráfica 2.4.	Composición de transporte público colectivo en el tramo de estudio, en sentido norte – sur	67
Gráfica 3.1	Histograma de composición vehicular intersección Kra 7 x Cll 45 año 2004, sin tener en cuenta los carriles que circulan en contraflujo	71
Gráfica 3.2	Histograma de composición vehicular intersección Kra 7 x cll 45 año 2004, teniendo en cuenta únicamente los carriles de contraflujo	71
Gráfica 3.3	Histograma de distribución de viajes totales	73
Gráfica 4.1	Composición vehicular intersección Kra 7 x calle 39	78
Gráfica 4.2	Composición vehicular intersección Kra 7 x calle 45	78
Grafica 4.3.	Composición vehicular Kra 7 x calle 45 (7:00 – 9:00)	79
Grafica 4.4.	Composición vehicular Kra 7 x calle 39 (7:00 – 9:00)	80



---

Grafica 4.5.	Composición vehicular Kra 7 x calle 45 (13:00 – 15:00)	81
Grafica 4.6.	Composición vehicular Kra 7 x calle 39 (13:00 – 15:00)	81
Grafica 4.7.	Composición vehicular Kra 7 x calle 45 (17:30 – 19:30)	82
Grafica 4.8.	Composición vehicular Kra 7 x calle 39 (17:30 – 19:30)	83
Gráfica 4.9.	Variación horaria volúmenes vehiculares Kra 7 x avenida 39	86
Gráfica 4.10	Variación horaria volúmenes vehiculares carrera 7 x calle 45	90
Gráfica 4.11	Nivel de ocupación transporte público individual en la hora crítica, Kra 7 x calle 39 sentido sur norte	93
Gráfica 4.12	Nivel de ocupación transporte público individual en la hora crítica, Kra 7 x calle 45 sentido sur norte	94
Gráfica 4.13	Nivel de ocupación transporte público individual en la hora crítica, Kra7 x calle 45 sentido norte – sur	98
Gráfica 4.14	Nivel de ocupación transporte público individual en la hora crítica, Kra 7 x calle 39 sentido norte – sur	99
Grafica 4.15	Composición vehicular de transporte público colectivo en Kra 7 x Calle 39, sentido Sur– Norte	104
Gráfica 4.16.	Composición vehicular transporte público colectivo Kra 7 x calle 39 sentido sur – norte, en los períodos de aforo	105
Grafica 4.17	Composición vehicular de transporte público colectivo, Kra 7 x calle 45 sentido sur – norte	106
Gráfica 4.18	Composición Vehicular transporte público colectivo en la Kra 7 x calle 45 sentido sur – norte, en los períodos de aforo	107
Grafica 4.19	Composición vehicular de transporte público colectivo, Kra 7 x calle 39, sentido norte – sur	108
Gráfica 4.20	muestra como en la Kra 7 x Calle 39 sentido Norte –	



---

	Sur predominan los buses (66%), siendo también importante la presencia de busetas (18%)	109
Grafica 4.21	Composición vehicular de transporte público colectivo, Kra 7 x calle 45, sentido norte – sur	110
Grafica 4.22	Composición vehicular de transporte público colectivo Kra 7 x calle 45, sentido norte– sur en los períodos de aforo	111
Grafica 4.23	Volúmenes peatonales en la Kra 7 x calle 45, en los períodos de aforo	116
Gráfica 4.24	Volúmenes peatonales discriminados por movimientos en la Kra 7 x calle 45, período de la mañana	117
Gráfica 4.25	Volúmenes peatonales discriminados por movimientos en la Kra 7 x calle 45, período de la tarde	117
Gráfica 4.26	Volúmenes peatonales discriminados por movimientos en la Kra 7 x calle 45, período de la noche	118
Grafica 4.27	Volúmenes peatonales en la Kra 7 x calle 39, en los períodos de aforo	121
Gráfica 4.28	Volúmenes peatonales discriminados por movimientos en la Kra 7 x calle 39, período de la mañana	122
Gráfica 4.29	Volúmenes peatonales discriminados por movimientos en la Kra 7 x calle 39, período de la tarde	122
Gráfica 4.30	Volúmenes peatonales discriminados por movimientos en la Kra 7 x calle 39, período de la noche	123
Grafica 4.31	Volúmenes peatonales en el túnel peatonal a lo largo del día	125
Grafica 4.32	Volúmenes peatonales a lo largo del día en las instalaciones del túnel, discriminadas por tipo de movimiento	125





Gráfica 5.1.	Intensidades peatonales, túnel peatonal	155
--------------	---	-----

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Localización de la zona de estudio	50
Figura 2.2.	Inventario de señalización	53
Figura 2.3	Movimientos posibles en intersecciones	59
Figura 2.4.	Esquema intersección Kra 7 x Cll 45	61
Figura 2.5	Esquema intersección Kra 7 x Cll 39	63
Figura 3.1	Lugares de aforo	69
Figura 4.1	Esquema movimientos peatonales intersección Kra 7 x Calle 45	114
Figura 4.2	Esquema movimientos peatonales intersección Kra 7 x Calle 39	119
Figura 5.1.	Esquema intersección Kra 7 x Calle 39	133
Figura 5.2	Esquema intersección Kra 7 x Calle 45	138
Figura 5.3.	Esquema de movimientos peatonales en la intersección Kra 7 x Calle 39	145
Figura 5.4.	Esquema de movimientos peatonales en la intersección Kra 7 x Calle 45	149
Figura 5.5	Dimensiones paso peatonal subterráneo calle 41 x kra 7	154



## INTRODUCCIÓN

En la capital se ha venido incrementando de manera considerable el parque automotriz, mientras que el desarrollo de la infraestructura vial no se ha dado con la misma intensidad. Lo anterior ha llevado a que algunos tramos de la red vial no funcionen de forma adecuada; estos problemas son más notorios en tramos circundantes a centros generadores – atractores de viajes como centros comerciales, terminales de transporte, edificios de gran altura, centros universitarios entre otros.

La Pontificia Universidad Javeriana es un importante centro atractor – generador de viajes en la ciudad de Bogotá, por lo que en sus inmediaciones se presenta un gran flujo vehicular y peatonal, ocasionando (sobre todo en las intersecciones) conflictos vehículo – vehículo, vehículo – peatón. Estos conflictos se han venido haciendo más notorios, por lo que ha surgido una preocupación tanto del medio universitario de la universidad como de los realizadores del trabajo, por la forma como están funcionando las vías aledañas. Sería demasiado pretencioso intentar abarcar en un trabajo de grado toda la infraestructura vial aledaña a esta institución, por lo que se decidió analizar el tramo más crítico en cuanto a congestión vehicular y peatonal se refiere. Las principales vías del sector son la avenida circunvalar y la avenida carrera 7, siendo la segunda de estas el objeto de estudio de este trabajo, ya que cualitativamente se ha visto que es ahí donde se presentan los principales problemas de congestión vehicular y peatonal que son los que se busca resolver. El tramo que se va a analizar en esta avenida arteria es el comprendido entre las calles 39 y 45, que es donde se encuentra ubicada la institución antes mencionada

En el presente trabajo se va a realizar el levantamiento de la información necesaria para llevar a cabo el diagnóstico de funcionamiento del tramo de la carrera 7 entre calles 39 y 45 para luego dejar planteadas de manera conceptual unas posibles soluciones a los problemas identificados en el diagnóstico.



## 1. MARCO CONCEPTUAL

### 1.1. Arterias Urbanas

Las arterias urbanas son calles semaforizadas que fundamentalmente dan servicio al tráfico de paso; en segundo lugar proporcionan acceso a las propiedades colindantes. Generalmente se definen como carreteras con una longitud mínima de 1,6 km en zonas urbanas; que tienen un espaciamiento entre intersecciones semaforizadas que oscila entre 60 m en zonas urbanas y que puede llegar hasta 3,2 km; y con movimientos de giro en las intersecciones que normalmente no superan el 20% del volumen de tráfico total. El desarrollo comercial a lo largo de las arterias puede ser intenso, produciendo fricciones en el tráfico que generalmente limitan la velocidad deseada por los conductores.

Las calles arteriales constituyen una clase intermedia limitada por un lado por calles colectoras y céntricas y por el otro por las carreteras multicarril suburbanas y rurales. Las diferencias se determinan, principalmente, por su función, y por el carácter e intensidad del desarrollo comercial colindante.

### 1.2. Señales Verticales

Las señales verticales son placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o adyacentes a ella, que mediante símbolos o leyendas determinadas cumplen la función de prevenir a los usuarios sobre la existencia de peligros y su naturaleza, reglamentar las prohibiciones o restricciones respecto del uso de las vías, así como brindar la información necesaria para guiar a los usuarios de las mismas.

De acuerdo con la función que cumplen, las señales verticales se clasifican en:

- Señales preventivas
- Señales reglamentarias
- Señales informativas

#### 1.2.1. Señales preventivas

Llamadas también de prevención, tienen por objeto advertir al usuario de la vía la existencia de una condición peligrosa y la naturaleza de ésta. Se identifican con el código SP.

Se utiliza el cuadrado con diagonal vertical rombo. Las excepciones de aplicación de esta forma son:



- SP-54. Paso a nivel, cuya forma es la conocida cruz de San Andrés
- SP-40. Flecha direccional, cuya forma es rectangular

Este tipo de señales deberán ser colocadas antes del riesgo a prevenir. En vías arterias urbanas, o de jerarquía inferior, se ubicarán a una distancia que podrá variar entre 60 y 80 m Para el caso de vías rurales, o urbanas de jerarquía superior a las arterias, las señales preventivas se colocarán de acuerdo con la velocidad de operación del sector.

### **1.2.2. Señales reglamentarias**

Las señales reglamentarias o de reglamentación tienen por objeto indicar a los usuarios de la vía las limitaciones, prohibiciones o restricciones sobre su uso. Estas señales se identifican con el código SR. Su violación acarrea las sanciones previstas en el Código Nacional de Tránsito Terrestre.

Su forma es circular, a excepción de las señales:

- SR-01: Pare, cuya forma es octagonal
- SR-02: Ceda el paso, cuya forma es un triángulo equilátero con un vértice hacia abajo
- SR-38 y SR-39: Sentido único de circulación y sentido de circulación doble, serán de forma rectangular

En el caso en que se requieran adosar placas informativas, éstas serán de forma rectangular y en ningún caso deberán tener un ancho superior al de la señal principal.

Las señales reglamentarias se ubicarán en el sitio mismo a partir del cual empieza a aplicarse la reglamentación o prohibición descrita en la señal.

Las señales podrán ser complementadas con una placa informativa situada debajo del símbolo, que indique el límite de la prohibición o restricción. Por ejemplo se podrá incluir una placa con las palabras: en esta cuadra, en ambos costados. Igualmente se podrán adosar placas que indiquen el punto de inicio y determinación de la prohibición o restricción,

### **1.2.3. Señales informativas**

Las señales informativas o de información, tienen por objeto guiar al usuario de la vía suministrándole la información necesaria sobre identificación de localidades, destinos, direcciones, sitios de interés turístico, geográficos, intersecciones,



cruces, distancias por recorrer, prestación de servicios, etc. Estas señales se identifican con el código SI.

Las señales informativas se clasifican en:

a) De identificación: Son usadas para identificar las carreteras, según la nomenclatura vigente. Dentro de esta clasificación se incluyen las señales SI-01, SI-02 y SI-03.

b) Postes de referencia: Indican el abscisado o sitio de referencia de la vía, a partir de un punto determinado. Corresponde a la señal SI-04.

c) De destino: Indican al usuario de la vía el nombre, la dirección y la distancia de ubicación de las poblaciones que se encuentran en la ruta. En esta clasificación se incluyen las señales SI-05, SI-05 A, SI-05 B, SI-05 C y SI-06.

d) De Información en ruta: Indican la nomenclatura de las vías urbanas, mensajes educativos y de seguridad y sitios de interés geográfico para los usuarios de las vías. En este grupo se clasifican las señales SI-26, SI-27 y SI-28.

e) De Información general: Identifican lugares de interés general para los usuarios de las vías. Corresponden a las señales SI-07, SI-08, SI-09, SI-11, SI-13, SI-14, SI-24, SI-25, SI-29 y SI-30.

f) De servicios: Indican los lugares en donde se prestan servicios personales o a los automotores. Corresponden a las señales SI-10 y SI-15 hasta SI-23.

g) De información turística: Transmiten información referente a atractivos (naturales y culturales) y facilidades turísticas. En este grupo se incluyen las señales SI-12 y SI-31 hasta SI-50

De acuerdo con su clasificación las señales informativas tendrán la siguiente forma:

a) De identificación: Tienen forma de escudo, como se muestra en el gráfico respectivo contenido en el presente capítulo.

b) Postes de referencia: Son de forma rectangular.

c) De destino: Son de forma rectangular, a excepción de la señal SI-05 A que tiene forma de flecha.

d) De Información en ruta: Su forma es rectangular.



e) De Información general: Son de forma rectangular.

f) De servicios: Son de forma rectangular.

g) De información turística: Son de forma cuadrada. En el caso en que se requiera adosar placas que amplíen la información de las señales, éstas serán de forma rectangular y en ningún caso deberán tener un ancho superior al de la señal principal.

### **1.3. Señalización horizontal**

La señalización horizontal corresponde a la aplicación de marcas viales, conformadas por líneas, flechas, símbolos y letras que se pintan sobre el pavimento, bordillos o sardineles y estructuras de las vías de circulación o adyacentes a ellas, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodadura, con el fin de regular, canalizar el tránsito o indicar la presencia de obstáculos.

La demarcación desempeña funciones definidas e importantes en un adecuado esquema de regulación del tránsito. En algunos casos, son usadas para complementar las órdenes o advertencias de otros dispositivos, tales como las señales verticales y semáforos; en otros, transmiten instrucciones que no pueden ser presentadas mediante el uso de ningún otro dispositivo, siendo un modo muy efectivo de hacerlas entendibles.

Para que la señalización horizontal cumpla la función para la cual se usa, se requiere que se tenga una uniformidad respecto a las dimensiones, diseño, símbolos, caracteres, colores, frecuencia de uso, circunstancias en que se emplea y tipo de material usado. Las marcas viales o demarcaciones deben ser reflectivas excepto paso peatonal tipo cebra, o estar debidamente iluminadas.

La señalización horizontal se clasifica así:

a) Marcas longitudinales:

- Líneas centrales
- Líneas de borde de pavimento
- Líneas de carril
- Líneas de separación de rampas de entrada o de salida
- Demarcación de zonas de adelantamiento prohibido
- Demarcación de bermas pavimentadas
- Demarcación de canalización
- Demarcación de transiciones en el ancho del pavimento
- Demarcación de aproximación a obstrucciones



- Demarcación de aproximación a pasos a nivel
- Demarcación de líneas de estacionamiento
- Demarcación de uso de carril
- Demarcación de carriles exclusivos para buses
- Demarcación de paraderos de buses
- Demarcación de carriles de contraflujo
- Flechas

b) Marcas transversales:

- Demarcación de líneas de “pare”
- Demarcación de pasos peatonales
- Demarcaciones de ceda el paso
- Líneas antibloqueo
- Símbolos y letreros

c) Marcas de bordillos y sardineles

d) Marcas de objetos:

- Dentro de la vía
- Adyacentes a la vía

#### **1.4. Intersecciones reguladas por semáforos.**

La intersección regulada por semáforos es una de las situaciones más complejas en el sistema circulatorio. El análisis de intersecciones reguladas por semáforos debe considerar una gran variedad de condiciones prevalecientes, incluida la cantidad y la distribución del tráfico rodado, la composición del mismo, las características geométricas, y los detalles de la semaforización de la intersección.

En la intersección regulada por semáforos hay que añadir un elemento adicional en el concepto de capacidad: la distribución del tiempo. Un semáforo esencialmente distribuye el tiempo entre los movimientos circulatorios conflictivos que pretenden utilizar el mismo espacio físico. La manera en la que se distribuya el tiempo tiene un impacto significativo en el funcionamiento de la intersección y en la capacidad de la misma y de sus accesos.

##### **1.4.1. Semáforos**

Generalmente se emplean los siguientes términos para describir las operaciones semaforicas.



- Ciclo: cualquier secuencia completa de indicaciones o mensajes de un semáforo.
- Duración del ciclo: el tiempo total que necesita el semáforo para completar un ciclo, expresado en segundos, se representa con el símbolo  $C$ .
- Intervalo: un período de tiempo durante el cual todas las indicaciones semafóricas permanecen constantes.
- Fase: La parte de un ciclo que se da a cualquier combinación de movimientos de tráfico que tienen derecho a pasar simultáneamente durante uno o más intervalos.
- Tiempo de cambio: los intervalos “amarillo” más el “todo rojo” que tiene lugar entre las fases para permitir evacuar la intersección antes de que movimientos contrapuestos se pongan en marcha; se expresa con el símbolo  $Y$  y se expresa en segundos
- Tiempo de verde: el tiempo, dentro de una fase dada durante la cual la indicación “verde” está a la vista, expresada con el símbolo  $G_i$  (para la fase  $i$ ) y en segundos
- Tiempo perdido: el tiempo durante el cual la intersección no está efectivamente utilizada por ningún movimiento: estos tiempos ocurren durante el intervalo de cambio (durante el cual la intersección se evacua) y al principio de cada fase cuando los primeros vehículos sufren retrasos en el arranque, se representa mediante el símbolo  $L_i$
- Tiempo de verde efectivo: el tiempo durante una fase dada que está efectivamente disponible para los movimientos permitidos generalmente se considera como el tiempo de verde más el intervalo de cambio menos el tiempo perdido para la fase, expresado en segundos y notado con el símbolo  $g_i$
- Proporción de verde: la proporción de verde efectivo en relación a la duración del ciclo, notado con el símbolo  $g_i/C$ .
- Rojo efectivo: el tiempo durante el cual no se permite la circulación a un movimiento dado, o un conjunto de movimientos: es la duración del ciclo menos el tiempo de verde efectivo para una fase especificada, expresado en segundos y notado con el símbolo  $r_i$

En una intersección regulada por semáforos la asignación de tiempo de verde no es lo único que tiene un impacto significativo sobre la capacidad y las operaciones, sino también la disposición de los movimientos de giro dentro de la secuencia de fases. Las fases semafóricas pueden dar cabida a movimientos de giro protegidos, permitidos, o sin oposición.

Un movimiento de giro permitido se realiza a través de, bien un flujo peatonal conflictivo o contra un flujo vehicular en sentido opuesto. Así pues, un movimiento de giro a la izquierda que se realiza al mismo tiempo que el





movimiento de tráfico de frente en sentido opuesto se considera como permitido, como lo es un movimiento de giro a la derecha hecho al mismo tiempo que el cruce de peatones por un paso de peatones.

Los giros protegidos son aquellos que se llevan a cabo sin estos conflictos, como giros hechos durante una fase exclusiva de giro a la izquierda, o una fase de giro a la derecha durante la cual los movimientos conflictivos con los peatones están prohibidos. Los giros permitidos sufren la fricción originada en la selección y paso a través de los intervalos de un flujo de vehículos, o peatonal, conflictivo.

En cada situación concreta será más eficaz una fase de giro permitido o una de giro protegido, dependiendo de los volúmenes de giro y el tráfico en el sentido opuesto, de la geometría de la intersección y de otros factores.

Los movimientos de giro sin oposición no cuentan con una fase dedicada de giro a la izquierda (por ejemplo, una flecha verde), pero debido a la naturaleza de la intersección, estos movimientos de giro nunca se encuentran en conflicto con el tráfico de paso.

#### **1.4.2. Tiempo de verde, tiempo de verde efectivo y tiempo perdido en el ciclo semafórico**

En una intersección regulada por semáforos, para cualquier grupo de carriles dado, las únicas tres señales semafóricas visibles son: verde, amarillo y rojo. La indicación roja generalmente incluye un corto período de tiempo durante el cual todas las señales están en rojo, denominado intervalo “todo en rojo”, que junto con la amarilla compone el intervalo de despeje y el de cambio entre las dos fases de verde.

El tiempo de verde efectivo para un grupo de carriles dado es el tiempo que los vehículos del grupo de carriles en cuestión pueden utilizar a una tasa igual a la intensidad de saturación. El tiempo de rojo efectivo se define como la duración del ciclo menos el tiempo de verde efectivo.

Resulta de la mayor importancia comprender correctamente la relación entre los tiempos reales de verde, amarillo y rojo, mostrados por las tres posiciones de un semáforo, y los tiempos de verde y rojo efectivo. Cada vez que un cierto movimiento comienza y termina tiene lugar dos “tiempos perdidos”. Al comienzo del movimiento los primeros vehículos de la cola del acceso sufren pérdidas de tiempo en el arranque, dado que su movimiento es más lento que el



correspondiente a la intensidad de saturación. Al final del movimiento, hay una parte de los intervalos de despeje y de cambio (amarillo y todo rojo) no utilizados para el movimiento vehicular.

### **1.4.3. Capacidad y nivel de servicio**

Los conceptos de capacidad y nivel de servicio son tan fundamentales para el análisis de intersecciones, como para todo tipo de instalaciones viarias. No obstante, estos dos conceptos no están tan estrechamente correlacionados en el análisis de las intersecciones como lo están en otro tipo de instalaciones viarias. En intersecciones reguladas por semáforos, ambos conceptos se analizan por separado y no están relacionados entre sí de manera sencilla. No obstante, es imprescindible tener en cuenta que tanto la capacidad como el nivel de servicio han de ser considerados en todos sus aspectos para evaluar el funcionamiento global de una intersección regulada por semáforos.

Se calcula una capacidad por separado para cada grupo de carriles que acceden a una intersección. Se define por grupo de carriles a uno o más carriles utilizados por el tráfico con una línea de parada común y una capacidad compartida por todos los vehículos. El análisis de capacidad concluye con el cálculo de la relación entre la intensidad y la capacidad ( $I/c$ ) de cada grupo de carriles. La relación  $I/c$  es la intensidad de circulación real, o de proyecto de un grupo de carriles correspondiente a un intervalo, dividido por la capacidad del grupo de carriles en cuestión

El nivel de servicio se basa en la demora media en parada de los diversos movimientos de la intersección. Aunque la relación  $I/c$  afecta la demora, hay otros parámetros que la afectan en mayor medida aún como la calidad de la progresión, la duración de las fases verdes, la duración del ciclo y otros varios que serán descritos posteriormente. Por consiguiente, para una relación  $I/c$  dada puede obtenerse un abanico de valores de la demora y viceversa. Por esa razón en las intersecciones hay que examinar detenidamente tanto la capacidad como el nivel de servicio.

La relación  $I/c$  es una medida de la suficiencia de la capacidad, esto es, si la geometría física y el diseño semafórico pueden o no proporcionar la capacidad suficiente para el movimiento o movimientos en cuestión. La demora es un índice de la calidad de servicio percibida por el usuario de la vía. Ambas deben analizarse para entender correctamente las características de operación esperadas de la intersección, y ninguna de las dos puede sustituirse por la otra.



#### **1.4.3.1. Capacidad de las intersecciones reguladas por semáforos**

En las intersecciones la capacidad se define para cada grupo de carriles. La capacidad del grupo de carriles es la intensidad de circulación máxima del grupo de carriles en cuestión que puede circular a través de la intersección en las condiciones prevalecientes de tráfico, calzada y semaforización. Generalmente, la intensidad de circulación se mide para un período de 15 min, la capacidad se expresa en vehículos por hora (veh/h).

Las condiciones de la circulación abarcan los volúmenes de cada acceso, la distribución de los vehículos en cada movimiento (izquierda, de paso y derecha), la distribución por tipo de vehículo en cada movimiento, la situación y utilización de las paradas de autobús en la zona de influencia de la intersección, flujos peatonales de cruce y finalmente movimientos de estacionamiento en las zona de afectación de la intersección.

Las condiciones de carretera comprenden la geometría básica de la intersección incluyendo el número y la anchura de los carriles, las inclinaciones de la rasante y la asignación de usos de los carriles.

Las condiciones de semaforización incluyen una total definición de las fases semafóricas, el reglaje, el tipo de control y una evaluación de la progresión semafórica en cada acceso.

La capacidad de las intersecciones reguladas por semáforos, se basan en el concepto de saturación e intensidad de saturación, definida como la máxima intensidad de circulación que puede circular por un grupo de carriles dado, en las condiciones de tráfico y de la vía prevalecientes, suponiendo que el grupo de carriles tenga un 100% de tiempo real disponible como tiempo de verde efectivo. La intensidad de saturación se representa con el símbolo  $s$  y se expresa en unidades de vehículos por hora de tiempo de verde efectivo (veh/hv) para un grupo de carriles dado.

Se define el índice de saturación de un grupo de carriles dado, como la relación entre la intensidad de circulación real o provisional, del grupo de carriles, y la intensidad de saturación.

#### **1.4.3.2. Nivel de servicio para intersecciones reguladas por semáforos.**

Se define el nivel de servicio (NS) en intersecciones reguladas por semáforos en términos de demora que es una medida de las molestias, frustración, consumo de carburantes y tiempo de viaje perdido por el conductor. Específicamente los



critérios de nivel de servicio se establecen en términos de la demora media de parada por vehículo para un período de análisis de 15 min. La demora puede medirse directamente en la calle o estimarse. La demora es una medida compleja y depende de una serie de valores que incluyen la calidad de la progresión, la duración del ciclo, la relación de verde y la relación l/c para el grupo de carriles en cuestión.

El NS A caracteriza operaciones con muy poca demora, es decir, cuando ésta es inferior a 10 s por vehículo. Este nivel de servicio ocurre cuando el avance es extremadamente favorable y la mayoría de los vehículos llegan durante la fase verde. La mayoría de los vehículos no se detienen para nada.

El NS B describe operaciones con demora superior a 10 s y hasta 20 s por vehículo. Esto ocurre generalmente bien con una buena progresión, bien con ciclos cortos, o con ambas situaciones a la vez.

El NS C describe aquellas operaciones con demora superior a 20 s e inferior a 35 s por vehículo; estas demoras más prolongadas pueden deberse a una demora de mediana calidad, ciclos más prolongados o a ambas circunstancias. En este nivel es posible que se empiece a producir una falta de capacidad en algún ciclo individualizado. En este nivel el número de vehículos que se detienen es significativo aunque muchos atraviesan todavía la intersección sin detenerse.

El NS D describe aquellas operaciones cuya demora sea superior a 35 s e inferior a 55 s por vehículo. En el nivel D se hace más notable la influencia de la congestión. Se pueden producir demoras más prolongadas debido a alguna combinación de progresión desfavorable, duraciones de ciclo prolongadas o altas relaciones l/c. muchos vehículos se detienen y la proporción de vehículos que no se detienen disminuye. Son notorias las faltas de capacidad en ciclos individuales.

El NS E describe aquellas operaciones cuya demora sea superior a 55 s e inferior a 80 s por vehículo. Muchos organismos consideran a este nivel como el límite de la demora aceptable. Estos altos valores de demora generalmente indican un avance lento, largas duraciones de ciclo y altas relaciones l/c. en algunos ciclos individuales se presenta con frecuencia una insuficiencia de incapacidad.

El NS F describe aquellas operaciones cuya demora sea superior a 80 s por vehículo. Este nivel, considerado inaceptable por la mayoría de los conductores se suele presentar cuando existe una sobre saturación, es decir, cuando las intensidades de circulación de llegada superan la capacidad de la intersección. Esto también puede ocurrir con relaciones l/c altas inferiores a 1.0 con muchos ciclos insuficientes. Las causas fundamentales de unos niveles de demora tan elevados pueden ser una progresión deficiente y duraciones de ciclo prolongadas.



### 1.4.3.3. Relaciones entre capacidad y nivel de servicio en intersecciones reguladas por semáforos.

Debido a que la demora es una medida compleja, su relación con la capacidad también lo es. Los niveles de servicio han sido establecidos con base en la aceptabilidad de diferentes niveles de demora por parte de los conductores. El NS C es ampliamente reconocido como objetivo de diseño deseable. Es importante destacar que este concepto no está relacionado con la capacidad de forma directa.

### 1.4.3.4. Determinación del flujo de saturación

El flujo de saturación para cada grupo de carril es calculado de acuerdo con la **Ecuación 1.1**, entendiéndose como el flujo de vehículos por hora que pueden estar acomodados en el grupo de carril, asumiendo una fase de verde disponible el 100% del tiempo.

$$s = s_0 N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb} \quad \text{Ec [1.1]}^1$$

Donde:

- s = Intensidad de saturación para el grupo de carriles estudiado (veh/h)
- s<sub>0</sub> = Intensidad de saturación ideal (pc/h/ln : vehículos ligeros/hora/carril )
- N = Número de carriles
- f<sub>w</sub> = Factor de ajuste por ancho de carril
- f<sub>HV</sub> = Factor de ajuste por vehículos pesados en el flujo vehicular
- f<sub>g</sub> = Factor de ajuste por inclinación del acceso
- f<sub>p</sub> = Factor de ajuste por existencia de carril de estacionamiento
- f<sub>bb</sub> = Factor de ajuste por efecto de los autobuses locales que paran dentro de la zona
- f<sub>a</sub> = Factor de ajuste por tipo de área
- f<sub>LU</sub> = Factor de ajuste por utilización del carril
- f<sub>LT</sub> = Factor de ajuste por giros a la izquierda
- f<sub>RT</sub> = Factor de ajuste por giros a la derecha
- f<sub>Lpb</sub> = Factor de ajuste por movimientos a la izquierda de peatones
- f<sub>Rpb</sub> = Factor de ajuste por movimientos a la derecha de peatones

<sup>1</sup> Ecuación [16-4] Highway Capacity Manual 2000.



#### **1.4.3.4.1. Intensidad de saturación base ( $S_0$ )**

La selección para el cálculo del flujo de saturación inicial usualmente es 1900 automóviles por hora por carril; siendo este valor ajustado por varias condiciones.

#### **1.4.3.4.2. Factor de ajuste por ancho de carril ( $f_w$ )**

El factor de anchura de carril ( $f_w$ ) tiene en cuenta el impacto perjudicial que ejercen los carriles estrechos en intensidad de saturación, al igual que permiten un incremento del flujo con carriles anchos. El carril estándar posee 3,6 metros. En el caso de anchura superior a 4,8 metros este factor se calcula con precaución o bien se procede a un análisis considerando dos carriles estrechos. Nótese que la presencia de dos carriles siempre arrojará una intensidad de saturación más elevada que la correspondiente a un solo carril, en cualquier caso el análisis debe indicar de que manera se utilizara realmente la anchura o como se espera que se utilice. En ningún caso no debe calcularse este factor para anchuras inferiores a 2,4 metros.

#### **1.4.3.4.3. Factor de ajuste para vehículos pesados e inclinación ( $f_{HV}$ )**

Los efectos de los vehículos pesados ( $f_{HV}$ ) y el grado de inclinación  $fg$  se tienen en cuenta por separado. Al tratarlos por separado se está admitiendo que los vehículos ligeros, al igual que los pesados se ven afectados por la inclinación de los accesos. El factor de ajuste por vehículos pesados tiene en cuenta el espacio adicional que ocupan estos vehículos y sus diferentes paradas en relación con los vehículos ligeros. El equivalente en vehículos ligeros ( $E_T$ ) por cada vehículo pesado es dos vehículos ligeros y es el que se adopta en la fórmula. El factor de inclinación tiene en cuenta el efecto de la inclinación en la operación de todos los vehículos

#### **1.4.3.4.4. Factor de ajuste por estacionamiento ( $f_p$ )**

El factor de ajuste de estacionamiento ( $f_p$ ) tiene en cuenta el efecto de fricción que ejerce el carril de estacionamiento sobre el grupo de carriles adyacentes así como el bloqueo ocasional de estos carriles por los vehículos que entran y salen de las celdas de estacionamiento. Se considera que cada maniobra de estacionamiento, sea de entrada o salida, bloquea la circulación del carril contiguo al estacionamiento como media durante 18 segundos.



#### 1.4.3.4.5. Factor de ajustamiento por autobuses ( $f_{bb}$ )

El factor de bloqueo de bus ( $f_{bb}$ ) tiene en cuenta el impacto de los autobuses de circulación local que para recoger o descargar en la zona anterior o posterior de la intersección, en una distancia comprometida entre 75 metros y la línea de parada. Este factor únicamente debe utilizarse cuando las paradas de los autobuses afecten a la circulación del grupo de carriles en estudio. Si se presenta más de 250 autobuses hora, debe ajustarse este número como límite práctico. El factor que se utiliza asume un tiempo medio de bloque de 14,4 segundos durante la señal semafórica verde.

#### 1.4.3.4.6. Factor de ajuste por tipo de área ( $f_a$ )

El factor de ajuste por el tipo de área ( $f_a$ ) tiene en cuenta la ineficiencia relativa de las intersecciones en las zonas comerciales en comparación aquellas zonas situadas en otros lugares, y se debe fundamentalmente a la complejidad y congestión general consiste en el entorno de las zonas comerciales.

#### 1.4.3.4.7. Factor de ajuste por utilización de carril ( $f_{LU}$ )

El factor de utilización de carril ( $f_{LU}$ ) tiene en cuenta la diferente cantidad de tráfico en el grupo de carriles, este factor provee la saturación del flujo. Este factor de ajuste es basado en el flujo en el carril que posee el más alto volumen y es calculado por la siguiente ecuación.

$$f_{LU} = \frac{v_g}{v_{g1}N} \quad \text{Ec [1.2]}^2$$

Donde:

$f_{LU}$ : Factor de ajuste de utilización de carril

$v_g$ : Proporción de demanda de flujo en el grupo de carril ( veh/h)

$v_{g1}$ : Proporción de demanda de flujo del carril con mayor volumen

N: Número de carriles

#### 1.4.3.4.8. Factor de ajustes por giros a la derecha ( $f_{RT}$ )

El factor de ajuste por giro a la derecha ( $f_{RT}$ ) intenta reflejar de manera importante el efecto de la geometría. El factor de bloqueo por peatones y bicicletas es tomado

<sup>2</sup> Ecuación [16.5] Highway Capacity Manual 2000



por separado y es usado para reflejar el volumen que entra en conflicto en el cruce peatonal. El factor de ajuste de giro a la derecha depende de variables incluyendo:

- Si el giro a la derecha esta hecho para carril exclusivo o compartido.
- La proporción de vehículos que giran a la derecha en los carriles compartidos

#### 1.4.3.4.9. Factor de ajuste por giro a la izquierda ( $f_{LT}$ )

El factor de ajuste por giro a la izquierda ( $f_{LT}$ ), tiene en cuenta variables similares a la que usa el factor de ajuste por giro a la derecha incluyendo:

- Si el giro a la izquierda esta hecho para carril exclusivo o compartido.
- Tipo de paso (protegido, permitido o protegido-permitido).
- La proporción de vehículos que giran a la izquierda en los carriles compartidos.
- Proporción de flujo opuesto cuando existen giros permitidos a la izquierda.

Los factores de ajuste por giro a la izquierda son usados en 6 diferentes casos:

1. Carril exclusivo con protección de paso.
2. Carril exclusivo con paso permitido.
3. Carril exclusivo con paso permitido-protegido.
4. Carril compartido con protección de paso.
5. Carril compartido con paso permitido.
6. Carril compartido con paso permitido-protegido.

Las ecuaciones usadas en cálculos subsecuentes, están basadas en las variables de entrada que se tienen. Algunos de estos cálculos merecen una mayor discusión, como se muestra a continuación:

- La relación de oposición del pelotón, ( $R_{po}$ ) puede ser determinada de dos formas. Si el tipo de llegada del tráfico opuesto aparece en el Formato de Entrada, se usa la relación de oposición del pelotón que aparece en la **Tabla 1.1**. Si la proporción de llegadas en verde aparece en el formato de entrada, se usa la ecuación **Ec [1.3]**, basada en la relación  $g/C$ .





**Tabla 1.1.** Relación entre tipo de llegada y relación de pelotón ( $R_p$ )

Tipo de llegada	Rango de relación de pelotón	Valor predeterminado	Calidad de progresión
1	< 0,50	0,333	Muy pobre
2	> 0,50 - 0,85	0,667	Desfavorable
3	> 0,85 - 1,15	1,000	Arribos aleatorios
4	> 1,15 - 1,50	1,333	Favorable
5	> 1,50 - 2,00	1,667	Muy favorable
6	> 2,00	2,000	Excepcional

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

$$R_p = \frac{P}{g_i/C} \quad \text{Ec [1.3]}^3$$

- Para grupos de carriles multicarriles ( $P_L$ ) se calcula como la proporción de los giros a la izquierda del carril izquierdo del grupo de carriles. Si el valor obtenido es mayor o igual a 1,0, el grupo de carriles del acceso debe ser reasignado, definiendo este carril izquierdo del grupo de carriles como un carril de giro exclusivo a la izquierda, ya que es ocupado totalmente por vehículos que giran a la izquierda. Este cambio requiere volver a hacer todos los cálculos del acceso.
- Se calcula el valor de ( $f_m$ ). Su máximo valor es 1,0 y su mínimo valor es:

$$f_{m \min} = \frac{2(1 + P_L)}{g} \quad \text{Ec [1.4]}^4$$

Estos límites se usan si los valores calculados caen por fuera del rango.

**Tabla 1.2** Carros de paso equivalentes  $E_{L1}$  para giros a la izquierda permitidos.

Tipo de giro a la izquierda	Flujo Opuesto Efectivo $V_{oe} = v_o / \text{fluo}$						
	1	200	400	600	800	1000	1200
<b>Compartido</b>	1,4	1,7	2,1	2,5	3,1	3,7	4,5
<b>Exclusivo</b>	1,3	1,6	1,9	2,3	2,8	3,3	4

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

<sup>3</sup> Ecuación 16-1. Highway Capacity Manual 2000

<sup>4</sup> Highway Capacity Manual 2000. Pág 16-135



- Se calcula el factor de ajuste por giros a la izquierda, ( $f_{LT}$ ). Para un carril sencillo, se tiene que:

$$f_{LT} = f_m \quad \text{Ec [1.5]}^5$$

#### 1.4.3.4.10. Factor de ajuste para peatones y bicicletas ( $f_{Lpb}$ , $f_{Rpb}$ )

El procedimiento para determinar el factor de giro a la izquierda para peatones y bicicletas, ( $f_{Lpb}$ ) y el factor de ajuste para giros a la derecha para peatones y bicicletas ( $f_{Rpb}$ ) consiste en cuatro pasos: el primer paso es determinar el promedio de ocupación por los peatones, el segundo paso es determinar la ocupación de la zona relevante en conflicto, que se tiene en cuenta tanto para peatones como para bicicletas. Las cantidades fijadas para la zona relevante en conflicto también se tienen en cuenta si existe otro tráfico en conflicto, por ejemplo flujo adyacente de bicicletas para el caso de giros a la derecha o flujo opuesto de vehículos en el giro a la izquierda. La proporción de tiempo de verde para la zona es determinada en función de la ocupación y el número de carriles de giro existentes.

También se necesita la proporción de giros a la derecha protegidos y protegidos-permitidos; esta proporción puede ser determinada en campo. Finalmente el factor de flujo de saturación es calculado de la ocupación final en los movimientos de giros protegidos y el porcentaje de tráfico que gira en el grupo de carril. A continuación se describen los cuatro pasos a seguir para calcular los factores de ajuste de la tasa de flujo de saturación de peatones y bicicletas.

- Paso 1: Determinar la ocupación promedio de peatones ( $OCC_{pedg}$ ).

La ocupación promedio de peatones se deriva del volumen de peatones ( $v_{ped}$ ). Si en campo se obtiene la tasa de flujo de peatones ( $v_{pedg}$ ), en vez del volumen de peatones ( $v_{ped}$ ), la ocupación promedio de peatones se puede calcular directamente de la tasa de flujo de peatones. De otra forma, se debe convertir el volumen de peatones a tasa de flujo de peatones por medio de la **Ecuación [1.6]**.

$$v_{pedg} = v_{ped} * (C/g_p) \quad (v_{pedg} \leq 5000) \quad \text{Ec [1.6]}^6$$

Luego se puede calcular la ocupación promedio de peatones por medio de la **Ecuación [2.5]**.

<sup>5</sup> Highway Capacity Manual 2000. Pág 16-135

<sup>6</sup> Ecuación D16-1. Highway Capacity Manual 2000



$$OCC_{pedg} = v_{pedg} / 2000 \rightarrow (v_{pedg} \leq 1000 \text{ y } OCC_{pedg} \leq 0.5) \text{ ó}$$
$$OCC_{pedg} = 0.4 + v_{pedg} / 10000 \rightarrow (1000 < v_{pedg} \leq 5000 \text{ y } 0.5 < OCC_{pedg} \leq 0.9)$$

**Ec [1.7]<sup>7</sup>**

- Paso 2: Determinar las zonas de conflicto ocupacional relevantes ( $OCC_T$ ).

Si el tráfico de bicicletas es conflictivo con los vehículos que cruzan a la derecha después de la línea de parada, el volumen de bicicletas debe ser ignorado en el análisis porque esta interacción no toma lugar en la intersección. En este caso, solo se debe considerar la interferencia de los peatones.

- Para movimientos a la derecha sin interferencia de bicicletas o para movimientos a la izquierda en un acceso de un solo carril, se usa la **Ecuación [1.8]**.

$$OCC_r = OCC_{pedg} \quad \text{Ec [1.8]<sup>8</sup>}$$

- Para movimientos a la derecha con interferencia de bicicletas, se debe convertir el volumen de bicicletas, ( $v_{bic}$ ), a tasa de flujo de bicicletas, ( $v_{bicg}$ ). Si se obtiene la tasa de flujo de bicicletas en el campo, no se necesita hacer ninguna conversión. La relación entre tasa de flujo de bicicletas y volumen de bicicletas, viene dada por la **Ecuación [1.9]**.

$$v_{bicg} = v_{bic}(C/g) \quad (v_{bicg} \leq 1900) \quad \text{Ec [1.9]<sup>9</sup>}$$

- La zona de conflicto ocupacional de bicicletas, ( $OCC_{bicg}$ ) se determina por la **Ecuación [1.10]**.

$$OCC_{bicg} = 0.02 + v_{bicg} / 2700 \quad (v_{bicg} \leq 1900 \text{ y } OCC_{bicg} \leq 0.72) \quad \text{Ec [1.10]<sup>10</sup>}$$

- Para movimientos a la derecha desde una doble vía, el tiempo de despeje de la cola opuesta, ( $g_q$ ) se compara primero con el verde de peatones, ( $g_p$ ). Si  $g_q > g_p$ , entonces  $f_{Lpb} = 1,0$ , y el procedimiento

<sup>7</sup> Ecuación D16-2. Highway Capacity Manual 2000

<sup>8</sup> Ecuación D16-3. Highway Capacity Manual 2000

<sup>9</sup> Ecuación D16-4. Highway Capacity Manual 2000

<sup>10</sup> Ecuación D16-5. Highway Capacity Manual 2000



termina aquí porque la cola opuesta consume la totalidad del tiempo de verde de peatones. Por lo tanto, el factor de ajuste es 1.

- Por otro lado, la ocupación de peatones después de despejada la cola opuesta, ( $OCC_{pedu}$ ) se determina por medio de la **Ecuación [1.11]**.

$$OCC_{pedu} = OCC_{pedg} [1 - 0.5(g_c / g_p)] \quad \text{Ec [1.11]}^{11}$$

Una vez se despeja la cola en sentido opuesto, los vehículos que cruzan a la izquierda completan sus maniobras con base en la cantidad de brechas que haya en el tráfico opuesto ( $V_0$ ). La ocupación relevante es una función de la probabilidad de brechas aceptables disponibles y de la ocupación peatonal, y es calculada por medio de la **Ecuación [1.12]**.

$$OCC_r = OCC_{pedu} [e^{-(5/3600)V_0}] \quad \text{Ec [1.12]}^{12}$$

- Paso 3: Determinar los factores de ajuste para movimientos de giro en la fase permitida de peatones y bicicletas ( $A_{pbT}$ ).

El número de carriles de cruce, ( $N_{turn}$ ) y de carriles receptores, ( $N_{rec}$ ) debe ser determinado por medio de observaciones de campo y no por el análisis de la intersección, porque algunos vehículos pueden consistente y deliberadamente hacer giros ilegales desde un carril exterior, o algunas veces los movimientos de giro apropiados no pueden ser ejecutados debido a que el carril receptor está bloqueado por vehículos estacionados en doble línea. Se consideran entonces dos condiciones en este paso:

- Si el número de carriles receptores es igual al número de carriles de giro, los vehículos que giren no tendrán la posibilidad de maniobrar esquivando bicicletas y peatones; el factor de ajuste es la proporción del tiempo que la zona de conflicto está desocupada como se muestra en la **Ecuación [1.13]**.

$$A_{pbT} = 1 - OCC_r \quad (N_{rec} = N_{turn}) \quad \text{Ec [1.13]}^{13}$$

<sup>11</sup> Ecuación D16-7. Highway Capacity Manual 2000

<sup>12</sup> Ecuación D16-8. Highway Capacity Manual 2000

<sup>13</sup> Ecuación D16-9. Highway Capacity Manual 2000



- Si el número de carriles receptores excede el número de carriles de giro, los vehículos que giren podrán maniobrar para esquivar peatones o bicicletas, y los efectos del flujo de saturación de peatones y bicicletas se reduce. El factor de ajuste en estos casos puede ser calculado utilizando la **Ecuación [1.14]**.

$$A_{pbT} = 1 - 0.6(OCC_r) \quad (N_{rec} > N_{turn}) \quad \text{Ec [1.14]}^{14}$$

- Paso 4: Determinar los factores de ajuste de flujos de saturación para movimientos de giro, ( $f_{Lpb}$ ) para movimientos a la izquierda y ( $f_{Rpb}$ ) para movimientos a la derecha.

