

DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (S_0) PARA CIUDADES
PEQUEÑAS, CASO TUNJA.



JUAN DAVID MORA VARGAS



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE TRANSPORTE Y VÍAS

TUNJA

2019

DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (S_0) PARA CIUDADES
PEQUEÑAS, CASO TUNJA.

JUAN DAVID MORA VARGAS

Trabajo de Grado en la modalidad de investigación para obtener el título de
Ingeniero en Transporte y Vías

Directora:

FLOR ÁNGELA CERQUERA ESCOBAR

PhD. Ingeniera en Transporte y Vías

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE TRANSPORTE Y VÍAS

TUNJA

2019

Nota de aceptación

Firma presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Tunja, Octubre de 2019

La autoridad científica de la Facultad de Ingeniería reside en ella misma, por tanto, no responde por las opiniones expresadas en este trabajo de grado.

Se autoriza su reproducción indicando su origen.

DEDICATORIA.

Quiero dedicar esta tesis primeramente a Dios, porque sin Él la vida no tiene sentido. A mis padres y hermanos quienes son mi motor, por quienes trato de esforzarme cada día por dar lo mejor de mí y superarme.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer de manera especial a la directora de esta investigación, la ingeniera PhD. Flor Ángela Cerquera Escobar por brindarme su confianza, tiempo cariño y comprensión durante el desarrollo de este trabajo y gran parte de mi estancia en la universidad.

A mis padres y hermanos por estar siempre a mi lado, apoyándome y aconsejándome en las decisiones más duras de la vida

Agradecer a mis amigos y compañeros porque con ellos el paso por la universidad fue agradable y productivo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
CAPITULO I.....	18
INTRODUCCIÓN.....	18
CAPITULO II: MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO.....	25
1 CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO.....	25
1.1 CAPACIDAD.....	25
1.2 CONDICIONES BASE.....	26
1.3 CONDICIONES DE DISEÑO DE LA VÍA.....	27
1.4 CONDICIONES DEL TRÁNSITO.....	28
1.5 CONDICIONES DE CONTROL.....	28
1.6 CONDICIONES DE TRÁFICO.....	28
1.7 CONDICIONES DE SEMAFORIZACIÓN.....	29
1.7.1 Ciclo de semáforo.....	29
1.7.2 Cola.....	29
1.7.3 Intervalo (vehicular).....	29
1.7.4 Paso vehicular.....	29
1.7.5 Tiempo perdido por arranque de cola.....	30

1.7.6	Tiempo perdido por despeje.	30
1.7.7	Conflictos y regulación.	30
1.7.8	Conflictos concurrenciales.	30
1.7.9	Conflictos direccionales.	31
1.7.10	Conflictos funcionales.	31
1.7.11	Todo Rojo	31
1.7.12	Fase.	31
1.8	NIVEL DE SERVICIO	31
1.9	RELACIÓN DE CAPACIDAD.	33
1.9.1	Relación Demanda y Oferta vial	34
1.10	LOS MOVIMIENTOS PERMITIDOS DE GIRO	35
1.11	CAPACIDAD EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS.	36
1.12	PRINCIPIOS SOBRE EL FLUJO DEL TRÁNSITO.	39
1.12.1	Tipos de flujo del tránsito	39
1.12.2	Características del flujo del tránsito	40
1.13	INTERSECCIONES.	45
1.13.1	Puntos de conflicto en las intersecciones	47
1.13.2	Ventajas e inconvenientes de intersecciones	48
1.13.3	Criterios de proyecto	48
2	FLUJO DE SATURACIÓN	51
2.1	MODELO CONCEPTUAL DEL FLUJO DE SATURACIÓN	51

2.2	TIEMPO PERDIDO DE PUESTA EN MARCHA E INTERVALO DE SATURACIÓN	53
2.3	DETERMINACIÓN FLUJO DE SATURACIÓN. MODELO HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM). FACTORES INCIDENTES.	54
2.3.1	Factor de ajuste por ancho de carril:.....	55
2.3.2	Factor de ajuste por vehículos pesados y pendiente	55
2.3.3	Factor de ajuste por estacionamiento:	56
2.3.4	Factor de ajuste por bloqueo por paradas de buses:	56
2.3.5	Factor de ajuste por tipo de área:	56
2.3.6	Factor de ajuste por utilización del carril:	57
2.3.7	Factor de ajuste por giros a la derecha:.....	57
2.3.8	Factor de ajuste por giros a la izquierda:	58
2.3.9	Factor de ajuste por conflictos con peatones y ciclistas en giros derecho e izquierdo: 58	
	 CAPITULO III: DESARROLLO METODOLÓGICO ESTUDIO.	87
3	DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE.....	59
3.1	RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	59
3.1.1	Fuentes de información secundarias:	59
3.1.2	Fuentes de información primarias:.....	60
3.2	METODOLOGÍA PARA OBTENER EL FLUJO DE SATURACIÓN SEGUIDO POR EL HCM 2010.....	61
3.2.1	Procedimiento en campo.	61

3.2.2 Ubicación, día y hora del estudio.....	62
3.3 CÁLCULO DEL TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA.	62
3.4 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.	63
3.4.1 Creacion de bases de datos:	63
3.4.2 Aplicación del modelo HCM:	64
3.5 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	64
3.6 INTERSECCIONES DE ESTUDIO CARACTERÍSTICAS FÍSICAS GEOMÉTRICAS	65
3.6.1 Intersección La Toyota. (Carrera 6 con calle 53)	66
3.6.2 Intersección Centro Norte. (Carrera 6 con calle 48):.....	68
3.6.3 Intersección Unicentro. (Avenida universitaria con calle 39):.....	70
3.6.4 Intersección La Sexta. (Carrera 6 con calle 37a):	72
3.6.5 Intersección Diagonal 38 con calle 32:	74
3.6.6 Intersección La María. (Diagonal 38 con carrera 14):.....	77
3.6.7 Intersección Avenida Oriental 26 con carrera 7:	78
3.7 FLUJOS DE SATURACIÓN. TOMA DE INFORMACIÓN.....	80
3.7.1 Procedimiento de Campo.	82
 CAPITULO IV: DESARROLLO PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.	 87
 4 RESULTADOS, DATOS OBTENIDOS.	 87
4.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y DE ZONA DE CADA UNO DE LOS PUNTOS DE TOMA DE INFORMACIÓN	87