Los factores de ajuste de flujos de saturación tienen en cuenta los efectos de bicicletas y peatones en el flujo de saturación de vehículos que giran, y dependen de la proporción de tráfico de giro que usan fases protegidas. La proporción de movimientos de giro a la derecha es difícilmente igual a la proporción del tiempo de verde de la fase protegida. La proporción de movimientos de giro a la izquierda es aproximadamente igual a  $[1 - (f_{LT} \text{ fase permitida})] / 0,95$ .<sup>15</sup>

- Para movimientos de giro a la derecha, el factor de ajuste por peatones y bicicletas, ( $f_{Rpb}$ ) puede ser calculado usando la **Ecuación [1.15]**.

$$f_{Rpb} = 1.0 - P_{RT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{RTA}) \quad \text{Ec [1.15]}^{16}$$

- Para movimientos de giro a la izquierda, el factor de ajuste por peatones y bicicletas, ( $f_{Lpb}$ ) puede ser calculado usando la **Ecuación [2.16]**.

$$f_{Lpb} = 1.0 - P_{LT}(1 - A_{pbT})(1 - P_{LTA}) \quad \text{Ec [1.16]}^{17}$$

#### 1.4.4. Determinación de capacidad y v/c en intersecciones semaforizadas.

##### 1.4.4.1. Capacidad (c)

<sup>14</sup> Ecuación D16-10. Highway Capacity Manual 2000

<sup>15</sup> Highway Capacity Manual 2000, pág 16-138

<sup>16</sup> Ecuación D16-11. Highway Capacity Manual 2000

<sup>17</sup> Ecuación D16-12. Highway Capacity Manual 2000



La capacidad en intersecciones semaforizadas es basada en el concepto de flujo de saturación y en la proporción del flujo de saturación. La proporción de flujo para un grupo de carriles es definido por la proporción actual o proyectada de flujo de demanda ( $v_i$ ) y la proporción de saturación de flujo ( $s_i$ ). A la proporción de flujo se le da el símbolo de ( $v_s$ ) para cada carril, y la capacidad de un grupo de carriles se muestra a continuación

$$c = s \frac{g}{C} \quad \text{Ec[1.17]}^{18}$$

Donde:

$c$ = Capacidad del grupo de carriles

$s$ = Proporción de flujo de saturación en veh/h

$g/C$ = Proporción de verde efectivo del grupo de carriles

#### 1.4.4.2. Proporción $v/c$ :

La proporción de flujo de capacidad ( $v/c$ ) a menudo es llamado como la proporción de volumen de capacidad, y a este se le da un símbolo ( $X$ ) en el análisis de la intersección.

#### 1.4.4.3. Efecto de cola inicial

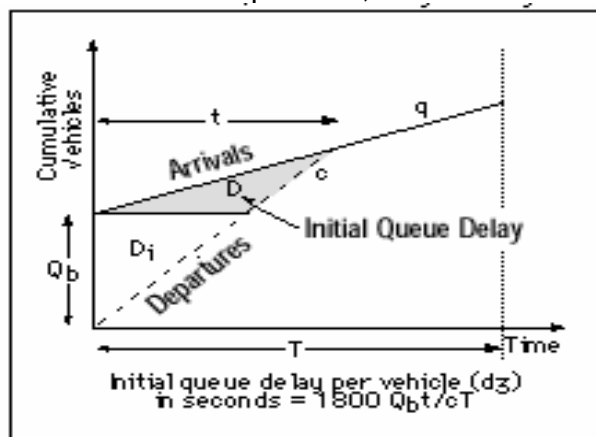
El modelo de demora está basado en la asunción que no hay ninguna cola inicial al comienzo de la duración del período de análisis ( $T$ ). En casos donde  $X > 1,0$  para un período de 15 min, el siguiente período comienza con una cola inicial. A esta cola inicial se le llamará ( $Q_b$ ) en vehículos.  $Q_b$  se observa al comienzo del período de rojo y excluye a todos aquellos vehículos en la cola debido a aleatoriedad, variaciones ciclo a ciclo en la demanda (sobreflujos en la cola debido a fallas en el ciclo). Cuando  $Q_b \neq 0$ , los vehículos que lleguen durante el período de análisis experimentarán una demora adicional debido a la presencia de esa cola inicial. La magnitud de esa demora adicional depende de varios factores, incluyendo el tamaño de la cola inicial, la duración del período de análisis, y la relación volumen capacidad durante el período de análisis. Al término de demora por cola inicial se le denomina  $d_3$ .

Hay cinco posibles escenarios en el cálculo de demoras, llamados Casos I a V. Los casos I y II ocurren cuando no hay cola inicial y el período está por debajo de la saturación (Caso I) o sobresaturado (Caso II). En ambos casos,  $d_3 = 0$ , y se puede aplicar el modelo de demora. Los Casos III, IV y V se muestran en las

<sup>18</sup> Ecuación 16-6. Highway Capacity Manual 2000

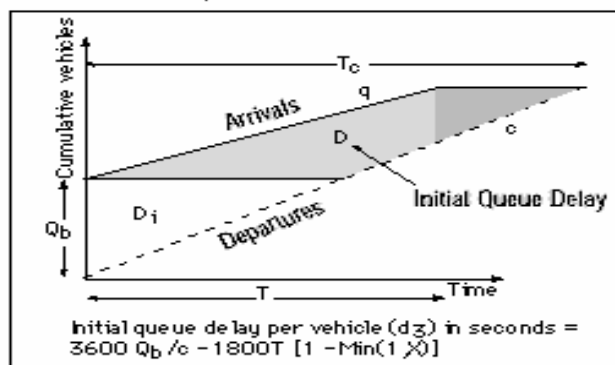
**Gráficas 1.1 a 1.3**<sup>19</sup>. El Caso III ocurre cuando la cola inicial ( $Q_b$ ) puede ser evacuada totalmente en el período de tiempo ( $T$ ). Para que esto ocurra, la suma de  $Q_b$  y la demanda total en  $T$ , ( $q_T$ ) debe ser menor que la capacidad disponible, ( $c_T$ ). El caso IV ocurre cuando hay una demanda insatisfecha al final de  $T$ , pero el tamaño de esa demanda es decreciente. Para que esto ocurra, la demanda en  $T$  ( $q_T$ ) debe ser menor que la capacidad ( $c_T$ ). Finalmente, el Caso V ocurre cuando la demanda en  $T$  excede la capacidad. Aquí la demanda insatisfecha se incrementará al final del período ( $T$ ).

**Gráfica 1.1.** Caso III: Demora inicial por cola, con evacuación temprana durante  $T$



Fuente: Highway Capacity Manual 2000<sup>20</sup>

**Gráfica 1.2.** Caso IV: Demora inicial por cola, cuando la cola decrece durante  $T$



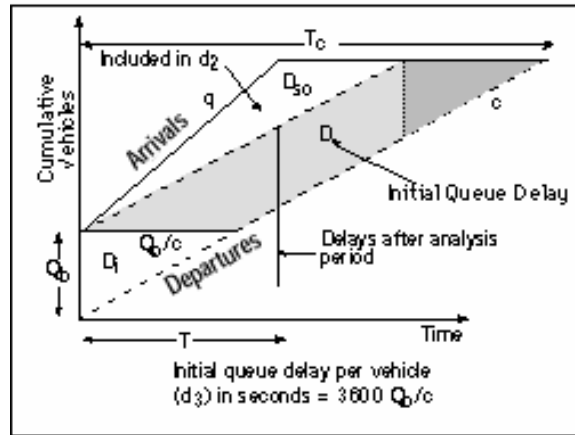
Fuente: Highway Capacity Manual 2000<sup>21</sup>

<sup>19</sup> F16-1 a F16-3. Highway Capacity Manual 2000

<sup>20</sup> Exhibit 16-1. Highway Capacity Manual 2000

<sup>21</sup> Exhibit 16-2. Highway Capacity Manual 2000

**Gráfica 1.3.** Caso V: Demora inicial por cola, cuando la cola se incrementa durante T



Fuente: Highway Capacity Manual 2000<sup>22</sup>

La demora debida a una cola inicial que ha incurrido en el ciclo promedio representa la demora experimentada por todos los vehículos que llegan durante el período de análisis, incluyendo la demora que es experimentada en los períodos de tiempo subsecuentes. Se excluyen de esta demora dos componentes: la demora en que incurren los vehículos en la cola inicial y la demora de sobresaturación correspondiente a una cola inicial igual a cero.

- Estimación de  $d_3$ .

A continuación se presenta una forma generalizada de  $d_3$  en la **Ecuación [1.18]**, que provee un estimativo de la demora por cola inicial por vehículo (en segundos) cuando se presenta una cola inicial de tamaño  $Q_b$  al comienzo del período de análisis T.

$$d_3 = \frac{1800Q_b(1+u)t}{cT} \quad \text{Ec [1.18]}^{23}$$

Donde:

- $Q_b$  = Cola inicial al comienzo del período T (veh)
- $c$  = Capacidad del grupo de carriles ajustada (veh/h)
- $T$  = Duración del período de análisis (h)
- $t$  = Duración de la demanda insatisfecha en T (h)
- $u$  = Parámetro de demora

<sup>22</sup> Exhibit 16-3. Highway Capacity Manual 2000

<sup>23</sup> Ecuación F16-1. Highway Capacity Manual 2000





Los parámetros  $t$  y  $u$  son determinados de acuerdo con el caso prevaleciente. Las **Ecuaciones [1.19] y [1.20]** pueden ser usadas para estimar sus valores para los Casos III, IV y V:

$$t = 0 \rightarrow Q_b = 0; \text{ de lo contrario } t = \min \left\{ t, \frac{Q_b}{c[1 - \min(1, X)]} \right\} \quad \text{Ec[1.19]}^{24}$$

Donde:

$X$  = grado de saturación del grupo de carriles  $v/c$

$$u = 0 \rightarrow t < T; \text{ en otro caso } u = 1 - \frac{cT}{Q_b[1 - \min(1, X)]} \quad \text{Ec[1.20]}^{25}$$

También puede ser de interés calcular el tiempo en el cual el último vehículo que llega durante el período de análisis, evacua la intersección (medido desde el inicio del período de tiempo  $T$ ) debido a la presencia de una cola inicial ( $Q_b$ ). A este tiempo se le llamará el tiempo de despeje de cola inicial ( $T_c$ ). En los Casos I, II, y III, todos los vehículos habrán evacuado al final del período de tiempo ( $T$ ) (además de las demoras normales  $d_1 + d_2$ ). En los casos IV y V, el último vehículo que llegue en  $T$  evacuará la intersección en un tiempo  $T_c > T$  (de nuevo, además de  $d_1 + d_2$ ). Por lo tanto, se tiene una fórmula general del tiempo de despeje de cola inicial, medida desde el comienzo del período de análisis ( $T$ ). Dicha fórmula general se muestra a continuación en la **Ecuación [1.21]**

$$T_c = \max \left( T, \frac{Q_b}{c} + TX \right) \quad \text{Ec[1.21]}^{26}$$

En la **Tabla 1.3** se muestra un resumen del procedimiento a seguir para estimar el control de demoras, en el cual se comparan los parámetros del modelo para los Casos I a V. Nótese que para poder decidir si aplica el caso III ( $t < T$ ) o el caso IV ( $t = T$ ), el valor de  $t$  debe ser calculado primero por medio de la **Ecuación [1.19]**. Para los Casos III, IV y V, el componente  $d_1$  debe ser evaluado usando  $X = 1,0$  para el período donde haya una cola de sobresaturación ( $t$ ), y usando el valor verdadero de  $X$  para el resto del período de análisis ( $T - t$ ). En estos casos, se debe usar un valor ponderado de  $d_1$  como el que se muestra en la **Ecuación [1.22]**.

<sup>24</sup> Ecuación F16-2. Highway Capacity Manual 2000

<sup>25</sup> Ecuación F16-3. Highway Capacity Manual 2000

<sup>26</sup> Ecuación F16-4. Highway Capacity Manual 2000



**Tabla 1.3** Selección de las variables del modelo de demora, por caso

Caso No	X	Qb	d1	d2	t	u	d3	Tc
I	≤ 1,0	0	EC 16- 15	0	0	0	0	T
II	> 1,0	0		0	0	0	0	TX
III	≤ 1,0	> 0		EC 16-2	EC 16 -3	0	EC 16-1	T
IV	≤ 1,0	> 0		T	T	EC 16-3	EC 16-1	EC 16-4
V	> 1,0	> 0		T	T	1	EC 16-1	EC 16-4

Fuente: Highway Capacity Manual<sup>27</sup>

$$d_1 = d_s * \frac{t}{T} + d_u * PF * \frac{(T-t)}{T} \quad \text{Ec[1.22]}^{28}$$

Donde:

Dd<sub>s</sub> = Demora saturada (d<sub>1</sub> evaluado para X = 1,0)

Dd<sub>u</sub> = Demora no saturada (d<sub>1</sub> evaluado para el valor verdadero de X)

En la **Ecuación [1.22]** para los casos IV y V, el término d<sub>u</sub> desaparece porque t = T. La **Ecuación [1.23]** se usa para evaluar los valores de d<sub>s</sub> y d<sub>u</sub> en todos los casos, excepto para los giros a la izquierda hechos desde carriles exclusivos con componentes de giro a la izquierda protegidos (protegido – permitido y permitido – protegido), usando X = 1,0 en la ecuación para hallar el valor de d<sub>s</sub> y usando el valor real de X para hallar el valor de d<sub>u</sub>. Cuando se usa X = 1,0 para hallar el componente d<sub>s</sub>, los volúmenes de giros a la izquierda (v) también deben ser ajustados por el valor real de X (usar v' = v/X) para cumplir con las asunciones básicas de demora uniforme del formato.

$$d_1 = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X) \frac{g}{C}\right]} \quad \text{Ec[1.23]}^{29}$$

Nótese que en el único lugar donde se usa PF para el análisis de cola inicial es para la parte no saturada d<sub>u</sub> del Caso III, debido a que la presencia de la cola inicial supera el valor de la progresión en todas las condiciones.

### 1.5. Peatones

<sup>27</sup> Exhibit F16-4. Highway Capacity Manual 2000

<sup>28</sup> Ecuación F16-5. Highway Capacity Manual 2000

<sup>29</sup> Ecuación 16-11. Highway Capacity Manual 2000



Las variables cualitativas de la circulación peatonal análogas a las empleadas en la de los vehículos son la libertad de circulación a la velocidad deseada, así como la de realizar adelantamientos. Como variables de uso exclusivo en la circulación peatonal se puede citar la posibilidad de atravesar una corriente de circulación peatonal, circular en sentido contrario al de la corriente principal, y en general poder efectuar cambios de dirección y variar la velocidad o cambiar el paso de marcha sin originar conflictos.

Velocidad peatonal: Es la velocidad de marcha peatonal media; generalmente se expresa en metros por segundo.

Intensidad peatonal: Es el número de peatones que pasan por una determinada sección en la unidad de tiempo, expresada en metros por segundo.

Intensidad por unidad de anchura: Es la intensidad peatonal media por unidad de anchura efectiva de la zona peatonal, expresada en peatones por minuto y metro.

Pelotón: Hace referencia a un cierto número de peatones que caminan juntos, normalmente de forma involuntaria, debido a los semáforos u otras causas.

Densidad peatonal: Es el número medio de peatones por unidad de superficie dentro de una zona peatonal o de formación de colas, expresada en peatones por metro cuadrado.

Superficie peatonal: Es la superficie media que dispone cada peatón en una zona peatonal o de formación de colas, evaluada en metros cuadrados por peatón; es la inversa de la densidad peatonal pero sin embargo es una unidad más práctica para el análisis de las instalaciones peatonales.

### **1.5.1. Intersecciones semaforizadas**

En el análisis de los pasos peatonales de las intersecciones semaforizadas, se evaluarán las condiciones que prestan estas a los peatones que la transitan, a nivel de la capacidad y nivel de servicio que prestan en cada uno de estos pasos peatonales.

Para el análisis de capacidad y nivel de servicio es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros.

- *Obtención de tiempo-espacio total disponible*



El tiempo-espacio total disponible en el paso peatonal durante el ciclo semafórico, es el producto de su superficie por el intervalo de tiempo de la fase verde peatonal.

$$S_p = A * L \quad \text{Ec[1.24]}^{30}$$

$$TS_p = S_p * V_p / 60 \quad \text{Ec[1.25]}^{31}$$

$S_p$  = Superficie de paso peatonal, en m

$A$  = anchura del paso peatonal, en m

$L$  = Longitud de paso peatonal, en m

$TS_p$  = Tiempo – espacio total disponible en el paso peatonal por cada ciclo semafórico, en m<sup>2</sup>/min

$V_p$  = Tiempo de la fase verde para el paso de los peatones, en s

- *Cálculo de los tiempos medios de cruce*

El tiempo medio que un peatón ocupa cada uno de los pasos, se obtiene dividiendo la longitud de paso (ancho de la calzada), entre una velocidad de marcha prefijada. La velocidad media de marcha en los pasos peatonales es de 1,37 m/s

$$t_p = L / 1,37 \quad \text{Ec[1.26]}^{32}$$

$t_p$  = Tiempo medio empleado por peatón en el paso o cruce, en s

$L$  = Longitud de paso peatonal, en m

- *Determinación del tiempo total de ocupación del cruce.*

El tiempo total de ocupación del cruce es el producto del tiempo medio de cruce, por el número de peatones que lo utilizan en cada ciclo semafórico.

$$T_p = (L_e + L_s) * t_p / 60 \quad \text{Ec[1.27]}^{33}$$

$T_p$  = Tiempo total de ocupación del cruce en pt/min

$L_e$  = Volumen de peatones que entran en el cruce en cuestión (tomando una acera) en pt- ciclo.

$L_s$  = Volumen de peatones que salen del cruce en cuestión.

<sup>30</sup> Ecuación 18-1. Highway Capacity Manual 2000

<sup>31</sup> Ecuación 18-2. Highway Capacity Manual 2000

<sup>32</sup> Ecuación 18-3. Highway Capacity Manual 2000

<sup>33</sup> Ecuación 18-4. Highway Capacity Manual 2000



- *Determinación de la superficie media de circulación por peatón y de nivel de servicio medio.*

La superficie media de circulación proporcionada a cada peatón, es el cociente entre el tiempo – espacio disponible para cruzar y el tiempo total de ocupación. Este cociente es el módulo superficial medio proporcionado a cada peatón, relacionado con el nivel de servicio, relacionado con los criterios descritos en la **Tabla 1.4.**

### 1.5.2. Niveles de servicio en zonas peatonales.

Los criterios seguidos para establecer los distintos niveles de servicio (NS) en la circulación peatonal, están basados en medidas subjetivas y por lo tanto pueden resultar algo imprecisas. No obstante cabe definir intervalos de superficie por peatón, intensidades y velocidades que puedan utilizarse para evaluar la calidad de circulación.

La velocidad es un criterio importante en la determinación del nivel de servicio debido a su fácil observación y medida, y porque describe bien la sensación de calidad de servicio percibida por los peatones. Para velocidades de 45 m/min e incluso inferiores, la mayoría de los peatones recurren al paso forzado, de arrastre de pies.

Existen otros indicadores significativos del nivel de servicio. Así por ejemplo, valores de superficie, intensidad de circulación y relación volumen capacidad.

**Tabla 1.4** Niveles de servicio peatonal

NIVEL DE SERVICIO	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> /pt)	INTENSIDADES Y VELOCIDADES ESPERADAS		
		Velocidad Media, V (m/min)	INTENSIDAD, I (pt/min/m <sup>2</sup> )	RELACIÓN VOL/CAP I/c
A	> 11,70	> 78	< 7	< 0,08
B	> 3,6	> 75	< 23	< 0,28
C	> 2,6	> 72	< 33	< 0,40
D	> 1,35	> 68	< 49	< 0,60
E	> 0,54	> 45	< 82	< 1
F	< 0,54	< 45	VARIABLE	

Fuente: Highway Capacity Manual 2000



Los niveles de servicio se definen de la siguiente manera:

#### Nivel de Servicio A

En las vías peatonales con NS A los peatones prácticamente caminan en la trayectoria que desean, sin verse obligados a modificarla por la presencia de otros peatones. Se elige libremente la velocidad de marcha, y los conflictos entre viandantes son poco frecuentes.

#### Nivel de servicio B

En el nivel de servicio B proporciona la superficie suficiente para permitir que los peatones elijan libremente su velocidad de marcha, se adelantan unos a otros y evitan los conflictos al entrecruzarse entre si. En este nivel los peatones comienzan a acusar la presencia del resto, hecho que manifiestan en la selección de su trayectoria.

#### Nivel de servicio C

En el NS C existe la suficiente superficie para seleccionar una velocidad normal de marcha y permitir el adelantamiento, principalmente en corrientes de un único sentido de circulación. En el caso que exista movimiento en sentido contrario o incluso entrecruzado, se producirán ligeros conflictos esporádicos y las velocidades y el volumen serán un poco menores.

#### Nivel de servicio D

En el NS D se restringe la libertad individual de elegir la velocidad de marcha y el adelantamiento. Una alta probabilidad de generación de conflictos causa los cambios frecuentes de velocidad y de posición para eludirlos. Este movimiento proporciona un flujo razonablemente fluido; no obstante, existen entre los peatones unas fricciones e interacciones notables

#### Nivel de servicio E

En el NS E prácticamente todos los peatones verán restringida su velocidad normal de marcha, lo que les exigirá con frecuencia modificar y ajustar su paso. No se dispone de la superficie suficiente para el adelantamiento de los peatones más lentos. Los movimientos en sentido contrario o entrecruzado, solo son posibles con extrema dificultad. La intensidad de proyecto se aproxima al límite de la capacidad de la vía peatonal, lo que origina detenciones e interrupciones en el flujo.

#### Nivel de servicio F

En el NS F todas las velocidades de marcha se ven frecuentemente restringidas y el avance hacia delante solo puede realizar mediante el paso de "arrastre de pies". Entre los peatones se producen frecuentes e inevitables contactos. Los



movimientos en sentidos contrarios o entrecruzados son virtualmente imposibles de efectuar. El flujo es esporádico e inestable. La superficie peatonal es más propia de formaciones en cola que de corrientes de circulación de peatones.

- *Determinación de nivel de servicio para el caso de máxima oleada.*

Este análisis considera condiciones extremas, cuando el cruce se encuentra con el máximo número de usuarios. Esto tiene lugar cuando los peatones de cabeza de cruces opuestos alcanzan la esquina contraria, respectivamente. El módulo de superficie para estas condiciones de oleada, es el área de cruce dividido por el número máximo de peatones existente en el. El flujo peatonal en peatones por minuto se multiplica por el intervalo de tiempo de espera mas el tiempo de cruce, ( $t_p$ ). El tiempo de espera (intervalo en el que la cara semafórica peatonal está en rojo) se utiliza para estimar el número de peatones existentes en la cola, en el momento de darse la señal de cruce (verde peatonal), y el tiempo de cruce se suma para tener en cuenta a todos aquellos nuevos peatones que llegan al cruce en el período de tiempo en el que los peatones en cola hallan cruzado la calle.

$$M = TS_p / T_p \quad \text{Ec}[1.28]^{34}$$

Cuando no exista señalización semafórica peatonal, se sustituye en intervalo de la fase roja peatonal por el intervalo de la fase roja general mas 3 s

$$Q_m = (L_e + L_s)(R_p + T_p) / 60 \quad \text{Ec}[1.29]^{35}$$

$$M = S_p / Q_m \quad \text{Ec}[1.30]^{36}$$

$Q_m$  = Número máximo de peatones que ocupan el cruce

$L_e$  = Volumen de llegadas al cruce en pt/min

$L_s$  = Volumen de salida del cruce pt/min

$R_p$  = Tiempo de intervalo de rojo peatonal en s

- *Estimación de la reducción del NS de los pasos peatonales debido a los vehículos que giran a la derecha.*

El método del tiempo – espacio, permite obtener una estimación del efecto del giro de los vehículos sobre el NS, para los peatones que cruzan en una fase verde dada. Para ellos se toma una superficie media de ocupación del cruce por

<sup>34</sup> Ecuación 18-7. Highway Capacity Manual 2000

<sup>35</sup> Ecuación 18-8. Highway Capacity Manual 2000

<sup>36</sup> Ecuación 18-9. Highway Capacity Manual 2000



vehículo, basada en el producto de la anchura del camino barrido por el vehículo en su trayectoria, por el ancho del paso peatonal, y de una estimación del tiempo en que el vehículo ocupa esta superficie. La anchura del camino barrido por la mayoría de los vehículos es de 2,44 m así mismo se toma 5 s como el tiempo que cada uno ocupa el paso para peatones.

$$M = \frac{TS_p - 2.44 * A * 5 * N_v}{T_p} \text{ Ec[1.31]}^{37}$$

---

<sup>37</sup> Ecuación 18-11. Highway Capacity Manual 2000





# CAPÍTULO 2

## CARACTERIZACIÓN PRELIMINAR



## 2. Caracterización

### 2.1. Caracterización Del Tramo

La Kra 7 es una de las principales vías de la ciudad de Bogotá, la cual atraviesa gran parte de la misma por el costado oriental en sentidos sur – norte y norte – sur. La composición física de la vía varía a lo largo de la misma dependiendo de su ubicación, pasando de 2 a 10 carriles en sus dos sentidos, para los diferentes tramos. La avenida Kra 7 maneja el llamado “contra flujo” que consiste en el cambio de sentido durante las horas pico, con el fin de descongestionar el tránsito vehicular. El carril occidental de la Kra 7 entre calles 32 y 92 (que trabaja en sentido norte – sur), cambia de sentido de 5 p.m a 8 p.m para permitir mayor flujo hacia el norte de la ciudad. Adicionalmente todos los domingos y días festivos, de 7 a.m a 2 p.m, la Kra 7 da paso a las actividades recreativas de los bogotanos.

La Kra 7 se considera como una arteria urbana ya que está conformada por calles semaforizadas que fundamentalmente dan servicio al tráfico de paso, y tiene un espacio entre intersecciones semaforizadas que oscila entre 60 m y 3,2 km, con movimientos de giros en las intersecciones que normalmente no superan el 20% del tráfico total.

El tramo a estudiar (Kra 7 entre calles 39 y 45) tiene 21 m de ancho incluyendo calzadas y separador central, conformado por 2 calzadas (una por sentido) de 3 carriles de 3,25 m cada uno. Por las dos calzadas se moviliza el transporte público y el particular, así como algunas bicicletas por la falta de ciclo rutas en el tramo. La vía cuenta con un separador tipo New Jersey que representa una barrera para el peatón que intenta cruzar la vía a nivel de calzada. No existen bahías de paraderos sobre la avenida.

Dado que la universidad Javeriana es el centro de mayor importancia de la zona, frente a este se desarrollan los descensos y ascensos de pasajeros, siendo esta actividad más crítica en la parte oriental debido a que en este sector es donde se encuentra ubicada dicha universidad. Se cuenta con 3 paraderos destinados para el ascenso y descenso de pasajeros en la parte oriental de la vía, (ver fotografías **Anexo 3**) aunque estos no son siempre respetados por los usuarios ni por los conductores de servicio público, por lo que la actividad se lleva a cabo a todo lo largo del tramo.

En el sentido occidental es menos crítica esta situación, debido a que en este costado la Kra 7 tiene sentido norte – sur, y el personal de la universidad Javeriana (centro de mayor importancia del sector) que desea trasladarse en este sentido, debe atravesar la Kra 7 por 3 puntos bien definidos (ver fotografías **Anexo 3**) como son la intersección semaforizada a la altura de la calle 39, el paso

peatonal subterráneo en la calle 41 y la intersección semaforizada de la calle 45, que son a la vez los puntos donde se realiza principalmente la actividad de ascenso y descenso de pasajeros. Además, los pasajeros que se desplazan hacia el sur pueden escoger entre hacerlo por la Kra 13 o por la Kra 7, lo que también ayuda a descongestionar la avenida.

El tramo de estudio se encuentra ubicado en la localidad de chapinero, en el nororiente de la ciudad de Bogotá, muy cercano a los cerros orientales de la misma.

**Figura 2.1.** Localización de la zona de estudio



Fuente: Plan de regularización y manejo

### 2.1.1. Usos del Suelo

La zona de estudio cuenta con un uso del suelo predominantemente estudiantil, ya que se cuenta con la Universidad Javeriana en el costado oriental de la Kra 7, entre las calles 39 y 45, y con la Universidad Distrital en el costado occidental de la Kra 7, entre calles 40 y 41, las cuales son los principales centros atractores – generadores de viajes del sector. Cuando una zona tiene una marcada influencia estudiantil como la zona de estudio, esto trae consigo un comercio que también se puede apreciar en la zona, como peluquerías, fotocopiadoras, entidades financieras, restaurantes y comercio informal. Este comercio está enfocado básicamente a satisfacer las necesidades de la población del sector, por lo que se



considera que son importantes centros atractores – generadores de viajes peatonales. También se cuenta con una zona residencial al costado occidental de la Kra 7.

De acuerdo con lo anterior, es necesario definir la ubicación de los diferentes usos del suelo, para poder determinar las zonas de interés para el presente estudio. En el **Plano 5 (anexo)** se muestra la caracterización de los usos del suelo del sector.

#### 2.1.1.1. Caracterización de usuarios de transporte

Con el objeto de cuantificar el personal que de una u otra forma accede a los predios de la universidad, se consiguió una información en las oficinas administrativas de la misma. Esta información se muestra en las **Tablas 2.1 a 2.3**.

**Tabla 2.1** Profesores vinculados a la Pontificia Universidad Javeriana

<b>Profesores</b>				
<b>Tiempo Completo</b>	<b>Medio Tiempo</b>	<b>Tiempo Parcial</b>	<b>Hora Cátedra</b>	<b>Total</b>
808	331	227	1829	3195
<b>Pregrado</b>	<b>Especialización</b>	<b>Maestría</b>	<b>Doctorado</b>	<b>Total</b>
1451	527	1051	166	3195

Fuente: Sistema de Información Programas Académicos Universidad Javeriana

**Tabla 2.2** Personal administrativo vinculado a la Pontificia Universidad Javeriana

<b>Personal Administrativo</b>			
<b>Tiempo Completo</b>	<b>Medio Tiempo</b>	<b>Tiempo Parcial</b>	<b>Total</b>
101	1556	15	1672

Fuente: Sistema de Información Programas Académicos Universidad Javeriana

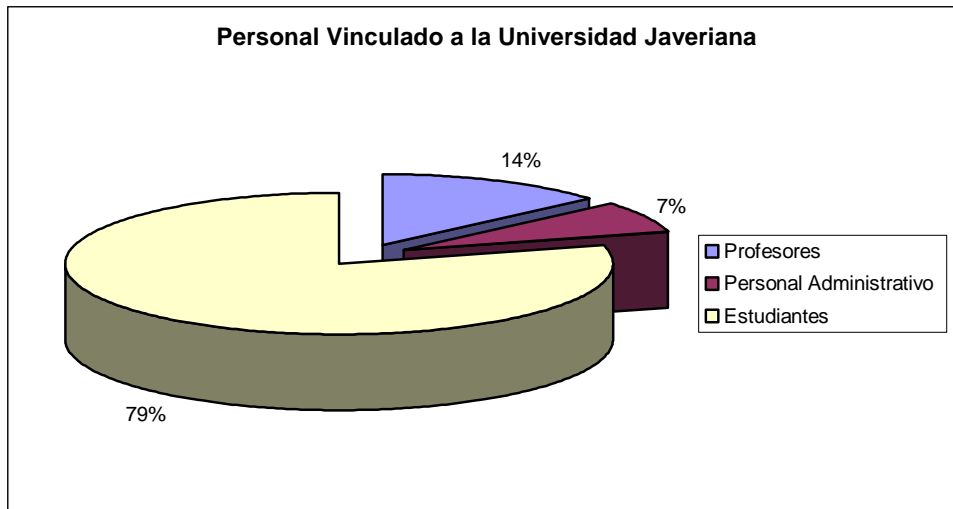
**Tabla 2.3** Estudiantes vinculados a la Pontificia Universidad Javeriana

<b>Estudiantes - Primer Semestre de 2003</b>			
	<b>Hombres</b>	<b>Mujeres</b>	<b>Total</b>
<b>Pregrado</b>	7551	8865	16416
<b>Posgrado</b>	1052	1170	2222
<b>Total</b>	8603	10035	18638



Fuente: Sistema de Información Programas Académicos Universidad Javeriana

**Gráfica 2.1.** Personal vinculado a la Universidad Javeriana



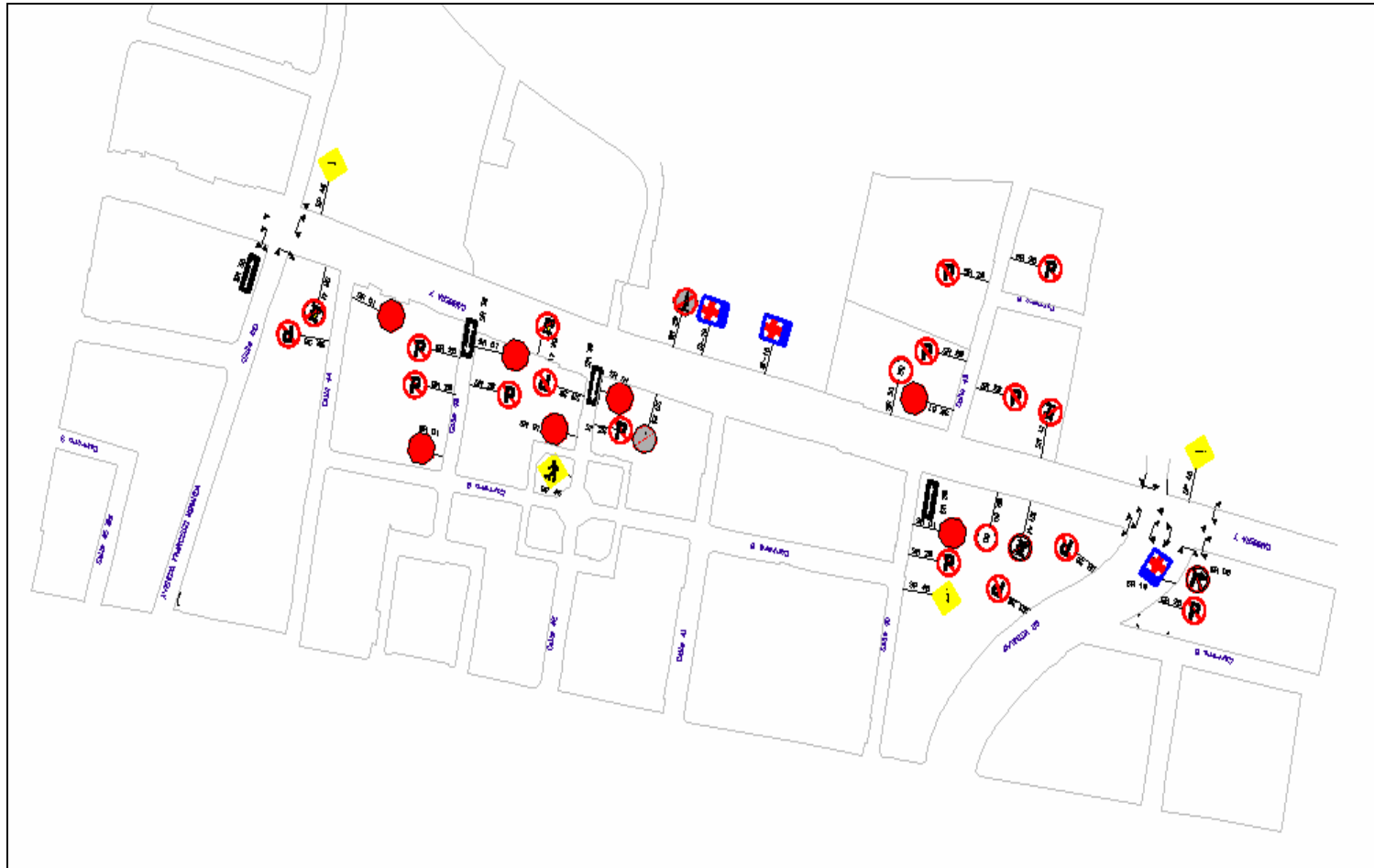
Fuente: Elaboración propia con base en las **Tablas 2.6 a 2.8.**

Como se observa en la **Gráfica 2.1**, en la Universidad Javeriana que es el principal centro atractor – generador de viajes de la zona, la población predominante es la estudiantil, con el 79% del total de la población de esta institución. De acuerdo con esto, se puede esperar un alto uso de transporte público. Entre profesores y personal administrativo suman el 21% del personal de la universidad

### 2.1.2. Inventario de señalización

Las señales tienen por objeto indicar a los usuarios de la vía las limitaciones, prohibiciones o restricciones sobre su uso, además de guiar al usuario de la vía suministrándole la información necesaria sobre identificación de localidades, destinos, direcciones, sitios de interés turístico, geográficos, intersecciones, cruces, distancias por recorrer, prestación de servicios, etc.; y advertir al usuario de la vía la existencia de una condición peligrosa y la naturaleza de ésta. La ubicación de todas las señales se presentan en el **Plano 3 (anexo)**. Así mismo, se presentan fotografías de cada una en el **Anexo 3**.

**Figura 2.2** Inventario de señalización



Fuente: Elaboración propia



### 2.1.2.1. Señalización vertical

En el tramo de estudio se encontraron tres diferentes tipos de señales verticales: informativas, reglamentarias y preventivas. A continuación se muestra un inventario de las señales verticales encontradas en el tramo.

**Tabla 2.4** Inventario de señalización vertical

Inventario de Señalización		
Señales Reglamentarias	Cantidad	Código
<i>PARE</i>	7	SR-01
<i>PROHIBIDO GIRAR A LA DERECHA</i>	1	SR-08
<i>PROHIBIDO PARQUEAR</i>	14	SR-28
<i>PROHIBIDO PITAR</i>	2	SR-29
<i>VELOCIDAD MÁXIMA</i>	2	SR-50
<i>SENTIDO ÚNICO DE CIRCULACIÓN</i>	2	SR-38
<i>SENTIDO DE CIRCULACIÓN DOBLE</i>	2	SR-39
<i>PROHIBIDO DEJAR O RECOGER PASAJEROS</i>	4	SR-41
<b>Señales Informativas</b>		
<i>PRIMEROS AUXILIOS</i>	3	SI-16
<b>Señales Preventivas</b>		
<i>PEATONES EN LA VÍA</i>	3	SP-46
<i>ZONA DEPORTIVA</i>	1	SP-48

Fuente: Elaboración propia

#### 2.1.2.1.1. Señales reglamentarias

##### *PARE (SR-1)*

Las señales de pare (SR-1) se emplean para notificar al conductor que debe detener completamente el vehículo y sólo reanudar la marcha cuando pueda hacerlo en condiciones que eviten totalmente la posibilidad de accidente. En el tramo de estudio las 7 señales SR – 1 existentes se encuentran en los accesos a la Kra 7 (vía principal) desde vías secundarias.

##### *PROHIBIDO GIRAR A LA DERECHA (SR-08)*

Esta señal se emplea para notificar al conductor la prohibición de girar a la derecha. Esta funciona en un horario de 5:00 a 8:00 p.m de lunes a viernes, ya



que a estas horas opera el contraflujo en la Kra 7. Hay 1 señal SR-08, ubicada en el acceso al tramo de estudio de la calle 39 sentido O-E.

#### *PROHIBIDO PARQUEAR (SR-28)*

Esta señal se emplea para notificar al conductor la prohibición para estacionar su vehículo en determinado tramo de la vía. Se encontraron en el tramo 14 señales SR-28, todas ubicadas en las vías secundarias que se comunican con la Kra 7. Dichas señales fueron ubicadas en estas vías, para evitar que se congestionen, ya que cuentan con solo 2 carriles y en algunos casos (calles 43 y 42) un solo carril por sentido.

#### *PROHIBIDO PITAR (SR-29)*

Esta señal se utiliza para notificar al conductor que está prohibido utilizar la bocina del vehículo. Hay dos señales SR-29 en el tramo de estudio, ambas se encuentran ubicadas en cercanías del hospital San Ignacio y de la Biblioteca Central de la Pontificia Universidad Javeriana, que son instituciones en las que se requiere un nivel de ruido bajo.

#### *VELOCIDAD MÁXIMA (SR-50)*

Esta señal se emplea para notificar la velocidad máxima a la que se puede circular (velocidad de operación). Hay 2 señales SR-50 en el tramo; la limitación de velocidad de 50 km/h parece razonable, pues el uso del suelo en el sector es intenso, por lo que se debe restringir la velocidad máxima a la que pueden transitar los vehículos.

#### *SENTIDO ÚNICO DE CIRCULACIÓN (SR-38)*

Esta señal se emplea para notificar a los usuarios el único sentido de circulación en la vía a la cual se va a entrar o intersectar. Existen 2 señales en la zona, a pesar de haber 3 calles que intersectan la Kra 7 y tienen un solo sentido de circulación, lo que se presta para que en la calle 44 (donde no existe la señal) se generen problemas de contravía por desconocimiento de los usuarios.

#### *SENTIDO DE CIRCULACIÓN DOBLE (SR-39)*

Esta señal se emplea para indicar a los usuarios el doble sentido de circulación en la vía a la cual se va a entrar o intersectar. Existen 2 señales en la zona, a pesar de haber 3 calles que intersectan la Kra 7 y tienen un doble sentido de circulación, lo que se presta para que en la calle 43 (donde no existe la señal) se generen





problemas ya que los usuarios no saben si pueden tomar la vía en el sentido que necesitan.

#### *PROHIBIDO DEJAR O RECOGER PASAJEROS (SR-41)*

Las señales de prohibido dejar o recoger pasajeros (SR-41), son utilizadas con el fin de indicar a los usuarios que está prohibido dejar o recoger pasajeros en los sitios aledaños a la señal. Hay 4 señales SR-41 en el tramo, todas ellas ubicadas en cercanías a los pasos peatonales existentes en el mismo; esto buscando que las paradas de ascenso y descenso de pasajeros se realicen en los paraderos estipulados, y no donde le quede más cómodo al usuario.

#### **2.1.2.1.2. Señales informativas**

##### *PRIMEROS AUXILIOS (SI-16)*

Esta señal se utiliza para informar a los usuarios de la existencia del hospital San Ignacio. Hay 3 señales SI-16 en el tramo, todas haciendo referencia al hospital San Ignacio; la SI-16-1 a la entrada general, la SI-16-2 a la entrada de urgencias y la SI-16-3 en el acceso de la calle 39 (sentido O-E), indicándole a los usuarios que girando a la izquierda se encuentra el hospital.

#### **2.1.2.1.3. Señales preventivas**

##### *PEATONES EN LA VÍA (SP-46)*

Esta señal se emplea para advertir al conductor la proximidad a lugares frecuentados por peatones que cruzan a nivel de la calzada en un sitio determinado. Hay 3 señales SP-46 en el tramo, 2 de ellas sobre la Kra 7 y la restante sobre la Calle 40 con Kra 8.

Las dos señales que se encuentran sobre la Kra 7 están ubicadas en las intersecciones semaforizadas, ya que estos son los únicos lugares donde los peatones pueden cruzar esta avenida a nivel, gracias a la existencia de una barrera física a lo largo de todo el resto del tramo que impide llevar a cabo ésta actividad. La otra señal, se ubicó en la calle 40 con Kra 8, por ser un paso peatonal de la Universidad Distrital.

##### *ZONA DEPORTIVA (SP-48)*

Esta señal se emplea para advertir al conductor la proximidad a una zona destinada a campos de juego adyacentes a la vía. Hay una sola señal SP-48 en el sector, y se complementa con la señal SR-28 que prohíbe el estacionamiento de



vehículos frente a la acera, ya que éstos impiden la visibilidad de los niños que ingresan o salen de la zona, y con la señal SR-1, que advierte a los conductores que deben parar al llegar a la intersección.

### **2.1.2.2. Señalización horizontal**

En el tramo de estudio se encontraron dos diferentes tipos de señales horizontales: marcas longitudinales y transversales. La señalización horizontal solo se presenta en la zona de estudio en la Kra 7 por ser una vía arteria; las vías de acceso al tramo no presentan ningún tipo de señalización horizontal.

#### **2.1.2.2.1. Marcas longitudinales**

##### *LÍNEAS DE BORDE DE PAVIMENTO*

Esta línea separa la berma del carril de circulación, indicando el borde exterior del pavimento. Este tipo de demarcación se encuentra en la zona de estudio únicamente en la Kra 7 por ser esta una vía arteria.

##### *LÍNEAS DEL CARRIL*

Estas líneas sirven para delimitar los carriles que conducen el tránsito en la misma dirección. También cumplen la función de incrementar la eficiencia del uso de una calle en sitios en donde se presentan congestionamientos. Este tipo de señalización se puede apreciar en la Kra 7, donde se utiliza para diferenciar los 3 carriles por sentido que se presentan en ésta avenida.

Se presenta a lo largo del tramo una línea blanca segmentada de 12 cm de ancho, con relación de longitudes entre segmento y espacio de tres (3) a cinco (5), lo que indica que el cambio del carril se puede hacer sin afrontar un riesgo.

En los sectores de la Kra 7 donde se producen entradas de vehículos, la línea que separa el carril central con el carril donde se produce dicha entrada, se demarca con una línea blanca continua de 12 cm de ancho, para indicar que el cambio de carril puede acarrear un riesgo, si no se efectúa con precaución.

##### *FLECHAS*

Son marcas en el pavimento con forma de saeta denominadas flechas que indican los sentidos de circulación del tránsito y se utilizan como señal de reglamentación para el conductor. En la zona se encuentran únicamente en la Kra 7, en las intersecciones semaforizadas.



### 2.1.2.2.2. Marcas transversales

#### *DEMARCACIÓN DE LÍNEA DE “PARE”*

Esta demarcación se usa para indicar el sitio de parada de vehículos; en la zona se encuentran anteriores a los semáforos, reglamentando su detención antes de entrar a la intersección. Son franjas blancas continuas de 60 cm de ancho, que se extienden a través de todos los carriles de aproximación que tienen el mismo sentido de tránsito. Están ubicadas antes de la demarcación de los pasos peatonales

#### *DEMARCACIÓN DE PASOS PEATONALES*

Esta demarcación se emplea para indicar la trayectoria que deben seguir los peatones al atravesar una calzada de tránsito. Se puede encontrar este tipo de señalización en las intersecciones semaforizadas, y en la calle 40 sentido E-O, por haber un alto flujo peatonal, ya que esta calle separa dos zonas de la Pontificia Universidad Javeriana.