4.1.1	Intersección la Toyota. (Carrera 6 con calle 53):.....	87
4.1.2	Intersección Centro Norte. (Carrera 6 con calle 48):.....	88
4.1.3	Intersección Unicentro. (Avenida universitaria con calle 39):.....	88
4.1.4	Intersección La María. (Diagonal 38 con carrera 14):.....	88
4.1.5	Intersección. (Diagonal 38 con calle 32)	89
4.1.6	Intersección Avenida Oriental 26 con carrera 7:	89
4.1.7	Intersección La Sexta. (Carrera 6 con calle 37a):	90
4.2	FLUJO DE SATURACIÓN. INTERVALOS DE PASO	90
4.2.1	Intervalos de paso entre vehículos ligeros.	92
4.2.2	Intervalo de paso entre motos.....	94
4.2.3	Intervalo de paso buses.	98
4.2.4	Intervalo de paso para camiones.	100
5	CÁLCULOS	102
5.1	FLUJO DE SATURACIÓN MEDIDO.	102
5.2	DETERMINACIÓN DE LOS FACTOR DE AJUSTE DE CADA UNO DE LOS ACCESOS.	104
5.2.1	Factor de ajuste por ancho de carriles (f_w).	104
5.2.2	Factor de ajuste por vehículos pesados (f_{HV}).....	107
5.2.3	Factor de ajuste por pendiente (f_g)	112
5.2.4	Factor de ajuste de estacionamiento	114
5.2.5	Factor de ajuste por bloqueo de bus.....	114
5.2.6	Factor de ajuste por tipo de área.	115

5.2.7	Factor de ajuste por utilización del carril (fu).....	115
5.2.8	Factor de ajuste por giros a la derecha.....	116
5.2.9	Factor de ajuste por vueltas a la izquierda.....	117
5.2.10	Factor de ajuste izquierdo peatones y ciclistas.....	117
5.2.11	Factor de ajuste derecho peatones y ciclistas.	117
5.3	CALCULO DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE.	117
5.3.1	Flujo de saturación base intersección carrera 6 con calle 53.	119
5.3.2	Flujo de saturación base intersección carrera 6 con calle 48.....	120
5.3.3	Flujo de saturación base intersección avenida universitaria con calle 49. .	120
5.3.4	Flujo de saturación base intersección carrera 6 con calle 37 ^a	121
5.3.5	Flujo de saturación base intersección Diagonal 38 con calle 32.....	122
5.3.6	Flujo de saturación base intersección Diagonal 38 con carrera 14.....	123
5.3.7	Flujo de saturación base intersección Carrera 6 con Calle 48.	123
5.4	FLUJO DE SATURACIÓN BASE REPRESENTATIVO PARA LA CIUDAD DE TUNJA 124	
5.5	CURVA NORMAL.....	125
5.6	FLUJO DE SATURACIÓN TÍPICO.	126
5.7	DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE AJUSTE POR ANCHO DE CARRIL. 127	
5.8	DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE.	134
	CAPITULO V: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN.	140
6	ANÁLISIS DE RESULTADOS.	140

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 148

BIBLIOGRAFÍA 150

ANEXOS 151

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Pág.

Ilustración 1 variación de la demanda vehicular con el transcurso del día	35
Ilustración 2 Esquema base intersección en "T" o "Y"	46
Ilustración 3 Esquema base intersección en Cruz "+" o Equis "X"	47
Ilustración 4 Modelo básico del flujo de saturación.	52
Ilustración 5 intervalos de tiempos de flujo de saturación y tiempo perdido en semáforos	54
Ilustración 6 diagrama de actividades desarrollo metodológico.	59
Ilustración 7 localización del área de estudio	65
Ilustración 8 intersección "la Toyota" carrera 6 con calle 53.....	66
Ilustración 9 Perfil de elevación acceso sur carrera 6 con calle 53	67
Ilustración 10 perfil de elevación acceso norte carrera 6 con calle 53.....	67
Ilustración 11 intersección carrera 6 con calle 48	68
Ilustración 12 perfil de elevación acceso norte carrera 6 con calle 48.....	69
Ilustración 13 perfil de elevación acceso sur carrera 6 con calle 48.....	69
Ilustración 14 intersección avenida universitaria con calle 39	70
Ilustración 15 perfil de elevación acceso norte Avenida universitaria con calle 39	71
Ilustración 16 perfil de elevación acceso sur Avenida universitaria con calle 39	71
Ilustración 17 intersección carrera sexta con calle 37a	72
Ilustración 18 perfil de elevación acceso sur carrera 6 con calle 37a.....	73
Ilustración 19 perfil de elevación carrera sexta con calle 37a	73
Ilustración 20 intersección diagonal 38 con calle 32	75
Ilustración 21 perfil de elevación acceso oeste diagonal 38 con calle32	76
Ilustración 22 perfil de elevación acceso este diagonal 38 con calle 32.....	76
Ilustración 23 perfil de elevación acceso sur diagonal 38 con calle 32.....	76
Ilustración 24 intersección diagonal 38 con carrera 14	77
Ilustración 25 perfil de elevación diagonal 38 con carrera 14.....	78
Ilustración 26 intersección avenida oriental 26 con carrera 7.....	79
Ilustración 27 perfil de elevación acceso Sur intersección avenida oriental 26 con carrera 7	80
Ilustración 28 perfil de elevación acceso sur intersección avenida oriental 26 con carrera 7	80
Ilustración 29 formato utilizado en la toma de información.....	83
Ilustración 30 zona de estudio.	84
Ilustración 31 esquema de intersección guía para toma de información.	85
Ilustración 32 formación de la fila deseada	86
Ilustración 33 relación de tiempo y espacio entre vehículos.....	147

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 características intersección carrera 6 con calle 53.....	68
Tabla 2 características intersección carrera 6 con calle 48.....	70
Tabla 3 características Avenida Universitaria con calle 39.....	72
Tabla 4 características intersección carrera sexta con calle 37a.....	74
Tabla 5 características intersección diagonal 38 con calle 32.....	77
Tabla 6 características geometrías y de zona diagonal 38 con carrera 14.....	78
Tabla 7 características geométricas y de zona de la avenida Oriental 26 con carrera 7. .	80
Tabla 8 características geométricas y de zona intersección carrera 6 con calle 53.....	87
Tabla 9 características geométricas y de zona intersección carrera 6 con calle 48.....	88
Tabla 10 características geométricas y de zona intersección avenida universitaria con calle 39.....	88
Tabla 11 características geométricas y de zona intersección diagonal 38 con carrera 14.....	89
Tabla 12 características geométricas y de zona intersección diagonal 38 con calle 32. ..	89
Tabla 13 características geométricas y de zona intersección avenida oriental con carrera 7.....	89
Tabla 14 características geométricas y de zona intersección carrera 6 con calle 37a.....	90
Tabla 15 flujo de saturación en campo intersección carrera 6 con calle 48 acceso sur....	90
Tabla 16 intervalo de paso entre vehículos ligeros.	92
Tabla 17 intervalo de paso entre motos.	95
Tabla 18 intervalo de paso para la tipología de buses.	98
Tabla 19 intervalo de paso camiones.	100
Tabla 20 resultados aforo flujo de saturación.....	102
Tabla 21 resumen flujo de saturación medio, medido en campo.....	103
Tabla 22 Factor de ajuste ancho de carril HCM 2010).....	104
Tabla 23 ancho de carril de cada uno de los puntos de estudio.....	105
Tabla 24 factor de ajuste por ancho de carril Fw.....	106
Tabla 25 porcentajes de vehículos por tipo.....	108
Tabla 26 intervalo promedio entre las tipologías de vehículos.	109
Tabla 27 factor de equivalencia diferentes tipologías de vehículos.....	110
Tabla 28 intervalo de paso entre las diferentes tipologías de camiones.....	110
Tabla 29 factor de equivalencia diferentes tipos de camión.....	111
Tabla 30 porcentajes de vehículos para la intersección carrera 6 con calle 53.....	111
Tabla 31 factor de ajuste por vehículos pesados y motos.....	112
Tabla 32 Pendiente longitudinal para cada uno de los puntos de estudio.	113
Tabla 33 factor de ajuste por pendiente para cada uno de los puntos de estudio.	114

Tabla 34 Factor de ajuste por tipo de área.	115
Tabla 35 factor de ajuste por giro a la derecha	116
Tabla 36 Flujo de saturación base intersección carrera 6 con calle 53	119
Tabla 37 Flujo de saturación base intersección carrera 6 con calle 48.	120
Tabla 38 Flujo de saturación base intersección avenida universitaria con calle 49.	121
Tabla 39 Flujo de saturación base intersección carrera 6 con calle 37 ^a	121
Tabla 40 Flujo de saturación base intersección diagonal 38 con calle 32	122
Tabla 41 Flujo de saturación base intersección diagonal 38 con carrera 14	123
Tabla 42 Flujo de saturación base intersección carrera 6 con calle 48	124
Tabla 43 medidas estadísticas	124
Tabla 44 flujo de saturación intersección típica.....	127
Tabla 45 determinación factor de ajuste por ancho de carril	128
Tabla 46 resumen factor de ancho de carril hallado.....	131
Tabla 47 resumen factor de ajuste por pendiente	134
Tabla 48 resumen factor por pendiente hallado	137
Tabla 49 Comparación flujos de saturación.	140
Tabla 50 flujo de saturación base para diferentes lugares.	145

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Pág.

Gráfica 1 curva normal flujo de saturación base.	125
Gráfica 2 factor de ajuste por ancho de carril vs flujo de saturación base no afectado por fw.....	129
Gráfica 3 factor de ajuste por ancho de carril HCM.....	132
Gráfica 4 factor de ajuste por pendiente vs flujo de saturación base no afectado por fg .	135
Gráfica 5 factor de ajuste por pendiente de carril HCM.....	138
Gráfica 6 comparación de los flujos de saturación base y medido.	141
Gráfica 7 intervalo promedio vehículos ligeros.....	142
Gráfica 8 intervalo promedio de paso de motos.....	143
Gráfica 9 intervalo de paso de buses.....	144
Gráfica 10 intervalo promedio de camiones.....	144

CAPITULO I.

INTRODUCCIÓN

El mundo se ve expuesto al crecimiento y desarrollo de las ciudades, con ello la cantidad de vehículos presentes en estos lugares crece a una tasa generalizada igual o mayor a la del crecimiento de la zona, lo cual propicia a que gran parte de estas ciudades se vean expuestas a problemas de tránsito y transporte, tales como la congestión vehicular, el incremento de tiempos de viaje, el desorden vehicular, aumento en razón de externalidades, que en su mayoría son negativas, así como el ruido, la accidentalidad, contaminación atmosférica, contaminación acústica. Estas eventualidades están en contra del principio de la sostenibilidad, en el cual se ven enfatizadas las ciudades actuales con miras al futuro.

Los problemas que se atañen al tránsito y transporte vehicular, en gran medida se relacionan con la falta de un adecuado planeamiento de las ciudades, a una inadecuada infraestructura vial que pueda soportar las necesidades de flujo vehicular actuales y futuras.

En la actualidad el desarrollo del tránsito y aumento del parque automotor en la ciudad de Tunja ha generado problemas de congestionamiento vehicular en algunas de las principales vías, por ello es necesario plantear soluciones y mejoras a la movilidad dentro de la ciudad.

En tránsito comúnmente la manera de dar soluciones a problemas viales es mediante el adelantamiento de estudios a cerca de capacidad y nivel de servicio, generalmente se realizan en las intersecciones semaforizadas, ya que es allí donde se generan gran parte de problemas viales. El fin de los estudios de capacidad y nivel de servicio de las vías es el de determinar la demanda y oferta con las que cuenta cada carril o grupo de carriles. La demanda está representada por la cantidad de vehículos que utilizan el carril o grupo de carriles y la oferta es representada por la capacidad que estos ofrecen.

Contar con métodos suficientemente confiables para determinar el flujo de saturación para intersecciones semaforizadas es de suma importancia para el diseño adecuado de vías así como para el manejo efectivo del tránsito.

El "Valor del flujo de saturación" es definido por Lopez V. José como el valor del flujo por carril en el cual los vehículos pueden pasar a través de una intersección semaforizada partiendo de en una "cola" en movimiento estable (h). Entonces, el valor del flujo de saturación representa el número de vehículos por hora, por carril, que pueden pasar a través de una intersección si el tiempo de luz verde estuviera disponible durante toda la hora y el flujo de los vehículos nunca fuese interrumpido.

Actualmente la metodología utilizada en Tunja y en Colombia para el cálculo del flujo de saturación se toma del Manual de Capacidad de Carreteras con su versión del 2010 publicado por la Junta de Investigación del Transporte de Estados Unidos (TRB por sus siglas en inglés Transportation Research Board), el cual establece, que el valor del flujo de saturación base contenido en el manual es referente para los Estados Unidos y que los países con similares condiciones de tráfico a las de dicho país también podrían utilizarlo, siempre y cuando se realicen los respectivos ajustes. De tal modo que es evidente que las condiciones o características del tránsito presentes en Colombia y para el caso en la ciudad de Tunja, difieren con las de dicho país.

Esta investigación determinará el flujo de saturación base en intersecciones semaforizadas de la ciudad de Tunja, ya que este valor es fundamental para calcular la capacidad y nivel de servicio para las intersecciones controladas por semáforos, además de ser un valor de extrema necesidad en la modelación de proyectos con miras al desarrollo del tránsito. Se logrará determinar a través de mediciones en campo en intersecciones seleccionadas los parámetros y su variabilidad respecto a los hallados para los Estados Unidos.