Consisten en una sucesión de líneas de color blanco paralelas de 40 cm de ancho, separadas entre sí 40 cm y colocadas en posición paralela a los carriles de tránsito en forma “cebreada”, es decir, perpendicular a la trayectoria de los peatones.

En términos generales se considera que el tramo cuenta con una buena señalización, previniendo a los usuarios sobre la existencia de peligros y sus naturalezas, además de indicar a los mismos sobre las limitaciones o restricciones existentes, así como llevándolos a tener una plena identificación de los principales sitios de interés, como el hospital San Ignacio.

### 2.1.3. Estado de la vía

Las vías presentan una regularidad y un estado de la carpeta asfáltica Aceptables; esto es, que contienen algún deterioro menor, como ondulaciones o pequeños agrietamientos en un porcentaje mínimo de su superficie (ver fotografías **Anexo 3**). En términos generales es transitable sin ninguna clase de contratiempo. Requeriría en este sentido algún tipo de mantenimiento preventivo.<sup>38</sup>

## 2.2. Caracterización de las intersecciones semaforizadas.

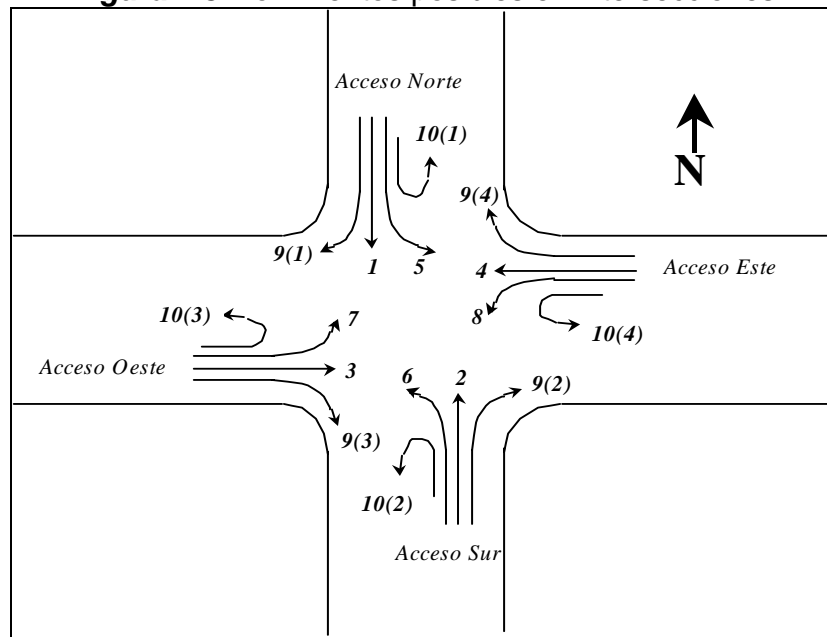
---

<sup>38</sup> CONSEJO DE DIRECTORES DE CARRETERAS DE IBERIA E IBEROÁMERICA. Catálogo De Deterioro De Pavimentos Flexibles 2002



A continuación se muestran todos los movimientos posibles que se pueden hacer en una intersección cualquiera, para cada uno de los accesos.

**Figura 2.3** Movimientos posibles en intersecciones



Fuente: Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte en Santa Fe De Bogotá<sup>39</sup>

<sup>39</sup> Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte en Santa Fe De Bogotá; CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS S.C; figura 5.1



**Tabla 2.5** Movimientos posibles en intersecciones.

<b>Acceso</b>	<b>Movimiento</b>	<b>Código</b>
<b>Norte</b>	Directo	1
	Giro a izquierda	5
	Giro a derecha	9(1)
	Giro en U	10(1)
<b>Sur</b>	Directo	2
	Giro a izquierda	6
	Giro a derecha	9(2)
	Giro en U	10(2)
<b>Oeste</b>	Directo	3
	Giro a izquierda	7
	Giro a derecha	9(3)
	Giro en U	10(3)
<b>Este</b>	Directo	4
	Giro a izquierda	8
	Giro a derecha	9(4)
	Giro en U	10(4)

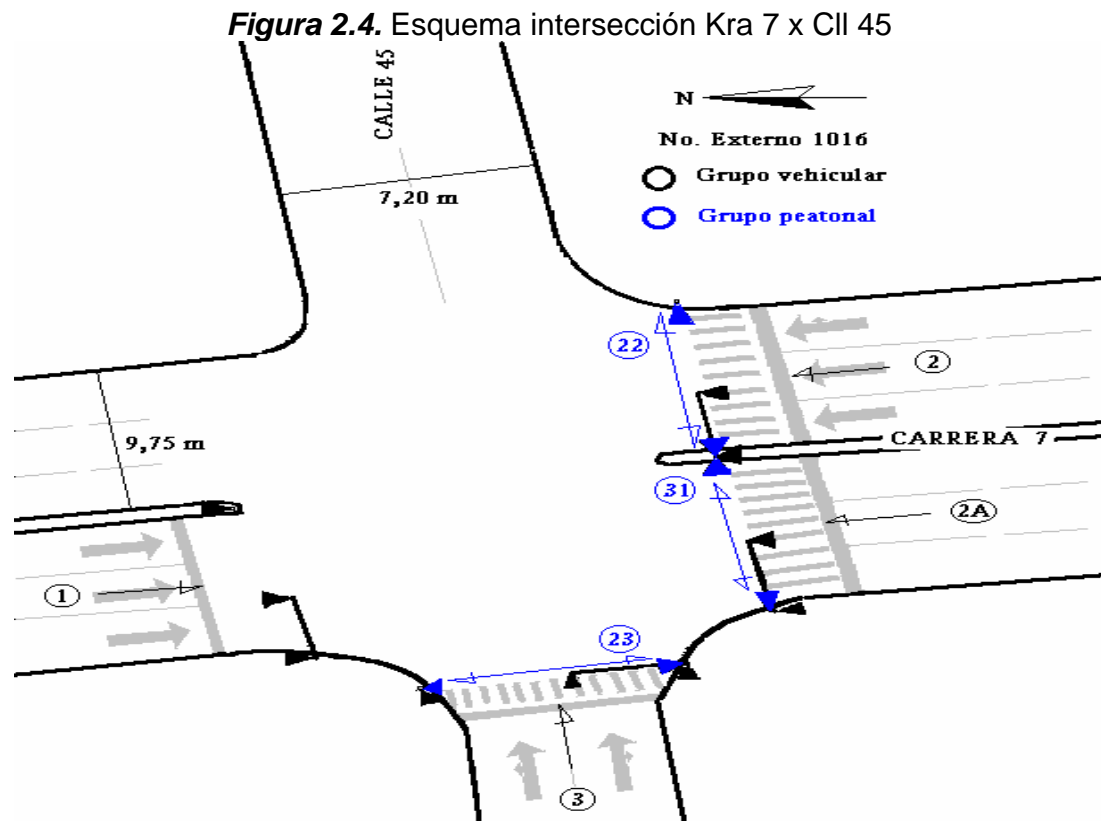
Fuente: Manual De Planeación Y Diseño Para La Administración Del Tránsito Y El Transporte En Santa Fe De Bogotá<sup>40</sup>

Seguidamente se caracterizarán las dos intersecciones semaforizadas con las que se cuenta.

### **2.2.1. Intersección semaforizada Kra 7 x Calle 45**

Esta intersección cuenta con 6 carriles en la Kra 7, cada uno de 3,25 m y 2 carriles en la calle 45 de 3,6 m cada uno. De los 6 carriles de la Kra 7, 3 operan en sentido N-S y 3 en sentido S-N, excepto cuando entran en funcionamiento el contraflujo o la ciclovía, mientras que los 2 carriles de la calle 45, operan en sentido O-E. A continuación se puede apreciar un esquema detallado de la intersección, donde se presentan los anchos de carril de los accesos, la ubicación de los semáforos y el sentido del flujo.

<sup>40</sup> Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte en Santa Fe De Bogotá; CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS S.C; figura 5.1



Fuente: Fondatt-STT 2016 De 2004; SECRETARIA DE TRANSITO Y TRANSPORTE



### 2.2.1.1. Condiciones normales de operación

Los movimientos que se presentan en esta intersección en condiciones normales son los siguientes:

**Tabla 2.6** Movimientos permitidos intersección Kra 7 x calle 45, en condiciones normales.

Acceso	Movimiento	Código
Norte	Directo	1
Sur	Directo	2
	Giro a derecha	9(2)
Oeste	Directo	3
	Giro a izquierda	7
	Giro a derecha	9(3)

Fuente: Elaboración propia

### 2.2.1.2. Condiciones de operación en contraflujo.

Cuando se presenta el contraflujo, se presentan los siguientes movimientos en la intersección:

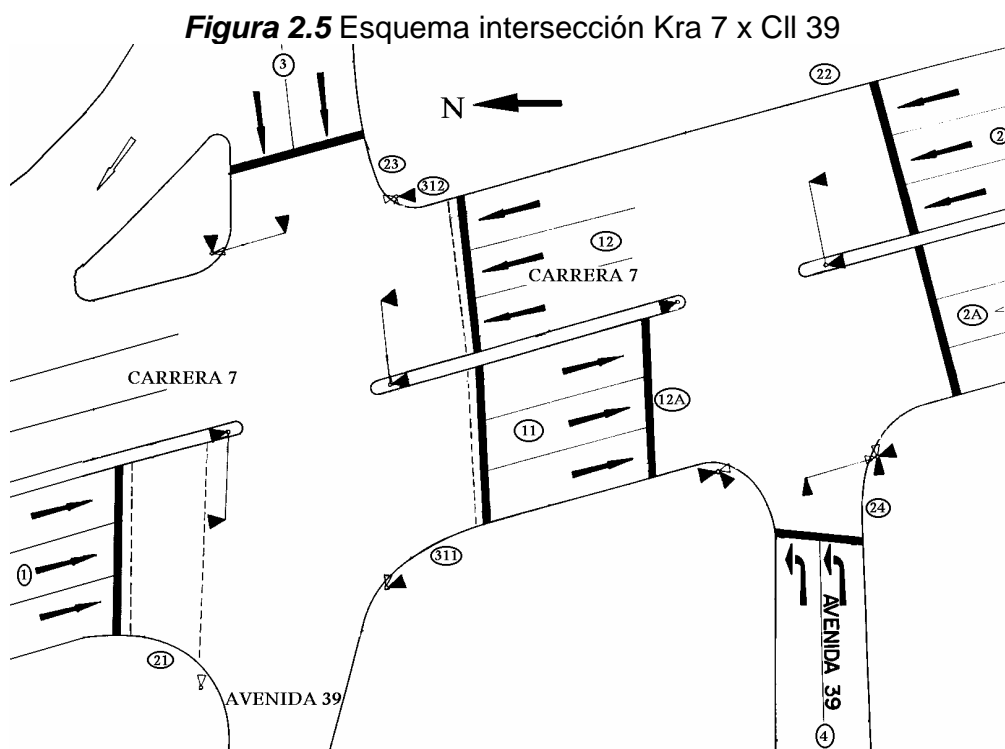
**Tabla 2.7** Movimientos permitidos intersección Kra 7 x calle 45, operando en contraflujo.

Acceso	Movimiento	Código
Sur	Directo	2
	Giro a derecha	9(2)
Este	Directo	3

Fuente: elaboración propia

### 2.2.2. Intersección semaforizada Kra 7 x Calle 39

Esta intersección cuenta con 6 carriles en la Kra 7, cada uno de 3,25 m y 4 carriles en la calle 39 de 3,6 m cada uno. De los 6 carriles de la Kra 7, 3 operan en sentido N-S y 3 en sentido S-N, excepto cuando entran en funcionamiento el contraflujo o la ciclovía, mientras que 2 carriles de la calle 39, operan en sentido O-E y los otros 2 en sentido E-O. A continuación se puede apreciar un esquema detallado de la intersección, donde se presentan los anchos de carril de los accesos, la ubicación de los semáforos y el sentido del flujo.



Fuente: Fondatt-STT 2017 De 2003; SECRETARIA DE TRANSITO Y TRANSPORTE

#### 2.2.2.1. Condiciones normales de operación

Los movimientos que se presentan en esta intersección en condiciones normales son los siguientes:





**Tabla 2.8** Movimientos permitidos intersección Kra 7 x calle 39, en condiciones normales

Acceso	Movimiento	Código
Norte	Directo	1
	Giro a derecha	9(1)
Sur	Directo	2
Oeste	Giro a izquierda	7
	Giro a derecha	9(3)
Este	Directo	4
	Giro a izquierda	8
	Giro a derecha	9(4)
Norte 1	Directo	11
Sur 1	Directo	12

Fuente: Fondatt-STT 2017 De 2003; SECRETARIA DE TRANSITO Y TRANSPORTE

En la tabla anterior se aprecian los movimientos 11 y 12, que no estaban definidos en la **Tabla 2.8**, ya que estos movimientos se presentan en esta intersección por la existencia de doble semáforo sobre la Kra 7.

### 2.3. Caracterización del transporte público colectivo

Para realizar una caracterización del transporte público colectivo, es necesario definir los diferentes tipos de vehículo que componen este tipo de transporte. Para lo anterior, se clasificaron los mismos dependiendo de su capacidad, como se muestra en la **Tabla 2.9**.

**Tabla 2.9** Caracterización de vehículos de transporte público colectivo, según su capacidad

Tipo de Vehículo	Capacidad (Pasajeros)
Bus	70
Bus ejecutivo	45
Buseta	38
Colectivo pequeño	13
Colectivo grande	18

Fuente: Secretaría de tránsito y transporte de Santa Fe de Bogota



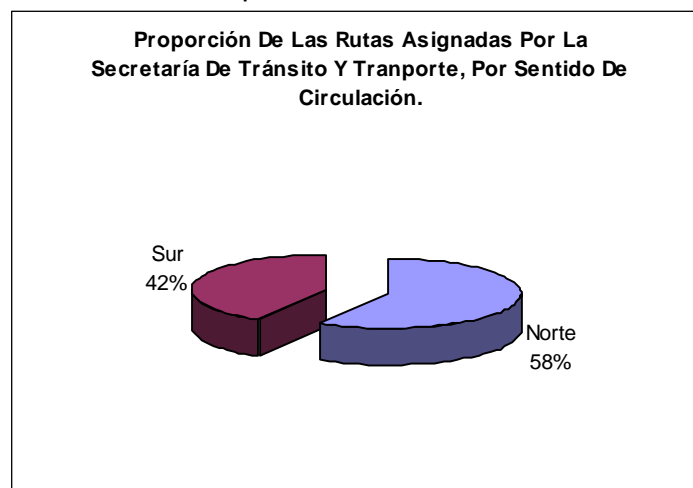
En el tramo de estudio se encuentran diferentes tipos de vehículos de transporte público colectivo; la Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá tiene registradas las rutas que se muestran en el **Anexo 5**, donde están discriminados por sentido de circulación y tipo de vehículo. A continuación se muestra una tabla (**Tabla 2.10**) donde se resume la información que se encuentra en dicho Anexo así como tres gráficas donde se puede apreciar la proporción de las rutas existentes por sentido de circulación (**Gráficas 2.2 a 2.4**)

**Tabla 2.10.** Caracterización del transporte público colectivo

Tipo Vehículo	Número De Rutas Por Sentido De Circulación			TOTAL
	Norte	Sur	Norte y Sur	
Bus	14	12	7	33
Bus ejecutivo	4	3	4	11
Buseta	18	10	2	30
Colectivo Pequeño	8	2	4	14
Colectivo Grande	1	0	1	2
<b>TOTAL</b>	<b>45</b>	<b>27</b>	<b>18</b>	<b>90</b>

Fuente: Elaboración propia con base en Anexo 5.

**Gráfica 2.2.** Composición total del transporte público colectivo en el tramo de estudio, por sentido de circulación



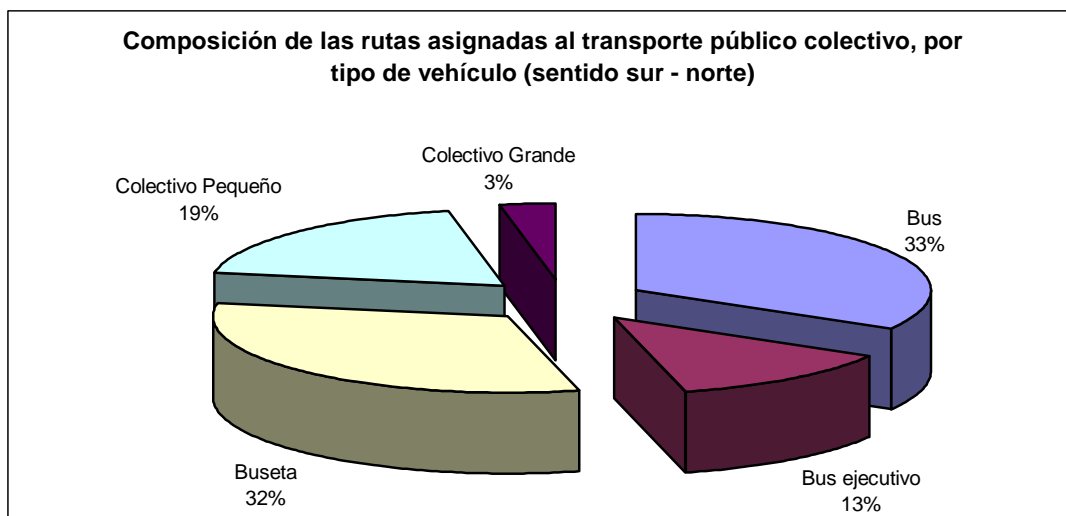
Fuente: Elaboración propia con base en Anexo 5.



Como se aprecia en la gráfica anterior, la Secretaría de Tránsito y Transporte tiene asignadas en el tramo de estudio, un mayor número de rutas en el sentido Sur – Norte, debido a que hay rutas que van hacia el sur por la Kra 13 y se regresan al norte por la Kra 7.

A continuación se muestra en las **Gráficas 2.3 y 2.4** la composición de las rutas asignadas al transporte público colectivo por tipo de vehículo, para cada sentido.

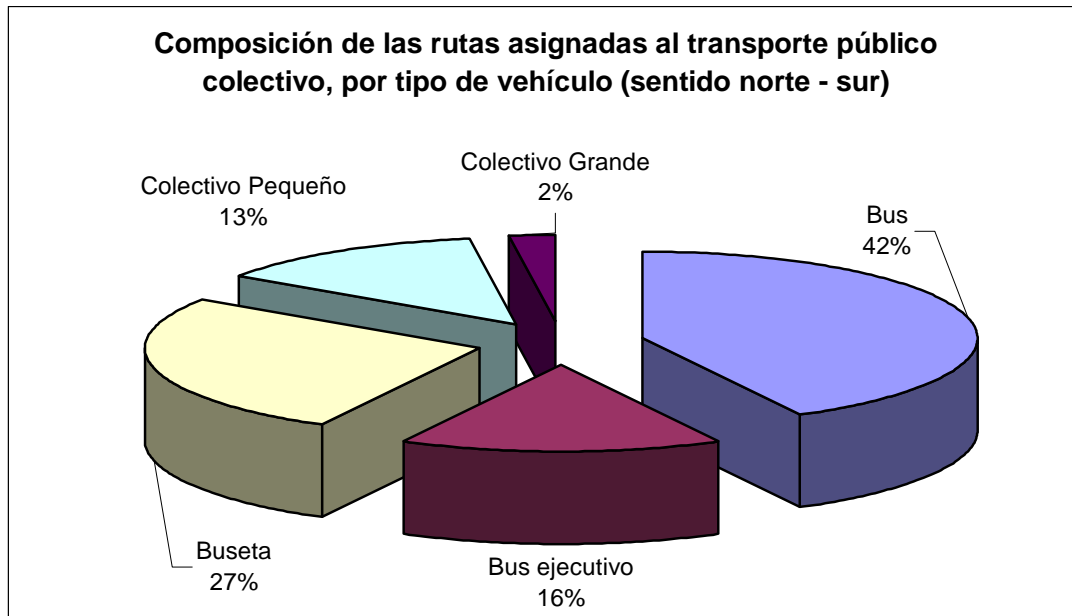
**Gráfica 2.3.** Composición de transporte público colectivo en el tramo de estudio, en sentido sur - norte



Fuente: Elaboración propia con base en Anexo 5.

En el sentido sur - norte se observa que el porcentaje más alto de vehículos de transporte público colectivo lo presentan los buses y las busetas con 33 y 32 % del total de vehículos totales de transporte público, lo que quiere decir que, en este sentido se maneja una gran oferta de este tipo de transporte, dada la alta capacidad de los vehículos predominantes.

**Gráfica 2.4.** Composición de transporte público colectivo en el tramo de estudio, en sentido norte – sur.



Fuente: Elaboración propia con base en Anexo 5.

Se observa en la **Gráfica 2.4**, que la composición del transporte público colectivo en sentido norte – sur, al igual que en el sentido sur – norte, predominan los vehículos con alta capacidad de pasajeros (bus, buseta y bus ejecutivo con 42, 27 y 16% respectivamente). Se aprecia también que en comparación con el otro sentido de circulación, hay una mayor cantidad de vehículos de alta capacidad de transporte de pasajeros, observándose una disminución en los colectivos pequeños y un incremento en los buses ejecutivos.



## CAPÍTULO 3

# DISEÑO DE TOMA DE INFORMACIÓN

### 3. Toma de información

Para cumplir con los objetivos propuestos, se debe tener información de volúmenes vehiculares y peatonales con el fin de establecer variables de tránsito que describan cuantitativamente las características de flujo tanto vehicular como peatonal. De igual forma se debe obtener información de ocupación vehicular para establecer variables físico operativas, las cuales muestran las condiciones del sistema vial del tramo.

**Figura 3.1** Lugares de aforo



Fuente: Elaboración propia



### 3.1. Volúmenes vehiculares

La finalidad de los aforos de volúmenes vehiculares es poder establecer la capacidad y el nivel de servicio que prestan las intersecciones semaforizadas de la calle 39 con Kra 7 y la calle 45 con Kra 7 que se encuentran en el tramo de estudio. Por medio de estos aforos se obtiene:

- Clasificación vehicular.
- Movimientos direccionales en las intersecciones semaforizadas.
- Dirección de recorrido.
- Uso de carriles.

Como se tiene una zona de uso del suelo predominantemente estudiantil, se considera que los volúmenes vehiculares serán similares entre los días hábiles de la semana, por lo que este estudio no se centrará en determinar dicha variación.

Se decidió hacer conteos en días considerados representativos, en este caso, martes, miércoles y jueves. Los lunes, viernes y fines de semana se descartaron por ser considerados como días atípicos en lo que a comportamiento del tránsito se refiere.

Se cuenta con información de conteos de 16 horas<sup>41</sup>; gracias a esto, no se considera necesario volver a realizar conteos de 16 horas, porque con la información suministrada se pueden determinar los períodos de mayor demanda del tránsito, donde se presenta un funcionamiento más crítico.

Se llevaron a cabo conteos en los períodos pico, tanto de la vía en condiciones “normales”, como en el momento en que entra en operación el “contra flujo”. Se busco con esto tener información detallada, de primera mano y actualizada del funcionamiento de la vía en sus condiciones de mayor flujo vehicular.

A continuación se presentan los histogramas<sup>42</sup>, donde se muestran los períodos de mayor flujo vehicular los cuales se escogieron como los períodos para realizar en estas los aforos para el presente estudio. Se escogieron los histogramas de la intersección de la Kra 7 x calle 45, debido a que estos son los más recientes.

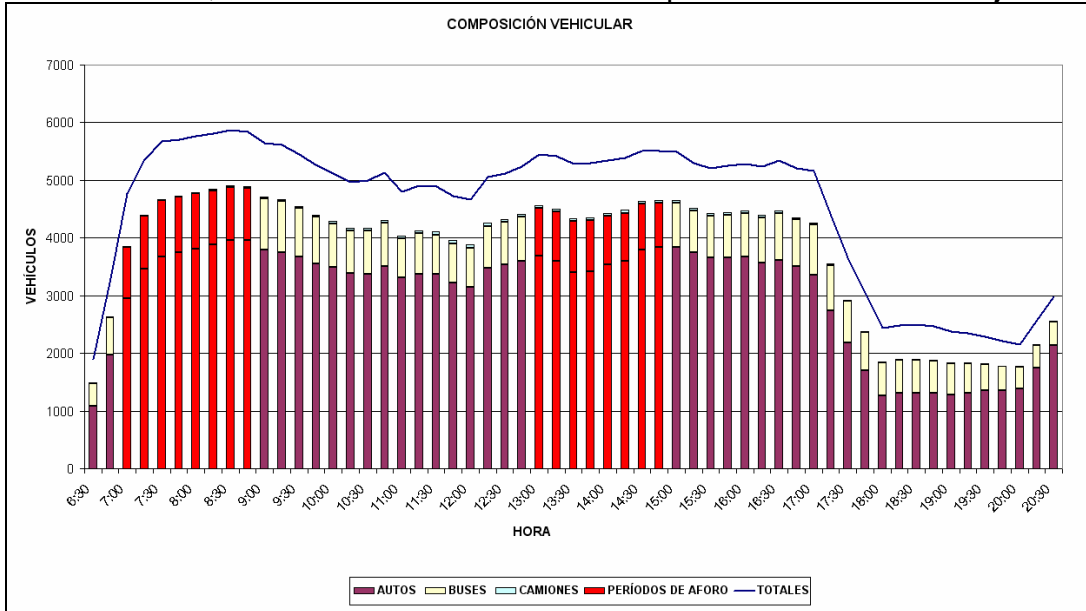
---

<sup>41</sup> Fondatt STT 2016 y Fondatt STT 2017, SECRETARÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE DE BOGOTÁ.

<sup>42</sup> Fondatt STT 2016, SECRETARÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE DE BOGOTÁ.

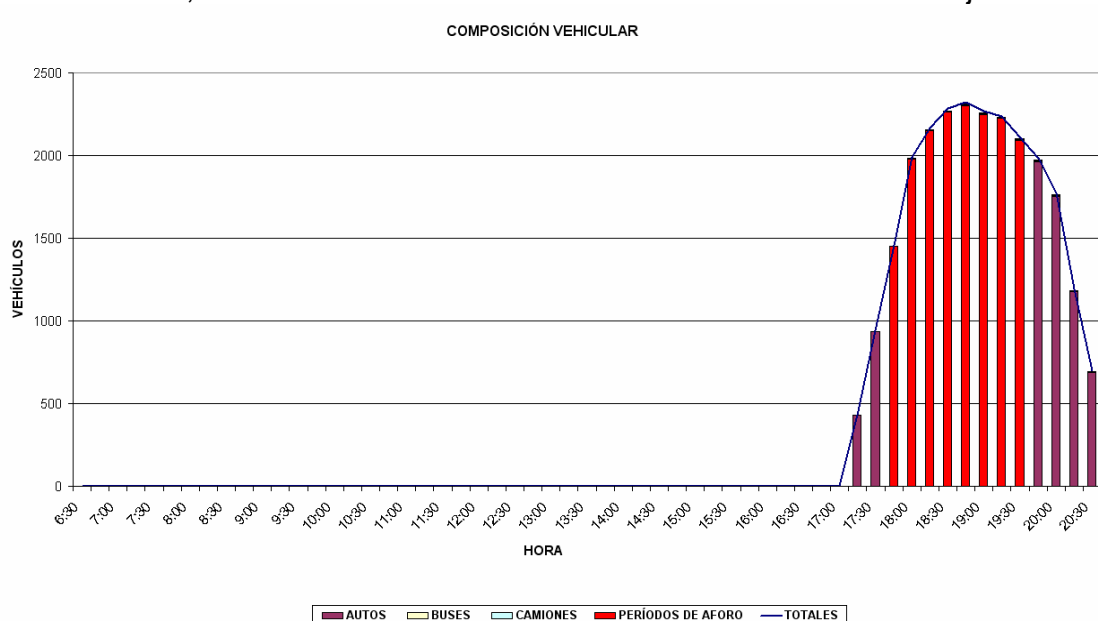


**Gráfica 3.1** Histograma de composición vehicular intersección Kra 7 x Cll 45 año 2004, sin tener en cuenta los carriles que circulan en contraflujo



Fuente: Fondatt-STT 2016 De 2004; SECRETARÍA DE TRANSITO Y TRANSPORTE

**Gráfica 3.2** Histograma de composición vehicular intersección Kra 7 x cll 45 año 2004, teniendo en cuenta únicamente los carriles de contraflujo







---

Fuente: Fondatt-STT 2016 De 2004; SECRETARÍA DE TRÁNSITO Y TRANSPORTE

En las **Gráficas 3.1 y 3.2**, se muestran los 3 períodos críticos en los cuales se realizaron los aforos (7:00 a 9:00, 13:00 a 15:00 y 17:30 a 19:30 horas). Como se observa, los períodos de aforo no serán únicamente en la hora pico encontrada de este estudio anterior, sino que abarcaron un rango de 2 horas, de tal forma que si se presenta alguna variación en la hora pico, esta quede consignada de todas formas en los aforos.

Para cada período se realizó un aforo, en días típicos de la semana. Estos aforos, se van a llevar a cabo en las intersecciones semaforizadas del tramo (calles 39 y 45 con Kra 7; ver **Plano 4**) mediante cámaras de video, y los conteos se realizarán después, siguiendo la metodología descrita en el **Anexo 4**<sup>43</sup>. Las cámaras se ubicaron en el edificio Gabriel Giraldo S.J., para los aforos de la intersección de la calle 39 con Kra 7 y en el edificio Ángel Valtierra S.J., para los aforos de la calle 45 con Kra 7; ambos edificios pertenecen a la Universidad Javeriana.

### 3.2. Volúmenes peatonales

La finalidad de estos aforos es medir los volúmenes de personas que circulan en las instalaciones peatonales del tramo, para así poder establecer la capacidad y el nivel de servicio, que están prestando estas instalaciones.

Se obtuvo el histograma de distribución de viajes totales<sup>44</sup> (**Gráfica 3.3**), donde se pueden apreciar 3 períodos pico de flujos peatonales, que si bien muestra la distribución de los viajes que se realizan a pie en la universidad (no únicamente los que atraviesan el tramo de estudio), permite tener una idea de cómo es el comportamiento de los flujos peatonales, para determinar los períodos de aforo (7:00 a 9:00, 13:00 a 15:00 y 17:30 a 19:30 horas). Para cada período se realizó un aforo, en días típicos de la semana.

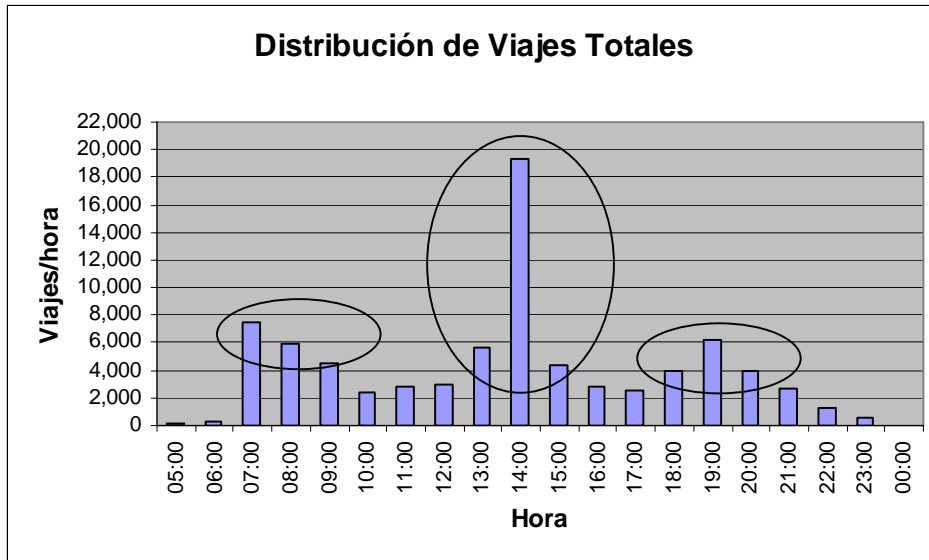
---

<sup>43</sup> Manual De Planeación Y Diseño Para La Administración Del Tránsito Y El Transporte En Santa Fe De Bogotá, CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS S.C

<sup>44</sup> Plan de Regularización y Manejo, COORDINACIÓN GENERAL PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA



**Gráfica 3.3** Histograma de distribución de viajes totales



Fuente: PLAN DE REGULACIÓN Y MANEJO, Coordinación General Pontificia Universidad Javeriana.

Se considera que los períodos de mayor volumen peatonal, al igual que la proporción de peatones, no varían de forma determinante, debido a que los usos del suelo no han cambiado desde que se realizó el estudio (2003) y por esto se tomó la decisión de realizar los aforos en los períodos de mayor flujo peatonal, que se pueden apreciar en la **Gráfica 3.3**.

Los aforos se realizaron en las intersecciones semaforizadas del tramo (calles 39 y 45 con Kra 7) y en el túnel peatonal subterráneo (calle 41 con Kra 7), mediante cámaras de video, para realizar los conteos después, siguiendo la metodología descrita en el **Anexo 4**<sup>45</sup>. Las cámaras se ubicaron en el edificio Gabriel Giraldo S.J., para los aforos de la intersección de la calle 39 con Kra 7, en el edificio Ángel Valtierra S.J., para los aforos de la calle 45 con Kra 7 y en el edificio Emilio Arango S.J., para los aforos del cruce peatonal del túnel subterráneo ubicado en la calle 41 con Kra 7. Los tres edificios pertenecen a la Universidad Javeriana.

Los conteos de peatones en las intersecciones semaforizadas se llevaron a cabo por ciclos de semáforo, mientras que los conteos en el túnel peatonal se realizaron

<sup>45</sup> Manual De Planeación Y Diseño Para La Administración Del Tránsito Y El Transporte En Santa Fe De Bogotá, CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS S.C



en intervalos cortos de 15 minutos para tener varias mediciones en los períodos pico, con el fin de identificar los intervalos más críticos del período de conteo.

### **3.3. Ocupación vehicular**

El fin de este estudio es determinar el número promedio de pasajeros que viajan en cada tipo de vehículo de transporte público, en las horas pico.

Los aforos de ocupación vehicular se realizaron en las horas críticas determinadas anteriormente para volúmenes vehiculares (7:00 a 9:00, 13:00 a 15:00 y 17:30 a 19:30 horas). Para cada período se va a realizar un aforo, en días típicos de la semana.

Se escogieron la calles 39 y 45 con Kra 7, por ser los puntos de entrada y salida del tramo en estudio, para poder analizar como está operando el ascenso y descenso de pasajeros en el tramo. Los conteos se hicieron de forma visual, siguiendo la metodología descrita en el **Anexo 4**<sup>46</sup>.

### **3.4. Tiempos de recorrido por el método de las placas de matrícula**

La finalidad de los estudios sobre tiempos de recorrido por el método de las placas de matrícula es medir los tiempos de recorrido en un tramo conocido. Luego se calcula la velocidad entre los puntos de la vía conociendo la distancia que los separa. Su eficiencia en el presente estudio es alta, debido al gran número de vehículos que pasan por el tramo, lo que permite que se obtenga una cantidad aceptable de datos en un tiempo relativamente corto. Así mismo, se considera que será una medida eficaz, debido a que gran parte de los vehículos que pasan por un punto también pasan por el otro.

El estudio se realizó en los mismos períodos y días que los estudios de volúmenes vehiculares. Se necesitan 4 aforadores, para que se ubiquen 2 (un observador y un anotador) a la entrada y otros dos (observador y anotador) a la salida del tramo, de tal forma que los observadores dicten a los anotadores, la última letra y los tres números de las placas de matrícula de los vehículos que pasan, así como las lecturas de los cronómetros en esos momentos. Obviamente los cronómetros deben haberse sincronizado antes de empezar con los aforos. Los conteos se hicieron siguiendo los formatos y la metodología descritos en el **Anexo 4**<sup>47</sup>.

---

<sup>46</sup> Manual De Planeación Y Diseño Para La Administración Del Tránsito Y El Transporte En Santa Fe De Bogotá, CAL Y MAYOR Y ASOCIADOS S.C

<sup>47</sup> Idem



# CAPÍTULO 4 RESULTADOS



---

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Componente de tránsito

Con el fin de conocer el estado de la operación actual del tramo de estudio, se procedió a recopilar información existente y a realizar una serie aforos que se describen a continuación:

#### 4.1.1 Aforos vehiculares

Con el propósito de obtener la magnitud del tráfico, su composición y la variación horaria, se realizaron aforos vehiculares en las intersecciones semaforizadas de la Kra 7 x Calles 39 y 45.

Los aforos se realizaron por acceso vehicular a la intersección y se estableció la composición vehicular discriminada por autos, taxis, buses y camiones. En la carrera 7 x calles 39 y 45 se realizaron aforos del tránsito vehicular en tres períodos (7:00 a 9:00, 13:00 a 15:00 y 17:30 a 19:30 horas) el día 19 de Abril de 2005.

La información obtenida fue tabulada y analizada (**Anexo 5**). Sin embargo, dado que los aforos fueron realizados en 3 períodos específicos del día, para tener un orden de magnitud de cuantos vehículos están utilizando el tramo de estudio a lo largo del día, fue necesario expandir los volúmenes obtenidos por medio de las mediciones de campo, utilizando factores de expansión determinados a partir de los estudios realizados por la Secretaría de Tránsito y Transporte de Bogotá en las intersecciones de la Kra 7 x Calles 39 y 45<sup>48</sup>.

Los factores de expansión representan la proporción de la totalidad de vehículos del día que pasan durante la hora pico. Se determinó un factor de expansión para cada tipo de vehículo, dado que es de interés para el presente estudio determinar la composición vehicular de cada intersección y no únicamente la totalidad de vehículos del día. Una vez expandido cada tipo de vehículo, se determinó la cantidad de vehículos presentados a lo largo del día, en total y vehículos equivalentes. Para determinar los vehículos equivalentes, se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_{equiv} = V_{livianos} + V_{buses} * F_b + V_{camiones} * F_c \quad \mathbf{Ec [4.1]}$$

Donde:

---

<sup>48</sup> Fondatt STT 2016 y Fondatt STT 2017, Secretaría de Tránsito y Transporte de Santa Fé de Bogotá



Vequiv = Volumen en vehículos equivalentes  
Vlivianos = Volumen de vehículos livianos  
Vbuses = Volumen de buses  
Vcamiones = Volumen de camiones  
Fb = Factor de equivalencia de buses  
Fc = Factor de equivalencia de camiones.

Los valores de factor de equivalencia de buses (Fb) y camiones (Fc) son determinados por la Secretaría de Tránsito y Transporte para la ciudad de Bogotá, y fueron establecidos en 2 y 2,5 respectivamente para el año 2005.

A continuación se presenta en las **Tablas 4.1 y 4.2** la obtención de los factores de expansión, así como los vehículos del estudio expandidos para la totalidad del día, para cada una de las intersecciones.

**Tabla 4.1** Determinación del volumen diario total ajustado por factor de expansión, intersección Kra 7 x calle 39

INTERSECCIÓN CALLE 39					
PARÁMETRO	AUTOS Y TAXIS	BUSES	CAMIONES	TOTAL	EQUIVALENTES
VOLUMEN HORA PICO (STT)	3629	995	15	4639	5657
VOLUMEN TOTAL (STT)	47870	11080	428	59378	71100
FACTOR EXPANSIÓN (%)	7,58	8,98	3,50		
VOLUMEN HORA PICO (ESTUDIO)	3679	1012	18	4709	5748
VOLUMEN TOTAL (ESTUDIO)	48529	11265	519	60313	72357

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.2** Determinación del volumen diario total ajustado por factor de expansión, intersección Kra 7 x calle 45

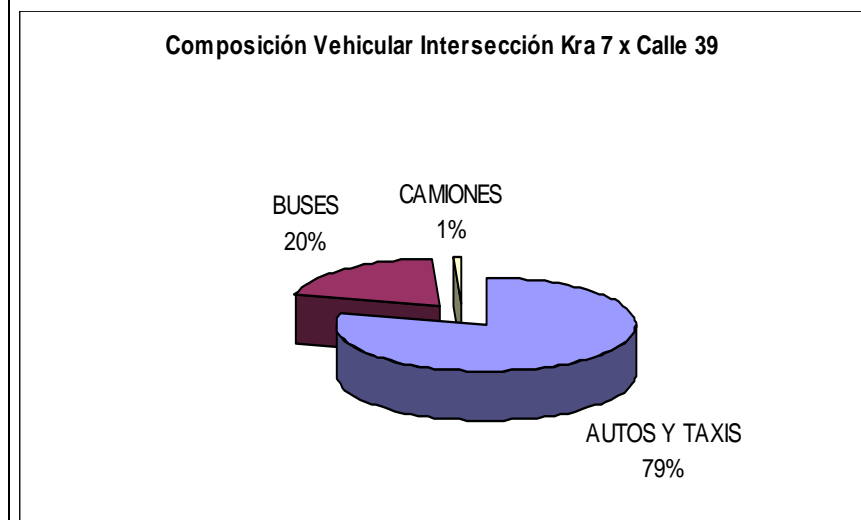
INTERSECCIÓN CALLE 45					
PARÁMETRO	AUTOS Y TAXIS	BUSES	CAMIONES	TOTAL	EQUIVALENTES
VOLUMEN HORA PICO (STT)	3954	925	25	4904	5867
VOLUMEN TOTAL (STT)	50143	10678	485	61306	72712
FACTOR EXPANSIÓN	7,89	8,66	5,15	-----	-----
VOLUMEN HORA PICO (ESTUDIO)	4041,34	946,3	25,24	5013	5997
VOLUMEN TOTAL (ESTUDIO)	51251	10924	490	62664	74323

Fuente: Elaboración propia



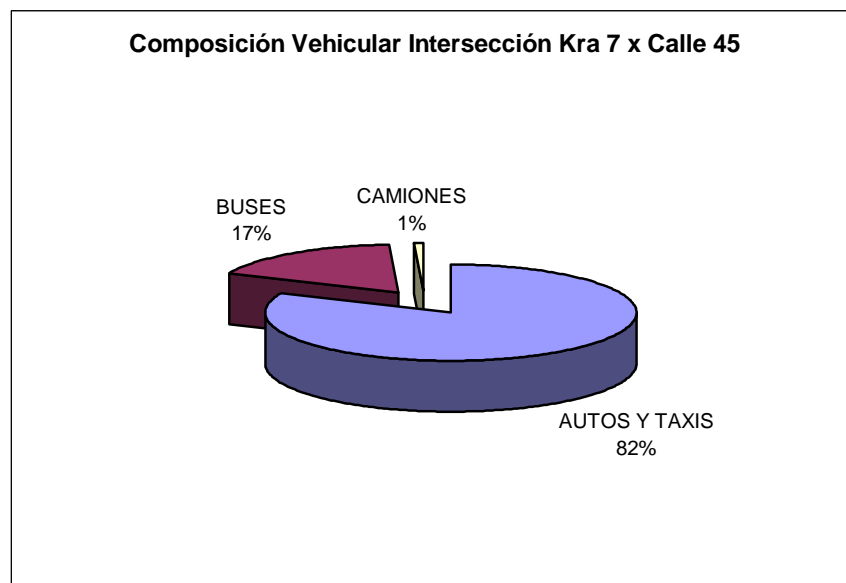
A continuación se presenta en las **Gráficas 4.1 y 4.2** la composición vehicular de ambas intersecciones, obtenidas a partir de los valores expandidos presentados en las **Tablas 4.1 y 4.2**.

**Gráfica 4.1** Composición vehicular intersección Kra 7 x calle 39



Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.2** Composición vehicular intersección Kra 7 x calle 45



Fuente: Elaboración propia

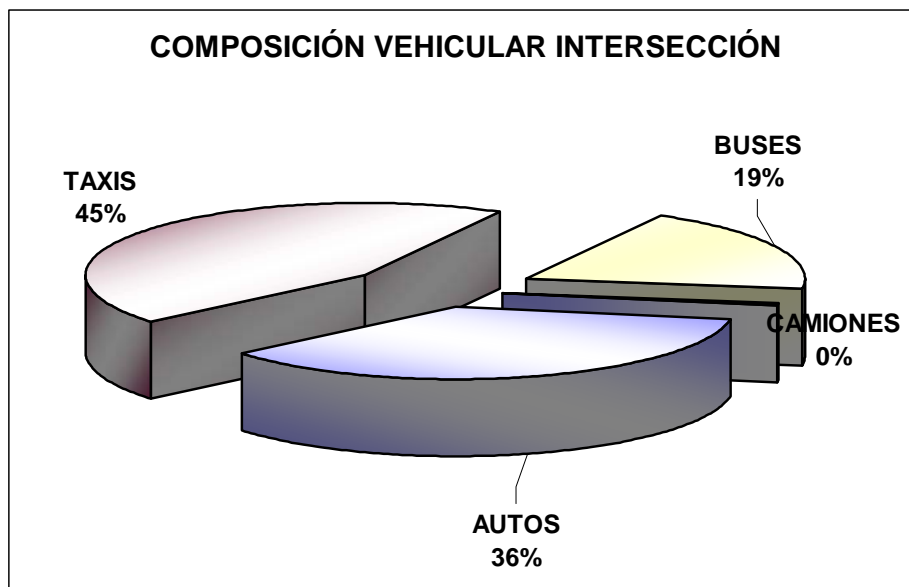


Las **Graficas 4.1 y 4.2** muestran que la composición vehicular es muy similar en ambas intersecciones; esto se debe a que pocos vehículos se desvían del tramo de estudio por alguna de las calles secundarias que intersectan la Kra 7 en este tramo. Sin embargo, esta composición puede variar a lo largo del día; además se considera necesario dado el alto porcentaje de vehículos livianos, hacer una distinción entre los vehículos particulares y los de transporte público individual, que no se hizo anteriormente debido a que en el estudio de donde se sacaron los factores de expansión no hicieron esta distinción. Por lo anterior, se muestran a continuación los resultados obtenidos en cada período de aforo.