OBJETIVOS GENERAL Y ESPECÍFICOS

El objetivo general es establecer el flujo de saturación con base en evidencia de campo, que se llega a presentar en condiciones ideales en algunas de las intersecciones con flujo interrumpido localizadas en la ciudad de Tunja, ciudad que se caracteriza por ser una ciudad pequeña con una población menor a 250000 habitantes. Como objetivos específicos:

- Aportar a través de investigación en campo el valor del flujo de saturación base (S_0) que sirva como referencia para el país de acuerdo a las condiciones establecidas en este tipo de ciudad.
- Efectuar un análisis estadístico a los valores que se obtienen del flujo de saturación base para Colombia.
- Proponer los valores de ajuste al flujo de saturación base, que más se asemejen a la realidad para diferentes tipos de intersecciones de la ciudad de Tunja.
- Aplicar un modelo HCM a los datos que se recopilen en campo, para así ajustar y calibrar la ecuación propuesta por la TRB para el cálculo del flujo de saturación.
- Identificar y analizar la importancia e influencia de cada uno de los valores de ajuste de la ecuación usada para la determinación del flujo de saturación.

- Determinar el grado de similitud entre los flujos de saturación base para otros países (Canadá, Estados Unidos, Alemania, Inglaterra, Australia y Finlandia) con los valores que se obtendrán para Colombia en este caso para la ciudad de Tunja.

EI PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El flujo de saturación se define como el máximo volumen de tránsito que pudiera entrar en una intersección semaforizada, por un acceso, con uno o varios carriles si el semáforo exhibiese siempre su indicación verde (*Manual de Planeación y Diseño para la administración del Tránsito y transporte, Tomo II, 2005*), en la medida en que esto se presentara en condiciones ideales se tendría que presentar el máximo valor de flujo de vehículos en la vialidad.

Autores de la Transportation Research Board en Estados Unidos, Brilon et al en Alemania, Akcelik & Associates en Australia, Luttinen, R., and Nevala, R en Finlandia, Welsh (2001) en Inglaterra se han encargado de calcular y estimar este flujo de saturación base, para cada país, donde se encuentra que los valores hallados difieren, y una causa llega a ser que las características tanto de las vías como de los peatones, conductores y vehículos no son las mismas en cada lugar. Por esta razón en Colombia se debe estimar este valor de tal forma que se ajuste a las propiedades y características que presentan sus vías, de tal manera que para realizar posteriores estudios, modelaciones, y proyectos se trabaje con valores referencia para Colombia, por esto se ambiciona determinar través de procesos de cálculo y mediciones, el flujo de saturación base donde se tenga en cuenta los factores de ajuste que representen la realidad del tránsito.

Además de dar a conocer si con los valores que se ha trabajado hasta ahora provenientes del Highway Capacity Manual (HCM) son representativos y válidos, o si por el contrario se ha llegado a cometer errores al utilizar estos valores.

HIPÓTESIS

El valor del flujo de saturación base para la ciudad de Tunja, varía respecto al valor presentado en el manual de capacidad de carreteras (HCM 2010) de 1750 automóviles/carril/hora, (valor correspondiente a una ciudad con menos de 250000 habitantes), este valor es necesario para determinar los índices de capacidad y nivel de servicio en el diseño y operación de las intersecciones semaforizadas. Para la obtención de dicho valor se hizo necesario contar con un amplio número de estudios y toma de información de tal forma que esta fue obtenida en el territorio de los Estados Unidos, donde las condiciones de operación,

funcionamiento y características de las vías varían respecto a las de cualquier otro país.

De esta manera Colombia y la ciudad de Tunja necesitan de normas y parámetros propios para conseguir una optimización en los recursos y una eficiencia operativa, trayendo consecuentemente una mejora en la calidad de vida de los ciudadanos. De tal manera que seguir utilizando los parámetros y normas del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010), podría llevar a errores en diseños, modelaciones, y diferentes tipos de soluciones a problemas relacionados con movilidad y transporte. Por esto es sumamente necesario determinar el valor para la ciudad de Tunja, un valor que bien podría adoptarse para las ciudades colombianas muy similares a la de la capital del departamento de Boyacá.

En la actualidad se muestra que los países desarrollados o de primer mundo crean sus propios manuales y documentos técnicos de los cuales los países con menos recursos se valen o se guían para así analizar caracterizar, y estimar la funcionalidad de sus intereses.

JUSTIFICACIÓN

Para el caso, en Colombia nos valemos del manual de capacidad americano realizado por la Transportation Research Board para evaluar y caracterizar las vías en los Estados Unidos, y el cual en su presentación aclara que los valores que allí se presentan, únicamente son válidos en el territorio en el cual fue desarrollado.

Por esta razón se debe calcular este valor para Colombia de tal forma que se llegue a mostrar la variabilidad que tiene con los valores presentados en el HCM 2010, por lo que este proyecto, buscara medir y calibrar el flujo de saturación base (S_0) para algunas intersecciones de la ciudad de Tunja.

ANTECEDENTES

En el cálculo y estimación de la capacidad y nivel de servicio de intersecciones semaforizadas, es imprescindible conocer o calcular el flujo de saturación base que se ajuste a cada situación en específico, es bien sabido que la Transportation Research Board, determino este valor para los Estados Unidos de América, y que debido a la falta de estudios o desarrollo de investigación en otros países, se opta

por utilizar dicho valor, de tal manera que se incurre en errores inherentes, provocando variación en resultados.

El Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010), define la tasa de flujo de saturación base como la tasa máxima de flujo por carril que puede pasar a través de la intersección. Es decir, el número de vehículos en la cola que pueden atravesar la intersección semaforizada suponiendo que el carril tiene como tiempo disponible la luz verde efectiva durante una hora de tiempo, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito, y se expresa en vehículos/hora/carril.

La metodología utilizada por la (TBR) es clara al expresar que los valores de parámetros y datos que utilizan únicamente son válidos para los Estados Unidos, y que los demás países con condiciones similares a las del tránsito de dicho país, también pueden llegar a utilizar sus metodologías, siempre y cuando se realicen los respectivos ajustes.

El HCM 2010, considera un flujo de saturación base de 1750 vehículos/hora/carril, para condiciones ideales y proporciona factores de ajuste que lo modifican en función del impacto que producen en la capacidad de la intersección.

Las condiciones ideales a las que se sujeta el HCM son las siguientes:

- Ancho de carriles de 3.6 m.
- 0% de vehículos pesados.
- Accesos planos.
- Ausencia de estacionamientos y paradas de autobús cerca de la intersección.
- Área no comercial.
- Área con poco flujo peatonal y ciclistas.
- Utilización uniforme de los carriles.
- Solo flujos directos sin giros a la izquierda o derecha.

Resultados obtenidos de diversas investigaciones respecto al uso de las metodologías definidas en el HCM han mostrado que su efectividad no es satisfactoria al usar valores recomendados, particularmente cuando el valor de la demanda de vehículos se acerca a la capacidad de la vía. Esto se debe a que el comportamiento de los usuarios de las vías es diferente en cada país.

Algunas de las investigaciones realizadas, consideradas incidentes para el actual estudio se presentan a continuación:

- **“Estimación del flujo de saturación en intersecciones seleccionadas en la ciudad de México”** por: Jose Matias Llanes Ayala: Estima el valor del flujo de saturación base para 10 intersecciones de la ciudad de México, todas estas ubicadas sobre el eje 10, las intersecciones son las siguientes: Eje 10 y Blvd. Adolfo Ruíz Cortines (Anillo Periférico), Eje 10 y Avenida San Jerónimo , Eje 10 y Avenida Revolución, Eje 10 y Avenida de los Insurgentes, Eje 10 y Avenida Universidad, Eje 10 y Cerro del Agua, Eje 10 y Antonio Delfín Madrigal, Intersección: Eje 10 y Avenida Aztecas, Eje 10 y Avenida Pacífico, Eje 10 y Avenida División del Norte. El resultado de esta investigación estima el flujo de saturación para la ciudad de México en 1651 vehículos/hora/carril.
- **“Análisis de Flujo de Saturación Real en la Intersección de Av. Primavera con Av. Encalada en la ciudad de Lima”**, por: Torres Senmache, Abraham David; Alvarado De La Cruz, Ricardo Jesús: en este caso de investigación, se determinan varios parámetros para la intersección la Av. Encalada con La avenida Primavera en la ciudad de Lima Perú, donde, entre otros factores se estima el valor del flujo de saturación base de 1626 vehículos/hora/carril. Cabe resaltar que en este caso de estudio la variabilidad de los resultados es muy grande.

Resultados imprecisos del cálculo del flujo de saturación al no incorporar condiciones locales resultan en un bajo nivel de confiabilidad en el cálculo de la Capacidad y Nivel de Servicio en intersecciones semaforizadas.

Cinco capítulos explican de forma breve y concisa los conceptos necesarios que llevarán a entender mejor el lenguaje de la Ingeniería de Tránsito enfatizando en la determinación y cálculo del flujo de Saturación base o ideal.

El primer capítulo presenta la introducción al tema en cuestión se plantean los objetivos, la hipótesis, se plantea el problema y se da una justificación del por qué es importante el desarrollo de esta investigación. El capítulo dos hace referencia a los principios del flujo del tránsito, haciendo mención de los tipos de flujo y sus características, así como las condiciones que se deben presentar para una adecuada toma de información, definiciones y relaciones básicas que se deben tener en cuenta para entender mejor el flujo de saturación y la operación de las intersecciones. En el capítulo tres se muestra la metodología a seguir para lograr el desarrollo de la investigación, y las pautas que se deben tener en cuenta.

En el capítulo cuatro presenta todo el procesamiento de la información recolectada, los cálculos y algunos análisis a cada resultado obtenido.

Por ultimo en el capítulo 5 se muestran los análisis de los resultados encontrados y se llega a la conclusión si verdaderamente se cumplió con los objetivos planteados en el proyecto.

CAPITULO II: MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO.

1 CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO

El análisis de capacidad se lleva a cabo para determinar el tránsito máximo que puede circular en una sección de carretera dada. También se pretende estimar el máximo número de vehículos que pueden atravesar por el tramo seleccionado de una manera eficiente. La definición de los criterios de operación se lleva a cabo mediante la introducción del concepto de nivel de servicio. Rango de condiciones de operación que es definido para cada intersección o vialidad seleccionada y se relaciona con la cantidad de vehículos que operan en cada nivel de servicio.

1.1 CAPACIDAD

Teóricamente la Capacidad se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una autopista o calle. De manera particular, la Capacidad de una infraestructura vial es el máximo número de vehículos que razonablemente pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control.¹

El intervalo de tiempo utilizado en la mayoría de los análisis de capacidad es de 15 minutos, debido a que se considera que éste es el intervalo más corto durante el cual puede presentarse un flujo estable. Como se sabe, que el volumen en 15 minutos así obtenido es convertido a tasa de flujo horaria, entonces la capacidad de un sistema vial, es la tasa máxima horaria².

En la infraestructura vial, se presentan dos tipos de circulación y estas son continuas o discontinuas. Los sistemas viales de circulación continúa no tienen elementos externos al flujo de tránsito, tales como los semáforos y señales de alto que produzcan interrupciones en el mismo. Los sistemas viales de circulación discontinua tienen elementos fijos que producen interrupciones periódicas del flujo

¹ MOZO SÁNCHEZ José, Análisis de Nivel de Servicio y Capacidad de Segmentos Básicos de Autopistas, Segmentos Trenzados y Rampas de acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras HCM2000 aplicando MathCad Capítulo 3 p-32.

² Ídem.

de tránsito, independientemente de la cantidad de vehículos, tales como los semáforos, las intersecciones de prioridad con señales de alto y ceda el paso, y otros tipos de regulación³.

Dependiendo del tipo de infraestructura vial a analizar, se debe establecer un procedimiento para el cálculo de su capacidad y calidad de operación. Por lo tanto, el principal objetivo del análisis de capacidad, es estimar el máximo número de vehículos que un sistema vial puede acomodar con razonable seguridad durante un periodo específico. Sin embargo, los sistemas operan pobremente a capacidad; pero generalmente ellos raramente se planifican para operar en este rango.⁴

A su vez, mediante los análisis de capacidad, también se estima la cantidad máxima de vehículos que el sistema vial puede acomodar mientras se mantiene una determinada calidad de operación a la que se da el nombre de nivel de servicio.

1.2 CONDICIONES BASE.

Los procedimientos que se describen en el HCM 2010 para determinar la capacidad de las vías, provienen de fórmulas, tablas o simples representaciones gráficas que forman una condición óptima estándar específica de referencia, que deberán ser ajustadas a las condiciones prevalecientes. Las condiciones base asumen, buen estado del tiempo, buenas condiciones del pavimento, usuarios familiarizados con facilidad de las vías, y sin ningún incidente que impida el flujo de tráfico. Las condiciones base o ideales para flujo ininterrumpido son las siguientes⁵:

- Ancho de carril de 3.6 metros.
- Espacio de 1.8 metros entre el borde del carril de circulación y la obstrucción o los objetos en el camino más cercanos
- Velocidad de flujo libre de 100 km/h para carretera de varios carriles.
- 100% de vehículos ligeros en la corriente de tránsito.
- Terreno plano.

³ Loc. Cit., pagina 24.

⁴ Ídem.

⁵ LLANES AYALA Jose Matias, ESTIMACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS SELECCIONADAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO”, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, MÉXICO D.F. Mayo de 2014 p-15-16

- No existen zonas de adelantamiento.
- No hay impedimentos a través del tránsito debido a señales de control y vehículos dando vuelta.⁶

Y en las condiciones base para los accesos de las intersecciones se incluyen:

- Ancho de carril de 3.6 metros.
- No hay aparcamiento en los bordes del camino.
- Sólo vehículos particulares en los flujos de tránsito, sin autobuses urbanos en el carril de circulación.
- Intersecciones situadas fuera de la zona comercial y de negocios.
- No hay peatones.⁷

En la mayoría de los análisis de capacidad, las condiciones predominantes defieren de las condiciones base ideales y los cálculos para obtener la capacidad, los valores de la tasa del flujo de servicio, por lo tanto, el nivel de servicio debe incluir un ajuste para reflejar esto. Las condiciones prevalecientes son generalmente categorizadas como las condiciones del camino, del tránsito, o del control.