- **Período de la Mañana**

En cuanto a la composición del tránsito en el período de la mañana, se puede apreciar en las **Gráficas 4.3 y 4.4**, que este es aproximadamente igual en ambas intersecciones, por lo que se concluye que a lo largo del tramo esta composición permanece. En cuanto a la composición como tal, se puede apreciar que los vehículos más representativos del tramo son los vehículos livianos, que conforman un 82% del total, discriminado en aproximadamente un 43% de taxis y 37% de autos particulares. La presencia de buses y busetas también es importante, con aprox. el 20% mientras que la participación de los camiones es casi nula en el tramo.

**Grafica 4.3.** Composición vehicular Kra 7 x calle 45 (7:00 – 9:00)

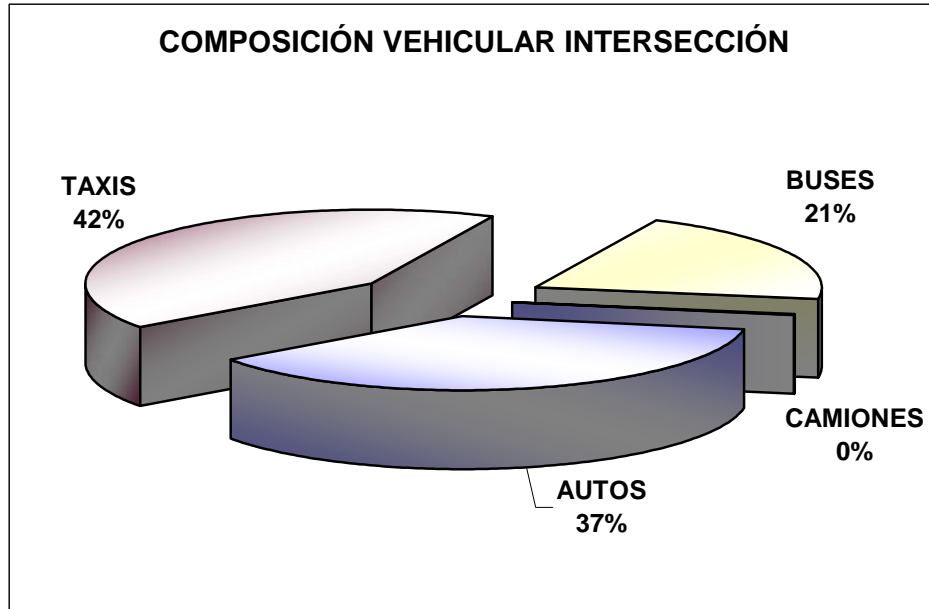


Fuente: Elaboración propia





**Grafica 4.4.** Composición vehicular Kra 7 x calle 39 (7:00 – 9:00)



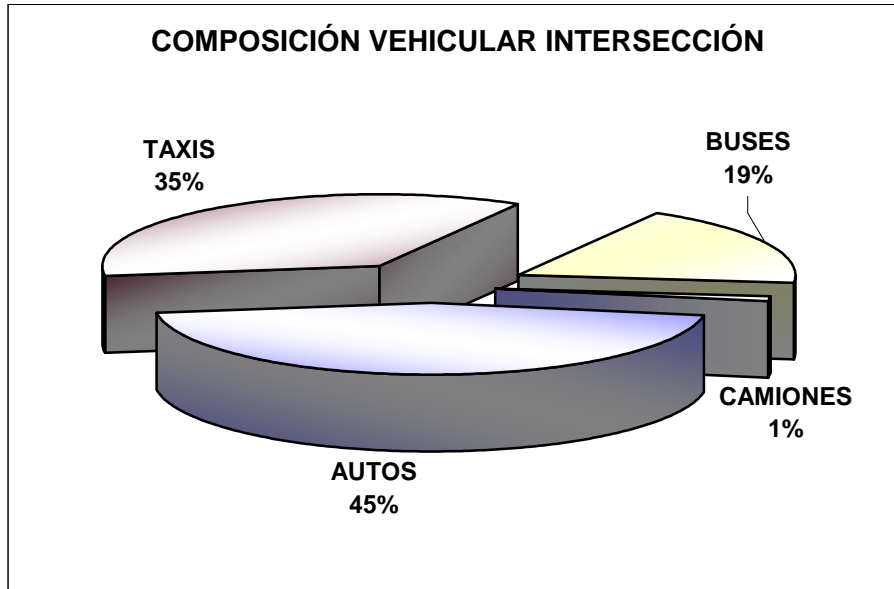
Fuente: Elaboración propia

- **Período de la Tarde**

Para el período de la tarde, se puede apreciar en las **Gráficas 4.5 y 4.6** que la composición es aproximadamente la misma que en el período de la mañana en cuanto a autos, buses y camiones; sin embargo, la composición de los vehículos livianos presenta una variación, observándose una disminución del porcentaje de taxis y un aumento del porcentaje de autos particulares.

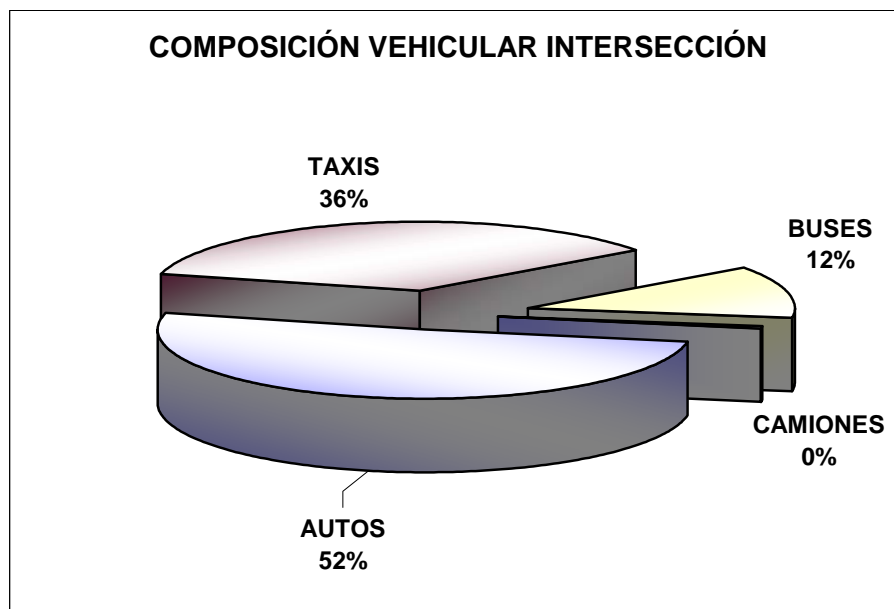


**Grafica 4.5.** Composición vehicular Kra 7 x calle 45 (13:00 – 15:00)



Fuente: Elaboración propia

**Grafica 4.6.** Composición vehicular Kra 7 x calle 39 (13:00 – 15:00)



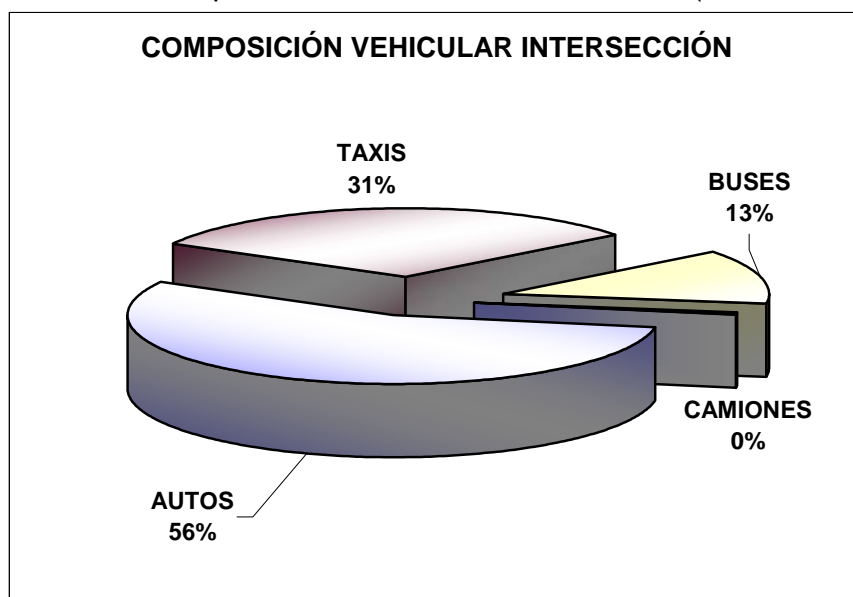
Fuente: Elaboración propia



- **Período de la Noche**

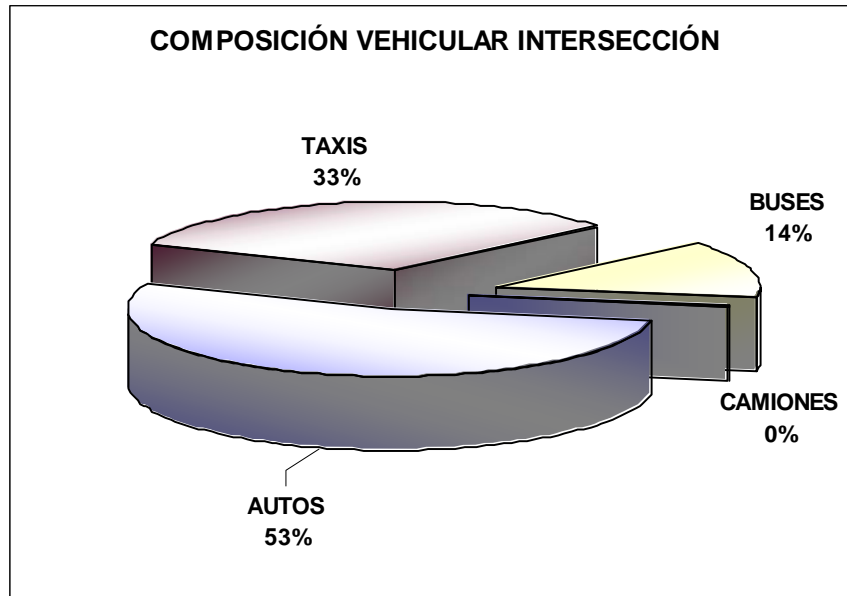
En el último período de aforo del día, nuevamente se presentan composiciones muy similares en ambas intersecciones. Se puede apreciar que, el porcentaje de vehículos livianos aumenta a casi el 90%, mientras que la participación de los buses y de los camiones disminuyen en relación al total de la intersección, debido al contraflujo, donde se tienen 6 carriles y el transporte público colectivo transita solo por 3 de ellos.

**Grafica 4.7.** Composición vehicular Kra 7 x calle 45 (17:30 – 19:30)



Fuente: Elaboración propia

**Grafica 4.8.** Composición vehicular Kra 7 x calle 39 (17:30 – 19:30)



Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.1.1 Características del tránsito vehicular intersección Kra 7 x calle 39

La **Tabla 4.3** muestra los volúmenes vehiculares en la intersección de la Kra 7 x calle 39, expandidos de la hora pico (7:15 a 8:15 a.m) para obtener los totales del día. Se observa la diferencia tan marcada del flujo de vehículos de transporte público colectivo entre los accesos norte – sur (2958 veh) y sur – norte (8263 veh).

**Tabla 4.3** Composición de volúmenes vehiculares en los accesos a la intersección de la Kra 7 x calle 39.

Acceso	Autos	Taxis	Buses	Camiones	Totales	Equivalentes
<b>1</b>	12727	10509	2958	202	26395	29656
<b>12</b>	6262	10865	8263	174	25564	34088
<b>4</b>	4037	4129	45	143	8353	8612
<b>Total</b>	23026	25503	11265	519	60313	72357

Fuente: Elaboración propia



A continuación se presenta en la **Tabla 4.4**, la composición vehicular de la intersección discriminada por acceso, para los valores expandidos presentados en la **Tabla 4.3**.

**Tabla 4.4** Composición vehicular intersección Kra 7 x Calle 39, en los diferentes accesos

Acceso	Autos	Taxis	Buses	Camiones
1	48,22	39,81	11,21	0,77
12	24,50	42,50	32,32	0,68
4	48,32	49,43	0,53	1,71

En la **Tabla 4.5** y en la **Gráfica 4.9** se muestra la distribución horaria de los volúmenes vehiculares en la intersección, en totales y en vehículos equivalentes. Aunque se observan menores volúmenes hacia el mediodía, las variaciones no son significativas. Así mismo se pueden apreciar mayores volúmenes en el período de la mañana.

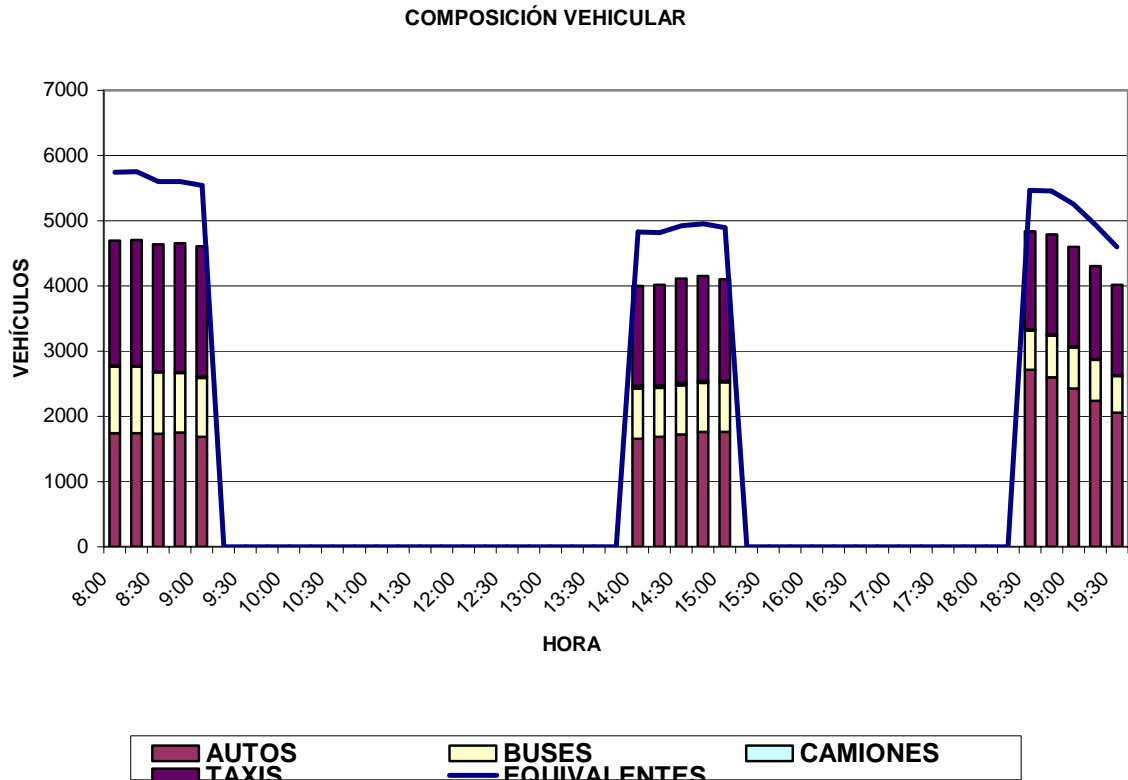
**Tabla 4.5** Variación horaria volúmenes vehiculares Kra 7 x avenida 39, en los periodos de aforo

HORA	AUTOS	TAXIS	BUSES	CAMIONES	TOTALES	EQUIVALENTES
07:00-08:00	1740	1915	1026	15	4695	5744
07:15-08:15	1746	1933	1012	18	4709	5748
07:30-08:30	1737	1951	938	15	4641	5603
07:45-08:45	1750	1982	913	16	4660	5598
08:00-09:00	1686	2001	899	22	4609	5542
09:00-13:00						
13:00-14:00	1661	1529	771	37	3998	4826
13:15-14:15	1685	1547	755	31	4019	4821
13:30-14:30	1726	1594	755	37	4112	4924
13:45-14:45	1758	1614	756	26	4155	4950
14:00-15:00	1765	1565	756	22	4109	4898
15:00-17:30						
17:30-18:30	2715	1504	601	19	4839	5468
17:45-18:45	2599	1534	639	17	4790	5455
18:00-19:00	2427	1520	635	16	4598	5257
18:15-19:15	2241	1431	624	8	4304	4940
18:30-19:30	2054	1396	562	9	4021	4596



Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.9.** Variación horaria volúmenes vehiculares Kra 7 x avenida 39



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, aparte de saber cuales son los períodos más críticos, y como es la variación a lo largo del día, vale la pena también determinar el factor hora punta (F.H.P.), para apreciar que tanto varía el volumen vehicular a lo largo de la hora más crítica. Lo anterior para que, al momento de hacer el análisis se sepa si, se debe tratar de descongestionar la vía para un período crítico de una hora, o se deben plantear soluciones para una situación crítica muy puntual.

El factor hora punta (F.H.P.) se utiliza para saber que tanto varía el flujo vehicular durante la hora crítica, y se calcula por medio de la siguiente ecuación

$$F.H.P. = \frac{V_{total}}{V_{max\ 15\ min} * 4} \quad \text{Ec (4.2)}$$



Donde:

$V_{total}$  = volumen total en la intersección a lo largo de la hora pico

$V_{max15min}$  = volumen más alto entre los 4 períodos de 15 min que componen la hora crítica.

El valor del factor hora punta siempre debe estar entre 0,25 que sería el F.H.P. que se presentaría en el caso que todo el volumen de la hora crítica pasara en un período de 15 min y 1, que sería cuando durante los 4 períodos se presentara exactamente el mismo volumen; es decir, entre más bajo sea el valor del F.H.P, existe una mayor variación del volumen vehicular en la hora pico, y entre mayor sea el valor, representa una mayor homogeneidad en los volúmenes a lo largo de la hora.

En la **Tabla 4.6** se presentan los valores con los que se determinó el F.H.P. para la intersección de la Kra 7 x Calle 39.



**Tabla 4.6** Cálculo factor hora punta de la Kra 7 x calle 39.

HORA INICIAL	HORA FINAL	TOTAL	FHP
7:00	7:15	1413	
<b>7:15</b>	<b>7:30</b>	<b>1417</b>	
<b>7:30</b>	<b>7:45</b>	<b>1346</b>	
<b>7:45</b>	<b>8:00</b>	<b>1568</b>	0,916
<b>8:00</b>	<b>8:15</b>	<b>1417</b>	<b>0,916</b>
8:15	8:30	1271	0,893
8:30	8:45	1340	0,892
8:45	9:00	1513	0,916
9:00	13:00	--	--
13:00	13:15	1234	
13:15	13:30	1161	
13:30	13:45	1221	
<b>13:45</b>	<b>14:00</b>	1240	0,979
<b>14:00</b>	<b>14:15</b>	1210	0,974
<b>14:15</b>	<b>14:30</b>	1226	0,987
<b>14:30</b>	<b>14:45</b>	<b>1257</b>	<b>0,981</b>
14:45	15:00	1207	0,975
15:00	17:30	--	--
<b>17:30</b>	<b>17:45</b>	1279	
<b>17:45</b>	<b>18:00</b>	1335	
<b>18:00</b>	<b>18:15</b>	1426	
<b>18:15</b>	<b>18:30</b>	<b>1417</b>	<b>0,957</b>
18:30	18:45	1298	0,960
18:45	19:00	1169	0,931

Fuente: Elaboración propia

En la **Tabla 4.6** se observa que los F.H.P. para los tres períodos de aforo, dieron mayores a 0,9, siendo el más bajo el del período de la mañana (0,916), mientras que en los otros dos períodos se obtuvieron valores muy cercanos a 1, que representan poca variación en el flujo a lo largo de toda la hora.

#### 4.1.1.2 Características del tránsito vehicular intersección Kra 7 x calle 45

La **Tabla 4.7** muestra los volúmenes vehiculares para la intersección de la Kra 7 x calle 45, expandidos para la totalidad del día a partir de los valores de la hora pico





(7:30 – 8:30). Se observa que estos volúmenes en sentido norte – sur y sur – norte son del mismo orden de magnitud de los aforados en este mismo corredor a la altura de la calle 45.

**Tabla 4.7** Composición de volúmenes vehiculares en los accesos a la intersección de la Kra 7 x calle 45.

ACCESO	AUTOS	TAXIS	BUSES	CAMIONES	TOTALES	EQUIVALENTES
1	13856	11764	3094	198	28913	32304
2	6152	13274	6954	252	26633	33965
3	3050	3153	876	39	7118	8053
<b>TOTALES</b>	23059	28191	10924	490	62664	74323

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presenta en la **Tabla 4.8**, la composición vehicular de la intersección discriminada por acceso, para los valores expandidos presentados en la **Tabla 4.7**.

**Tabla 4.8** Composición vehicular intersección Kra 7 x Calle 45, en los diferentes accesos

ACCESO	AUTOS (%)	TAXIS (%)	BUSES (%)	CAMIONES (%)
1	47,92	40,69	10,70	0,69
2	23,10	49,84	26,11	0,95
3	42,85	44,29	12,30	0,55

En la **Tabla 4.9** y la **Gráfica 4.10**, se muestra la distribución horaria de los volúmenes vehiculares en la intersección a partir de los conteos efectuados. Al igual que en la intersección de la calle 39 x Kra 7, aunque se observan menores volúmenes hacia el mediodía, las variaciones no son significativas a lo largo del día.

**Tabla 4.9** Variación horaria volúmenes vehiculares carrera 7 x calle 45, en los períodos de aforo

HORA	AUTOS	TAXIS	BUSES	CAMIONES	TOTALES	EQUIVALENTES
7:00 -8:00	1784	2116	985	12	4897	5900
7:15-8:15	1814	2159	954	21	4948	5934
7:30-8:30	1818	2223	946	25	5013	5997
7:45-8:45	1809	2235	928	28	5000	5970



PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES AL PROBLEMA DE CONGESTIÓN VEHICULAR Y PEATONAL EN EL TRAMO DE LA CARRERA 7 ENTRE CALLES 39 Y 45.

---

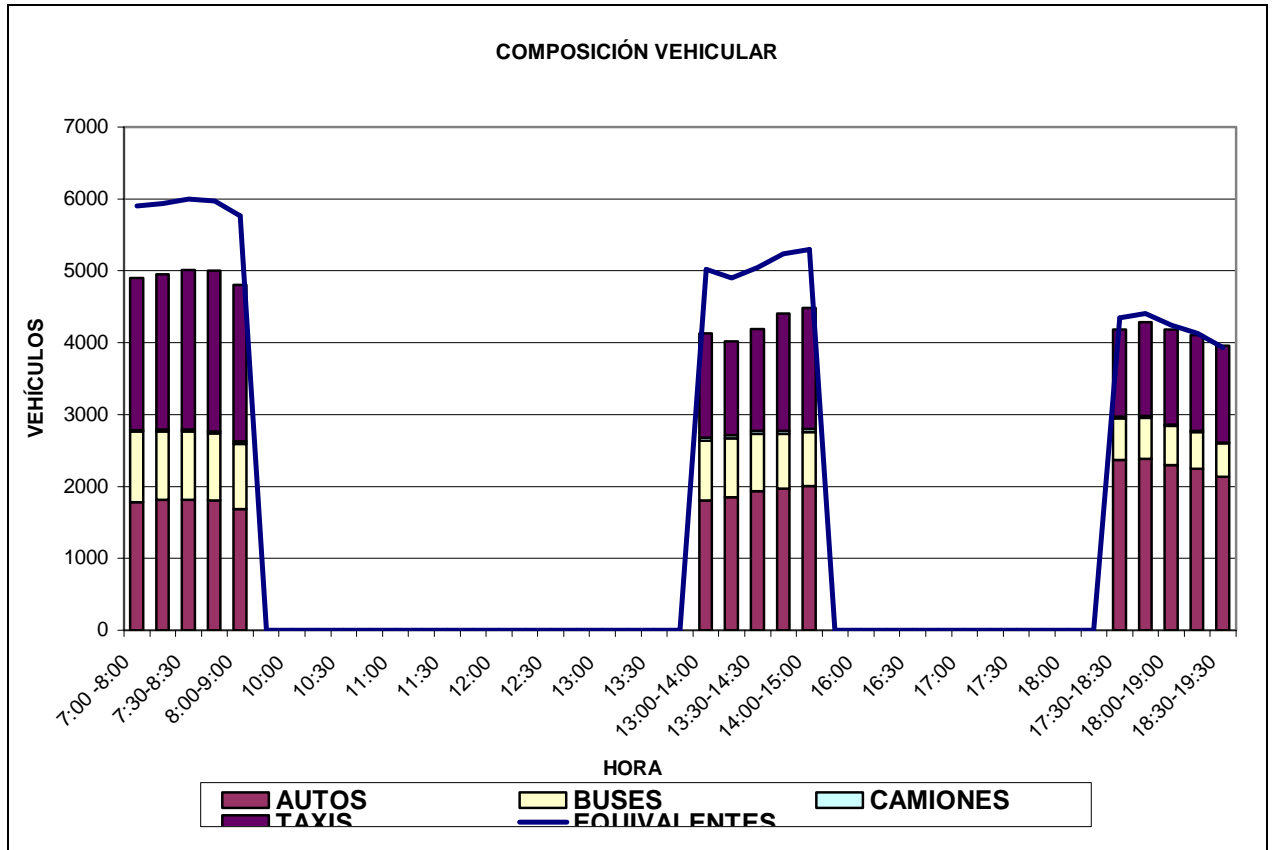
---

<b>8:00-9:00</b>	1686	2184	909	31	4809	5765
<b>9:00-13:00</b>						
<b>13:00-14:00</b>	1809	1455	824	43	4132	5021
<b>13:15-14:15</b>	1853	1301	813	48	4016	4901
<b>13:30-14:30</b>	1939	1424	789	41	4194	5046
<b>13:45-14:45</b>	1972	1635	760	43	4410	5234
<b>14:00-15:00</b>	2005	1687	748	44	4485	5300
<b>15:00-17:30</b>						
<b>17:30-18:30</b>	2370	1210	579	25	4185	4348
<b>17:45-18:45</b>	2385	1303	573	22	4283	4405
<b>18:00-19:00</b>	2297	1316	546	22	4181	4246
<b>18:15-19:15</b>	2243	1333	516	17	4109	4132
<b>18:30-19:30</b>	2131	1349	467	13	3961	3935

Fuente: Elaboración propia



**Gráfica 4.10** Variación horaria volúmenes vehiculares carrera 7 x calle 45



Fuente: Elaboración propia

Para determinar la variación vehicular durante la hora pico de cada uno de los períodos de aforo, se calculó el F.H.P. de los mismos; los resultados se muestran en la **Tabla 4.10**.



**Tabla 4.10** Cálculo factor hora punta de la Kra 7 x calle 45.

HORA INICIAL	HORA FINAL	TOTAL	FHP
7:00	7:15	1455	
7:15	7:30	1400	
<b>7:30</b>	<b>7:45</b>	<b>1475</b>	
<b>7:45</b>	<b>8:00</b>	<b>1571</b>	0,94
<b>8:00</b>	<b>8:15</b>	<b>1489</b>	0,94
<b>8:15</b>	<b>8:30</b>	<b>1463</b>	<b>0,95</b>
8:30	8:45	1448	0,95
8:45	9:00	1365	0,97
9:00	13:00	--	--
13:00	13:15	1297	
13:15	13:30	1205	
13:30	13:45	1380	
13:45	14:00	1312	0,94
<b>14:00</b>	<b>14:15</b>	1351	0,95
<b>14:15</b>	<b>14:30</b>	1321	0,97
<b>14:30</b>	<b>14:45</b>	1369	0,98
<b>14:45</b>	<b>15:00</b>	<b>1299</b>	<b>0,98</b>
15:00	17:30	--	--
17:30	17:45	985	
<b>17:45</b>	<b>18:00</b>	1112	
<b>18:00</b>	<b>18:15</b>	1110	
<b>18:15</b>	<b>18:30</b>	1166	0,94
<b>18:30</b>	<b>18:45</b>	<b>1041</b>	<b>0,95</b>
18:45	19:00	952	0,92
19:00	19:15	991	0,89
19:15	19:30	974	0,95

Se observa en la **Tabla 4.10** que los F.H.P. no fueron menores de 0,95 para ninguno de los períodos de aforo, lo que indica un alto grado de homogeneidad en los volúmenes vehiculares a lo largo de la hora pico de los mismos. Así mismo se aprecia que el mayor F.H.P. se presentó en la tarde, lo que indica una menor variación del tráfico a esta hora.

## 4.2 Componente de transporte público individual

El diagnóstico del componente de transporte público individual está basado en la toma de información primaria realizada a través de los estudios de ocupación



visual, los cuales se realizaron en los dos sentidos de la vía. Estos aforos se realizaron en la Kra 7 con calles 39 y 45, el día martes 3 de mayo de 2005.

La información que se obtuvo de los aforos de ocupación visual en vehículos de transporte público individual, se organizó por sentido de flujo de forma que se pueda comparar lo que ocurre en las dos intersecciones semaforizadas que se encuentran a la entrada y la salida del tramo, para poder intuir lo que está ocurriendo en el mismo. A continuación se pueden observar los resultados obtenidos.

#### 4.2.1 Ocupación transporte público individual, sentido sur – norte.

En cuanto al sentido Sur – Norte, se va a analizar primero la intersección de la Kra 7 x Calle 39, que es por la que entran al tramo de estudio los vehículos en este sentido.

- **Intersección Kra 7 x Calle 39.**

En la **Tabla 4.11** se puede apreciar la ocupación que presentaron los vehículos de transporte público individual durante la hora pico.

**Tabla 4.11** Nivel de ocupación transporte público individual en la hora crítica, Kra 7 x calle 39 sentido sur – norte

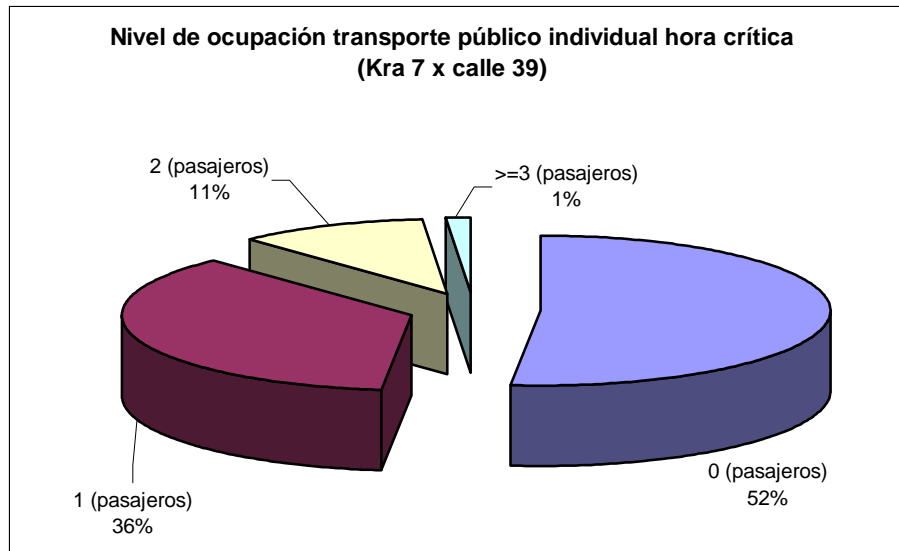
Período	Nivel de Ocupación				Total
	0 (pasajeros)	1 (pasajeros)	2 (pasajeros)	>=3 (pasajeros)	
7:00 - 7:15	87	63	8	2	160
7:15 - 7:30	88	48	16	2	154
7:30 - 7:45	82	70	43	2	197
7:45 - 8:00	106	74	8	3	191
<b>Total</b>	<b>363</b>	<b>255</b>	<b>75</b>	<b>9</b>	<b>702</b>

Fuente: Elaboración propia

La anterior tabla muestra que en la intersección de la Kra 7 x Calle 39 en sentido Sur – Norte durante la hora pico, es mayor la cantidad de taxis que van sin pasajeros, excepto entre 7:30 y 7:45, que es a su vez el período donde se presenta un mayor flujo de este tipo de vehículos (197 vehículos), siendo bastante alto también para el período entre 7:45 y 8:00 (191 vehículos). Durante la hora de aforo, se contabilizaron 702 vehículos de transporte público individual, de los cuales 363 (un poco más de la mitad) iban desocupados. De los restantes 339, 255 transportaban un solo pasajero, 75 dos pasajeros y 9 tres o más pasajeros.

En la **Gráfica 4.11** se observan estos datos, presentados como porcentajes del total de vehículos aforados durante la hora que se realizó el estudio.

**Gráfica 4.11** Nivel de ocupación transporte público individual en la hora crítica, Kra 7 x calle 39 sentido sur norte



Fuente: Elaboración propia

En la **Gráfica 4.11** se aprecia de forma más clara lo que se muestra en la **Tabla 4.9**; la mayoría de los taxis que entran al tramo en sentido Sur – Norte, llegan desocupados durante la hora pico (52%), mientras que el 48% restante se distribuye de la siguiente forma: 36% con un solo pasajero, 11% con dos pasajeros y 1% con 3 o más pasajeros.

- **Intersección Kra 7 x Calle 45.**

En la **Tabla 4.12** se puede apreciar la ocupación que presentaron los vehículos de transporte público individual durante la hora pico.



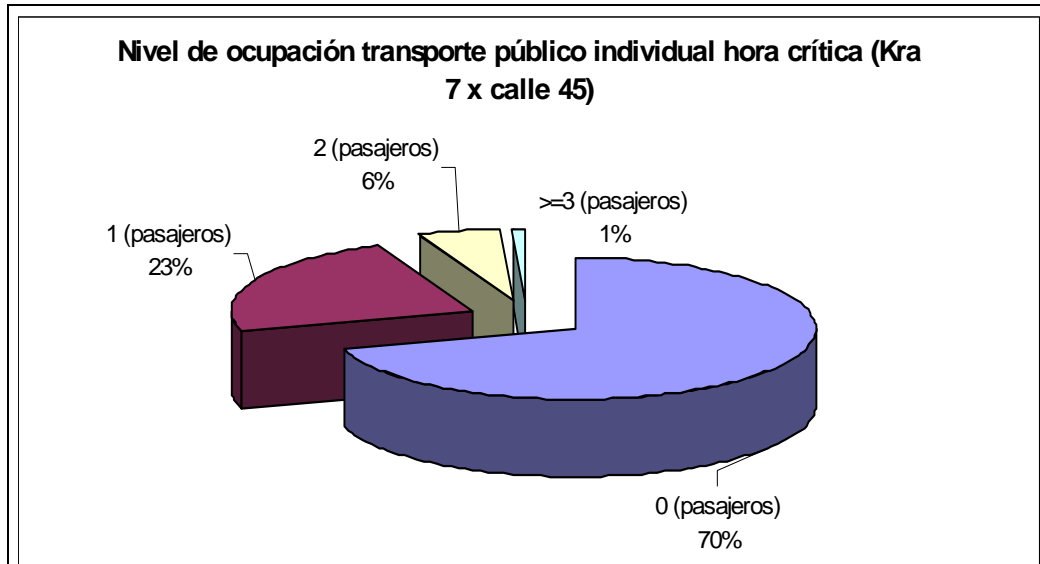
**Tabla 4.12** Nivel de ocupación transporte público individual en la hora crítica, Kra 7 x calle 45 sentido sur – norte

Período	Nivel de Ocupación				Total
	0 (pasajeros)	1 (pasajeros)	2 (pasajeros)	>=3 (pasajeros)	
7:00 - 7:15	122	39	5	1	167
7:15 - 7:30	110	35	9	1	155
7:30 - 7:45	134	45	15	2	196
7:45 - 8:00	135	44	10	2	191
<b>Total</b>	<b>501</b>	<b>163</b>	<b>39</b>	<b>6</b>	<b>709</b>

Fuente: Elaboración propia

La anterior tabla muestra que en la intersección de la Kra 7 x Calle 45 en sentido Sur – Norte durante la hora pico, es mayor la cantidad de taxis que van sin pasajeros. A su vez se puede apreciar que el período donde se presenta una mayor cantidad de taxis es el comprendido entre las 7:30 y las 7:45 (196 vehículos), siendo bastante alto también entre 7:45 y 8:00 (191 vehículos). Durante la hora de aforo, se contabilizaron 709 vehículos de transporte público individual, 7 más que en la intersección de la Kra 7 x Calle 39, esto debido a que por realizar los conteos al mismo tiempo, los vehículos que se contabilizan al inicio del período de aforo a la salida del tramo no alcanzaron a ser contabilizados al inicio del tramo, y los últimos en ser contabilizados a la entrada al tramo, llegaron a la salida en el siguiente período de aforo; sin embargo estos valores se compensan y por eso se aprecian valores muy similares. De los 709 vehículos que se contabilizaron, 501 (casi  $\frac{3}{4}$  del total) iban desocupados; de los restantes 208, 163 transportaban un solo pasajero, 39 dos pasajeros y 6 tres o más pasajeros. En la **Gráfica 4.12** se observan estos datos, presentados como porcentajes del total de vehículos aforados durante la hora que se realizó el estudio.

**Gráfica 4.12** Nivel de ocupación transporte público individual en la hora crítica, Kra 7 x calle 45 sentido sur norte



Fuente: Elaboración propia

En la **Gráfica 4.10** se aprecia de forma más clara lo que se muestra en la **Tabla 4.10**; la mayoría de los taxis que salen del tramo en sentido Sur – Norte durante la hora pico, lo hacen desocupados (70%), mientras que el 30% restante se distribuye de la siguiente forma: 23% con un solo pasajero, 6% con dos pasajeros y 1% con 3 o más pasajeros.

- **Análisis del tramo en el sentido Sur – Norte.**

Teniendo la ocupación de taxis en ambas intersecciones, para el mismo período de aforo, se puede estimar con una muy buena aproximación la variación de pasajeros en el tramo. No es un valor exacto debido a que, por realizar los conteos al mismo tiempo, los vehículos que se contabilizan al inicio del período de aforo a la salida del tramo no alcanzaron a ser contabilizados al inicio del tramo, y los últimos en ser contabilizados a la entrada al tramo, llegaron a la salida en el siguiente período de aforo. Además para determinar la cantidad de pasajeros se multiplicó la cantidad de taxis de cada categoría (1,2 y  $\geq 3$  pasajeros) por la cantidad de pasajeros que llevaban, presentándose un problema para la categoría de 3 o más pasajeros por no tener la certeza de si son 3 o 4. Sin embargo, por presentarse tan bajos valores en esta categoría, sumado esto a la pequeña incertidumbre generada por las diferencias en los aforos por la distancia entre las intersecciones que se aforaban (que no son muy grandes, ya que se compensan),





se considera como se dijo anteriormente que se tiene una muy buena aproximación. Los resultados obtenidos se presentan en la **Tabla 4.13**.

**Tabla 4.13** Variación de pasajeros de transporte público individual en el tramo, sentido sur norte en la hora crítica

Período	Pasajeros de taxi Kra 7 x Calle 39	Pasajeros de taxi Kra 7 x Calle 45	Variación de Pasajeros de taxi en el Tramo
7:00 - 7:15	85	52	33
7:15 - 7:30	86	56	30
7:30 - 7:45	162	81	81
7:45 - 8:00	99	70	29
<b>Total</b>	<b>432</b>	<b>259</b>	<b>173</b>

Fuente: Elaboración propia<sup>49</sup>

En la **Tabla 4.13** se muestra que durante toda la hora pico hubo una disminución de los pasajeros de taxi en el tramo, lo que significa que al mismo están llegando muchos más pasajeros que los que se van. La llegada de pasajeros tiene un comportamiento casi constante durante el período de aforo (aproximadamente 30 pasajeros/15 min) excepto entre las 7:30 y las 7:45, que se puede apreciar la llegada de 81 pasajeros del medio de transporte citado.

En la **Tabla 4.14**, se presenta la cantidad de taxis ocupados y desocupados que hay en ambas intersecciones, para determinar la variación que se produce en el tramo, y tener un orden de magnitud de la cantidad de paradas que se llevan a cabo en el sector (obviamente el número de paradas será mayor o igual que la variación, ya que el hecho que se presente cierta variación, por ejemplo más taxis desocupados no significa que todas las paradas se realicen para dejar pasajeros, sino que seguramente se realizan paradas tanto para dejar como para recoger pasajeros, y en las mediciones en las intersecciones tan solo queda consignada la diferencia entre las dos actividades).

<sup>49</sup>Los valores positivos indican que se presentó una menor cantidad de pasajeros a la salida del tramo (Kra 7 x Calle 39) que a la entrada del mismo (Kra 7 x Calle 45). Los valores negativos tienen el significado contrario.



**Tabla 4.14** Tasa de ocupación y/o desocupación de taxis en el tramo, sentido sur norte en la hora crítica.

Período	Kra 7 x Calle 39		Kra 7 x Calle 45		Variación de taxis desocupados	Variación de taxis ocupados
	Taxis Desocupados	Taxis Ocupados	Taxis Desocupados	Taxis Ocupados		
7:00 - 7:15	87	73	122	45	-35	28
7:15 - 7:30	88	66	110	45	-22	21
7:30 - 7:45	82	115	134	62	-52	53
7:45 - 8:00	106	85	135	56	-29	29
<b>Total</b>	<b>363</b>	<b>339</b>	<b>501</b>	<b>208</b>	<b>-138</b>	<b>131</b>

Fuente: Elaboración propia<sup>50</sup>

Como se puede apreciar en la **Tabla 4.14**, a lo largo de toda la hora pico se presenta en el tramo una disminución en la cantidad de taxis que transportan pasajeros (taxis ocupados). Lo anterior significa que a esta hora es la actividad de dejar pasajeros a lo largo del tramo es la predominante. Análogamente a lo que se encontró en la **Tabla 4.11**, esta variación resultó poco variable a lo largo de toda la hora pico, a excepción del período entre las 7:30 y las 7:45 donde se presentó un pico. Como se puede apreciar, la variación de taxis desocupados no resulta igual que la variación de taxis ocupados, debido a que como se ha explicado anteriormente estas mediciones no permiten tener un valores exactos de lo que está ocurriendo en el tramo, pero si se tienen valores muy aproximados como se observa en las 2 últimas columnas de la tabla.

#### 4.2.2 Ocupación transporte público individual, sentido norte – sur

En cuanto al sentido Norte - Sur, se va a analizar primero la intersección de la Kra 7 x Calle 45, debido a que los vehículos entran al tramo de estudio por la misma.

- **Intersección Kra 7 x Calle 45.**

En la **Tabla 4.15** se puede apreciar la ocupación que presentaron los vehículos de transporte público individual durante la hora pico.

<sup>50</sup>Los valores positivos indican que se presentó una mayor cantidad de taxis a la salida del tramo (Kra 7 x Calle 39) que a la entrada del mismo (Kra 7 x Calle 45). Los valores negativos tienen el significado contrario.



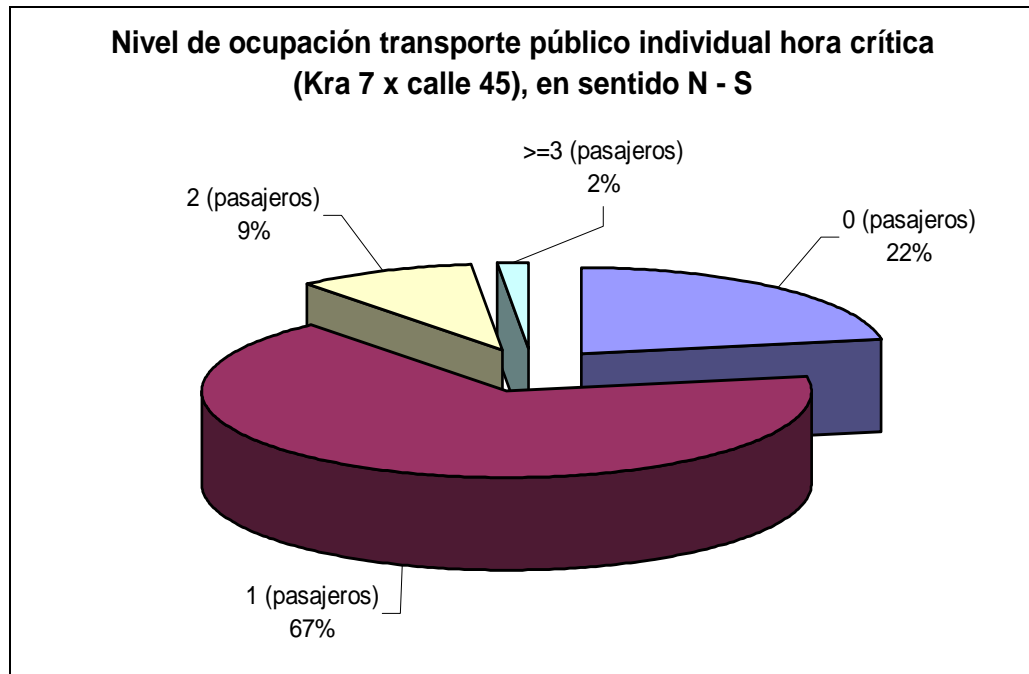
**Tabla 4.15** Nivel de ocupación transporte público individual en la hora crítica, Kra 7 x calle 45 sentido norte – sur.

Período	Nivel de ocupación				Total
	0 (pasajeros)	1 (pasajeros)	2 (pasajeros)	>=3 (pasajeros)	
7:15 - 7:30	46	95	12	1	154
7:30 - 7:45	44	89	14	3	150
7:45 - 8:00	33	122	14	6	175
8:00 - 8:15	25	138	22	2	187
<b>Total</b>	<b>147</b>	<b>445</b>	<b>62</b>	<b>12</b>	<b>666</b>

Fuente: Elaboración propia

La anterior tabla muestra que en la intersección de la Kra 7 x Calle 45 en sentido Norte – Sur durante la hora pico, es mayor la cantidad de taxis que llevan pasajeros que los desocupados. Así mismo se puede apreciar que el mayor flujo de este tipo de vehículos (187) se presenta entre las 7:45 y 8:00, siendo bastante alto también para el período entre las 7:30 y las 7:45 (175). Durante la hora de aforo, se contabilizaron 666 vehículos de transporte público individual, de los cuales 147 iban desocupados. De los restantes 519, 445 transportaban un solo pasajero, 62 dos pasajeros y 12 tres o más pasajeros. En la **Gráfica 4.13** se observan estos datos, presentados como porcentajes del total de vehículos aforados durante la hora que se realizó el estudio.

**Gráfica 4.13** Nivel de ocupación transporte público individual en la hora crítica, Kra 7 x calle 45 sentido norte – sur



Fuente: Elaboración propia

En la **Gráfica 4.13** se aprecia de forma más clara lo que se muestra en la **Tabla 4.15**; hay un bajo porcentaje de taxis que llegan desocupados durante la hora pico en sentido Norte – Sur, (22%), mientras que el 78% restante se distribuye de la siguiente forma: 67% con un solo pasajero, 9% con dos pasajeros y 2% con 3 o más pasajeros.

- **Intersección Kra 7 x Calle 39.**

En la **Tabla 4.16** se puede apreciar la ocupación que presentaron los vehículos de transporte público individual durante la hora pico.



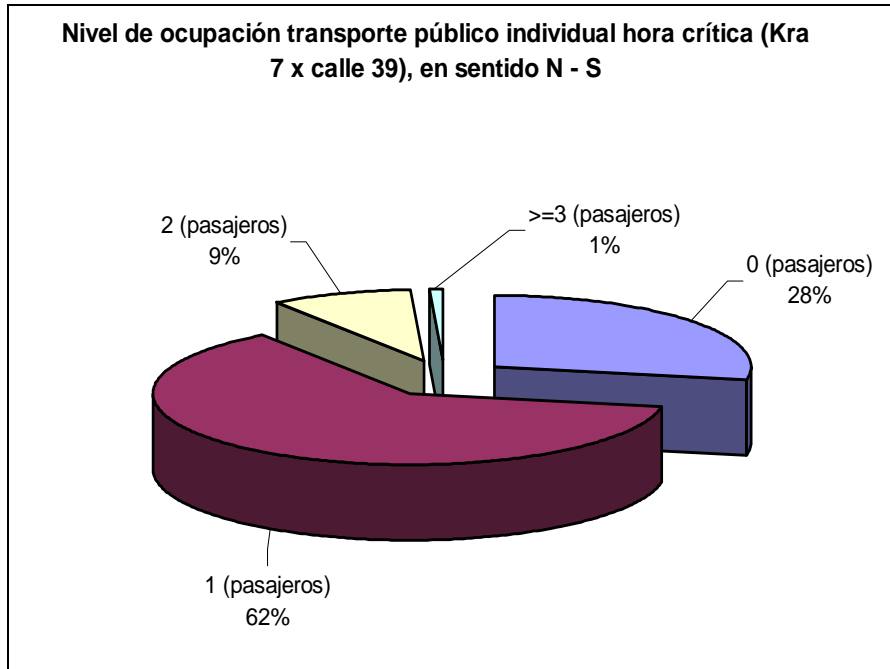
**Tabla 4.16** Nivel de ocupación transporte público individual en la hora crítica, Kra 7 x calle 39 sentido norte – sur

Período	Nivel de ocupación				Total
	0 (pasajeros)	1 (pasajeros)	2 (pasajeros)	>=3 (pasajeros)	
7:15 - 7:30	58	84	12	1	154
7:30 - 7:45	54	85	14	1	153
7:45 - 8:00	38	115	17	5	174
8:00 - 8:15	38	130	17	0	186
<b>Total</b>	<b>187</b>	<b>414</b>	<b>59</b>	<b>6</b>	<b>667</b>

Fuente: Elaboración propia

La anterior tabla muestra que en la intersección de la Kra 7 x Calle 39 en sentido Norte – Sur durante la hora pico, es mayor la cantidad de taxis que llevan pasajeros que los desocupados. Así mismo se puede apreciar que el mayor flujo de este tipo de vehículos (186) se presenta entre las 8:00 y 8:15, siendo bastante alto también para el período entre las 7:45 y las 8:00 (174). Durante la hora de aforo, se contabilizaron 667 vehículos de transporte público individual, de los cuales 187 iban desocupados. De los restantes 480, 414 transportaban un solo pasajero, 59 dos pasajeros y 6 tres o más pasajeros. En la **Gráfica 4.12** se observan estos datos, presentados como porcentajes del total de vehículos aforados durante la hora que se realizó el estudio.

**Gráfica 4.14** Nivel de ocupación transporte público individual en la hora crítica, Kra 7 x calle 39 sentido norte – sur



Fuente: Elaboración propia

En la **Gráfica 4.14** se aprecia de forma más clara lo que se muestra en la **Tabla 4.16**; hay un bajo porcentaje de taxis que llegan desocupados durante la hora pico en sentido Norte – Sur, (28%), mientras que el 72% restante se distribuye de la siguiente forma: 62% con un solo pasajero, 9% con dos pasajeros y 1% con 3 o más pasajeros.

- **Análisis del tramo en el sentido Norte – Sur.**

Teniendo la ocupación de taxis en ambas intersecciones, para el mismo período de aforo, se puede estimar con una muy buena aproximación la variación de pasajeros en el tramo. No es un valor exacto por las mismas razones que se mencionaron en el análisis del tramo en el sentido Sur – Norte. A esto se le suma que en este sentido se tienen calles accesos al tramo que permiten entrada y salida de vehículos, las cuales no estarían siendo tenidas en cuenta dada la forma en que se realizaron los conteos. Sin embargo se esperan buenas aproximaciones a lo que ocurre en el tramo, debido a los bajos flujos que se han observado en estos accesos. Los resultados obtenidos se presentan en la **Tabla 4.17**.



**Tabla 4.17** Variación de pasajeros de transporte público individual en el tramo, sentido norte – sur en la hora crítica

Período	Pasajeros Kra 7 x Calle 45	Pasajeros Kra 7 x Calle 39	Variación de Pasajeros en el Tramo
7:15 - 7:30	122	110	11
7:30 - 7:45	127	114	13
7:45 - 8:00	168	163	5
8:00 - 8:15	189	164	25
<b>Total</b>	<b>606</b>	<b>552</b>	<b>54</b>

Fuente: Elaboración propia<sup>51</sup>

En la **Tabla 4.17** se muestra que durante toda la hora pico hubo una disminución de los pasajeros de taxi en el tramo, lo que significa que están llegando más pasajeros de los que se van. Se puede apreciar que al tramo entran aproximadamente 606 pasajeros y salen 552, lo que muestra que existe una variación de pasajeros de 54 durante la hora de aforo.

En la **Tabla 4.18**, se presenta cuantos taxis ocupados y desocupados hay en ambas intersecciones, para determinar la variación que se produce en el tramo, y tener un orden de magnitud de la cantidad de paradas que se llevan a cabo en el sector; obviamente el número de paradas será mayor o igual que la variación, debido a que el hecho que se presente cierta variación, por ejemplo más taxis desocupados, no significa que todas las paradas se realicen para dejar pasajeros, sino que seguramente se realizan paradas tanto para dejar como para recoger pasajeros, y en las mediciones en las intersecciones solo queda consignada la diferencia entre las dos actividades.

<sup>51</sup>Los valores positivos indican que se presentó una menor cantidad de pasajeros a la salida del tramo (Kra 7 x Calle 39) que a la entrada del mismo (Kra 7 x Calle 45). Los valores negativos tienen el significado contrario.



**Tabla 4.18** Tasa de ocupación y/o desocupación de taxis en el tramo, sentido norte – sur en la hora crítica.

Período	Kra 7 x Calle 45		Kra 7 x Calle 39		Variación de taxis desocupados	Variación de taxis ocupados
	Taxis Desocupados	Taxis Ocupados	Taxis Desocupados	Taxis Ocupados		
7:15 - 7:30	46	108	58	97	-12	11
7:30 - 7:45	44	106	54	99	-10	7
7:45 - 8:00	33	142	38	137	-5	6
8:00 - 8:15	25	162	38	147	-14	15
<b>Total</b>	147	519	187	480	-40	39

Fuente: Elaboración propia<sup>52</sup>

Como se puede apreciar en la **Tabla 4.18**, a lo largo de toda la hora pico se presenta en el tramo una disminución en la cantidad de taxis que transportan pasajeros (taxis ocupados). Lo anterior significa que a esta hora, la actividad de dejar pasajeros es la predominante. Como se puede observar, es mayor la cantidad de taxis desocupados saliendo del tramo que entrando al mismo, lo que se traduce en paradas a dejar pasajeros; esto se corrobora observando la variación de taxis ocupados, donde se aprecia una disminución a la salida del tramo con respecto a la entrada, de un orden de magnitud muy similar a la variación de taxis ocupados, lo que lleva a pensar que esta variación no se está produciendo por entradas y salidas de taxis en las calles accesos al tramo, sino por las paradas que se realizan para dejar pasajeros.

Esta variación resultó poco variable a lo largo de toda la hora aforada, a excepción del período entre las 7:30 y las 7:45 donde se presentó un pico. Como se puede apreciar, la variación de taxis desocupados no resulta igual que la variación de taxis ocupados, debido a que como se ha explicado anteriormente estas mediciones no permiten tener valores exactos de lo que está ocurriendo en el tramo, pero si se tienen valores muy aproximados como se observa en las 2 últimas columnas de la tabla.

### 4.3 Componente de transporte público

#### 4.3.1 Oferta de Transporte

La oferta de transporte público colectivo sobre la Kra 7, varía significativamente entre los sentidos de circulación. La situación anterior tiene su explicación en que muchas de las rutas que utilizan dicha avenida, tienen asignado en su recorrido

<sup>52</sup>Los valores positivos indican que se presentó una mayor cantidad de taxis a la salida del tramo (Kra 7 x Calle 39) que a la entrada del mismo (Kra 7 x Calle 45). Los valores negativos tienen el significado contrario.





sur-norte la misma, pero para el sentido contrario lo realizan a través de la Carrera 13.

- **Sentido Sur – Norte.**

En el sentido Sur – Norte circulan entre 438 y 681 vehículos de transporte público colectivo / hora durante el período de estudio, (Ver **Tablas 4.19 y 4.20**).

**Tabla 4.19** Vehículos de transporte público / hora en los períodos de estudio, Kra 7 x calle 39, sentido sur – norte

Período	Ejecutivo	Corriente	Buseta	Colectivo Pequeño	Colectivo grande	Total
7:00 - 8:00	200	44	272	41	65	622
8:00 - 9:00	223	39	287	46	57	652
9:00 - 13:00						
13:00 - 14:00	159	50	220	35	29	493
14:00 - 15:00	176	72	223	30	49	550
15:00 - 17:30						
17:30 - 18:30	162	36	200	32	60	490
18:30 - 19.30	153	26	162	43	54	438

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.20** Vehículos de transporte público colectivo / hora en los períodos de estudio, Kra 7 x calle 45, sentido sur – norte

Período	Ejecutivo	Corriente	Buseta	Colectivo Pequeño	Colectivo grande	Total
7:00 - 8:00	133	91	287	54	33	598
8:00 - 9:00	229	52	283	60	57	681
9:00 - 13:00						
13:00 - 14:00	182	45	239	53	39	558
14:00 - 15:00	211	40	246	48	40	585
15:00 - 17:30						
17:30 - 18:30	203	30	207	32	37	509
18:30 - 19.30	182	24	165	57	33	461

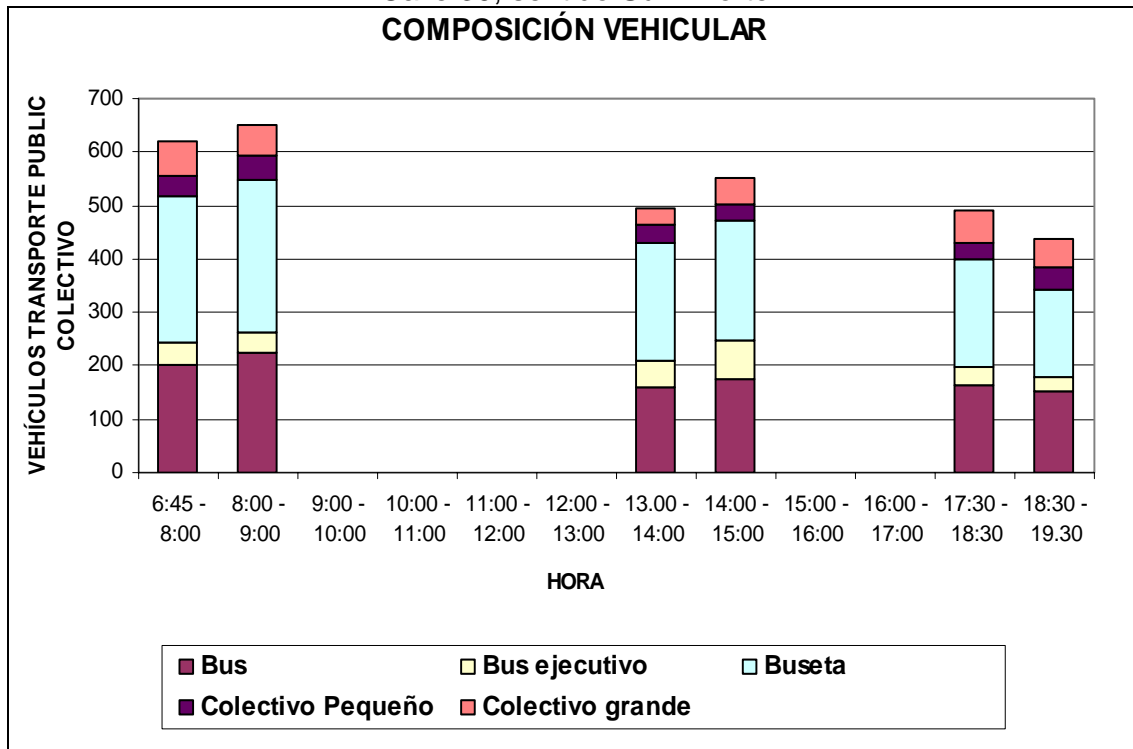
Fuente: Elaboración propia

En la **Gráfica 4.15** se aprecia que la composición vehicular en la Kra 7 x Calle 39 no varía de manera significativa para los diferentes períodos, por lo que no se



considera necesario hacer la distinción de los diferentes períodos de aforo, sino que se pueden determinar los porcentajes teniendo en cuenta la totalidad de los vehículos aforados, a manera de tener un orden de magnitud de lo que está ocurriendo en la intersección.

**Grafica 4.15** Composición vehicular de transporte público colectivo en Kra 7 x Calle 39, sentido Sur- Norte

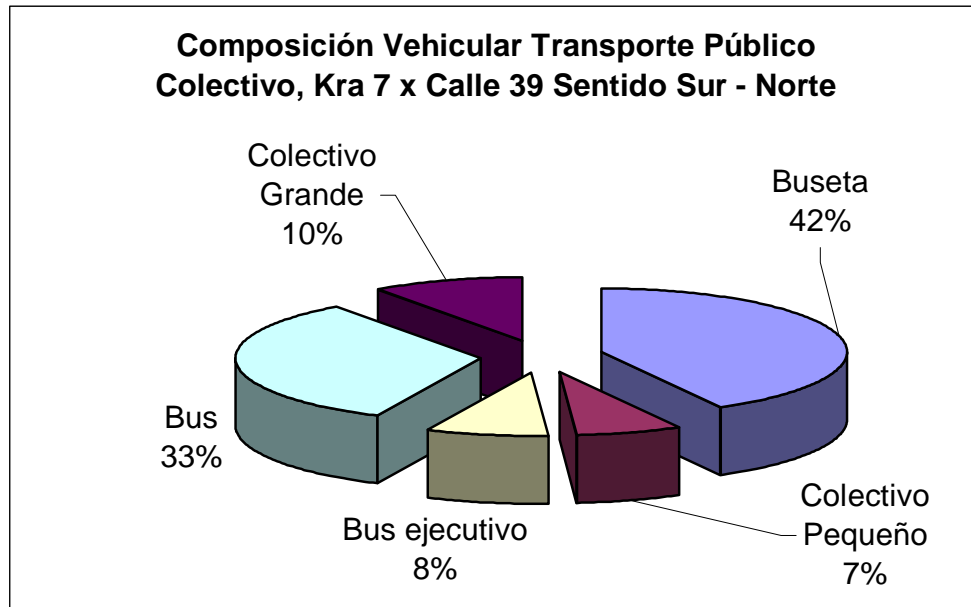


Fuente: Elaboración propia

Para tener un orden de magnitud de la composición vehicular del transporte público colectivo, se presenta la **Gráfica 4.16**, elaborada con la totalidad de los vehículos, por considerarse que la variación de la composición es mínima entre los diferentes períodos de aforo.



**Gráfica 4.16.** Composición vehicular transporte público colectivo. Kra 7 x calle 39 sentido sur – norte, en los períodos de aforo

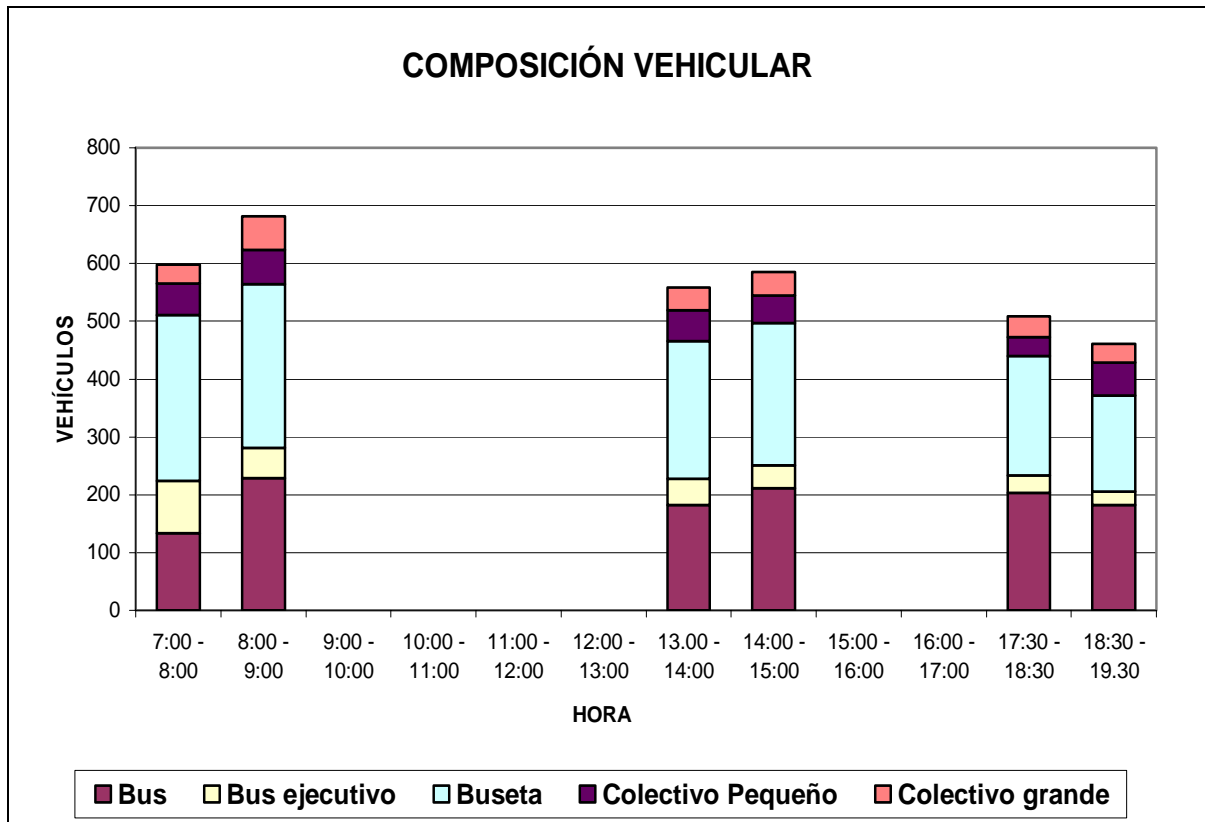


Fuente: Elaboración propia

Se observa en este sentido un alto porcentaje de vehículos de transporte público colectivo con alta capacidad de transporte de pasajeros (buseta 42% y bus 33%), así como pocos vehículos de baja capacidad (colectivo pequeño 7%).

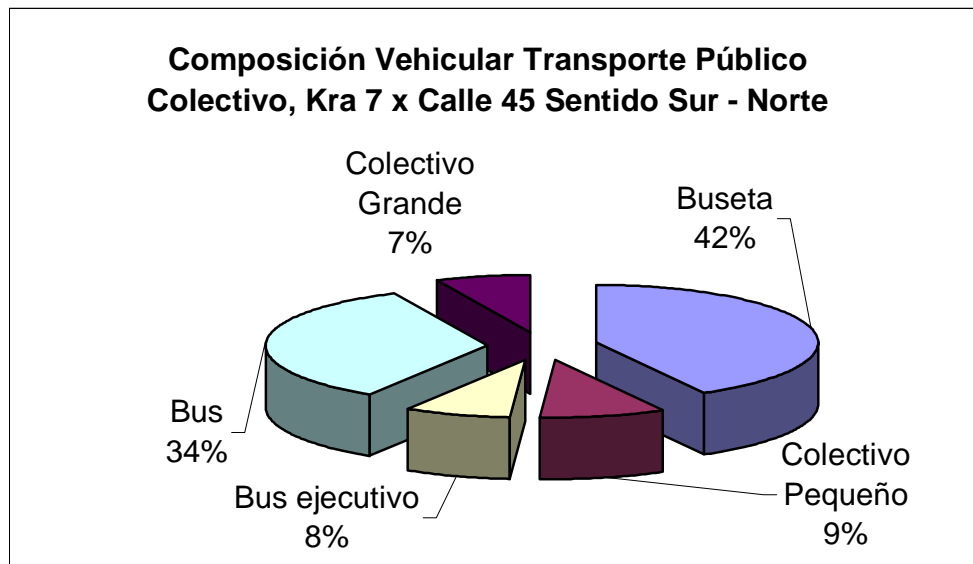


**Grafica 4.17** Composición vehicular de transporte público colectivo, Kra 7 x calle 45 sentido sur – norte



Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.18.** Composición Vehicular transporte público colectivo en la Kra 7 x calle 45 sentido sur – norte, en los períodos de aforo.



Fuente: Elaboración propia

En la Kra 7 x Calle 45 sentido Sur – Norte, se presentaron unos resultados similares a los que se obtuvieron en la Kra 7 x Calle 39 en el mismo sentido, en cuanto a volúmenes y composición vehicular del transporte público colectivo. Lo anterior debido a que no hay rutas que entren o salgan de la Kra 7 en el tramo de estudio; por lo tanto el análisis es el mismo que se realizó para la Kra 7 x Calle 39.

- **Sentido Norte – Sur.**

En el sentido norte –sur circulan entre 201 y 277 vehículos de transporte público colectivo / hora, en los períodos de aforo (Ver **Tablas 4.21 y 4.22**).

**Tabla 4.21** Vehículos de transporte público colectivo, Kra 7 x calle 39 sentido norte– sur, en los períodos de aforo

Período	Ejecutivo	Corriente	Buseta	Colectivo Pequeño	Colectivo grande	Total
7:00 - 8:00	171	5	38	13	7	234
8:00 - 9:00	169	10	41	31	3	254
9:00 - 13:00						
13.00 - 14:00	116	5	44	14	22	201
14:00 - 15:00	158	13	41	20	4	236



Fuente: Elaboración propia

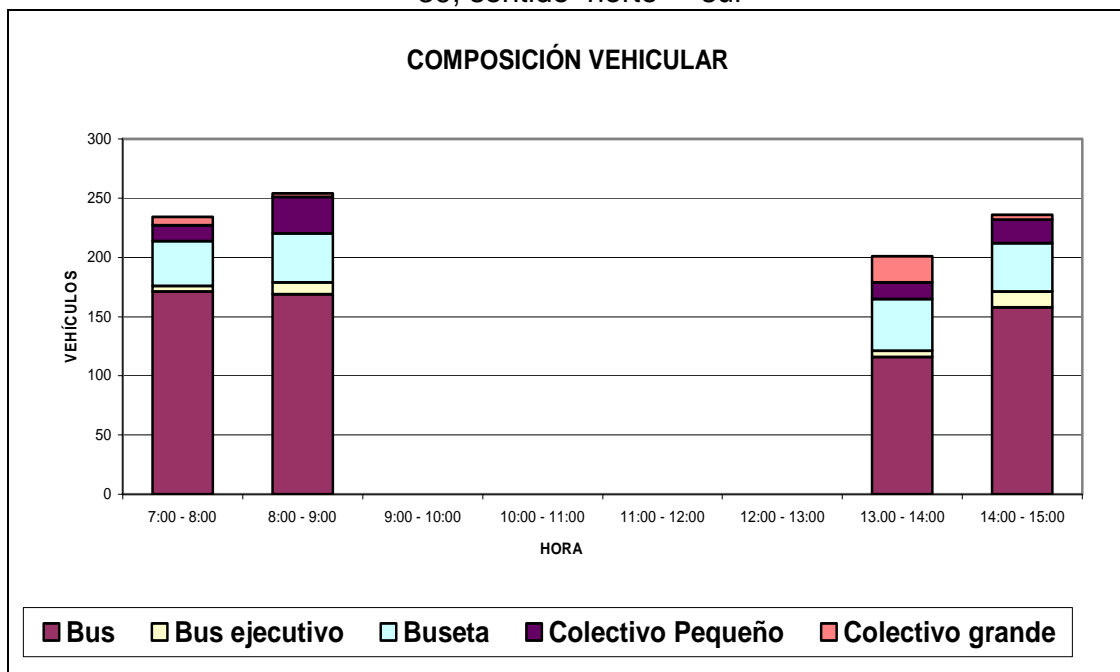
**Tabla 4.22** Vehículos de transporte público colectivo, Kra 7 x calle 45 sentido norte – sur, en los períodos de aforo

Período	Ejecutivo	Corriente	Buseta	Colectivo Pequeño	Colectivo grande	Total
7:00 - 8:00	152	15	63	16	12	258
8:00 - 9:00	152	34	46	39	6	277
9:00 - 13:00						
13:00 - 14:00	132	3	48	29	5	217
14:00 - 15:00	150	5	54	18	6	233

Fuente: Elaboración propia

En la **Gráfica 4.19** se puede apreciar que la composición vehicular en la Kra 7 x Calle 39 no varía de manera significativa para los diferentes períodos, por lo que no se considera necesario hacer la distinción de los diferentes períodos de aforo, sino que se pueden determinar los porcentajes teniendo en cuenta la totalidad de los vehículos aforados.

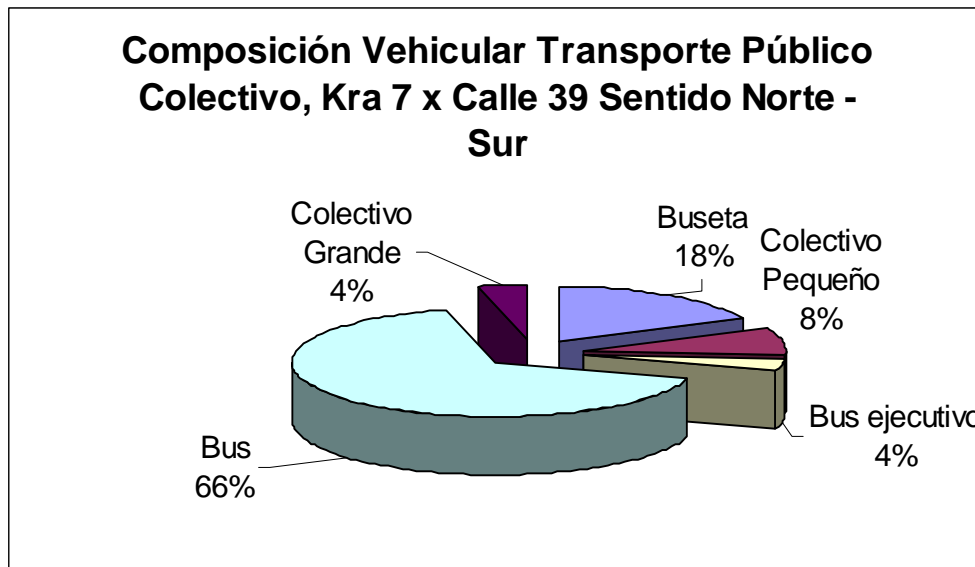
**Gráfica 4.19** Composición vehicular de transporte público colectivo, Kra 7 x calle 39, sentido norte – sur





Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.20.** Composición vehicular de transporte público colectivo, Kra 7 x calle 39 sentido norte – sur, en los períodos de aforo

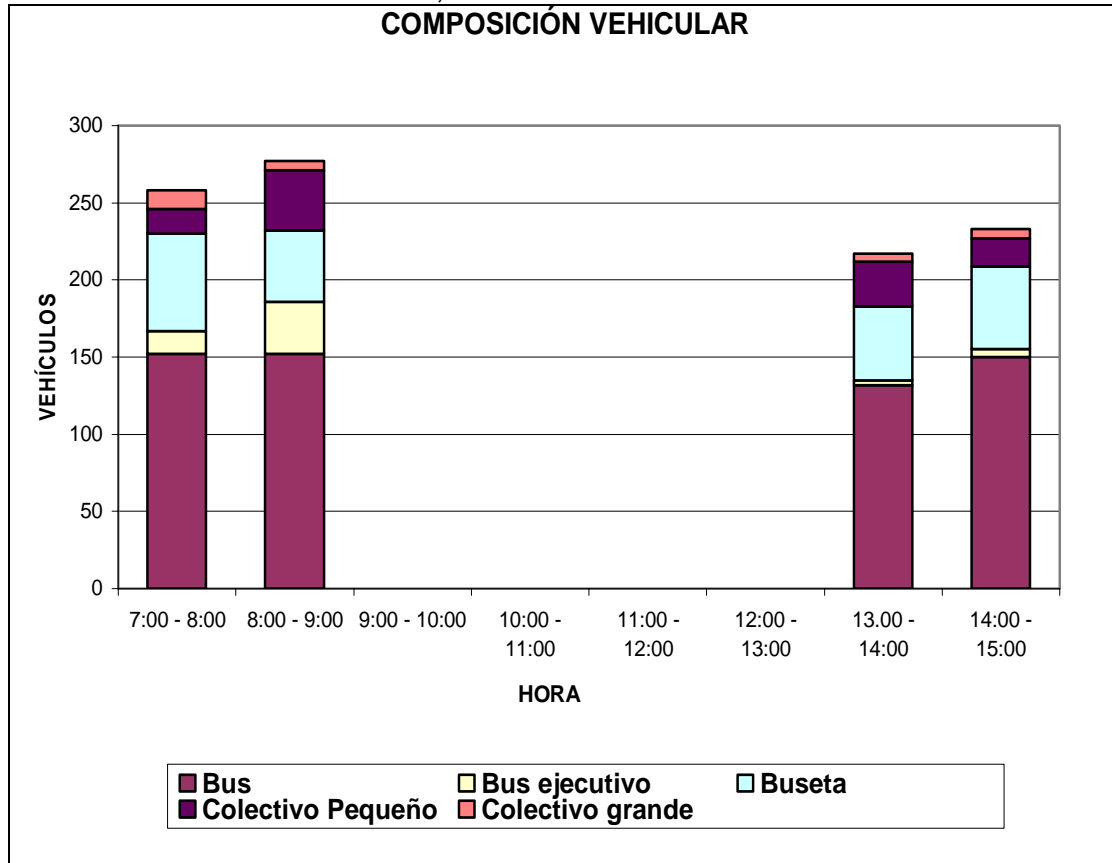


Fuente: Elaboración propia

La **Gráfica 4.20** muestra como en la Kra 7 x Calle 39 sentido Norte – Sur predominan los buses (66%), siendo también importante la presencia de busetas (18%).



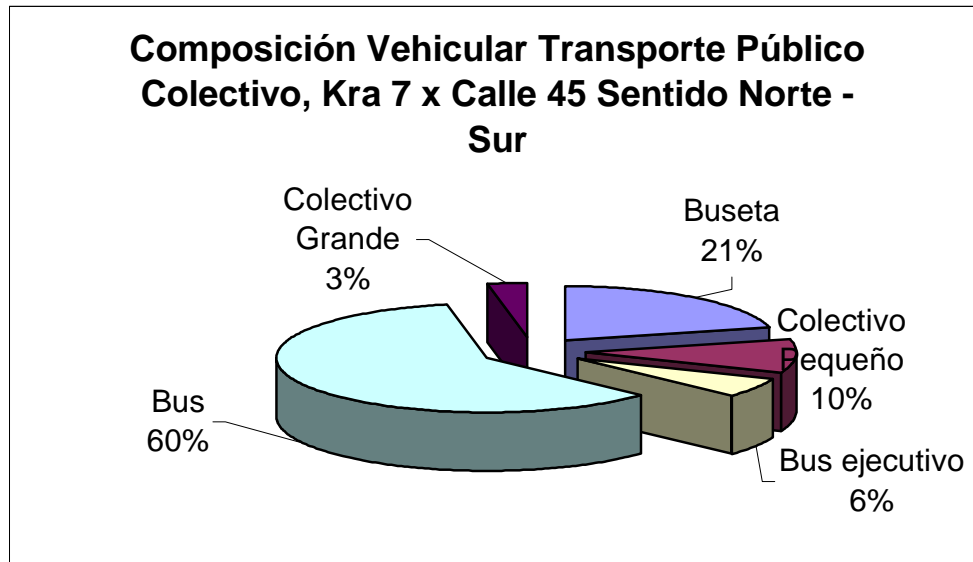
**Grafica 4.21** Composición vehicular de transporte público colectivo, Kra 7 x calle 45, sentido norte – sur.



Fuente: Elaboración propia



**Grafica 4.22** Composición vehicular de transporte público colectivo Kra 7 x calle 45, sentido norte– sur en los períodos de aforo.



Fuente: Elaboración propia

En la Kra 7 x Calle 45 sentido Norte – Sur, se presentaron unos resultados similares a los que se obtuvieron en la Kra 7 x Calle 39 en el mismo sentido, en cuanto a volúmenes y composición vehicular del transporte público colectivo. Lo anterior debido a que no hay rutas que entren o salgan de la Kra 7 del tramo de estudio; por lo tanto el análisis es el mismo que se realizó para la Kra 7 x Calle 39.

#### 4.3.2 Componente de transporte público colectivo

El diagnóstico del componente de transporte público colectivo está basado en la toma de información primaria realizada a través de los estudios de ocupación visual. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Con el fin de establecer la oferta de transporte público colectivo sobre la Kra 7, se realizaron aforos de ocupación visual a los vehículos de transporte público colectivo en los dos sentidos de la vía. Estos aforos se realizaron en la Kra 7 con calle 39 y 45, el día martes 3 de mayo de 2005.

Las encuestas de ocupación visual se realizaron en los períodos y horarios indicados en la **Tabla 4.23**, excepto para el período de la tarde en el sentido norte-sur de la Kra 7 debido a que en dicho período sobre la Kra 7 se tiene implementado el contraflujo.



**Tabla 4.23** Períodos de encuestas de ocupación visual

Período	Horario
Mañana	7:00 – 9:00
Mediodía	13:00 – 15:00
Tarde	17:30 – 19:30

Fuente: Elaboración propia

La información obtenida fue tabulada y analizada. En campo se tomó ocupación visual a vehículos de transporte público colectivo clasificados en bus, bus ejecutivo, buseta, colectivo grande y colectivo pequeño. Para efectos de establecer la capacidad de transporte y el número de pasajeros transportados, se tomaron los valores de capacidad y ocupación promedio de acuerdo al nivel de ocupación. Los niveles de ocupación van de la letra A a la letra E, siendo A un nivel de ocupación óptimo y E un nivel de ocupación saturado.

**Tabla 4.24** Capacidad y número de pasajeros transportados en vehículos de servicio público colectivo, de acuerdo al nivel de ocupación.

	Capacidad Pasajeros	Nivel de ocupación (Pasajeros)				
		A	B	C	D	E
Bus	70	8,4	25,9	43,4	70,0	84,0
Bus Ejecutivo	45	5,4	16,7	27,9	45,0	54,0
Buseta	38	4,6	14,1	23,6	38,0	45,6
Colectivo pequeño	13	1,6	4,8	8,1	13,0	15,6
Colectivo grande	18	2,2	6,7	11,2	18,0	21,6

Fuente: PLAN DE REGULACIÓN Y MANEJO, Coordinación General Pontificia Universidad Javeriana.

En la **Tabla 4.25** y en la **Tabla 4.26** se muestran los resultados de la estimación de pasajeros transportados en la Kra 7 entre calles 39 y 45 y el cálculo de la capacidad ofrecida por el transporte público para cada una de las calzadas. De estos resultados se destaca la mayor oferta de transporte de pasajeros para el sentido sur-norte que alcanza los 28.019 pasajeros / hora mientras que el sentido norte-sur sólo alcanza 14.533 pasajeros / hora. Por otra parte, se tienen índices de ocupación bajo, ya que en el mejor de los casos la mayor relación volumen / capacidad encontrada fue de 0,63 (sentido sur-norte entre 7:00 y 8:00).



Se puede observar también que la variación de pasajeros en el tramo es muy diferente dependiendo del sentido de circulación. En el sentido Sur – Norte se tiene una clara tendencia a que se disminuya el número de pasajeros, mientras que en el sentido Norte – Sur, la tendencia es a que se incremente el número de pasajeros.

**Tabla 4.25** Oferta y demanda de transporte público colectivo, Kra 7 sentido sur-norte

Período	Kra 7 x Calle 39			Kra 7 x Calle 45			Variación Pasajeros
	Pasajeros	Capacidad	v/c	Pasajeros	Capacidad	v/c	
7:00 - 8:00	17.531	28.019	0,63	16.027	25.607	0,63	-1.504
8:00 - 9:00	14.679	29.895	0,49	17.356	30.930	0,56	2.677
9:00 - 13:00							
13:00 - 14:00	10.387	22.717	0,46	10.936	25.238	0,43	549
14:00 - 15:00	10.662	25.306	0,42	11.325	27.262	0,42	662
15:00 - 17:30							
17:30 - 18:30	11.020	22.056	0,50	12.067	24.508	0,49	1.046
18:30 - 19:30	8.478	19.567	0,43	8.162	21.425	0,38	-316

Fuente: Elaboración propia<sup>53</sup>

**Tabla 4.26** Oferta y demanda de transporte público colectivo, Kra 7 sentido norte – sur

Período	Kra 7 x Calle 45			Kra 7 x Calle 39			Variación Pasajeros
	Pasajeros	Capacidad	v/c	Pasajeros	Capacidad	v/c	
7:00 - 8:00	6.032	14.133	0,43	2.777	13.934	0,20	-3.256
8:00 - 9:00	5.425	14.533	0,37	3.429	14.295	0,24	-1.996
9:00 - 13:00							
13:00 - 14:00	3.209	11.666	0,28	2.672	10.595	0,25	-537
14:00 - 15:00	4.590	13.119	0,35	2.979	13.535	0,22	-1.612

Fuente: Elaboración propia<sup>54</sup>

<sup>53</sup> Los valores negativos indican que se presentó una menor cantidad de pasajeros a la salida del tramo (Kra 7 x Calle 45) que a la entrada del mismo (Kra 7 x Calle 39). Los valores negativos tienen el significado contrario.

<sup>54</sup> Los valores negativos indican que se presentó una menor cantidad de pasajeros a la salida del tramo (Kra 7 x Calle 45) que a la entrada del mismo (Kra 7 x Calle 39). Los valores negativos tienen el significado contrario.



#### 4.4 Componente peatonal

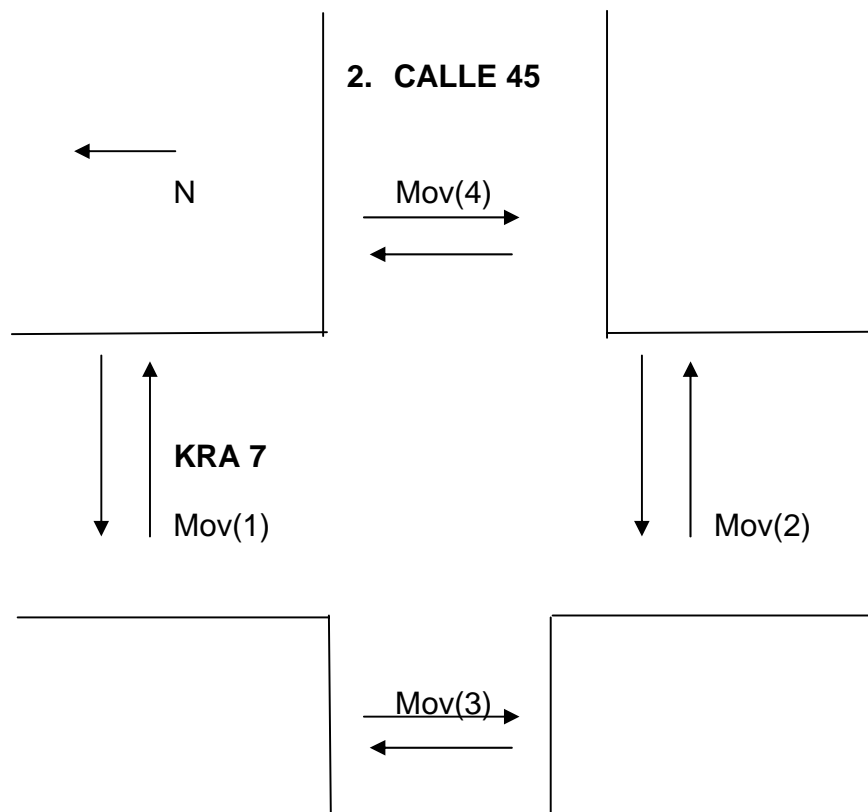
El diagnóstico del componente peatonal está basado en la toma de información primaria, que se llevó a cabo a través de aforos de volúmenes peatonales. Estos aforos se realizaron en la Kra 7 con calles 39 y 45, así como en el túnel peatonal los días 20,21 y 26 de abril de 2005, con el fin de determinar la cantidad de usuarios que transitan en las instalaciones peatonales del tramo.

La información obtenida fue tabulada y analizada; a continuación se observan los resultados obtenidos por medio de los mencionados aforos, para cada uno de los lugares.

##### 4.4.1 Intersección Calle 45

Antes de entrar a analizar lo que ocurre en la intersección con respecto a los flujos peatonales, vale la pena presentar un esquema donde se muestren los movimientos que realizan los peatones en la misma (**Figura 4.1**)

**Figura 4.1** Esquema Movimientos Peatonales Intersección Kra 7 x Calle 45





Fuente; Elaboración propia

**Tabla 4.27** Volúmenes peatonales en la Kra 7 x calle 45, en los períodos de aforo

PERÍODO	Movimiento 1			Movimiento 2			Movimiento 3			Movimiento 4			TOTAL
	1-1	1-2	Mov 1	2-1	2-2	Mov. 2	3-1	3-2	Mov 3	4-1	4-2	Mov 4	
7:00 - 7:15	6	4	10	46	224	270	1	18	19	52	2	54	652
7:15 - 7:30	29	16	45	89	242	332	11	21	32	44	12	56	872
7:30 - 7:45	32	33	65	109	285	393	20	27	47	56	24	80	1089
7:45 - 8:00	35	29	64	113	250	363	19	31	50	55	29	84	1036
8:00 - 8:15	36	16	52	137	200	337	20	30	50	70	26	96	973
8:15 - 8:30	33	24	57	152	260	411	25	32	57	82	35	117	1167
8:30 - 8:45	37	25	62	147	272	419	27	33	60	78	27	105	1187
8:45 - 9:00	38	25	63	153	266	419	30	31	61	80	30	110	1196
9:00 - 10:00													
10:00 - 11:00													
11:00 - 12:00													
12:0 - 13:00													
13:00 - 13:15	14	28	42	319	218	537	68	42	110	51	48	99	1477
13:15 - 13:30	12	19	31	331	281	612	77	39	116	107	74	181	1699
13:30 - 13:45	27	26	53	182	294	476	68	30	98	43	81	124	1378
13:45 - 14:00	8	15	23	149	536	685	31	63	94	112	25	137	1741
14:00 - 14:15	6	21	27	161	341	502	36	12	48	57	47	104	1258
14:15 - 14:30	11	14	25	222	174	396	26	6	32	38	41	79	985
14:30 - 14:45	18	2	20	136	148	284	35	10	45	48	37	85	783
14:45 - 15:00	16	6	22	144	152	296	32	9	41	44	39	83	801
15:00 - 16:00													
16:00 - 17:00													
17:30 - 17:45	21	22	44	74	194	267	14	18	32	38	16	54	740
17:45 - 18:00	24	20	43	77	170	247	13	21	34	37	20	57	705
18:00 - 18:15	24	11	35	93	136	229	14	20	34	48	17	65	662
18:15 - 18:30	22	16	39	103	176	279	17	22	39	56	24	80	793
18:30 - 18:45	25	17	42	100	185	285	18	22	41	53	18	71	807
18:45 - 19:00	26	17	43	104	181	285	20	21	41	54	20	75	813
19:00 - 19:15	20	11	31	61	165	225	7	14	21	30	8	38	593
19:15 - 19:30	4	3	7	31	152	184	1	12	13	35	1	37	443

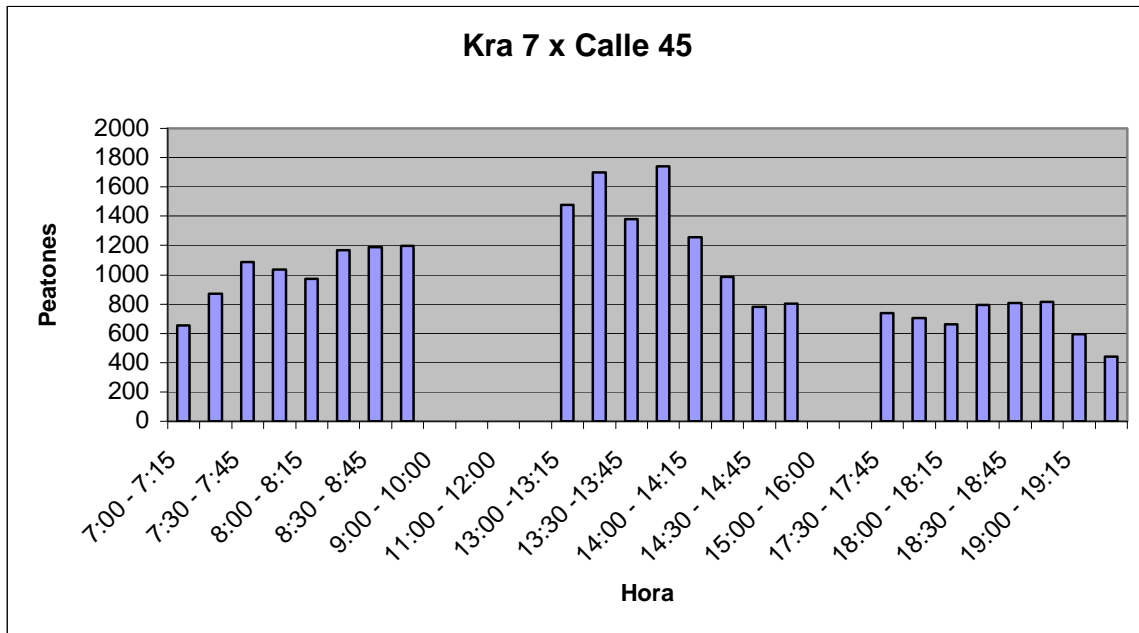
Fuente: Elaboración propia

En la **Gráfica 4.23** se observan los volúmenes presentados en la intersección de la calle 45, en los tres períodos de aforo. En dicha gráfica se aprecia que el



período de mayores flujos peatonales es del mediodía. Así mismo, se aprecia que el período de la noche presenta un menor movimiento de peatones por la intersección en cuestión.