1.3 CONDICIONES DE DISEÑO DE LA VÍA

Las condiciones del camino incluyen los elementos geométricos que describen el camino. Éstos incluyen:

- Número de carriles.
- Tipo de vía y su desarrollo en la zona.
- Ancho del carril.
- Ancho de acotamiento y obstáculos laterales.
- Velocidad de diseño.
- Alineamiento vertical y horizontal.
- Disponibilidad de carril exclusivo en la intersección para dar vuelta.⁸

⁶ Ibíd. P-16

⁷ Ídem

⁸ Ídem

1.4 CONDICIONES DEL TRÁNSITO

Las condiciones del tránsito que influyen en la capacidad y nivel de servicio, incluyen el tipo de vehículo, uso de carriles y distribución direccional.

Tipos de vehículos.

El paso de vehículos pesados afectan la corriente de tránsito y el número de vehículos que pueden ser servidos en el camino. Los vehículos pesados son los vehículos que circulan con más de cuatro neumáticos, Camiones, autobuses son los dos grupos de vehículos pesados que afectan el tránsito en dos maneras:

- Son más grandes que los vehículos ligeros y por lo tanto ocupan más lugar en la carretera.
- Tienen capacidad de operación más pobre que los vehículos ligeros, particularmente con respecto a la aceleración, frenado y la capacidad para mantener la velocidad.⁹

Uso de carriles y distribución direccional:

- Por lo general los carriles internos se utilizan más que los carriles laterales.
- La distribución direccional tiene mayor impacto en carreteras de dos carriles.

1.5 CONDICIONES DE CONTROL

Para condiciones de flujo interrumpido, el tiempo de control disponible para la circulación es un elemento que afecta la capacidad y los niveles de servicio. La condición más crítica es la del semáforo, la cual depende del tipo de control que se utilice, el tipo de fases, la distribución del tiempo de luz verde, la duración del ciclo.

1.6 CONDICIONES DE TRÁFICO

Las condiciones de tráfico incluyen los volúmenes en cada aproximación, la distribución de vehículos por movimiento (izquierda, de frente, derecha), la distribución de vehículos en cada movimiento, la localización y el uso de las paradas de busetas (transporte público) dentro del área de la intersección, flujo de

⁹ Ibíd. P16-17

peatones que cruzan y movimientos de estacionamiento dentro del área de la intersección¹⁰.

1.7 CONDICIONES DE SEMAFORIZACIÓN

Las condiciones de semaforización, incluyen una definición total de las fases de la señal, tiempos y tipo de control, y una evaluación de la progresión para cada grupo de vías. Esta puede ser hecha para vías aisladas que sirven a uno o varios movimientos particulares, tal como una vía exclusiva de volteo derecho o izquierdo.¹¹

1.7.1 Ciclo de semáforo.

Tiempo total que requiere una sucesión completa de intervalos del semáforo.

1.7.2 Cola.

Fila de vehículos detenidos o casi detenidos. Fase (de semáforo). Parte del ciclo que consta generalmente de: (a) un intervalo en que se da derecho de paso a uno o más movimientos, y (b) un intervalo de transición como el amarillo o amarillo más todo rojo, usualmente llamado entre verde.

1.7.3 Intervalo (vehicular).

Tiempo que transcurre entre el paso, por un punto fijo de una vía, del extremo trasero de un vehículo y el mismo extremo del que lo precede en la vía. Se asigna al vehículo de atrás si éste sigue al de delante.

1.7.4 Paso vehicular.

Tiempo que tarda un vehículo en recorrer su propia longitud. Semáforo de tiempos fijos. Aquél que dirige el tránsito conforme a ciclos e intervalos establecidos previamente.

¹⁰ Ibíd. Pag-18

¹¹ JERI GODOY Guido, Optimización del ciclo semafórico en intersecciones congestionadas a nivel microscópico, Lima Perú 2015 p30 - p 34.

1.7.5 Tiempo perdido por arranque de cola.

El que se pierde para poner en marcha una cola de vehículos detenidos en el acceso a una intersección semaforizada.

1.7.6 Tiempo perdido por despeje.

Tiempo en que ningún vehículo usa una intersección al cambiar de fase el semáforo. Es el que media desde la salida del último vehículo de una fase hasta la entrada del primer vehículo que avanza en la fase siguiente.

1.7.7 Conflictos y regulación.

Desde el punto de vista de la circulación de vehículos un viaje es una sucesión de etapas de movimiento y reposo. Para un vehículo aislado esto podría ser descrito por las leyes de la mecánica. Pero cuando múltiples y distintos vehículos participan en el proceso surgen interacciones de otra naturaleza que condicionan la circulación y que requieren una teoría especializada. Estas interacciones tienen lugar en los elementos de la infraestructura vial: vías, intersecciones, estaciones de transferencia. Derivan de un hecho físico básico: tanto los vehículos como la infraestructura tienen dimensiones finitas. De allí los conflictos: la presencia de un vehículo condiciona la circulación de los otros. Son estos conflictos entre vehículos los que deben ser analizados para describir la circulación. No obstante, los vehículos no son entes autónomos sino que son comandados por personas.

Luego, los aparentes conflictos entre vehículos son en realidad entre personas. De allí que la descripción de la circulación no es solo una extensión de las 6 leyes de la mecánica. Aspectos como la conducta y características físicas de los individuos juegan un rol fundamental. A continuación estudiaremos los conflictos, clasificándolos en tres tipos para su estudio más detallado: concurrencia les, direccionales y funcionales.

1.7.8 Conflictos concurrenciales.

Se producen entre los vehículos que circulan por la misma vía y en el mismo sentido, pero con distintas velocidades (p. ej. tramos de calles, caminos, etc.). La superación de este tipo de conflicto se logra ajustando la velocidad de los vehículos o permitiendo el adelantamiento del vehículo más lento.

1.7.9 Conflictos direccionales.

Se dan entre vehículos cuyas trayectorias se cruzan en una misma vía o en vías distintas. Su solución se obtiene dando prioridad a uno de los movimientos sobre el otro. Se producen típicamente en intersecciones.

1.7.10 Conflictos funcionales.

Ocurren entre vehículos que hacen uso antagónico de un mismo sector de la vía: movimiento y reposo. Se superan a través del adelantamiento del vehículo detenido, la detención del vehículo en movimiento o el ajuste de su velocidad hasta que el conflicto desaparece (por ejemplo, paraderos de buses y estacionamientos en la calzada).¹²

1.7.11 Todo Rojo

Es el periodo en el cual todos los semáforos que van a ganar el derecho de verde permanecen en rojo, mientras el que la va a perder se encuentra en Rojo-Amarillo.