**Grafica 4.23** Volúmenes peatonales en la Kra 7 x calle 45, en los períodos de aforo

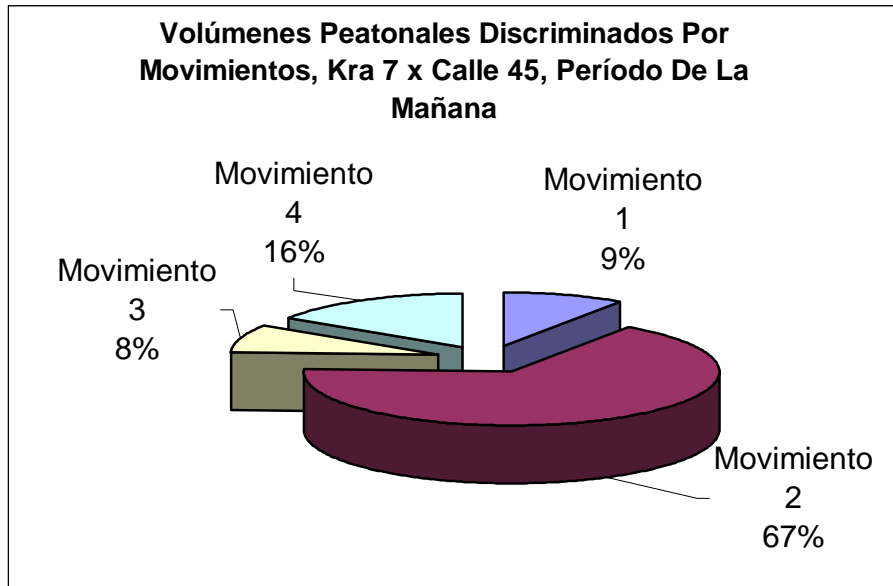


Fuente: Elaboración propia

La **Gráfica 4.23** es importante para poder determinar la hora del día donde se presentan mayores volúmenes peatonales, sin embargo es necesario discriminar los flujos por tipo de movimiento, para poder cuantificar los movimientos que presentan conflicto con los vehículos. Es por esto que se presentan las **Gráficas 4.17 a 4.19** donde se puede ver cuales son los movimientos con mayores flujos en cada uno de los períodos.

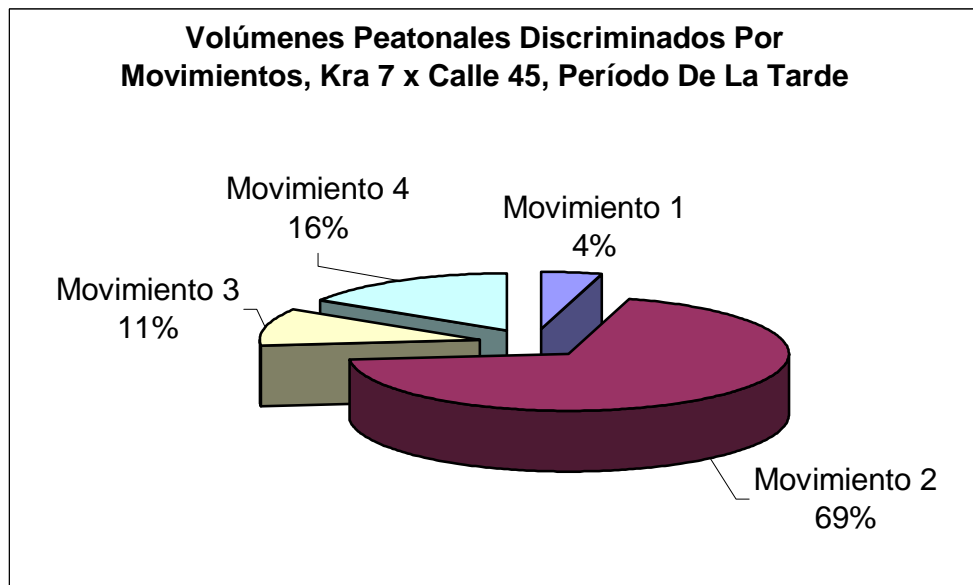


**Gráfica 4.24** Volúmenes peatonales discriminados por movimientos en la Kra 7 x calle 45, período de la mañana



Fuente: Elaboración propia

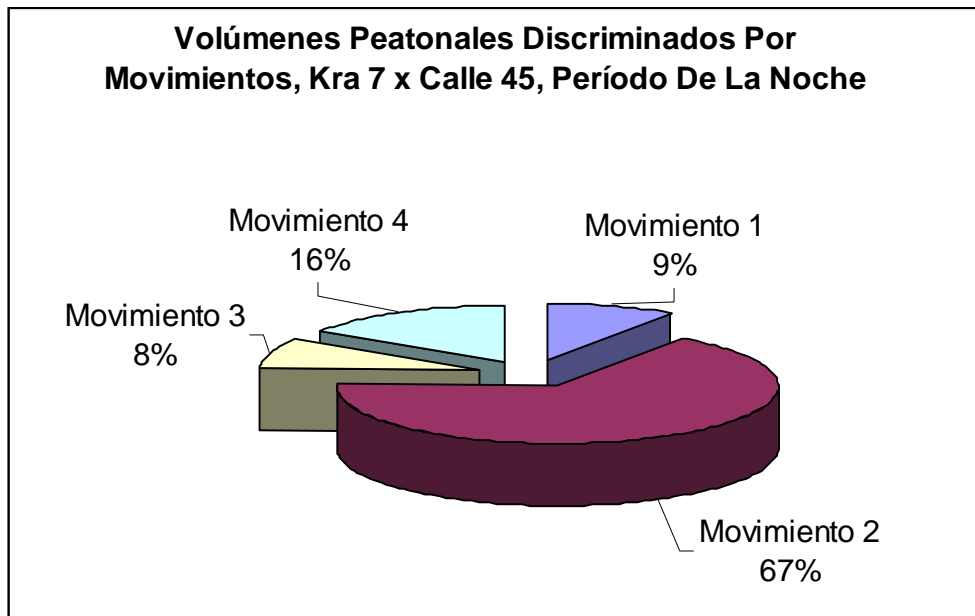
**Gráfica 4.25** Volúmenes peatonales discriminados por movimientos en la Kra 7 x calle 45, período de la tarde





Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.26** Volúmenes peatonales discriminados por movimientos en la Kra 7 x calle 45, período de la noche



Fuente: Elaboración propia

Las tres gráficas que se presentaron anteriormente permiten corroborar que la distribución de los movimientos es similar para los tres períodos de estudio. Se muestra también que el movimiento 2 presenta los mayores volúmenes.

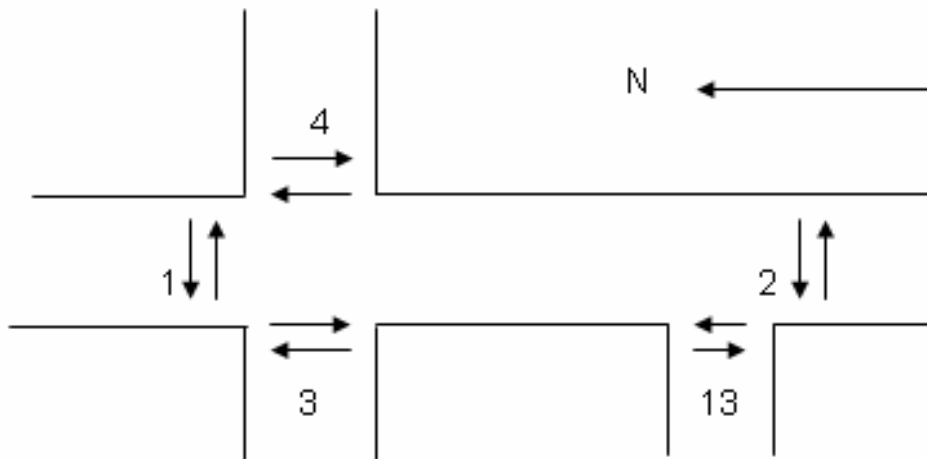




#### 4.4.2 Intersección Calle 39

De forma análoga a lo que se hizo con la intersección de la Kra 7 x Calle 45, se presenta inicialmente un esquema de los movimientos peatonales realizados en la intersección.

**Figura 4.2** Esquema movimientos peatonales intersección Kra 7 x calle 39



Fuente: Elaboración propia



**Tabla 4.28** Volúmenes peatonales en la Kra 7 x calle 39, en los períodos de aforo

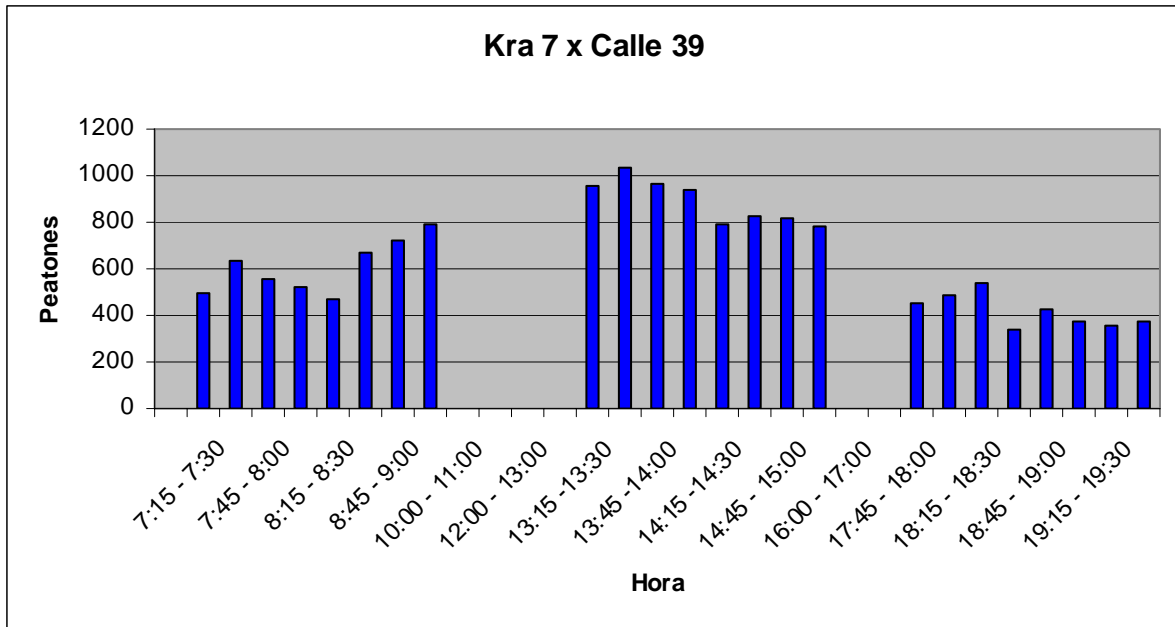
PERÍODO	Movimiento 1		Movimiento 2		Movimiento 3		Movimiento 13		Movimiento 4		TOTAL					
	1-1	1-2	Mov. 1	2-1	2-2	Mov. 2	3-1	3-2	Mov. 3	13-1		13-2	Mov. 13	4-1	4-2	Mov. 4
7:00 - 7:15	61	6	68	4	98	101	49	4	53	23	3	26	2	57	58	498
7:15 - 7:30	58	12	70	25	113	138	60	9	69	33	4	36	7	42	49	632
7:30 - 7:45	55	29	85	32	83	115	32	10	42	22	7	29	13	34	47	555
7:45 - 8:00	25	28	53	49	61	110	22	24	46	17	16	33	43	31	74	526
8:00 - 8:15	24	34	58	15	49	64	42	20	62	29	11	39	22	46	67	468
8:15 - 8:30	42	36	78	41	68	108	47	31	78	35	16	51	39	49	89	669
8:30 - 8:45	51	56	107	48	77	125	40	27	67	31	14	45	33	40	73	720
8:45 - 9:00	47	58	105	75	71	146	56	29	85	27	16	43	31	47	78	791
9:00 - 10:00																
10:00 - 11:00																
11:00 - 12:00																
12:00 - 13:00																
13:00 -13:15	92	65	157	43	61	104	53	52	105	43	37	80	62	85	148	955
13:15 -13:30	103	69	172	47	71	118	57	61	118	37	40	77	66	85	150	1036
13:30 -13:45	88	76	164	39	60	99	55	57	112	38	36	74	67	74	141	964
13:45 -14:00	83	57	140	39	58	98	69	60	129	35	39	74	56	97	153	938
14:00 - 14:15	63	62	125	30	46	76	50	55	105	30	29	59	61	72	133	790
14:15 -14:30	74	82	156	36	49	85	34	58	92	20	26	46	71	57	127	829
14:30 - 14:45	62	80	142	26	47	73	43	53	96	34	27	61	70	60	130	814
14:45 - 15:00	64	84	148	28	46	74	39	48	87	24	26	51	63	61	124	782
15:00 - 16:00																
16:00 - 17:00																
17:30 - 17:45	28	25	53	28	46	74	32	21	53	24	11	34	27	34	60	455
17:45 - 18:00	34	38	73	33	52	85	27	18	45	21	9	30	22	27	50	489
18:00 - 18:15	32	39	71	51	48	100	38	20	58	19	11	29	21	32	53	538
18:15 - 18:30	42	4	46	3	66	69	34	3	36	16	2	18	1	38	40	339
18:30 - 18:45	39	8	47	17	77	94	41	6	47	22	2	24	5	28	33	430
18:45 - 19:00	38	20	58	22	57	78	21	7	29	15	5	20	9	23	32	377
19:00 - 19:15	34	13	47	18	55	73	23	5	28	13	4	17	7	21	28	358
19:15 - 19:30	36	14	50	21	53	74	19	6	25	16	3	19	9	27	36	372

Fuente: Elaboración propia

Se presenta a continuación la **Gráfica 4.27**, con los volúmenes peatonales de la intersección a lo largo del día, con el fin de poder apreciar los picos y ver la hora del día en la que los volúmenes son mayores.



**Grafica 4.27** Volúmenes peatonales en la Kra 7 x calle 39, en los períodos de aforo

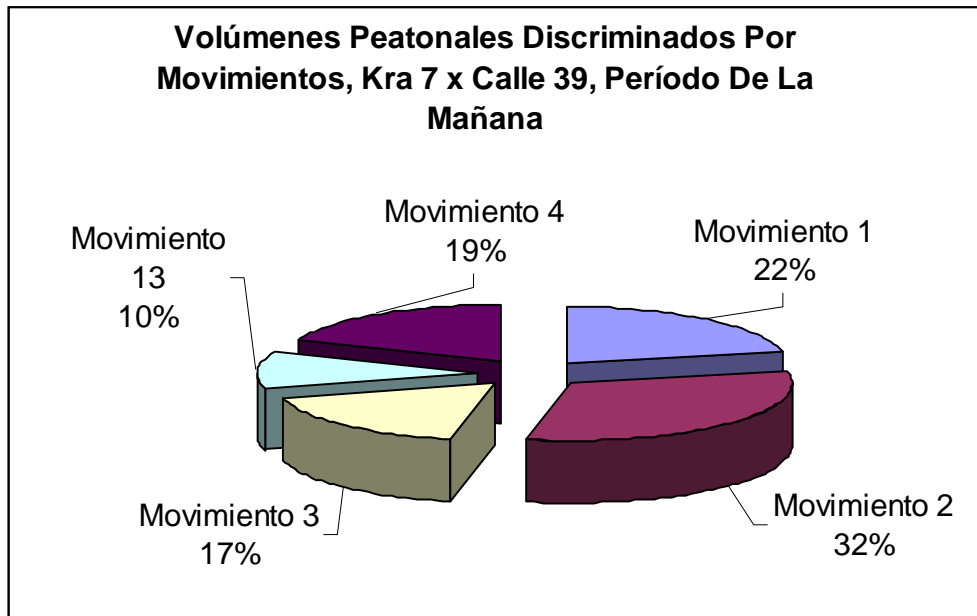


Fuente: Elaboración propia

Al igual que en la intersección de la Kra 7 x Calle 45, se puede ver que los mayores flujos son los del período del mediodía, mientras que el período de la noche es en el que menos gente se desplaza a pie.

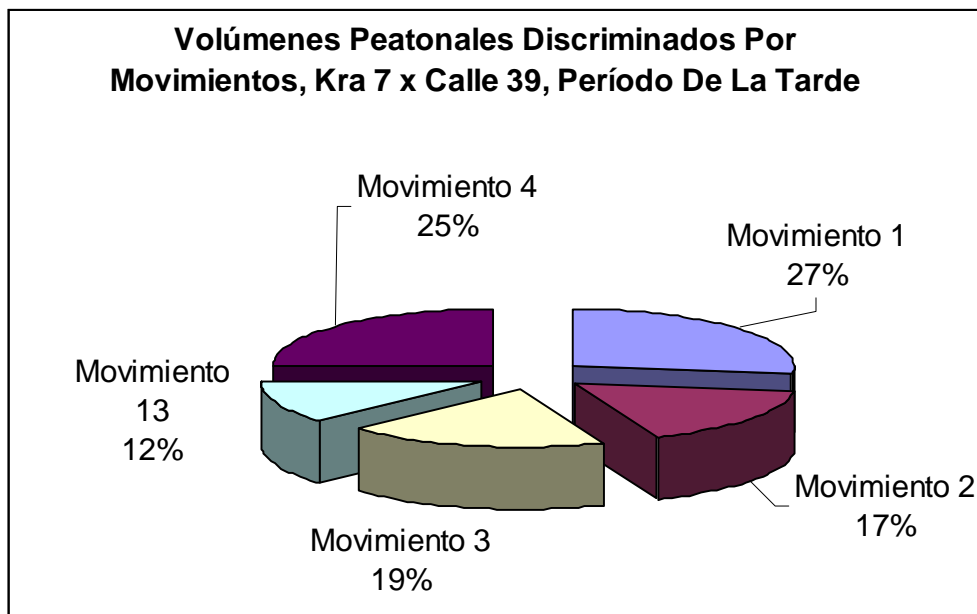
Para poder caracterizar como son los movimientos en la intersección, se presentan las **Gráficas 4.28 a 4.30**, en las cuales se muestra la proporción de los diferentes movimientos que se llevan a cabo en los 3 períodos de aforo.

**Gráfica 4.28** Volúmenes peatonales discriminados por movimientos en la Kra 7 x calle 39, período de la mañana



Fuente: Elaboración propia

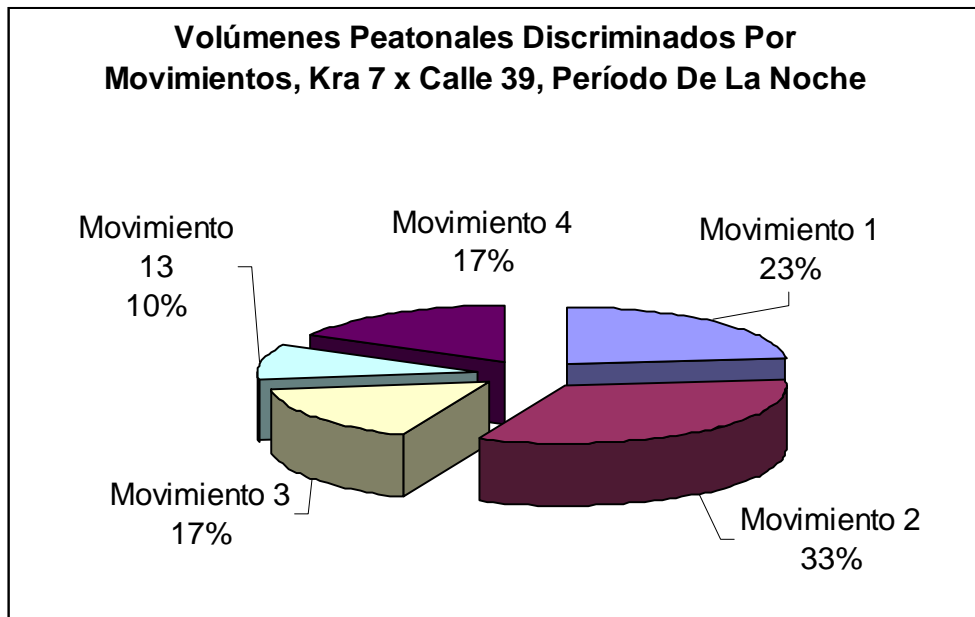
**Gráfica 4.29** Volúmenes peatonales discriminados por movimientos en la Kra 7 x calle 39, período de la tarde





Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.30** Volúmenes peatonales discriminados por movimientos en la Kra 7 x calle 39, período de la noche



Fuente: Elaboración propia

Los movimientos más importantes que se presentan en esta intersección son el 1 y el 2, es decir los que atraviesan la Kra 7.



#### 4.4.3 Túnel peatonal

**Tabla 4.29** Volúmenes peatonales en la Kra 7 x calle 41, en los períodos de aforo

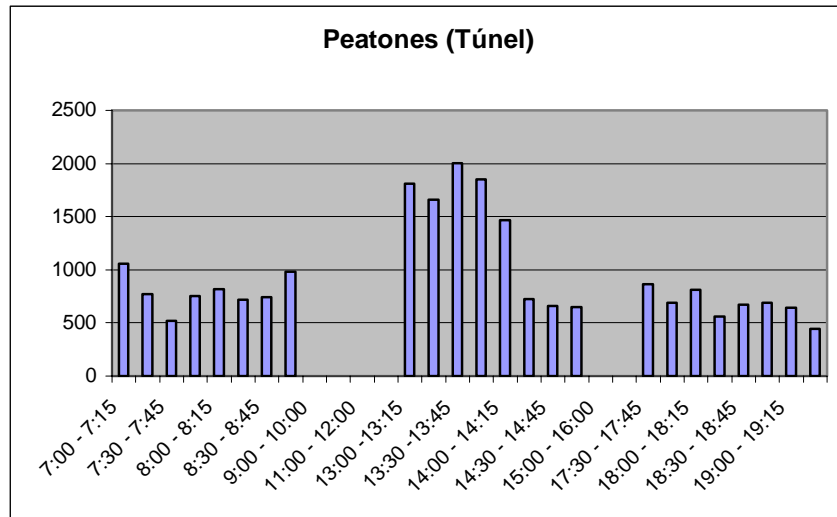
PERÍODO	Movimiento 1		Total
	1-1	1-2	
7:00 - 7:15	946	114	1060
7:15 - 7:30	670	101	771
7:30 - 7:45	402	118	520
7:45 - 8:00	564	188	752
8:00 - 8:15	638	182	820
8:15 - 8:30	505	212	717
8:30 - 8:45	567	177	744
8:45 - 9:00	734	248	982
9:00 - 10:00	0	0	0
10:00 - 11:00	0	0	0
11:00 - 12:00	0	0	0
12:00 - 13:00	0	0	0
13:00 -13:15	392	1420	1812
13:15 -13:30	572	1085	1657
13:30 -13:45	1020	984	2004
13:45 -14:00	1380	469	1849
14:00 - 14:15	1152	312	1464
14:15 -14:30	439	286	725
14:30 - 14:45	385	274	659
14:45 - 15:00	328	321	649
15:00 - 16:00	0	0	0
16:00 - 17:00	0	0	0
17:30 - 17:45	148	715	864
17:45 - 18:00	143	549	692
18:00 - 18:15	156	654	810
18:15 - 18:30	121	440	561
18:30 - 18:45	116	553	669
18:45 - 19:00	129	559	688
19:00 - 19:15	73	567	641
19:15 - 19:30	12	432	444

Fuente: Elaboración propia

Se presenta a continuación la **Gráfica 4.31**, con los volúmenes peatonales del túnel a lo largo de los tres períodos de aforo del día, con el fin de poder apreciar los picos y ver la hora del día en la que los volúmenes son mayores.



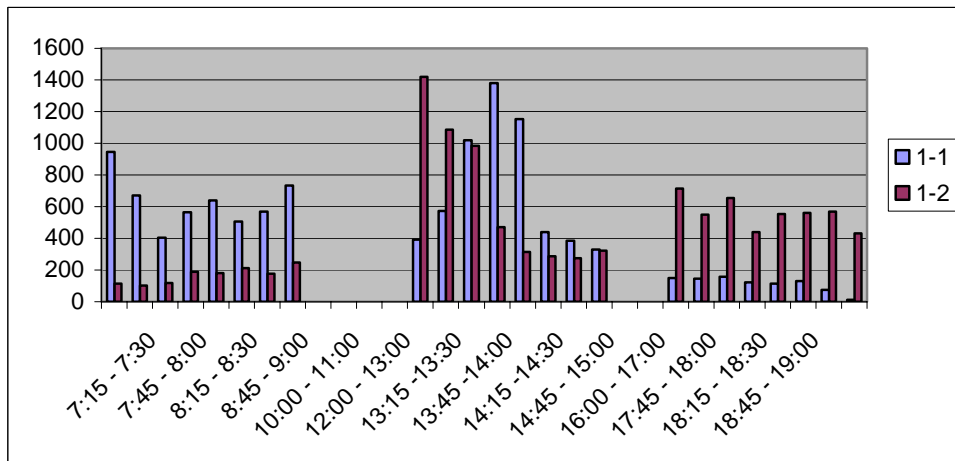
**Grafica 4.31** -Volúmenes peatonales en el túnel peatonal a lo largo del día



Fuente: Elaboración propia

Al igual que en las dos intersecciones, el período pico se presenta al mediodía mientras que en el período de la noche son los menores flujos. Como sólo hay dos movimientos, vale la pena presentar una comparación ciclo a ciclo de los mismos, para poder apreciar no únicamente cual es el movimiento que predomina a lo largo del día, sino en que momento es más importante cada movimiento.

**Grafica 4.32** -Volúmenes peatonales a lo largo del día en las instalaciones del túnel, discriminadas por tipo de movimiento.



Fuente: Elaboración propia



Se deduce de la gráfica anterior que, durante el período de la mañana, predomina el movimiento 1-1, es decir la gente que llega a la universidad Javeriana, mientras en el período de la noche es todo lo contrario. Al mediodía hay volúmenes importantes en ambos sentidos, desfasados 30 minutos, debido a la gente que sale a almorzar y regresa a la universidad más tarde.





# CAPÍTULO 5

## ANÁLISIS DE INFORMACIÓN



## 5. Análisis de Información

### 5.1. Análisis de componente de tránsito

En este capítulo se desarrolló la metodología descrita en el HCM 2000, para determinar la capacidad y el nivel de servicio de intersecciones semaforizadas. La capacidad se evalúa en términos de la relación entre el volumen (V) y la capacidad (C), mientras que el NS se evalúa con base en la demora controlada por vehículo (en s/veh), que es la porción de la demora total debida a la operación de los semáforos, lo cual incluye demoras por desaceleración, colas, tiempo de rojo y arranque.

En la Tabla 5.1 se muestra un resumen de toda la información de entrada utilizada en el análisis operacional de las intersecciones semaforizadas del tramo de estudio.

**TABLA 5.1.** Parámetros requeridos para el análisis operacional de las intersecciones semaforizadas del tramo de estudio.

Condiciones Geométricas	Número de carriles
	Ancho de carril
	Separador
Condiciones de Tráfico	Volúmen (veh/h)
	%VP
	F.H.P.
	Paradas de buses (buses/h)
	Tipo de Llegada
	Volúmen de Peatones (pt/h)
Condiciones de Señalización	Peatones/ciclo
	Tiempo Perdido de Arranque (s)
	Tiempo Efectivo de Verde (s)
	Tiempo Mínimo de Peatones (s)
Verificación tiempo de verde mínimo efectivo	

Fuente: elaboración propia

Lo que se busca con este análisis de información es determinar la capacidad y el nivel de servicio de la hora pico.



- **Factores Determinantes en el Análisis de Datos**

⇒ Características geométricas

Las características geométricas necesarias para la realización del análisis se obtuvieron con medidas en campo y fueron analizadas en el Capítulo 2, en las **tablas 5.2 y 5.3** se muestra un resumen de estas.

**Tabla 5.2** Inventario infraestructura vial – vías transversales.

Vía	# Carriles	Anden Sur	Calzada	Anden Norte	Ancho Total	Tipo <sup>55</sup>
CII 45 con Kra 7	2	3,2	7,2	3,3	13,7	V-7
CII 39 con Kra 7	2	3,2	7,2	7	17,4	V-4

Fuente: elaboración propia

**Tabla 5.3** Inventario infraestructura vial – vías longitudinales.

Vía	# Carriles	Anden Occidental	Calzada	Anden oriental	Ancho Total	Tipo <sup>56</sup>
Kra 7 con CII 39	3	5,1	21	4,5	30,6	V-2
Kra 7 con CII 45	3	3,4	21	3,8	28,2	V-2

Fuente: elaboración propia

⇒ Condiciones de Tráfico

De acuerdo con la información que se obtuvo de la realización de los aforos vehiculares y peatonales analizados en el Capítulo 4 y mostrados en el **Anexo 5** se obtuvieron las siguientes condiciones de tráfico.

- El porcentaje de vehículos pesados (VP) que transitan por cada una de las vías que confluyen en la intersección, discriminados por tipo de movimiento. Se entiende como VP a la suma de buses y camiones. El VP se calculó para cada movimiento permitido en los diferentes accesos; para obtener el

<sup>55</sup> Clasificación vías urbanas según el INVIAS.

<sup>56</sup> Idem



VP total de cada acceso, se hizo un promedio ponderado en base a los flujos que presentaron cada uno de los movimientos.

**Tabla 5.4** Porcentaje de vehículos pesados por sentido y movimiento, intersección Kra 7 x Calle 39

	MAÑANA	TARDE	NOCHE
ACCESO	%VP	%VP	%VP
Norte Sur	12,1	11,42	0,4
Sur Norte	28,7	24,58	35,8
Oeste Este	13,7	11,79	13,0

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5.5.** Porcentaje de vehículos pesados por sentido y movimiento, intersección Kra 7 x Calle 45

	MAÑANA	TARDE	NOCHE
ACCESO	%VP	%VP	%VP
Norte Sur	13,4	11,4	0,2
Sur Norte	36,6	32,4	33,8
Oeste Este	1,4	0,5	2,3

Fuente: Elaboración propia

- Los volúmenes vehiculares (veh/h) al igual que el factor hora pico y parada de buses (buses/h) fueron analizados para los diferentes períodos de aforo y son mostrados en los **Anexos 5 y 6**
- Tipo de llegada: Se consideró un tipo de llegada 3, ya que los vehículos llegan en forma aleatoria, donde la columna principal representa menos del 40% del volumen del grupo de carriles para todos los arribos a las intersecciones.



**Tabla 5.6:** Cálculo del factor de ajuste de la progresión

Relación de Verde (g/C)	Tipo de Llegada (AT)					
	AT 1	AT 2	AT 3	AT 4	AT 5	AT 6
0,2	1,167	1,007	1,000	1,000	0,833	0,750
0,3	1,286	1,063	1,000	0,986	0,714	0,571
0,4	1,445	1,136	1,000	0,895	0,555	0,333
0,5	1,667	1,240	1,000	0,767	0,333	0,000
0,6	2,001	1,395	1,000	0,576	0,000	0,000
0,7	2,556	1,653	1,000	0,256	0,000	0,000
fpa	1,000	0,930	1,000	1,150	1,000	1,000
Predeterminado, (Rp)	0,333	0,667	1,000	1,333	1,667	2,000

Fuente: Highway Capacity Manual 2000<sup>57</sup>

- El número de fases semafóricas que presenta la intersección, entendiéndose como fase la parte de un ciclo que se da a cualquier combinación de movimientos de tráfico que tienen derecho a pasar simultáneamente durante uno o más intervalos. La intersección presenta 2 fases semafóricas; la primera de ellas da movilidad a la Cra 7 en sus dos direcciones y el segundo da movilidad a la calle 45 en su sentido occidente – oriente. Con respecto a la calle 39 la intersección también presenta 2 fases la primera de ellas da movilidad a la Cra 7 en sus dos direcciones y el segundo da movilidad a la calle 39 en su sentido oriente – occidente y occidente – oriente.
- El tiempo de verde de cada sentido, fue medido en campo para los diferentes períodos de aforos. Los tiempos de ciclo presentados en la intersección son los que se muestran a continuación:

<sup>57</sup> Exhibit 16-12. Highway Capacity Manual 2000



**Tabla 5.7.** Tiempos del ciclo semafórico intersección CII 45

Mañana	TIEMPO DE CICLO	AMARILLO	VERDE
Kra 7	120	2	73
Calle 45	120	2	35
Tarde	TIEMPO DE CICLO	AMARILLO	VERDE
Kra 7	90	2	72
Calle 45	90	2	36
Noche	TIEMPO DE CICLO	AMARILLO	VERDE
Kra 7	90	2	58
Calle 45	90	2	21

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5.8.** Tiempos del ciclo semafórico intersección CII 39

Mañana	TIEMPO DE CICLO	AMARILLO	VERDE
Kra 7	90	2	45
Calle 39	90	2	30
Tarde	TIEMPO DE CICLO	AMARILLO	VERDE
Kra 7	90	2	45
Calle 39	90	2	30
Noche	TIEMPO DE CICLO	AMARILLO	VERDE
Kra 7	90	2	45
Calle 39	90	2	30

Fuente: Elaboración propia

Se escogió hacer el estudio para un período de análisis de una hora completa, dividida esta a su vez en 4 períodos de estudio de 15 min. Este tipo de estudio permite tener en cuenta las colas que se forman afectando el siguiente período de análisis, a diferencia de las otras dos alternativas de estudio expuestas en el Highway Capacity Manual 2000; esto se logra comparando la capacidad contra el volumen vehicular corregido, el cual se calcula dividiendo el volumen total del acceso entre el FHP. Así mismo se decidió hacer el análisis no únicamente para el período más crítico del día, sino para cada uno de los 3 períodos de aforo.

Debido a lo anteriormente expuesto, los parámetros de la **TABLA 5.1** fueron determinados para cada período de aforo, pero además de eso se requirió discriminarlos por acceso. Por otro lado, el volumen vehicular no es suficiente



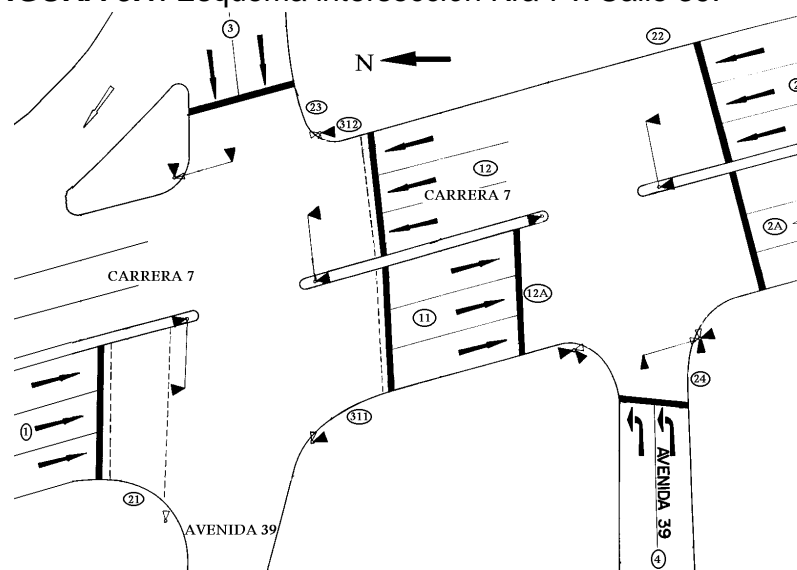
tenerlo para la totalidad del acceso, sino que fue necesario determinarlo para cada tipo de movimiento, debido a que los giros a la derecha y a la izquierda tienen una mayor afectación al tráfico que el movimiento directo.

En este capítulo se muestran los resultados de los análisis de cada intersección para los diferentes períodos. Se presentan entonces, la capacidad y el volumen vehicular de cada acceso, con los que se calculó la relación v/c, principal indicador de la capacidad. También se presentan las demoras, con las que se determinó el nivel de servicio de cada acceso y finalmente de la intersección como un todo. Estas demoras se dividen en demora uniforme, entendida esta como la demora que experimentan los vehículos debido a la operación del semáforo y la relación v/c del acceso, y la demora incremental o demora producida por las colas de un período en el período siguiente. La totalidad de los cálculos realizados para llegar a estos valores se presentan en el **ANEXO 6**

### 5.1.1. Intersección Kra 7 x Calle 39

En esta intersección se cuenta con los accesos 1, 2, 2 Re, 3, 4, 12 y 12 Re, como se muestra en la **Figura 5.1**.

**FIGURA 5.1.** Esquema intersección Kra 7 x Calle 39.



Fuente: FONDATT STT 2017

Los accesos 2 y 2 Re no serán tenidos en cuenta en el presente análisis, ya que estos no tienen otra opción que el movimiento directo, arribando a los accesos 12 y 12 Re respectivamente, por lo que estos últimos presentan mayores volúmenes



al tener además de los vehículos de los accesos 2 y 2 Re, los vehículos del acceso 3 que giran a la izquierda. A continuación se presentan los resultados obtenidos para la intersección en cuestión, en los diferentes períodos.

- **Período de la mañana**

Se analizó para este período la hora comprendida entre las 7:15 a.m y las 8:15 a.m, que presentó los mayores flujos vehiculares. Los resultados se muestran en la **Tabla 5.9**.

**Tabla 5.9.** Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS, Kra 7 x Calle 39 en el período de la mañana (7:00 – 9:00)

Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS				
	Acceso 1	Acceso 12	Acceso 3	Acceso 4
Volúmen ajustado $V_p = W/FHP$ , (veh/h)	2357	2852	463	651
Capacidad del grupo de carril, $c$ (veh/h)	1480	1097	760	888
Relación $x = v/c$	1,59	2,60	0,61	0,73
Tasa de Verde Efectivo, $g/C$	0,48	0,48	0,31	0,31
Demora uniforme, $d_1$ (s)	$d_1 = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left(\min(1, x) * \frac{g}{C}\right)}$			
Factor de demora incremental	0,50	0,50	0,50	0,50
Demora Incremental $d_2$ , (s/veh)	$d_2 = 900T \left[ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{6kLX}{cT}} \right]$			
Factor de progresión ajustado PF	1	1	1	1
Demora, $d = d_1(PF) + d_2$ , (s/veh)	292,32	745,46	29,08	31,72
Nivel de servicio del grupo de carril (NS)	F	F	C	C
Demora de la intersección	$d_i = \frac{\sum (d_a)(v_a)}{\sum v_a}$		NS de la intersección	F

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la **Tabla 5.9**, los volúmenes vehiculares ajustados de los accesos 1 y 12 son mayores que la capacidad de los mismos, lo que indica que operan con una cantidad de vehículos que superan el flujo de saturación en 1,59 y 2,60 veces respectivamente. Por el contrario, los accesos 3 y 4 trabajan con volúmenes mucho menores que el flujo de saturación (0.61 y 0.73 veces respectivamente).





Lo anterior se ve reflejado en las demoras, que son mucho mayores en los accesos 1 y 12 (292,32 y 745,46 s/veh respectivamente, representando niveles de servicio F) que en los accesos 3 y 4 (29,08 y 31,72 s/veh respectivamente, representando niveles de servicio C). La diferencia en las demoras (y por lo tanto en los NS) radica básicamente en la demora incremental, ya que la demora uniforme de todos los accesos está entre 23 y 28 s/veh, siendo incluso mayores para los accesos 3 y 4 que para los accesos 1 y 12, por tener menor tiempo de verde disponible. Por otro lado, la demora incremental si presenta grandes diferencias, debido al alto grado de saturación que presentan los accesos 1 y 12 ( $v/c > 1$ ), que lleva a que no puedan dar movilidad a gran parte de los vehículos que llegan a los mismos, generándose colas que se traducen en las grandes demoras que se muestran en la **Tabla 5.9**. Se observa así mismo que las demoras incrementales de los accesos 3 y 4 (2,73 y 4,05 s/veh respectivamente), son casi despreciables en comparación con las de los accesos 1 y 12; estas bajas demoras incrementales se dan gracias a los bajos flujos vehiculares que llevan a que no se produzcan colas. Finalmente, para hallar el NS de la intersección se ponderaron las demoras presentadas en cada acceso con el volumen del mismo, observándose una demora de 426,47 s/veh que corresponden a un nivel de servicio F.

- **Período de la tarde**

Se analizó para este período la hora comprendida entre las 13:45 y las 14:45, que presentó los mayores flujos vehiculares. Los resultados se muestran en la **Tabla 5.10**.



**Tabla 5.10.** Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS, Kra 7 x Calle 39 en el período de la tarde (13:00 – 15:00)

Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS				
	Acceso 1	Acceso 12	Acceso 3	Acceso 4
Volúmen ajustado $V_p = WFHP$ , (veh/h)	2058	2393	409	595
Capacidad del grupo de carril, $c$ (veh/h)	1458	1139	705	896
Relación $x = v/c$	1,41	2,10	0,58	0,66
Tasa de Verde Efectivo, $g/C$	0,48	0,48	0,31	0,31
Demora uniforme, $d_1$ (s)	$d_1 = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left(\min(1, x) * \frac{g}{C}\right)}$			
	23,50	23,50	26,05	26,92
Factor de demora incremental	0,50	0,50	0,50	0,50
Demora Incremental $d_2$ , (s/veh)	$d_2 = 900T \left[ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{6kX}{cT}} \right]$			
	188,37	498,22	2,61	2,93
Factor de progresión ajustado PF	1	1	1	1
Demora, $d = d_1(PF) + d_2$ , (s/veh)	211,87	521,72	28,66	29,85
Nivel de servicio del grupo de carril (NS)	F	F	C	C
Demora de la intersección	$d_i = \frac{\sum (d_a)(v_a)}{\sum v_a}$			
	290,15	NS de la intersección		F

Fuente: Elaboración propia

Al igual que en el período de la mañana, los volúmenes vehiculares ajustados de los accesos 1 y 12 exceden su capacidad, es decir, operan con una cantidad de vehículos que superan el flujo de saturación (1,41 y 2,10 veces respectivamente). Por el contrario, los accesos 3 y 4 trabajan con volúmenes menores que el flujo de saturación (0,58 y 0,66 veces respectivamente).

Lo anterior se ve reflejado en las mayores demoras en los accesos 1 y 12 (211,87 y 498,22 s/veh respectivamente, representando niveles de servicio F), con respecto a los accesos 3 y 4 (28,66 y 29,85 s/veh respectivamente, representando niveles de servicio C). De manera análoga a lo ocurrido en el período de la mañana, la diferencia en las demoras (y por lo tanto en los NS) radica básicamente en la demora incremental, ya que la demora uniforme de todos los accesos está entre 23 y 27 s/veh, presentándose diferencias nunca mayores a 4 s/veh; incluso mayores para los accesos 3 y 4 que para los accesos 1 y 12, por tener menor tiempo de verde disponible, mientras que la demora incremental si presenta grandes diferencias, debido al alto grado de saturación de los accesos 1



y 12 ( $v/c > 1$ ), que lleva a que no puedan dar movilidad a gran parte de los vehículos que llegan a los mismos, generándose colas que se traducen en las grandes demoras que se muestran en la Tabla 5.9. Se observa así mismo que las demoras incrementales de los accesos 3 y 4 (2,61 y 2,93 s/veh respectivamente) son muy bajas (en comparación con los accesos 1 y 12) gracias a los bajos flujos vehiculares que llevan a que no se produzcan colas. Finalmente, para hallar el NS de la intersección se ponderaron las demoras presentadas en cada acceso con el volumen del mismo, observándose una demora de 290,15 s/veh que corresponden a un nivel de servicio F.

- **Período de la noche.**

El análisis de la intersección de la Kra 7 x Calle 39 concluye con el período de la noche, en el cual se analizó la hora comprendida entre las 17:30 y las 18:30, que presentó los mayores flujos vehiculares. Los resultados se muestran en la **Tabla 5.11**.