1.7.12 Fase.

Las fases son las encargadas de regular la circulación de los vehículos en cada dirección y en cada sentido de circulación.

1.8 NIVEL DE SERVICIO

Para medir la calidad del flujo vehicular se usa el concepto de Nivel de Servicio. Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motoristas y/o pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial. De los factores que afectan el Nivel de Servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que correspondan a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, tales como la anchura de los carriles, la distancia libre

¹² Teoría de Flujos Vehiculares Apuntes de Clase Profesor Jaime Gibson Universidad de Chile División Ingeniería de Transporte Edición Mauro Huenupi Versión Agosto de 2001.

lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes, etc. En el manual de capacidad HCM 2010 se establecen seis Niveles de Servicio denominados: A, B, C, D, E, y F, que van del mejor al peor.

Los niveles de servicio de intersecciones semaforizadas están dados por el promedio de demoras de tiempo parado por vehículo. Ésta es una medida que refleja la molestia y frustración del conductor, el consumo de combustible y la pérdida de tiempo en el viaje. Estos niveles de servicio se han establecido en relación con la demora promedio por parada por vehículo. Específicamente, el nivel de servicio se expresa en términos de la demora media por vehículo por las detenciones para un período de análisis de 15 minutos, considerado como período de máxima demanda. Los niveles de servicio para intersecciones semaforizadas son:

Nivel de servicio A

Operación con demoras muy bajas, menores de **10 segundos** por vehículo. La mayoría de los vehículos llegan durante la fase verde y no se detienen del todo. Longitudes de ciclo corto puede contribuir a demoras mínimas.¹³

Nivel de servicio B

Operación con demoras entre **10.1 y 20.0 segundos** por vehículo. Algunos vehículos empiezan a detenerse.¹⁴

Nivel de servicio C

Operación con demoras entre **20.1 y 35.0 segundos** por vehículo. La progresión del tránsito es regular y algunos ciclos empiezan a malograrse.¹⁵

Nivel de servicio D.

Operación con demoras entre **35.1 y 55.0 segundos** por vehículo. Las demoras pueden deberse a la mala progresión del tránsito o llegadas en la fase roja,

¹³ TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, capítulo 18 signalized intersections, pag-33.

¹⁴ Ídem.

¹⁵ Ídem.

longitudes de ciclo amplias, o relaciones de v/c muy altas. Muchos vehículos se detienen y se hacen más notables los ciclos malogrados.¹⁶

Nivel de servicio E.

Operación con demoras entre **55.1 y 80.0 segundos** por vehículo. Se considera como el límite aceptable de demoras. Las demoras son causadas por progresiones pobres, ciclos muy largos y relaciones de v/c altas.¹⁷

Nivel de servicio F.

Operación con demoras superiores a los **80.0 segundos** por vehículo. Los flujos de llegada exceden la capacidad de la intersección, lo que ocasiona congestionamiento y operación saturada.¹⁸

1.9 RELACIÓN DE CAPACIDAD

El nivel de servicio de cualquier intersección en una vía tiene un efecto importante sobre su desempeño general operativo. Los factores que afectan el nivel de servicio en las intersecciones, tienen en cuenta el flujo y la distribución del tránsito, las características geométricas y el sistema de señalización.

Una diferencia importante al considerar el nivel de servicio en los segmentos de una vía principal y, el nivel de servicio en las intersecciones, es que en el primer caso solamente se usan los flujos de travesía, mientras que en el segundo (las intersecciones) se usan los flujos de las maniobras de giro importantes. El sistema de señalización, que incluye la asignación de tiempo entre los movimientos en conflicto del tránsito vehicular y de los peatones en la intersección, es también un factor importante. Por ejemplo, la distribución del tiempo de luz verde entre estos flujos conflictivos, afecta significativamente tanto la capacidad como la operación de la intersección.

¹⁶ ídem.

¹⁷ ídem.

¹⁸ ídem.

1.9.1 Relación Demanda y Oferta vial

La capacidad de un sistema vial engloba características cuantitativas y cualitativas. Permitiendo determinar la suficiencia (cuantitativa) y la calidad (cualitativa) del servicio ofrecido por el sistema (oferta) a los usuarios (demanda)

La demanda vehicular se define como el número de vehículos que requiere circular por un determinado sistema u oferta vial, la oferta vial se define como el número máximo de vehículos que pueden circular en un espacio físico. La Ilustración 1 presenta gráficamente esta relación.

Si Demanda Vehicular < Oferta Vial, el flujo será no saturado y los niveles de operación variarán de excelentes a aceptables. Es lo deseable.

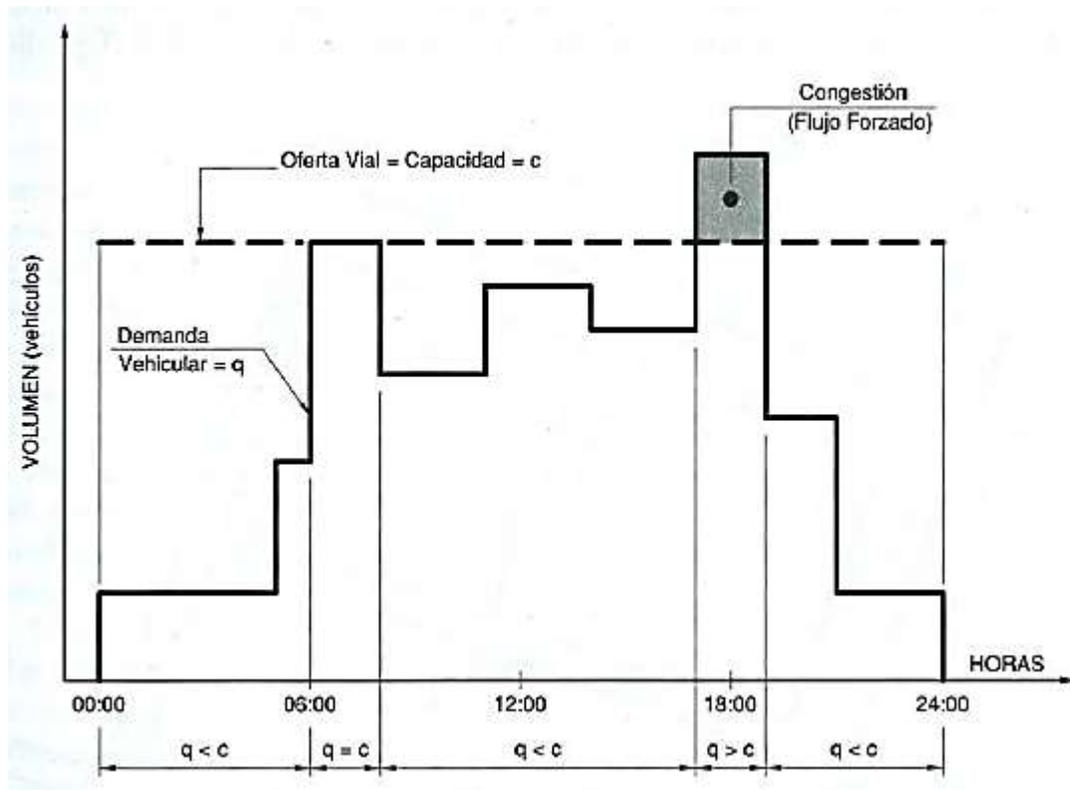
Si Demanda Vehicular = Oferta Vial, se llega a la capacidad del sistema. El tránsito se torna inestable y se puede llegar a la congestión.