**Tabla 5.11** Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS, Kra 7 x Calle 39 en el período de la noche (17:30 – 19:30)

Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS				
	Acceso 12 Re	Acceso 12	Acceso 3	Acceso 4
Volúmen ajustado $v_p = WFHP$ , (veh/h)	2627	2495	484	648
Capacidad del grupo de carril, $c$ (veh/h)	1863	1178	795	880
Relación $x = v/c$	1,41	2,12	0,61	0,74
Tasa de Verde Efectivo, $g/C$	0,48	0,48	0,31	0,31
Demora uniforme, $d_1$ (s)	$d_1 = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left(\min(1, x) * \frac{g}{C}\right)}$			
	23,50	23,50	26,34	27,70
Factor de demora incremental	0,50	0,50	0,50	0,50
Demora Incremental $d_2$ , (s/veh)	$d_2 = 9000 \left[ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{6kLX}{cT}} \right]$			
	187,05	505,64	2,60	4,14
Factor de progresión ajustado PF	1	1	1	1
Demora, $d = d_1(PF) + d_2$ , (s/veh)	210,55	529,14	28,95	31,84
Nivel de servicio del grupo de carril (NS)	F	F	C	C
Demora de la intersección	$d_i = \frac{\sum (d_a)(v_a)}{\sum v_a}$			
	280,95	NS de la intersección		F



Fuente: Elaboración propia

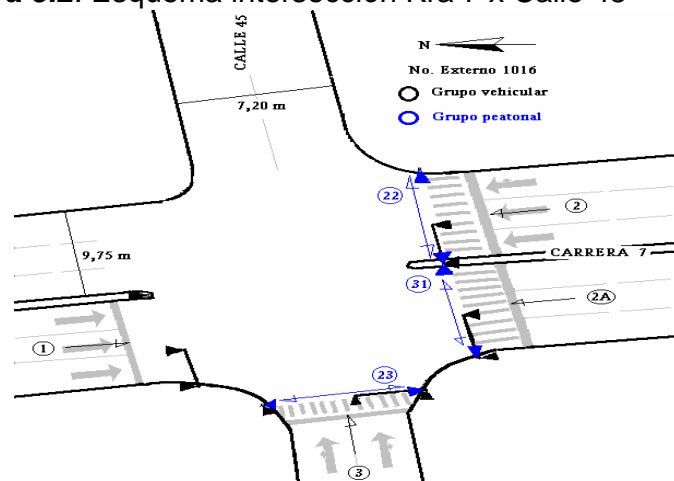
Cabe decir que en este período los 3 carriles que operan normalmente como acceso 1, lo hacen como acceso 12 Re, debido a que toda la Kra 7 opera en sentido sur – norte por el contraflujo. Al igual que en los otros dos períodos, en el período de la noche, los volúmenes vehiculares ajustados de los accesos 12 Re y 12 exceden su capacidad, en este caso en 1,41 y 2,12 veces respectivamente, mientras que los accesos 3 y 4 trabajan con volúmenes mucho menores que el flujo de saturación (0,61 y 0,74 veces respectivamente).

De igual forma se observan mayores demoras en los accesos 12 Re y 12 (210,55 y 529,14 s/veh respectivamente, representando niveles de servicio F), con respecto a los accesos 3 y 4 (28,95 y 31,84 s/veh respectivamente, representando niveles de servicio C). Las demoras uniformes de los accesos en ningún caso son inferiores a los 23 s/veh ni exceden los 28 s/veh, presentándose las diferencias grandes en las demoras incrementales, donde por el alto grado de saturación de los accesos 12 Re y 12, las demoras alcanzan los 187,05 y 505,64 s/veh respectivamente, mientras que los accesos 3 y 4 sólo presentan demoras incrementales de 2,60 y 4,14 s/veh respectivamente. La intersección en este período presentó un nivel de servicio F, con una demora de 281,95 s/veh

### 5.1.2. Intersección Kra 7 x Calle 45

En esta intersección se cuenta con los accesos 1, 2, 2 Re y 3, como se muestra en la **Figura 5.2**.

**Figura 5.2.** Esquema intersección Kra 7 x Calle 45



Fuente: FONDATT STT 2016



En este caso, a diferencia de la intersección de la Kra 7 x Calle 45, se analizarán todos los accesos existentes para los 3 períodos de aforo.

- **Período de la mañana**

Se analizó para este período la hora comprendida entre las 7:30 a.m y las 8:30, que presentó los mayores flujos vehiculares. Los resultados se muestran en la **Tabla 5.12**

**Tabla 5.12.** Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS, Kra 7 x Calle 45 en el período de la mañana (7:00 – 9:00)

Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS			
	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
Volúmen ajustado $V_p = V/FHP$ , (veh/h)	2706	2903	678
Capacidad del grupo de carril, $c$ (veh/h)	1807	1181	566
Relación $x = v/c$	1,50	2,46	1,20
Tasa de Verde Efectivo, $g/C$	0,59	0,59	0,28
Demora uniforme, $d_1$ (s)	$d_1 = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left(\min(1, x) * \frac{g}{C}\right)}$		
Factor de demora incremental	0,50	0,50	0,50
Demora Incremental $d_2$ , (s/veh)	$d_2 = 900T \left[ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{60kLX}{cT}} \right]$		
Factor de progresión ajustado PF	1	1	1
Demora, $d = d_1(PF) + d_2$ , (s/veh)	250,82	682,32	145,60
Nivel de servicio del grupo de carril (NS)	F	F	F
Demora de la intersección	$d_i = \frac{\sum (d_{i1})(v_{i1})}{\sum v_{i1}}$		
	412,13	NS de la intersección	F

Fuente: elaboración propia

Como se aprecia en la **Tabla 5.12**, los 3 accesos operan con un volumen vehicular mayor que su capacidad, presentando relaciones  $v/c > 1$ . El caso más crítico es el del acceso 2, cuya relación  $v/c$  alcanza 2,46 mientras que los accesos 1 y 3 tienen valores de 1,50 y 1,20 respectivamente.



Lo anterior se ve reflejado en las altas demoras presentadas, siendo estas mayores para los accesos con mayor relación v/c. Se observan demoras de 682,32 s/veh en el acceso 2, mientras que en el acceso 1 disminuye a 250,82 s/veh y en el acceso 3 a 145,60 s/veh. Si bien las demoras son mucho menores en los accesos 2 y 3 que en el acceso 1, estas no llegan a ser aceptables, luego se tiene un NS de F en todos los accesos. La principal causa de que esto ocurra es la demora incremental, que en todos los casos supera los 100 s/veh, cuando según la Tabla 16 – 2 del HCM 2000 a partir de 80 s/veh se experimenta un NS de F. La demora incremental alcanza valores tan elevados debido a la gran cantidad de vehículos que llegan a cada acceso en comparación con la capacidad de los mismos, lo que lleva a que estos vehículos generen colas.

Como los 3 accesos de la intersección en este período presentan un NS F, la intersección como un todo tendrá el mismo NS, con una demora de 412,13 s/veh

- **Período de la tarde**

Se analizó para este período la hora comprendida entre las 14:00 y las 15:00, que presentó los mayores flujos vehiculares. Los resultados se muestran en la **Tabla 5.13**.



**Tabla 5.13.** Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS, Kra 7 x Calle 45 en el período de la tarde (13:00 – 15:00)

Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS			
	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
Volúmen ajustado $V_p = V/FHP$ , (veh/h)	2087	2717	631
Capacidad del grupo de carril, $c$ (veh/h)	1877	1267	599
Relación $x = v/c$	1,11	2,15	1,05
Tasa de Verde Efectivo, $g/C$	0,58	0,58	0,28
Demora uniforme, $d_1$ (s)	$d_1 = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left(\min(1, x)\right) * \frac{g}{C}}$		
Factor de demora incremental	0,50	0,50	0,50
Demora Incremental $d_2$ , (s/veh)	$d_2 = 9000 \left[ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{6kIX}{cT}} \right]$		
Factor de progresión ajustado PF	1	1	1
Demora, $d = d_1(PF) + d_2$ , (s/veh)	81,85	542,24	89,69
Nivel de servicio del grupo de carril (NS)	F	F	F
Demora de la intersección	$d_i = \frac{\sum (d_{iA})(v_{iA})}{\sum v_{iA}}$		
	285,82	NS de la intersección	F

Fuente: elaboración propia

En este período todos los accesos trabajan sobresaturados, debido a que presentan volúmenes mayores al flujo de saturación de cada uno. Los accesos 1 y 3 tienen una relación  $v/c$  cercana a la unidad, lo que indica que el volumen que contienen es cercano al flujo de saturación; por otro lado, el acceso 2 presenta una relación  $v/c$  de 2,15 que indica que se encuentra con el doble de vehículos que los necesarios para trabajar saturado.

Las demoras se ven afectadas por la saturación, por lo que son mucho mayores en el acceso 2 (542,24 s/veh) que en los accesos 1 (81,85 s/veh) y 3 (89,69 s/veh), aunque todas son consideradas como demoras inaceptables, lo que quiere decir que presentan un NS de F. El acceso 3 es el que presenta una mayor demora uniforme, aunque es el que presenta una menor demora incremental. La intersección como un todo presentó un NS = F, con una demora de 285,82 s/veh

- **Período de la noche.**



El análisis de la intersección de la Kra 7 x Calle 45 concluye con el período de la noche, en el cual se analizó la hora comprendida entre las 17:45 y las 18:45, que presentó los mayores flujos vehiculares. Los resultados se muestran en la **Tabla 5.14**.

**Tabla 5.14.** Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS, Kra 7 x Calle 45 en el período de la noche (17:30 – 19:30)

Capacidad del grupo de carriles, demora controlada y determinación del NS			
	Acceso 2 Re	Acceso 2	Acceso 3
Volúmen ajustado $V_p = V/FHP$ , (veh/h)	2036	2126	499
Capacidad del grupo de carril, $c$ (veh/h)	2469	1422	451
Relación $x = v/c$	0,82	1,50	1,11
Tasa de Verde Efectivo, $g/C$	0,62	0,62	0,21
Demora uniforme, $d_1$ (s)	$d_1 = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left(\min(1, x) * \frac{g}{C}\right)}$		
	13,19	17,00	35,50
Factor de demora incremental	0,50	0,50	0,50
Demora Incremental $d_2$ , (s/veh)	$d_2 = 900 \left[ (X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{6kX}{cT}} \right]$		
	2,49	225,90	69,69
Factor de progresión ajustado PF	1	1	1
Demora, $d = d_1(PF) + d_2$ , (s/veh)	15,68	242,90	105,19
Nivel de servicio del grupo de carril (NS)	B	F	F
Demora de la intersección	$d_i = \frac{\sum (d_{i,j})(v_{i,j})}{\sum v_{i,j}}$		
	111,60	NS de la intersección	F

Fuente: Elaboración propia

En este caso los accesos 2 y 3 trabajan sobresaturados, y al igual que en los otros períodos, el acceso 2 es el más crítico con una relación  $v/c$  de 1,50, contra un 1,11 del acceso 3. Por otro lado, el acceso 2 Re presenta una relación  $v/c$  de 0,82 que indica que tiene un flujo vehicular que puede ser atendido por el acceso sin llegar a la saturación.

En cuanto a las demoras, los accesos 2 y 3 que trabajan sobresaturados presentan demoras totales inaceptables que les significa tener NS de F. Al igual que en los otros períodos la mayor demora es la incremental (225,9 y 69,69 s/veh para los accesos 2 y 3 respectivamente), excepto para el acceso 2 Re que por tener un volumen inferior a su capacidad, tiene una demora incremental muy





pequeña (2,49 s/veh). La intersección como un todo presentó un  $NS = F$ , con una demora de 111,6 s/veh

## 5.2. Análisis de pasos peatonales.

### 5.2.1. Intersecciones semaforizadas

En el análisis de los pasos peatonales de las intersecciones semaforizadas, se evaluarán las condiciones que prestan estas a los peatones que la transitan a nivel de su capacidad y del nivel de servicio que prestan en cada una de estos pasos peatonales.

Para el análisis de capacidad y nivel de servicio es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros.

- *Obtención de tiempo-espacio total disponible*

El tiempo-espacio total disponible en el paso peatonal durante el ciclo semafórico, es el producto de su superficie por el intervalo de tiempo de la fase verde peatonal.

- *Cálculo de los tiempos medios de Cruce*

El tiempo medio que un peatón ocupa cada uno de los pasos, se obtiene dividiendo la longitud de paso (ancho de la calzada), entre una velocidad de marcha prefijada. La velocidad media de marcha en los pasos peatonales es de 1,37 m/s

- *Determinación del tiempo total de ocupación del cruce.*

El tiempo total de ocupación del cruce es el producto, del tiempo medio de cruce por el número de peatones que lo utilizan en cada ciclo semafórico.

- *Determinación de la superficie media de circulación por peatón y de nivel de servicio medio.*

La superficie media de circulación proporcionada a cada peatón, es el cociente entre el tiempo – espacio disponible para cruzar y el tiempo total de ocupación. Esta cociente es el módulo superficial medio proporcionado a cada peatón, relacionado con el nivel de servicio, relacionado con los criterios descritos e la **Tabla 5.15**



**Tabla 5.15** Niveles de servicio peatonal

NIVEL DE SERVICIO	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> /pt)	INTENSIDADES Y VELOCIDADES ESPERADAS		
		Velocidad Media, V (m/min)	INTENSIDAD, I (pt/min/m <sup>2</sup> )	RELACIÓN VOL/CAP l/c
A	> 11,70	> 78	< 7	< 0,08
B	> 3,6	> 75	< 23	< 0,28
C	> 2,6	> 72	< 33	< 0,40
D	> 1,35	> 68	< 49	< 0,60
E	> 0,54	> 45	< 82	< 1
F	< 0,54	< 45	VARIABLE	

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

- *Determinación de nivel de servicio para el caso de máxima oleada.*

Este análisis considera condiciones extremas, cuando el cruce se encuentra con el máximo número de usuarios. Esto tiene lugar cuando los peatones de cabeza de los cruces opuestos alcanzan la esquina contraria, respectivamente. El módulo de superficie par a estas condiciones de oleada, es el área de cruce dividido por el número máximo de peatones existente en el. El flujo peatonal en peatones por minuto se multiplica por el intervalo de tiempo de espera más el tiempo de cruce,  $t_p$ . El tiempo de espera (intervalo en el que la cara semafórica peatonal esta en rojo) se utiliza para estimar el número de peatones existentes en la cola, en el momento de darse la señal de cruce (verde peatonal) y el tiempo de cruce se suma para tener en cuenta a todos aquellos nuevos peatones que llegan al cruce en el período de tiempo en el que los peatones en cola hallan cruzado la calle.

Cuando no exista señalización semafórica peatonal, se sustituye en intervalo de la fase roja peatonal por el intervalo de la fase roja general más 3 s

- Estimación de la reducción del NS de los pasos peatonales debido a los vehículos que giran a la derecha.

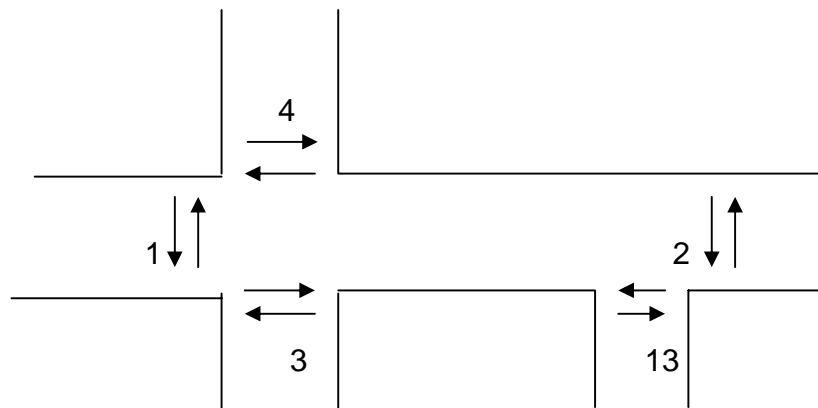
El método del tiempo – espacio, permite obtener una estimación del efecto del giro de los vehículos sobre en NS para los peatones que cruzan en una fase verde dada. Para ellos se toma una superficie media de ocupación del cruce por vehículo, basada del producto de la anchura del camino barrido por el vehículo en su trayectoria, por el ancho del paso peatonal, y de una estimación del tiempo en que el vehículo ocupa esta superficie. La anchura del camino barrido por la



mayoría de los vehículos es de 2,44 m así mismo se toma 5 s. Como el tiempo que cada uno ocupa el paso para peatones.

### 5.2.1.1. Calle 39 x Kra 7

**Figura 5.3.** Esquema de movimientos peatonales en la intersección Kra 7 x Calle 39.



Fuente: Elaboración Propia

- **Período mañana**

**Tabla 5.16** Resumen determinación de nivel de servicio<sup>58</sup>

MOVIMIENTO	A (m)	L (m)	S (m <sup>2</sup> )	Tsp (m <sup>2</sup> -min)	tp (s)	le (pt -C)	Ls (pt -C)	Tp (pt -min)	M (m <sup>2</sup> / pt.)	NS
1	2	21	42	18,9	15,33	5	6	2,61	6,73	B
2	2	21	42	18,9	15,33	11	5	3,80	4,62	B
3	2	7,2	14,4	10,08	5,26	3	6	0,79	12,79	A
13	2	7,2	14,4	10,08	5,26	6	3	0,79	12,79	A
4	2	7,2	14,4	10,08	5,26	3	3	0,53	19,18	A

Fuente: Elaboración Propia

La **Tabla 5.16** muestra el nivel de servicio que presta la intersección semaforizada de la calle 39 x Kra 7 en el período de la mañana en donde este está dividido según el movimiento y la calle o carrera que los peatones tengan que atravesar, se observa que para los movimientos 1 y 2 (que atraviesan la Kra 7) los cruces peatonales presentan un nivel de servicio B, que proporciona la superficie

<sup>58</sup> Ver cálculos **ANEXO 6**



suficiente para permitir que los peatones elijan libremente su velocidad de marcha, se adelanten unos a otros y eviten los conflictos al entrecruzarse entre si. Para los movimientos 3, 13 y 4 (atravesan calle 39) se presenta un nivel de servicio A, donde los peatones prácticamente caminan en la trayectoria que desean, sin verse obligados a modificarla por la presencia de otros peatones.

**Tabla 5.17** Resumen determinación de nivel de servicio para período de máxima oleada y afectado debido a vehículos que giran a la derecha.<sup>59</sup>

Movimiento	Le (pt -min)	Is (pt -min)	Qm (pt.)	M (m2 / pt.)	NS	M (m2/ pt.)	NS(GD)
1	3	4	5,6	7,02	B	6,73	B
2	7	3	8,1	4,80	B	4,62	B
3	2	4	3,4	4,26	B	9,07	B
13	4	2	3,4	4,26	B	12,79	A
4	2	2	2,2	6,44	B	19,18	A

Fuente: Elaboración Propia

Para las condiciones de máxima oleada se observa en la **Tabla 5.17** que el nivel de servicio para los movimientos 3 13 y 14 disminuye, esto debido al aumento de peatones en el período de máxima oleada. En cuanto a la disminución del nivel de servicio debido a vehículos que giran a la derecha solo existe un movimiento que presenta este tipo de inconveniente (Movimiento 3) en donde se genera una disminución del NS debido a la cantidad de vehículos que entran en conflicto con los peatones al girar desde la Kra 7 sentido norte – sur a la calle 39 sentido oriente – occidente.

- **Período tarde**

**Tabla 5.18** Resumen determinación de nivel de servicio<sup>60</sup>

MOVIMIENTO	A (m)	L (m)	S (m2)	Tsp (m2 - min)	tp (s)	Le (pt - C)	Is (pt - C)	Tp (pt - min)	M (m2 / pt.)	NS
1	2	21	42	16,1	15,33	5	11	3,80	3,94	B
2	2	21	42	16,1	15,33	8	5	3,08	4,85	B
3	2	7,2	14,4	11,52	5,26	8	7	1,31	8,77	B
13	2	7,2	14,4	11,52	5,26	7	5	1,05	10,96	B
4	2	7,2	14,4	11,52	5,26	5	9	1,23	9,39	B

<sup>59</sup> Idem

<sup>60</sup> Ver cálculos **ANEXO 6**



Fuente: Elaboración Propia

La **Tabla 5.18** muestra el nivel de servicio que presta la intersección semaforizada de la calle 39 x Kra 7 en el período de la tarde todos los movimientos de la intersección presentan un nivel de servicio B, que proporciona la superficie suficiente para permitir que los peatones elijan libremente su velocidad de marcha, se adelanten unos a otros y eviten los conflictos al entrecruzarse entre si.

**Tabla 5.19** Resumen determinación de nivel de servicio para período de máxima oleada y afectado debido a vehículos que giran a la derecha.<sup>61</sup>

MOVIMIENTO	le (pt -min)	ls (pt -min)	Qm (pt.)	M (m2 / pt.)	NS	M (m2 / pt.)	NS(GD)
1	3	7	9,1	4,27	B	3,94	B
2	5	3	7,2	5,41	B	4,85	B
3	5	4	4,5	3,17	C	6,54	B
13	4	3	3,5	4,11	B	10,96	B
4	3	6	4,5	3,18	C	9,39	B

Fuente: Elaboración Propia

Para las condiciones de máxima oleada se observa en la **Tabla 5.19** que el nivel de servicio para los movimientos 3 y 14 disminuye, esto debido al aumento de peatones en el período de máxima oleada. En cuanto a la disminución del nivel de servicio debido a vehículos que giran a la derecha, solo existe un movimiento que presenta este tipo de inconveniente (Movimiento 3), en donde no se genera una disminución del NS debido a que solamente 2 vehículos<sup>62</sup> entran en conflicto con los peatones al girar desde la Kra 7 sentido norte – sur a la calle 39 sentido oriente – occidente en el período de estudio.

<sup>61</sup> Idem

<sup>62</sup> Fuente ANEXO 6



• **Período noche**

**Tabla 5.20** Resumen determinación de nivel de servicio<sup>63</sup>

MOVIMIENTO	A (m)	L (m)	S (m2)	Tsp (m2 - min)	tp (s)	le (pt - C)	ls (pt - C)	Tp (pt - min)	M (m2 / pt.)	NS
1	2	21	42	18.9	15.33	3	5	1,90	9,25	B
2	2	21	42	18.9	15.33	8	3	2,61	6,73	B
3	2	7,2	14,4	10,08	5,26	5	2	0,61	16,44	A
13	2	7,2	14,4	10,08	5,26	2	1	0,26	38,36	A
4	2	7,2	14,4	10,08	5,26	1	2	0,26	38,36	A

Fuente: Elaboración Propia

La **Tabla 5.20** muestra el nivel de servicio que presta la intersección semaforizada de la calle 39 x Kra 7 en el período de la noche, en donde este está dividido según el movimiento y la calzada que los peatones tengan que atravesar. Se observa que para los movimientos 1 y 2 (atravesan la Kra 7) los cruces peatonales presentan un nivel de servicio B, que proporciona la superficie suficiente para permitir que los peatones elijan libremente su velocidad de marcha, se adelanten unos a otros y eviten los conflictos al entrecruzarse entre si. Para los movimientos 3, 13 y 4 (atravesan calle 39) se presenta un nivel de servicio A, donde los peatones prácticamente caminan en la trayectoria que desean, sin verse obligados a modificarla por la presencia de otros peatones.

**Tabla 5.21** Resumen determinación de nivel de servicio para período de máxima oleada.<sup>64</sup>

MOVIMIENTO	le (pt -min)	Ls (pt -min)	Qm (pt.)	M (m2/ pt.)	NS
1	2	3	3,91	9,98	B
2	5	2	5,55	7,02	B
3	4	8	6,72	2,14	D
13	8	3	6,10	2,36	D
4	3	1	2,22	6,49	B

Fuente: Elaboración Propia

Para las condiciones de máxima oleada se observa en la **Tabla 5.21** que el nivel de servicio para los movimientos 3 13 y 14 disminuye, debido al aumento de

<sup>63</sup> Ver cálculos ANEXO 6

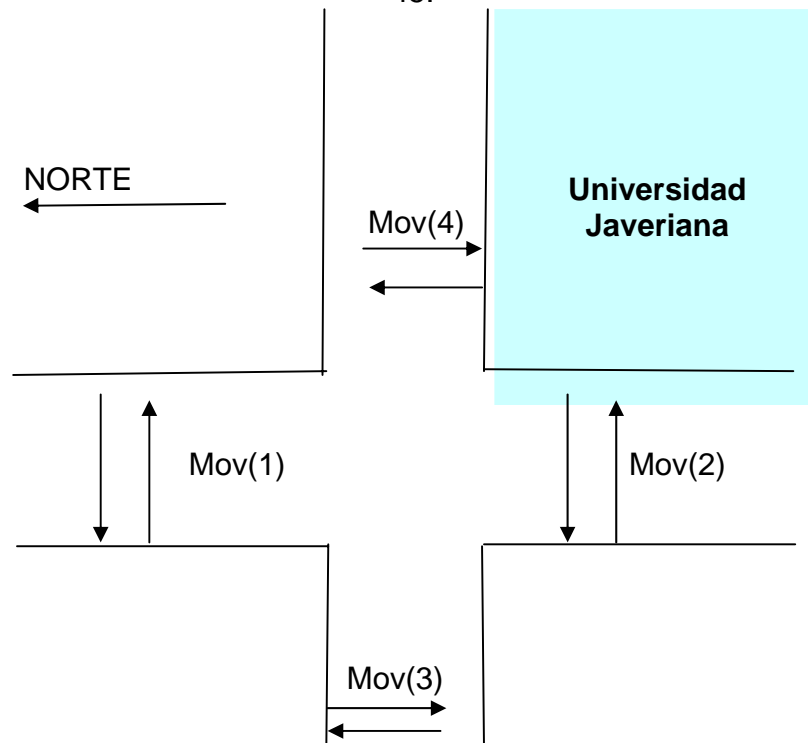
<sup>64</sup> Ver cálculos ANEXO 6



peatones en el período de máxima oleada. En cuanto a la disminución del nivel de servicio debido a vehículos que giran a la derecha, esta no se presenta debido a que en este período la Kra 7 se encuentra en condiciones de contraflujo y los giros a la derecha no existen.

#### 5.2.1.2. Calle 45 x Kra 7

**Figura 5.4.** Esquema de movimientos peatonales en la intersección Kra 7 x Calle 45.



Fuente: Elaboración Propia



• **Período Mañana**

**Tabla 5.22** Resumen determinación de nivel de servicio<sup>65</sup>

MOVIMIENTO	A (m)	L (m)	S (m <sup>2</sup> )	Tsp (m <sup>2</sup> - min)	tp (s)	le (pt -C)	ls (pt -C)	Tp (pt - min)	M (m <sup>2</sup> / pt.)	NS(GD)
1	2	21	42	22,4	15,33	2	3	1,28	17,54	A
2	2	21	42	22,4	15,33	28	12	10,22	2,19	D
3	2	7,2	14,4	16,8	5,26	3	2	0,44	38,36	A
4	2	7,2	14,4	16,8	5,26	3	7	0,88	19,18	A

Fuente: Elaboración Propia

La **Tabla 5.22** muestra el nivel de servicio que presta la intersección semaforizada de la calle 45 x Kra 7 en el período de la mañana, donde se observa que la intersección únicamente presenta un tipo de movimiento crítico (movimiento 2) debido a que la mayoría de los peatones utilizan este cruce de la intersección, la cual se analizará en el siguiente capítulo. Este movimiento presenta un NS D, donde se restringe la libertad individual de elegir la velocidad de marcha y el adelantamiento, se presenta una alta probabilidad de generación de conflictos, que causa los cambios frecuentes de velocidad y de posición para eludirlos. Este movimiento proporciona un flujo razonablemente fluido; no obstante, existen entre los peatones unas fricciones e interacciones notables.

Los movimientos restantes presentan un nivel de servicio A, donde los peatones prácticamente caminan en la trayectoria que desean, sin verse obligados a modificarla por la presencia de otros peatones.

**Tabla 5.23** Resumen determinación de nivel de servicio para período de máxima oleada y afectado debido a vehículos que giran a la derecha.<sup>66</sup>

MOVIMIENTO	le (pt -min)	Ls (pt -min)	Qm (pt.)	M (m <sup>2</sup> / pt.)	NS	M (m <sup>2</sup> / pt.)	NS(GD)
1	2	2	4,95	8,48	B	17,54	A
2	19	9	38,84	1,08	E	0,94	E
3	2	1	1,92	7,49	B	38,36	A
4	2	5	4,54	3,17	C	-9,23	F

Fuente: Elaboración Propia

<sup>65</sup> Ver cálculos ANEXO 6

<sup>66</sup> Ver cálculos ANEXO 6





Analizando el período de máxima oleada, se observa en la **Tabla 5.23** que existe una disminución del nivel de servicio debido a las altas concentraciones de peatones en un período fijo. En cuanto a la disminución del NS debido a vehículos que giran a la derecha, esta intersección presenta este tipo de conflicto vehículo peatón, en dos movimientos (2 y 4), donde se observa que este conflicto genera una disminución radical de los NS llevándolos a un punto crítico el movimiento, debido a una disminución de la superficie por peatón, dando a entender que el paso peatonal no puede satisfacer la demanda peatonal ni vehicular, produciendo problemas de de demora o de capacidad.

- **Período Tarde**

El período de la tarde muestra las mismas condiciones y NS analizados para el período de la mañana

**Tabla 5.24** Resumen determinación de nivel de servicio<sup>67</sup>

MOVIMIENTO	A (m)	L (m)	S (m <sup>2</sup> )	Tsp (m <sup>2</sup> -min)	tp (s)	le (pt -C)	Ls (pt -C)	Tp (pt -min)	M (m <sup>2</sup> / pt.)	NS
1	2	21	42	23,1	15,33	2	2	1,02	22,61	A
2	2	21	42	23,1	15,33	38	29	17,12	1,35	D
3	2	7,2	14,4	16,56	5,26	4	7	0,96	17,19	A
4	2	7,2	14,4	16,56	5,26	7	9	1,40	11,82	A

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 5.25** Resumen determinación de nivel de servicio para período de máxima oleada y afectado debido a vehículos que giran a la derecha.<sup>68</sup>

MOVIMIENTO	le (pt -min)	ls (pt -min)	Qm (pt.)	M (m <sup>2</sup> / pt.)	NS	M (m <sup>2</sup> / pt.)	NS(GD)
1	1	1	2,43	17,26	A	22,61	A
2	19	15	50,50	0,83	D	0,60	E
3	2	3	3,33	4,32	B	17,19	A
4	4	4	5,39	2,67	C	-4,90	F

Fuente: Elaboración Propia

<sup>67</sup> Ver cálculos ANEXO 6

<sup>68</sup> Idem



- **Período Noche**

El período de la noche muestra las mismas condiciones y NS analizados para el período de la mañana

**Tabla 5.26** Resumen determinación de nivel de servicio<sup>69</sup>

MOVIMIENTO	A (m)	L (m)	S (m <sup>2</sup> )	Tsp (m <sup>2</sup> - min)	tp (s)	le (pt -C)	ls (pt -C)	Tp (pt - min)	M (m <sup>2</sup> / pt.)	NS
1	2	21	42	12,6	15,33	2	2	1,02	12,33	A
2	2	21	42	12,6	15,33	19	9	7,15	1,76	D
3	2	7,2	14,4	13,2	5,26	2	1	0,26	50,23	A
4	2	7,2	14,4	13,2	5,26	2	5	0,61	21,53	A

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 5.27** Resumen determinación de nivel de servicio para período de máxima oleada y afectado debido a vehículos que giran a la derecha.<sup>70</sup>

MOVIMIENTO	le (pt -min)	Ls (pt -min)	Qm (pt.)	M (m <sup>2</sup> / pt.)	NS	M (m <sup>2</sup> / pt.)	NS(GD)
1	1	2	2,95	14,23	A	12,33	A
2	13	6	20,63	2,04	D	1,76	D
3	1	1	0,80	17,81	A	50,23	A
4	1	3	1,64	8,78	B	-2,35	F

Fuente: Elaboración Propia

La disminución del NS debido a vehículos que giran a la derecha, se presenta en el movimiento 4, debido a los conflictos vehículo peatón presentados. Se observa una disminución radical del NS, llevándolos a un punto crítico y a una disminución de la superficie por peatón, dando a entender que el paso peatonal no puede satisfacer la demanda peatonal y vehicular, produciendo problemas de demora y capacidad.

## 5.2.2. Paso peatonal túnel subterráneo

### 5.2.2.1. Nivel de servicio debido a intensidad

<sup>69</sup> Idem

<sup>70</sup> Ver cálculos ANEXO 6





El cálculo para el paso peatonal del túnel subterráneo de la calle 41 x Kra 7, se basa en el aforo peatonal de los 15 min punta. Los datos de partida necesarios para llevar a cabo este análisis son:

- Aforo de la intensidad de los 15 min punta,  $Q_{p15}$  en pt/15 min

**Tabla 5.28** Intensidad de peatones discriminado por período de 15 min

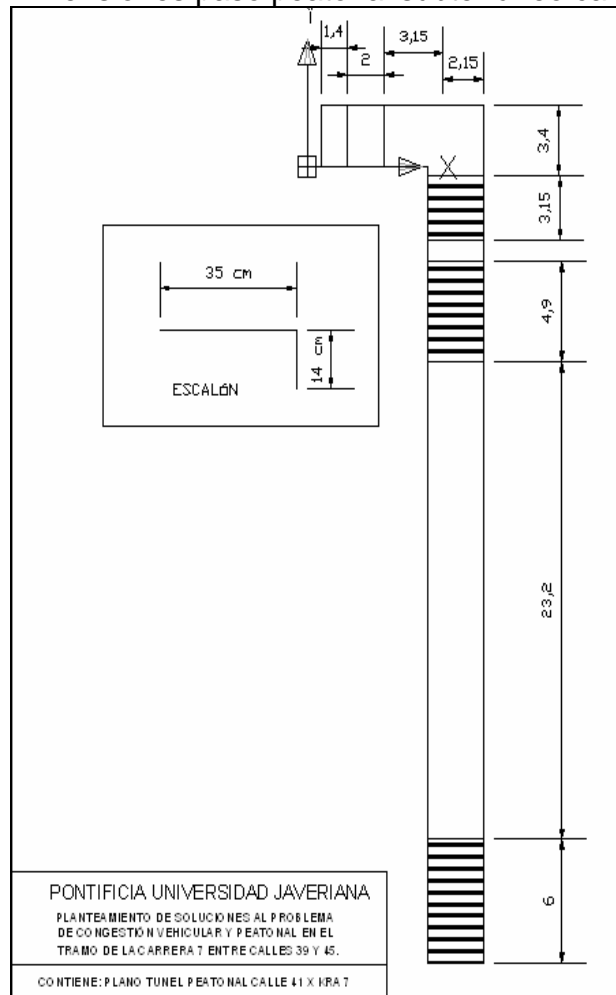
PERÍODO	Movimiento 1		Total	Total Hora
	1-1	1-2		
7:00 - 7:15	946	114	1060	
7:15 - 7:30	670	101	771	
7:30 - 7:45	402	118	520	
7:45 - 8:00	564	188	752	3103
8:00 - 8:15	638	182	820	2863
8:15 - 8:30	505	212	717	2809
8:30 - 8:45	567	177	744	3033
8:45 - 9:00	734	248	982	3263
9:00 - 10:00	0	0	0	
10:00 - 11:00	0	0	0	
11:00 - 12:00	0	0	0	
12:00 - 13:00	0	0	0	
13:00 - 13:15		1420	1420	
13:15 - 13:30		1085	1085	
13:30 - 13:45	1020	984	2004	
13:45 - 14:00	1380	469	1849	6358
14:00 - 14:15	1152	312	1464	6402
14:15 - 14:30	439	286	725	6042
14:30 - 14:45	385	274	659	4697
14:45 - 15:00	328	321	649	3497
15:00 - 16:00	0	0	0	
16:00 - 17:00	0	0	0	
17:30 - 17:45	148	715	864	
17:45 - 18:00	143	549	692	
18:00 - 18:15	156	654	810	
18:15 - 18:30	121	440	561	2926
18:30 - 18:45	116	553	669	2732
18:45 - 19:00	129	559	688	2728
19:00 - 19:15	73	567	641	2559
19:15 - 19:30	12	432	444	2442

 Período de análisis  
 Hora Pico

Fuente: Elaboración Propia

- Anchura Total de la vía peatonal ( $A_T$ ), en m

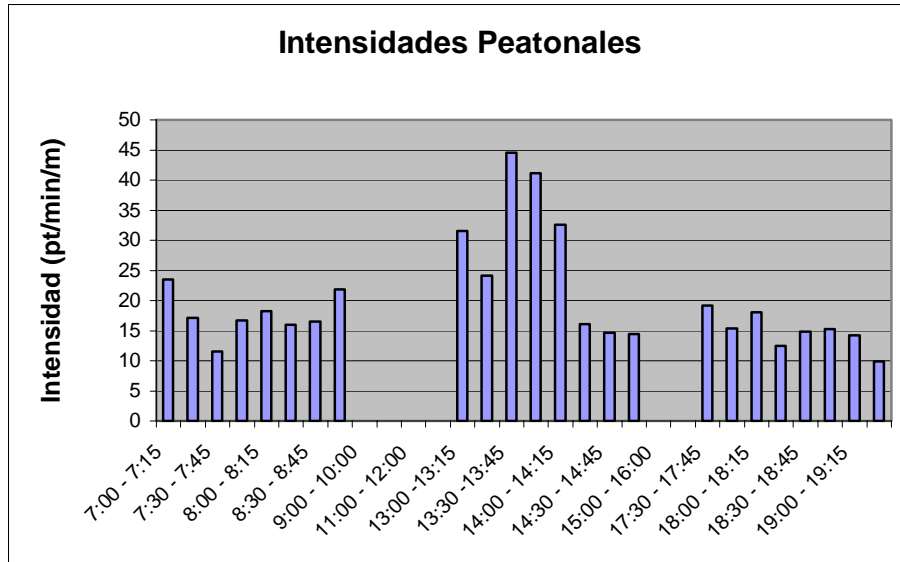
**Figura 5.5** Dimensiones paso peatonal subterráneo calle 41 x Kra 7



Fuente: Elaboración Propia



**Gráfica 5.1.** Intensidades peatonales, túnel peatonal



Fuente: Elaboración Propia

La intensidad media de los distintos niveles de servicio es de escasa utilidad si no se refiere a intervalos de tiempos razonables. Las fluctuaciones durante los períodos de aforo se presentan debido a las llegadas aleatorias de los peatones, por eso es de suma importancia el estudio de pelotones para el cálculo de las intensidades medias de los NS, y en consecuencia realizar los ajustes oportunos.



- **Período Mañana**

**Tabla 5.29** Resumen determinación de nivel de servicio

<b>Volumen Peatonal</b>	
Q1 (pt/15 min)	946
Q2 (pt/15 min)	114
Qp (pt/15 min)	1060
<b>Ancho Peatonal</b>	
Ae (m)	3
<b>NS Medio de la Via Peatonal</b>	
$I = Qp/15Ae$ (pt/min/m)	23,56
NS Medio	<b>C</b>
<b>NS de los Pelotones de la via peatonal</b>	
$I_p = I + 13,12$	36,68
NS de los pelotones	<b>D</b>

Fuente: Elaboración Propia

Para el período de la mañana se observa en la **tabla 5.28** un nivel de servicio D, donde se restringe la libertad individual de elegir la velocidad de marcha y el adelantamiento. Una alta probabilidad de generación de conflictos causa los cambios frecuentes de velocidad y de posición para eludirlos. Este movimiento proporciona un flujo razonablemente fluido; no obstante, existen entre los peatones unas fricciones e interacciones notables



- **Período Tarde**

**Tabla 5.30** Resumen determinación de nivel de servicio

<b>Volumen Peatonal</b>	
Q1 (pt/15 min)	1020
Q2 (pt/15 min)	984
Qp (pt/15 min)	2004
<b>Ancho Peatonal</b>	
Ae (m)	3
<b>NS Medio de la Via Peatonal</b>	
$I = Qp/15Ae$ (pt/min/m)	44,53
NS Medio	<b>D</b>
<b>NS de los Pelotones de la via peatonal</b>	
$I_p = I + 13,12$	57,65
NS de los pelotones	<b>E</b>

Fuente: Elaboración Propia

El período de la tarde es el que presenta un mayor flujo vehicular debido a que un gran número de personas utilizan este acceso peatonal subterráneo para dirigirse a las zonas de restaurantes aledañas a la zona y luego regresar a sus actividades previas. En este período se calculó un nivel de servicio E mostrado en la **tabla 5.30**, en donde prácticamente todos los peatones tienen restringida la velocidad normal de marcha, lo que les exige modificar y ajustar su paso. El movimiento hacia delante solo es posible mediante una forma de avance denominada “arrastre de pies”. No se dispone de la superficie suficiente para el adelantamiento de los peatones más lentos. Los movimientos en sentido contrario o entrecruzados solo son posibles con extrema dificultad, lo que causa detenciones e interrupciones en el flujo.



- **Período Noche**

**Tabla 5.31** Resumen determinación de nivel de servicio

<b>Volumen Peatonal</b>	
Q1 (pt/15 min)	148
Q2 (pt/15 min)	715
Qp (pt/15 min)	863
<b>Ancho Peatonal</b>	
Ae (m)	3
<b>NS Medio de la Vía Peatonal</b>	
$I = Qp/15Ae$ (pt/min/m)	19,18
NS Medio	<b>B</b>
<b>NS de los Pelotones de la vía peatonal</b>	
$I_p = I + 13,12$	32,30
NS de los pelotones	<b>C</b>

Fuente: Elaboración Propia

El período de la noche presenta un nivel de servicio C, en el cual existe una velocidad normal de marcha y se permiten los adelantamientos. Se producen ligeros conflictos esporádicos entre los movimientos de sentido contrario.





### 5.2.2.2. Nivel de servicio debido a velocidad

**Tabla 5.32** Resumen determinación de nivel de servicio

Hora Mañana (s)	Hora Tarde (s)	Hora Noche (s)	Distancia vertical (m)	Distancia Horizontal (m)	Total (m)	Velocidad Mañana (m/s)	Velocidad Tarde (m/s)	Velocidad Noche (m/s)	NS (MAÑANA)	NS (TARDE)	NS (NOCHE)
51	112	39	41,65	8,7	50,35	0,99	0,45	1,29	E	F	B
54	105	41	41,65	8,7	50,35	0,93	0,48	1,23	E	F	C
52	108	43	41,65	8,7	50,35	0,97	0,47	1,17	E	F	D
56	118	40	41,65	8,7	50,35	0,90	0,43	1,26	E	F	B
50	121	42	41,65	8,7	50,35	1,01	0,42	1,20	E	F	D
									E	F	C

Fuente: Elaboración Propia

Al analizar el nivel de servicio que presta el paso peatonal subterráneo por criterio de velocidad media de desplazamiento, se encontró que tanto para el período de la mañana como el de la tarde, el paso peatonal subterráneo funciona de manera crítica debido a los altos volúmenes de peatones que lo utilizan para dirigirse a sus diversos oficios. Este alto volumen de peatones causa una gran disminución de la velocidad, generando a su vez un nivel de servicio muy bajo.<sup>71</sup>

<sup>71</sup> Ver *Tabla 5.14*



## 6. DIAGNÓSTICO



---

## 6.1 Congestión vehicular

La congestión vehicular puede presentar diferentes características, dependiendo del punto de vista desde donde se analice. Debido a esto, se presenta a continuación un análisis hecho para las dos intersecciones semaforizadas del tramo, así como para el tramo de estudio como tal.

### 6.1.1 Intersección semaforizada Kra 7 x Calle 39 <sup>72</sup>

- En la intersección se presentan dos situaciones muy distintas: la de los accesos 3 y 4 (calle 39), con volúmenes vehiculares por debajo de la capacidad, demoras (debidas básicamente a la operación semafórica) y NS aceptables; y la de los accesos 1 y 12 (o 12 Re y 12 en el período de la noche), que trabajan con flujos entre 1,41 y 2,12 veces el de saturación, lo que genera colas y grandes demoras que se traducen a su vez en NS inaceptables. Lo anterior debido a que en la Kra 7 (accesos 1, 12 y 12 Re) se presentan volúmenes vehiculares mucho mayores que en la Calle 39, así como una mayor proporción de vehículos pesados.
- Analizando lo que ocurre en la Kra 7, el acceso 12 presenta la operación más crítica, con valores de v/c cercanos a 2 en los períodos de la tarde y la noche, y alcanzando un pico de 2,60 para el período de la mañana, mientras que en los accesos 1 y 12 Re se observan valores de v/c cercanos a 1,4 con un pico de 1,59 también en la mañana. En cuanto a las demoras, si bien ambos accesos presentaron nivel de servicio F, se observaron demoras aproximadamente 2,5 veces mayores en el acceso 12 que en el acceso 1 (o 12 Re, dado el caso). Esto se da porque en el sentido sur – norte de la Kra 7 hay una mayor cantidad de vehículos de transporte público colectivo, que tienen una gran afectación en el tráfico.
- En cuanto a la calle 39, los accesos 3 y 4 presentaron un comportamiento muy similar entre sí, y poco variable en los 3 períodos de análisis. Lo anterior debido a que las demoras incrementales que presentaban eran muy bajas, dependiendo entonces la demora prácticamente en su totalidad de la demora uniforme que no presenta mayores variaciones a lo largo del día.

---

<sup>72</sup> Ver Tablas 5.8 a 5.10



- Se aprecia también que el período más crítico del día, para todos los accesos es la mañana, mientras que los períodos de la tarde y la noche son muy similares entre sí en cuanto a volúmenes vehiculares se trata, obviando las diferencias de la operación por cuenta del contraflujo.

### 6.1.2 Intersección semaforizada Kra 7 x Calle 45<sup>73</sup>

- En la intersección semaforizada de la Kra 7 x Calle 45, a diferencia de la otra intersección semaforizada del tramo, los 3 accesos operan en una situación de sobresaturación, es decir, con relaciones  $v/c > 1$ . Lo anterior no significa que las condiciones sean similares entre estos 3 accesos, ya que su condición crítica de  $v/c$  la deben a diversos factores.
- En el caso de la Kra 7, el sentido sur – norte (acceso 2) presenta mayores valores de relación  $v/c$  que el sentido norte – sur (acceso 1), en los dos períodos que este opera. Lo anterior tiene su explicación en que el acceso 2 presenta una mayor cantidad de vehículos de transporte público colectivo (aproximadamente 26% contra 11% del acceso 1, ver **Tabla 4.7**), que se traduce en un mayor número de paradas de los mismos en la intersección (150 contra 80 del acceso 1 en la mañana y 180 contra 110 en la tarde, ver **Anexo 6**). Otro aspecto que afecta en forma negativa la operación del acceso 2 es la posibilidad de giros a la derecha, y la gran proporción de vehículos que realizan dichos giros (ver **Anexo 6**), mientras que el acceso 1 no tiene ninguna posibilidad de giro, lo que incrementa su capacidad.
- Todo lo anterior lleva a que, si bien ambos accesos se encuentran saturados, en el acceso 1 esta situación no sea tan crítica, observándose su mayor saturación en el período de la mañana donde alcanzó un pico de  $v/c=1,50$ , siendo este mismo valor el mínimo que registró el acceso 2, que alcanzó un valor máximo de 2,46. Lo ocurrido con las demoras en estos dos accesos fue similar a lo que se encontró en cuanto a la capacidad de los mismos: el acceso 2 presentó demoras (682,32 y 542,24 s/veh en los períodos de la mañana y tarde respectivamente) mucho mayores que el acceso 1 (250,82 y 81,85 s/veh en la mañana y la tarde respectivamente). Estas grandes diferencias se presentaron debido a la demora incremental que producen los vehículos que quedan en cola en la intersección, la cual es mucho mayor en el acceso 2 por el alto grado de saturación que presenta, ya que la demora uniforme es igual para estos dos accesos (24,5 s/veh en la mañana y 25 s/veh en la tarde).

<sup>73</sup> Ver Tablas 5.8 a 5.10



- En el período de la noche, el acceso 1 no opera debido al contraflujo, quedando esos 3 carriles funcionando en sentido sur – norte (acceso 2 Re). El acceso 2 Re, fue el único de toda la intersección que, presentó una demora (15,68 s/veh) y por tanto un NS (B) aceptables. Lo anterior debido a que el volumen que transita por este acceso es menor, casi en su totalidad compuesto por vehículos livianos y con imposibilidad de giros.
- En cuanto a la calle 45 (acceso 3), opera en condición sobresaturada en los 3 períodos de estudio, no por presentar altos volúmenes vehiculares, sino porque su capacidad se disminuye mucho debido a la operación de vehículos de transporte público colectivo y a la posibilidad de realizar cualquier movimiento, excepto los giros en “u” (movimiento 10(3)) y los giros a la derecha en el período de la noche a pesar de contar únicamente con 2 carriles.
- El tener una relación  $v/c > 1$ , lleva a que el acceso 3 presente demoras muy grandes, por lo que tiene un NS de F en los tres períodos analizados.
- Se observa finalmente que el período del día más crítico es el de la mañana, donde la demora total de la intersección como un todo fue de 412,13 s/veh, 126,31 s/veh mayor que la demora que presentó en la tarde y 300,53 s/veh mayor que la del período de la noche.

### 6.1.3 Tramo de estudio

Un comportamiento similar al presentado en el análisis de las intersecciones semaforizadas, se puede hacer para el tramo de estudio, donde la Kra 7 a lo largo del tramo de estudio presenta características diferentes de acuerdo con el sentido de circulación. En sentido Sur – Norte, se evidencia un gran porcentaje de vehículos de transporte público (aproximadamente el 26%) mientras que en sentido Norte – Sur este porcentaje baja significativamente (aproximadamente 11%). Esto es debido a que en el sentido Norte – Sur el transporte público se distribuye con la carrera 13, mientras que en el sentido Sur – Norte se concentra en la calzada oriental de la Kra 7.

Existe en el tramo una gran cantidad de taxis, la cual varía dependiendo de la hora del día que se esté analizando. En el período de la mañana, los taxis son el tipo de vehículo más representativo, presentándose en un orden de magnitud de 1370 vehículos/hora, representando aproximadamente el 43% del total de vehículos. En los períodos de la tarde y de la noche, los autos son el vehículo más



representativo desplazando a los taxis a un segundo lugar, representando aproximadamente el 50% y el 35% respectivamente<sup>74</sup>.

En cuanto a la oferta de transporte se puede afirmar que, además de la gran cantidad de taxis encontrada existe una gran cantidad de vehículos de transporte público colectivo, que circulan en el tramo de estudio. Los altos volúmenes de buses, busetas, buses ejecutivos y colectivos que están asociados a un alto número de rutas de transporte público colectivo, hacen que exista una sobreoferta en la zona de estudio. En efecto los porcentajes de ocupación de este tipo de vehículos son del orden del 56% en sentido Sur – Norte y del 37% en sentido Norte – Sur, lo que indica que la demanda, al menos en este tramo, se podría satisfacer con un número menor de vehículos

Se puede apreciar también que en términos generales, los vehículos de transporte público colectivo en sentido Sur – Norte salen del tramo de estudio con una ocupación mucho mayor que con la que entran, mientras que en el sentido Norte – Sur ocurre lo contrario; lo anterior debido a el intenso uso del suelo en la zona de estudio, que lleva a que constantemente esté llegando y saliendo gente (aparentemente en su mayoría desde y hacia el norte de la ciudad).

## 6.2. Congestión Peatonal

Durante los períodos de aforo se presentan fluctuaciones, debido a las llegadas aleatorias de los peatones, por lo que es de suma importancia el estudio de los pelotones para el cálculo de las intensidades medias de los NS, y en consecuencia realizar los ajustes oportunos.

### 6.2.1. Intersección semaforizada calle 45

- **Período de la mañana**

La **Tabla 5.21** muestra el nivel de servicio que presta la intersección semaforizada de la calle 45 x Kra 7 en el período de la mañana, donde se observa que la intersección únicamente presenta un tipo de movimiento crítico (movimiento 2) debido a que la mayoría de los peatones utilizan este cruce de la intersección. Este movimiento presenta un NS D, donde se restringe la libertad individual de elegir la velocidad de marcha y el adelantamiento, se presenta una alta probabilidad de generación de conflictos, que causa los cambios frecuentes de velocidad y de posición para eludirlos. Este movimiento proporciona un flujo razonablemente fluido; no obstante, existen entre los peatones unas fricciones e interacciones notables.

<sup>74</sup> Ver gráficas 4.3 a 4.8



Los movimientos restantes presentan un nivel de servicio A, donde los peatones prácticamente caminan en la trayectoria que desean, sin verse obligados a modificarla por la presencia de otros peatones.

Analizando el período de máxima oleada, se observa en la **tabla 5.22** que existe una disminución del nivel de servicio debido a las altas concentraciones de peatones en un período fijo. En cuanto a la disminución del NS debido a vehículos que giran a la derecha, esta intersección presenta este tipo de conflicto vehículo peatón, en dos movimientos (2 y 4), donde se observa que este conflicto genera una disminución radical de los NS llevándolos a un punto crítico el movimiento, debido a una disminución de la superficie por peatón, dando a entender que el paso peatonal no puede satisfacer la demanda peatonal ni vehicular, produciendo problemas de de demora o de capacidad.

- **Período de la tarde**

El período de la tarde muestra las mismas condiciones y NS analizados para el período de la mañana

- **Período de la noche**

La disminución del NS debido a vehículos que giran a la derecha, se presenta en el movimiento 4, debido a los conflictos vehículo peatón presentados. Se observa una disminución radical del NS, llevándolos a un punto crítico y a una disminución de la superficie por peatón, dando a entender que el paso peatonal no puede satisfacer la demanda peatonal y vehicular, produciendo problemas de demora y capacidad.

## **6.2.2. Intersección semaforizada calle 39**

- **Período de la Mañana**

La **Tabla 5.15** muestra el nivel de servicio que presta la intersección semaforizada de la calle 39 x Kra 7 en el período de la mañana, en donde este aparece discriminado según el movimiento y la calzada que los peatones tienen que atravesar. Se observa que para los movimientos 1 y 2 (que atraviesan la Kra 7) los cruces peatonales presentan un nivel de servicio B, que proporciona la superficie suficiente para permitir que los peatones elijan libremente su velocidad de marcha, se adelanten unos a otros y eviten los conflictos al entrecruzarse entre si. Para los movimientos 3,13 y 4 (que atraviesan la calle 39) se presenta un nivel de servicio A, en el cual, como se dijo anteriormente los peatones prácticamente caminan en



la trayectoria que desean, sin verse obligados a modificarla por la presencia de otros peatones.

En la **tabla 5.20** se observa que para las condiciones de máxima oleada el NS de los movimientos 3 13 y 14 disminuye, debido al aumento de peatones tan notorio que se presenta bajo esta condición. Por otro lado, no se observa una disminución del nivel de servicio debido a vehículos que giran a la derecha, dado que en este período la Kra 7 se encuentra en condiciones de contraflujo, y los giros a la derecha son prohibidos.

- **Período de la Tarde**

La **Tabla 5.17** muestra el nivel de servicio que presta la intersección semaforizada de la calle 39 x Kra 7, en el período de la tarde. Se observa que todos los movimientos de la intersección presentan un nivel de servicio B, el cual proporciona la superficie suficiente para permitir que los peatones elijan libremente su velocidad de marcha, se adelanten unos a otros y eviten los conflictos al entrecruzarse entre si.

Para las condiciones de máxima oleada se observa en la **Tabla 5.18** que el nivel de servicio para los movimientos 3 y 14 disminuye, debido al aumento de peatones que se presenta.

En cuanto a la disminución del nivel de servicio debido a vehículos que giran a la derecha solo existe un movimiento que presenta este inconveniente (Movimiento 3), aunque no genera una disminución del NS debido ya que solo 2 vehículos<sup>75</sup> entran en conflicto con los peatones al girar desde la Kra 7 sentido norte – sur a la calle 39 sentido oriente – occidente en el período de estudio.

- **Período de la Noche**

La **Tabla 5.19** muestra el nivel de servicio que presta la intersección semaforizada de la calle 39 x Kra 7 en el período de la noche, apreciándose según el movimiento y la calzada que los peatones deben atravesar. Se observa que para los movimientos 1 y 2 (que atraviesan la Kra 7) los cruces peatonales presentan un nivel de servicio B que proporciona la superficie suficiente para permitir que los peatones elijan libremente su velocidad de marcha, se adelanten unos a otros y eviten los conflictos al entrecruzarse entre si. Para los movimientos 3 , 13 y 4 (que atraviesan la calle 39) se presenta un nivel de servicio A donde los peatones prácticamente caminan en la trayectoria que desean, sin verse obligados a modificarla por la presencia de otros peatones.

<sup>75</sup> Fuente ANEXO 6





Para las condiciones de máxima oleada se observa en la **Tabla 5.16** que el nivel de servicio para los movimientos 3 13 y 14 disminuye, debido al aumento de peatones. En cuanto a la disminución del nivel de servicio debido a vehículos que giran a la derecha, solo el movimiento 3 presenta este conflicto, generando una disminución del NS debido a los vehículos que entran en conflicto con los peatones al girar desde la Kra 7 sentido norte – sur a la calle 39 sentido oriente – occidente.

### 6.2.3. Paso peatonal túnel subterráneo

Para el período de la mañana se observa en la **Tabla 5.28** un nivel de servicio D, donde se restringe la libertad individual de elegir la velocidad de marcha y el adelantamiento. Una alta probabilidad de generación de conflictos causa los cambios frecuentes de velocidad y de posición para eludirlos. Este movimiento proporciona un flujo razonablemente fluido; no obstante, existen entre los peatones unas fricciones e interacciones notables.

El período de la tarde presenta un mayor flujo vehicular, debido a que un gran número de personas utilizan este acceso peatonal subterráneo, para dirigirse a las zonas de restaurantes aledañas a la zona y luego regresar a sus actividades; en este período se presentó un nivel de servicio E, como se muestra en la **Tabla 5.29**, en el cual prácticamente todos los peatones tienen restringida la velocidad normal de marcha, lo que les exige modificar y ajustar su paso. El movimiento hacia adelante solo es posible mediante una forma de avance denominada “arrastre de pies”. No se dispone de la superficie suficiente para el adelantamiento de los peatones más lentos. Los movimientos en sentido contrario o entrecruzados solo son posibles con extrema dificultad, lo que causa detenciones e interrupciones en el flujo.

El período de la noche presenta un nivel de servicio C el cual existe una velocidad normal de marcha y permitir el adelantamiento, se producen ligeros conflictos esporádicos entre los movimientos de sentido contrario.



## 7. SOLUCIONES Y CONCLUSIONES



## 7. Soluciones y conclusiones

### 7.1. Intersecciones semaforizadas

En las intersecciones semaforizadas se presentan las condiciones más críticas del tramo, debido a que en estas se presentan conflictos entre diferentes movimientos que requieren usar el mismo espacio, los cuales son regulados con tiempos compartidos, representando una disminución del tiempo efectivo en el cual se pueden movilizar los vehículos, dado que deben permanecer detenidos mientras los del movimiento con el que presentan conflicto se movilizan y viceversa.

Se observó según el análisis realizado que los niveles de servicio y las demoras presentadas en las intersecciones semaforizadas no son aceptables, por lo que se sugieren las siguientes posibilidades de solución:

#### 7.1.1. Eliminar las paradas de buses en las intersecciones

Uno de los factores que más afecta la capacidad de las intersecciones del tramo, es la gran cantidad de paradas que realizan los vehículos de transporte público colectivo en las cercanías de las mismas. Se realizó un análisis sobre lo que ocurriría de no presentarse esta situación, encontrándose lo siguiente:

**Tabla 7.1.** Comparación entre la condición actual y una condición hipotética sin paradas de buses en los diferentes accesos de la intersección de la Kra 7 x Calle 39

Parámetro	Período	Condición Actual				Sin Paradas de Buses			
		Acceso 1 (12 Re)	Acceso 12	Acceso 3	Acceso 4	Acceso 1	Acceso 12 (12 Re)	Acceso 3	Acceso 4
DEMORAS (s)	Mañana	292,32	745,46	29,08	31,72	244,70	511,36	29,08	31,72
	Tarde	211,87	521,72	28,66	29,85	169,90	332,60	28,66	29,85
	Noche	210,55	529,14	28,95	31,84	210,55	376,61	28,95	31,84
NIVEL DE SERVICIO	Mañana	F	F	C	C	F	F	C	C
	Tarde	F	F	C	C	F	F	C	C
	Noche	F	F	C	C	F	F	C	C

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 7.2.** Comparación entre la condición actual y una condición hipotética sin paradas de buses en los diferentes accesos de la intersección de la Kra 7 x Calle 45

Parámetro	Período	Condición Actual			Sin Paradas de Buses		
		Acceso 1 (2 Re)	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 1	Acceso 12	Acceso 3
DEMORAS (s)	Mañana	250,82	682,32	145,60	152,59	416,84	135,62
	Tarde	81,85	542,24	89,69	40,36	349,23	84,29
	Noche	15,68	242,90	105,19	15,48	101,18	99,47
NIVEL DE SERVICIO	Mañana	F	F	F	F	F	F
	Tarde	F	F	F	C	F	F
	Noche	B	F	F	B	F	F

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en las **tablas 7.1 y 7.2**, al impedir las paradas de buses, se lograrían disminuciones en las demoras de los accesos. Cabe decir que en la intersección de la Kra 7 x Calle 39, estas disminuciones solo se producirían en los accesos ubicados sobre la Kra 7 (accesos 1 y 12), ya que en la actualidad no se presentan paradas de vehículos pesados sobre los accesos 3 y 4; contrario a lo que sucede en la intersección de la Kra 7 x Calle 45 donde se lograrían disminuciones en todos los accesos, aunque en el acceso 3 estas no serían muy significativas (entre 5 y 10 s). Por otro lado, si bien se presentarían disminuciones de hasta 265,48 s (acceso 2, período de la mañana), las demoras de la intersección actualmente son tan elevadas que no alcanzarían para mejorar el nivel de servicio de los accesos (excepto el acceso 1 de la intersección de la Kra 7 x Calle 45 en el período de la tarde, que pasaría de prestar un nivel de servicio F a uno C).

Se observó en las **Tablas 7.1 Y 7.2** lo que sucedería en cada uno de los accesos de impedirse las paradas de los vehículos pesados en la intersección, pero como los resultados encontrados fueron tan diferentes para cada acceso de la intersección, se muestran en la **Tabla 7.3** las demoras y niveles de servicio de las intersecciones como un todo, en los diferentes períodos de aforos, tanto para la condición actual como para la condición que se presentaría si no hubiera paradas de buses en las intersecciones.



**Tabla 7.3.** Comparación entre la condición actual y una condición hipotética que se presentaría si no hubiera parada de buses en las intersecciones

INTERSECCIÓN	PERÍODO	Condición Actual		Sin Paradas de Buses	
		DEMORA (s)	NS	DEMORA (s)	NS
Kra 7 x Calle 45	Mañana	412,13	F	246,21	F
	Tarde	285,82	F	172,86	F
	Noche	111,6	F	46,29	C
Kra 7 x Calle 39	Mañana	426,47	F	303,12	F
	Tarde	290,15	F	191,35	F
	Noche	280,95	F	220,09	F

Fuente: Elaboración propia

Análogamente a lo encontrado en los diferentes accesos de la intersección, se muestra en la **Tabla 7.3** que se lograrían disminuciones importantes en las demoras presentadas en ambas intersecciones en todos los períodos de aforo (entre 60,86 y 165,92 s), aunque esta única propuesta no sería suficiente, ya que las demoras seguirían siendo inaceptables, representando niveles de servicio F (a excepción de la intersección de la Kra 7 x Calle 45 en el período de la noche, que se lograría pasar de un nivel de servicio F a uno C).

Con base en lo expuesto anteriormente, donde se aprecia que se producirían disminuciones notables en las demoras, surge la primera propuesta de hacer cumplir la prohibición a los buses de realizar paradas para dejar o recoger pasajeros (ver plano inventario de señalización, señales reglamentarias SR – 41), ya sea por medio de la implementación de sanciones a los que la incumplan, de campañas, etc.

#### 7.1.2. Intersección Kra 7 x Calle 45: carril de giro exclusivo a la derecha en el acceso 2.<sup>76</sup>



En ambas intersecciones se presentan condiciones más críticas en los accesos sobre la Kra 7 en sentido sur – norte (accesos 12 y 2 en la Kra 7 x calle 39 y 45 respectivamente), debido a los mayores volúmenes vehiculares con respecto a los accesos sobre las calles 39 y 45, y que en este sentido se presenta una mayor proporción de vehículos pesados (buses y camiones) a lo largo del día, asociado a una mayor cantidad de rutas de transporte público colectivo. Si bien el presente estudio demostró que la oferta de transporte público colectivo excede la demanda, presentándose una sobreoferta, excede los alcances del mismo analizar una disminución en las rutas asignadas, ya que para esto se requeriría un estudio de

<sup>76</sup> Ver Plano 7



cada una de las rutas a lo largo de todo su trayecto (es probable que en el tramo de estudio del presente trabajo presenten relaciones de ocupación/capacidad bajas, pero trabajen sobresaturados en otros tramos). Ante esto, se pensó en buscar otro tipo de soluciones operativas, observando una gran cantidad de vehículos que realizan el movimiento 9(2) en la Kra 7 x Calle 45 (ver **tabla 7.4**), que nos llevó a proponer una segunda alternativa, que en este caso únicamente involucra la intersección en mención.

**Tabla 7.4.** Cantidad y porcentaje de vehículos que realizan los movimientos directo y giro a la derecha en la intersección de la Kra 7 x Calle 45.

Hora				
	Total (veh equivalentes/h)	Porcentaje (%)	Total (veh equivalentes/h)	Porcentaje (%)
07:30 - 08:30	2208	79,74	561	20,26
14:00 - 15:00	2106	79,50	543	20,50
17:45 - 18:45	1672	82,77	348	17,23

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la **Tabla 7.4**, existe un alto porcentaje de vehículos que giran a la derecha en el acceso 2 (el de operación más crítica) de la intersección de la Kra 7 x Calle 45, por lo que se analizó la posibilidad de tener un carril exclusivo de giro a la derecha, de forma tal que estos giros (movimiento 9(2)) se realicen con una mayor intensidad, eliminando al mismo tiempo el conflicto que producen algunos vehículos, que intentan realizar dicho movimiento desde el carril central, con los vehículos que van por el carril derecho y pretenden realizar el movimiento directo (movimiento 2). Sin embargo, esta solución generaría otro problema, como sería incrementar el conflicto entre los vehículos y los peatones del movimiento 4, los cuales, al haber mayor intensidad en el movimiento 9(2), tendrían menor oportunidad de cruce. Debido a esto se ha pensado que, dado que la cantidad de vehículos que cruzan a la derecha, si bien es importante, no llega a ser tan grande como los vehículos que siguen un movimiento directo, el tiempo de verde del movimiento 9(2) podría ser menor (15 s menos) que el tiempo de verde de los movimientos 1 y 2, proporcionándoles a los peatones en este momento, una fase protegida de paso que incluso actualmente no poseen. Los resultados encontrados para esta situación se muestran a continuación en la **Tabla 7.5**.



**Tabla 7.5.** Condición actual y condición que se presentaría con carril de giro exclusivo a la derecha y sin paradas de buses en la intersección, en el acceso 2 de la Kra 7 x Calle 45.

Parámetro	Período	Condición actual			Carril de giro exclusivo a la derecha			
		Acceso 1 (2 Re)	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 1 (2 Re)	Acceso 2 (directo)	Acceso 2 (derecha)	Acceso 3
DEMORAS (s)	Mañana	250,82	682,32	145,60	152,59	178,84	57,73	135,62
	Tarde	81,85	542,24	89,69	40,36	126,72	670,70	84,29
	Noche	15,68	242,90	105,19	15,48	40,23	23,16	99,47
NIVEL DE SERVICIO	Mañana	F	F	F	F	F	D	F
	Tarde	F	F	F	C	F	F	F
	Noche	B	F	F	B	C	B	F

Fuente: Elaboración propia

Se muestran en la **Tabla 7.6** las disminuciones que se lograrían en cada uno de los accesos de la intersección de implementarse el carril de giro exclusivo a la derecha en el acceso 2, adicional a la eliminación de las paradas de buses en las intersecciones. Se observan disminuciones importantes, sobretudo en el acceso 2 donde estas alcanzan incluso los 503.48 s/veh Sin embargo se presentan unas nuevas demoras que antes no existían, en el nuevo grupo de carriles que supone el carril de giro exclusivo a la derecha, por lo que se considera necesario estudiar que ocurre con la intersección como un todo, al implementar esta alternativa.

**Tabla 7.6.** Comparación de las condiciones de demora y nivel de servicio actual, sin paradas de buses y sin paradas de buses con giro exclusivo a la derecha en el acceso 2 de la intersección de la Kra 7 x Calle 45.

PERÍODO	Condición Actual		Sin Paradas de Buses		Giro exclusivo a la derecha	
	DEMORA (s/veh)	NS	DEMORA (s/veh)	NS	DEMORA (s/veh)	NS
Mañana	412,13	F	246,21	F	124,36	F
Tarde	285,82	F	172,86	F	116,6	F
Noche	111,6	F	46,29	D	17	B

Fuente: Elaboración propia

La **Tabla 7.6** muestra lo beneficioso que resultaría para la intersección la implementación de las dos alternativas propuestas, consiguiendo disminuir las



demoras hasta en 287,77 s/veh en el período más crítico, aunque aún sin lograr niveles de servicio aceptables, excepto en el período de la noche.

## **7.2. Tramo de estudio**

Generalmente en las vías urbanas, los problemas se presentan en las intersecciones debido a que en estas es donde se presentan restricciones por el conflicto con otros movimientos. Sin embargo, en el tramo de estudio del presente trabajo, la operación en el tramo de estudio también presenta algunos inconvenientes, debido al intenso uso del suelo que supone una zona con dos importantes centros atractores – generadores de viajes como son la Universidad Javeriana y la Universidad Distrital, que lleva a que se produzcan un alto número de paradas de los vehículos de transporte público, tanto colectivo como individual. Se proponen entonces las siguientes alternativas para descongestionar el tramo de estudio, de forma tal que se mejore la operación del mismo.

### **7.2.1. Zona amarilla para llevar a cabo las actividades de ascenso y descenso de pasajeros de los vehículos de transporte público individual.**

Un gran porcentaje de vehículos de transporte público individual entran al tramo de estudio desocupados, sobretodo en sentido sur norte, lo que lleva a que presenten bajas velocidades de operación a lo largo del tramo por andar en busca de pasajeros, afectando así la velocidad de todo el tramo. Debido a esto se pensó en la creación de una zona amarilla, donde los vehículos de transporte público individual puedan llevar a cabo las actividades de ascenso y descenso de pasajeros, sin afectar el funcionamiento normal del tramo. Sin embargo, para que esta solución opere de manera adecuada, se necesita realizar campañas, sobre todo en el campus universitario, para que los usuarios de este tipo de transporte hagan utilización exclusivamente de estas zonas, desincentivando de esta forma a los taxistas a pasar por el tramo de estudio desocupados en busca de pasajeros, presentando bajas velocidades de operación.<sup>77</sup>

## **7.3. Peatones**

Como se observó en el análisis de pasos peatonales, las condiciones críticas que se presentan en las intersecciones semaforizadas son los cruces peatonales que entran en conflicto con los vehículos, que en su tiempo de verde tienen permitido el giro a la derecha. Este problema fue analizado anteriormente en el numeral 7.1.2 para el movimiento 9(2) del acceso 2, en la intersección de la Cra 7 x Calle

---

<sup>77</sup> Ver Plano 8





45. En los otros movimientos estos conflictos no son críticos, dado que pocos vehículos giran a la derecha.

Por otro lado, el paso peatonal del túnel subterráneo, presta un nivel de servicio bueno a lo largo del día con excepción de la hora de máximo volumen peatonal encontrada en el estudio<sup>78</sup> (13:00 – 14:00), en la cual se encuentra en un nivel de servicio bajo (F). No se considera necesario por parte de los realizadores del trabajo de grado diseñar el paso peatonal para un período crítico tan corto, teniendo en cuenta que el resto del día presenta un nivel de servicio bueno; sin embargo se presentan a continuación las dimensiones mínimas para que este funcione de forma adecuada, prestando un nivel de servicio C en la hora de mayor volumen peatonal.

Dado que la intensidad mínima requerida para obtener este nivel de servicio<sup>79</sup> es de 33 (p/min/m), y partiendo de los volúmenes peatonales presentados en el túnel en el horario crítico<sup>80</sup> se procedió a calcular el ancho peatonal necesario.

**Tabla 7.7.** Ancho peatonal necesario para obtener un nivel de servicio C, en el túnel peatonal, partiendo del volumen peatonal presentado en la hora crítica.

<b>Ip mínimo para NS C</b>	33
<b>Q1 (p)</b>	1020
<b>Q2 (p)</b>	984
<b>I (p/min/m),</b>	19,88
<b>Ancho peatonal (m)</b>	6,7

Fuente: Elaboración propia

Se observa que para obtener un nivel de servicio C, es necesario aumentar el ancho peatonal en más del doble del ancho actual. Por consiguiente, y debido a que se trata de una situación crítica que como se dijo anteriormente no es representativa de la operación normal del cruce peatonal a lo largo del día, se calcularon las dimensiones necesarias para que prestara un nivel de servicio D.

<sup>78</sup> Ver capítulo 4.

<sup>79</sup> Highway Capacity Manual 2000

<sup>80</sup> Ver capítulo 4



**Tabla 7.8.** Ancho peatonal necesario para obtener un nivel de servicio D, en el túnel peatonal, partiendo del volumen peatonal presentado en la hora crítica.

<b>Ip mínimo para NS D</b>	49
<b>Q1</b>	1020
<b>Q2</b>	984
<b>I</b>	35,88
<b>Ancho peatonal (m)</b>	3,7

Fuente: Elaboración propia

Para obtener un nivel de servicio D, que no es tan bueno pero si mejora las condiciones de saturación que maneja este paso peatonal actualmente en la hora crítica se tendría que aumentar el ancho peatonal en 0,7 m, lo cual mejoraría las condiciones de flujo peatonal no solo aumentando al nivel de servicio para la hora de volúmenes peatonales mas crítica sino también mejorándola a lo largo del día.

#### **7.4. Políticas de transporte**

El problema del transporte en la ciudad de Bogota se aborda actualmente desde un planteamiento intermodal, usando distintos modos de transporte, y potenciando la eficacia del transporte público y la calidad ambiental urbana.

Este proceso va unido al fenómeno de uso masivo del automóvil privado por la población que se ha venido implementando en las últimas décadas. Los ciudadanos perciben como un modo de transporte eficaz, rápido y cómodo su vehículo privado, con el cual evitan colas, esperas y alta densidad (desde el punto de vista de pasajeros), características de los modos de transporte público y colectivo. Sin embargo, el hecho de que mucha gente use este modo de transporte hace que éste se convierta en una trampa: retenciones, falta de lugares para parquear el automóvil en la ciudad, congestión, contaminación acústica y ambiental, impaciencia y malestar

Este fenómeno, unido a un defectuoso servicio público y a un aumento de personas que realizan viajes pendulares diarios de residencia-trabajo da como resultado: "Más automóviles en la ciudad = aumenta la congestión = más plazas de estacionamiento = autobuses lentos, el servicio se degrada = menos viajeros en los autobuses = más automóviles en la ciudad".



El uso exagerado del automóvil desarrolla en la ciudad de Bogotá un tránsito elevado que es perjudicial para la salud de los ciudadanos (contaminación acústica, visual y ambiental). La construcción de nuevas arterias no soluciona el problema porque estimula el aumento del tránsito y la polución. **La alternativa es el uso de los transportes colectivos.** Con base en lo anterior, surge la alternativa de solución que se presenta a continuación

#### 7.4.1. Transmilenio

El problema de movilización de Bogotá no es un tema aislado ni de repercusiones limitadas dentro de la problemática de la ciudad, dado que el transporte es un problema que incide de manera directa sobre la calidad de vida de sus habitantes.

Consciente de lo anterior, la Alcaldía Mayor de Santa Fe de Bogotá a través del Plan de Desarrollo Económico, Social y de Obras Públicas 1998-2001 "Por la Bogotá que Queremos", incluyó dentro de las prioridades de la administración la estructuración de un sistema integrado de transporte masivo para la ciudad.(transmilenio)

Adicionalmente el sistema **Transmilenio** está dotado con estaciones, puentes y plazoletas de acceso peatonal especial y específicamente diseñados para facilitar a los usuarios el acceso al sistema, espacios que están siendo diseñados con criterios de respeto, armonía y renovación del espacio público urbano.

La operación se lleva a cabo con equipos de transporte que tienen especificaciones funcionales y técnicas particulares. Para su operación, el sistema se dotó principalmente con vehículos articulados, que tienen especificaciones adecuadas a las características de la infraestructura que se utiliza para su funcionalidad, y al diseño operativo del sistema.

La operación se realiza bajo un esquema de gestión que combina de manera organizada los dos anteriores elementos bajo un solo sistema, para transportar un alto volumen de pasajeros, y así dar respuesta a sus necesidades de movilización.

Los cuatro factores de ineficiencia del sistema actual de transporte, que están siendo corregidos en la actualidad por el sistema **Transmilenio**, así:

#### **Intervención del Distrito en el mejoramiento del sistema:**

A través de **Transmilenio** el Distrito intervino el servicio de transporte público masivo de pasajeros que circulaba sobre algunas de las principales troncales de la ciudad, incidiendo de manera relevante en los principales aspectos que



determinan la eficiencia del sistema, como son su gestión, planeación y control. La operación del sistema es responsabilidad de operadores privados.

Se ha corregido la inadecuada asignación de la infraestructura pública vial a través de la destinación de vías exclusivas para el transporte masivo, las que se conservarán en adelante en adecuadas condiciones de mantenimiento.

#### **Disminución en la sobreoferta de vehículos:**

Se compatibilizaron los intereses de los empresarios con los de los propietarios a través de la creación de empresas operadoras.

Se propiciaron economías de escala al interior de las empresas, induciendo a la conformación de flotas de operación en consideración a los tamaños mínimos de las empresas operadoras de vehículos que suelen generar economías de escala según estándares internacionales.

#### **Erradicación de la “Guerra del centavo”:**

Se generó un sistema de recaudo y pago centralizado que evita la concurrencia de dichas actividades relacionadas con la prestación del servicio de transporte.

#### **Ajuste en la edad promedio de la flota en circulación y mejoramiento del parque automotor:**

Se exige la prestación del servicio con vehículos modernos y adecuados para este tipo de sistema, los cuales deben ser mantenidos durante el tiempo de la concesión en condiciones de calidad que han sido establecidas y controladas sistemáticamente por **Transmilenio**.

Para el caso del tramo de estudio de este trabajo se tiene que cuenta con la implementación de tras milenio fase 3, la cual cobijara la implementación del sistema de transporte público masivo en el corredor vial de la carrera 7 por lo cual las soluciones a corto plazo para la solución de los anteriores problemas mencionados deberán ser planteadas de forma que sea coherente con la implementación de esta política de transporte además de ser vialmente económica.



#### **7.4.2. Bus/vao**

La calzada BUS/VAO es una calzada reservada al uso exclusivo de un cierto tipo de vehículos: los autobuses y los vehículos que tienen un número mínimo de pasajeros (generalmente 2 o 3). Estos vehículos con un número mínimo de pasajeros se denominan "Vehículos con Alta Ocupación" (High Occupancy Vehicle). La calzada BUS/VAO, en definitiva, consiste en una ampliación del concepto de "carril-bus" que incluye una cierta categoría de vehículos ligeros.

El carril BUS/VAO pretende fundamentalmente dos cosas: disminuir la congestión ocasionada por el uso del automóvil privado (en el que muchas veces sólo va una persona por automóvil) y concientizar a la población para que utilice distintos modos de transporte, como los transportes públicos- colectivos.

Tras un año de funcionamiento en España, la calzada BUS/VAO de la N-VI ha demostrado unos rendimientos que parecen justificar, en principio, la inversión efectuada. La calzada BUS/VAO se ha mostrado más eficaz en el movimiento de personas que los carriles convencionales de la Nacional VI, durante el período pico de la mañana. Los usuarios han ganado tiempo y rapidez de esta manera y han aceptado afablemente esta medida. La calzada BUS/VAO parece haber actuado realmente como inductora del cambio modal, contribuyendo a aumentar la ocupación media de los vehículos sobre la N-VI. Es decir, que ha satisfecho las previsiones más optimistas y ha resuelto los problemas que había en esta carretera, a la vez, que han cumplido los objetivos deseados.

Con base en esta experiencia española se plantea la posibilidad, de implementar en la Kra 7 calzadas BUS/VAO. Sin embargo, un análisis de esta solución escapa los alcances del presente trabajo, ya que se requeriría un estudio que cobije la totalidad de la vía, o la parte de esta donde se piense implementar. Se propone esta alternativa como medida para disminuir el volumen vehicular, dado que el tramo de estudio presenta volúmenes que no se pueden satisfacer, pero se requeriría analizar si esto ocurre a lo largo de toda la vía, para ver si vale la pena llevar a cabo este tipo de proyecto.



### **Planteamiento de soluciones al problema de congestión vehicular y peatonal en el tramo comprendido en la carrera 7 entre calles 39 y 45.**

**RESUMEN:** La Pontificia Universidad Javeriana es uno de los principales centros atractores – generadores de viajes de la ciudad de Bogotá, albergando a cerca de 23.000 personas entre profesores, estudiantes y personal administrativo. Lo anterior, sumado a la existencia de otro centro educativo como la Universidad Distrital, y un uso del suelo intensivo en el sector que lleva a que se generen una gran cantidad de viajes, ha llevado a que la carrera 7 entre calles 39 y 45 presente un evidente congestionamiento tanto vehicular como peatonal, sobretodo en las horas pico. Para cumplir con el propósito del presente trabajo, de plantear soluciones que ayuden a solucionar la problemática existente, inicialmente se realizó una caracterización de la zona de estudio (usos del suelo, características geométricas y operativas, señalización, movimientos permitidos en las intersecciones). Acto seguido, se procedió a la toma de información necesaria (tanto vehicular como peatonal) para el análisis de la situación, utilizando la metodología propuesta en el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte en Santa Fe de Bogotá, de Cal y Mayor y Asociados S.C.; los períodos en los que se realizaron los aforos, fueron determinados con base en estudios anteriores realizados por la Secretaría de Tránsito y Transporte de Santa Fe de Bogotá.

Finalmente, toda la información obtenida fue analizada a la luz del Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000), que arrojó como resultados unas intersecciones completamente saturadas, unas pasos peatonales congestionados en las horas picos, graves conflictos vehículo – vehículo y vehículo – peatón, y bajas velocidades de operación. Se presentan finalmente las soluciones que de manera conceptual, que ayudarían a mejorar las condiciones del tramo. Se encontró que la prohibición de las paradas de los vehículos de transporte público colectivo en las cercanías de las intersecciones, la creación de una zona amarilla donde se lleven a cabo las actividades de ascenso y descenso de pasajeros de los vehículos de transporte público individual, la ampliación de las dimensiones del túnel peatonal y la creación de una bahía de giro o un carril de giro permitido a la derecha en la intersección de la carrera 7 con calle 45 en sentido sur – norte, si bien son soluciones que ayudarían a mejorar sustancialmente la operación del tramo, no son suficientes para alcanzar un nivel de servicio (NS) y unas demoras aceptables según los estándares propuestos por el HCM 2000, por lo que se requiere un estudio macro del corredor que permita la implementación de una política de transporte sostenible.

### **ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN**

En la capital se ha venido desarrollando una infraestructura vial además de un incremento considerable del parque automotriz donde el vehículo y el peatón no encuentran lugares adecuados para su desplazamiento, generando que la mayoría de las intersecciones se conviertan en puntos críticos, porque es allí donde se evidencian los conflictos vehículo – vehículo, vehículo – peatón

En el caso específico de la Pontificia Universidad Javeriana, ha surgido una preocupación por como está funcionando el tráfico actualmente en sus inmediaciones, debido a que se empiezan a hacer notorios los problemas tanto por la disminución de la velocidad que sufren los vehículos al entrar en el tramo de la carrera 7 entre calles 39 y 45, como por los accidentes provocados en dicho tramo. Y si a lo anterior se le suma que el transporte es uno de los principales motores de la economía de una región, se estaría haciendo un aporte también al distrito, al ayudar a mejorar la movilidad en un tramo que está funcionando en forma crítica.



Caminar es uno de los principales medios de transporte, sobretodo en una zona cuyo uso predominante del suelo es educativo y comercial como la zona de estudio, en la cual, hay una alta concentración de centros generadores – atractores de flujos peatonales como son la universidad Javeriana, el hospital San Ignacio, la universidad Distrital, la universidad Piloto, entre otros; por lo que un alto porcentaje de desplazamientos se realiza a pie. Desafortunadamente esta actividad resulta riesgosa efectuarla en el tramo en mención debido a la imprudencia de los conductores y de los mismos peatones.

Se ha visto una disminución de los porcentajes de accidentalidad entre los años 1997 y 2004, gracias a las intensas campañas que se han venido llevando a cabo en la ciudad desde esa época. Esto da pie para pensar que si se realiza un trabajo serio, se pueden lograr los resultados esperados, por lo que sería posible mejorar la condición crítica que se presenta en la carrera 7 en el tramo comprendido entre las calles 39 y 45, tanto para los peatones como para los vehículos.

## OBJETIVOS

**Objetivo General:** Plantear soluciones al problema de congestión vehicular y peatonal en el tramo de la carrera 7 entre calles 39 y 45.

### Objetivos Específicos

- Establecer variables de tránsito que describan cuantitativamente las características de flujo tanto vehicular como peatonal.
- Establecer variables físico operativas, las cuales muestran las condiciones del sistema vial del tramo comprendido entre las calles 39 y 45 en la carrera 7.
- Identificar las variables sociales que involucren el comportamiento del usuario y afecten la circulación.

## METODOLOGÍA

1. Marco conceptual: se llevó a cabo una revisión bibliográfica en libros, revistas técnicas, trabajos de grado y documentación facilitada por la Secretaría de Tránsito y Transporte de Santa Fe de Bogotá, con el fin de determinar el procedimiento a seguir para cumplir con los objetivos del estudio. De esta revisión bibliográfica se obtuvo el marco conceptual en el que se basó el trabajo.
2. Caracterización del tramo de estudio: se realizó una completa caracterización del tramo de estudio, comprendiendo esta usos del suelo, características geométricas y operativas, señalización y movimientos permitidos en las intersecciones. Dicha caracterización se llevó a cabo en su totalidad por los realizadores del trabajo.
3. Diseño de la toma de información: para que la información que se tomara reflejara la situación del tramo, y permitiera identificar los problemas del mismo, se analizaron estudios realizados anteriormente<sup>81</sup>, de donde se identificaron los períodos en los cuales sería más representativo recolectar la información. Por otro lado, del análisis de la caracterización del tramo se definieron los lugares más apropiados para la realización de los aforos, que se harían siguiendo la metodología propuesta en el Manual de Planeación y Diseño para la Administración del Tránsito y el Transporte en Santa Fe de Bogotá, de Cal y Mayor y Asociados S.C.
4. Resultados: se presenta la información obtenida de los aforos realizados, que resulta de relevancia para el trabajo. Estos resultados se analizaron posteriormente.

---

<sup>81</sup> Fondatt STT 2016 y Fondatt STT 2017, Secretaría de Tránsito y Transporte de Santa Fe de Bogotá.



5. Análisis de información: los resultados arrojados por los aforos se analizaron a la luz del HCM 2000, con el fin de no tener únicamente una idea de lo que ocurre en el tramo, sino poder cuantificar la situación.
6. Diagnóstico: con base en el análisis de información realizado, se hizo un diagnóstico de la situación, donde se presentan los principales inconvenientes que aquejan el tramo de estudio, y se explican los diferentes fenómenos encontrados.
7. Soluciones y conclusiones: se presentan las soluciones propuestas por los realizadores del trabajo, para mejorar las condiciones actuales del tramo, así como un análisis de que tan significativa sería la mejora. Cabe anotar que las soluciones presentadas se plantearon desde el punto de vista conceptual, y estas requieren estudios posteriores para analizar su viabilidad, la relación beneficio costo e implementación final de encontrarse factibles. En los anexos se presentan esquemas de la implementación de las soluciones que así lo requieren, aunque estos pueden estar sujetos a cambios de acuerdo con lo que se encuentre en estudios posteriores.

## RESULTADOS

Se encontró que la carrera 7 entre calles 39 y 45 presenta unos volúmenes vehiculares altísimos, del orden de los 6.000 vehículos equivalentes por hora durante los períodos pico, y 72.000 entre las 6:00 a.m. y las 10:00 p.m. Así mismo, se observó un alto componente de vehículos pesados, los cuales representan cerca del 20% de la totalidad de los vehículos del tramo; del 80% restante conformado por los vehículos livianos, aproximadamente la mitad corresponde a los taxis, que a su vez realizan gran cantidad de paradas a lo largo del tramo para recoger o dejar pasajeros, lo cual afecta la velocidad de operación en el mismo. En cuanto a los pasos peatonales, el túnel subterráneo es el más crítico de los tres encontrados en el tramo, manejando cerca de 2.000 peatones en un ciclo de 15 min, en el período más crítico. Los otros dos pasos peatonales si bien no son utilizados por volúmenes peatonales tan altos como los del túnel, presentan en algunos de sus movimientos conflictos con algunos movimientos vehiculares, que los llevan a prestar niveles de servicio F.

## CONCLUSIONES

Para combatir los evidentes problemas de congestión en los que se encuentra el tramo de estudio, se propusieron las siguientes soluciones:

- Prohibición de las paradas de buses en las cercanías de las intersecciones.
- Bahía de cruce o carril de giro protegido a la derecha en la intersección de la Cra 7 x Calle 45, en su acceso 2.
- Creación de zona amarilla donde se lleven a cabo las actividades de ascenso y descenso de pasajeros a los vehículos de transporte público individual (taxis).
- Ampliación de las dimensiones del túnel peatonal subterráneo.
- Implementación de políticas de transporte sostenible.

El impacto que tendrían las diferentes soluciones propuestas fue cuantificado, observándose disminuciones significativas en las demoras presentadas en las intersecciones, y la prestación de un mejor nivel de servicio en el túnel.

En cuanto a las zonas amarillas, es muy difícil predecir como será la afectación que estas tendrán en las velocidades de operación que se encuentran en el tramo, las cuales son muy bajas en la actualidad, pero se espera una notoria mejoría.





A pesar de presentarse disminuciones sustanciales en la operación del tramo, esta sigue siendo inaceptable al analizarse a la luz del HCM 2000, debido a los altos volúmenes vehiculares y peatonales encontrados. Se considera necesario entonces hacer un estudio macro del corredor vial, para determinar unas políticas de transporte sostenibles que permitan mejorar las condiciones actuales.

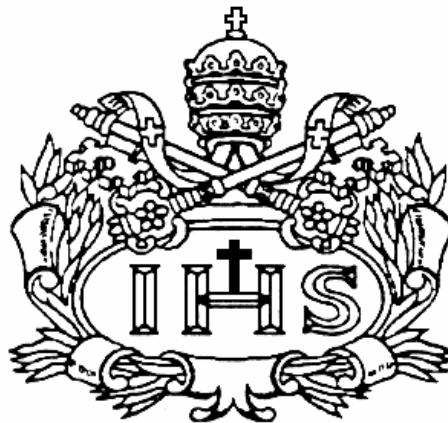
Las soluciones se presentan a nivel conceptual, pero estas deben ser analizadas en estudios posteriores para determinar la viabilidad de la aplicación de las mismas, así como realizar los diseños con mayor detalle.



TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Presentado por:

Sergio Julio Valencia Moreno  
Eduardo Mario Correa Zúñiga



PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA – CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ, JUNIO DE 2005