Si Demanda Vehicular > Oferta Vial, el flujo será forzado, presentándose detenciones frecuentes y grandes demoras. Es lo no deseable.

Por lo tanto, si Demanda Vehicular \leq Oferta Vial, no existirá mayor problema en el manejo del tránsito. Por el contrario, si Demanda Vehicular > Oferta Vial, se presentarán los problemas de tránsito, que habrá que analizar y resolver¹⁹.

¹⁹ CAL Y MAYOR Rafael, CARDENAS GRISALES James, INGENIERÍA DE TRANSITO FUNDAMENTOS Y APLICACIONES, 9ª edición Alfaomega MÉXICO, 2018. P(374)

Ilustración 1 variación de la demanda vehicular con el transcurso del día



Fuente: CAL Y MAYOR Rafael, CÁRDENAS GRISALES James, INGENIERÍA DE TRANSITO FUNDAMENTOS Y APLICACIONES, 9ª edición Alfaomega MÉXICO, 2018. P(374)

1.10 LOS MOVIMIENTOS PERMITIDOS DE GIRO

Son los que se realizan aprovechando las brechas de un flujo vehicular en sentido contrario o atravesando un flujo de peatones en conflicto. La instalación de las vueltas permitidas en una intersección dada, depende de las características geométricas de la intersección, del volumen de la maniobra de giro y del volumen en sentido contrario.

Las intersecciones son básicamente el cruce de dos o más caminos, por lo que son puntos de conflicto entre los vehículos que las cruzan. La capacidad de las intersecciones, controla la capacidad de las calles que se intersecan en estas, por esto es importante maximizar su seguridad y capacidad²⁰.

²⁰ Ibid. Pag-356

1.11 CAPACIDAD EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS

La capacidad de intersecciones es definida para cada grupo de carriles de la calzada. La capacidad del grupo de carriles es la máxima tasa de flujo para el grupo de carriles objeto que puede pasar a través de la intersección bajo el tráfico prevaleciente, del diseño y las condiciones de semaforización. La tasa de flujo es generalmente medida o proyectada para periodos de 15 minutos, y la capacidad es establecida en vehículos por hora (vph)²¹ cuyo enfoque se da hacia el Flujo de Saturación.

La capacidad en una intersección semaforizada está basada en el concepto de flujo de saturación y la tasa de flujo de saturación definido como el máximo valor de flujo que puede pasar a través de un grupo de vías dado bajo en tráfico prevaleciente y las condiciones de la vía, asumiendo que el grupo de vías tiene el 100% de tiempo real disponible como tiempo de verde efectivo²².

La tasa de flujo de saturación está representada por el símbolo (**s**) y está expresada en unidades de vehículos por hora de efectivo tiempo de verde (vhpv) para un grupo de vías dado.

La tasa de flujo para un grupo de vías dado está definido como la razón de la actual o proyectada de flujo de la demanda para el grupo de vías entre la tasa de flujo de saturación. La razón de flujo está representada por el símbolo (**v/s**) para el grupo de vías.

La capacidad de un grupo de vías dado puede ser establecida como:

$$C_i = s_i (g_i/C) \quad (1)$$

Dónde:

C_i = Capacidad del grupo de vías.

s_i = Tasa de flujo de saturación para el grupo de vías

g_i/C = Razón efectiva de verde para el grupo de vías.

²¹ JERI GODOY Guido, Optimización del ciclo semafórico en intersecciones congestionadas a nivel microscópico, Lima Perú 2015 p30 - p 34

²² SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL manual de estudios de ingeniería de tránsito, México, 2015

La razón de flujo o capacidad (v/c) también es llamada la razón volumen – capacidad y está dada por el símbolo X en el análisis de intersecciones.

Este nuevo símbolo es introducido para enfatizar la fuerte relación de capacidad para condiciones de semaforización y para hacer referencia a esta posteriormente, a la cual también se le puede referir con el nombre de grado de saturación.²³

Para un grupo de vías

$$X_i = (v/c)_i = v_i / (s_i g_i / C) = V_i C / (s_i g_i) \quad (2)$$

Dónde:

- $X_i = (v/c)_i$ = Razón para el grupo de vías i
- v_i = tasa de flujo de demanda actual o proyectada para el grupo de vías.
- s_i = tasa de flujo de saturación para el grupo de vías.
- g_i = tiempo de verde efectivo para el grupo de vías.
- C = duración de ciclo, seg.

Valores sostenibles de X_i tienen un rango desde 1.0 (uno), cuando el flujo es igual a la capacidad, hasta 0 (cero) cuando la tasa de flujo es de 0. Valores cercanos a 1.0 indican un exceso de demanda sobre la capacidad.²⁴

La capacidad de toda la intersección no es un concepto significativo y no está específicamente definido aquí. Rara vez todos los movimientos hechos en la intersección son saturados en un mismo momento de día, lo que se trata es de determinar los movimientos que pasan a través de la intersección con una condición crítica.²⁵

Otro concepto de capacidad de utilidad en el análisis de intersecciones semaforizadas, también es la razón crítica v/c o X_c , la cual es la razón v/c para toda la intersección, considerando solo los grupos de vías que tienen una alta tasa de flujo (v/s).

Por ejemplo, en un semáforo de dos fases, un grupo de vías opuestas se mueve durante el mismo tiempo de verde. Generalmente, uno de esos dos grupos de vía

²³ JERI GODOY Guido, Optimización del ciclo semafórico en intersecciones congestionadas a nivel microscópico, Lima Perú 2015 p30.

²⁴ Ídem.

²⁵ Ibíd. Pag-32

requerirá más tiempo de verde que el otro (este tendrá una tasa de flujo más alta). Éste podría ser el grupo más “crítico” para la fase observada. Cada fase de señal tendrá un grupo de vías crítico que determinará los requerimientos de tiempo de verde para la fase. Cuando dos fases de señal se traslapan la identificación de los grupos de vías críticos será más compleja.

La razón crítica v/c para la intersección es definida en términos de los grupos de vías críticas o aproximaciones:

$$X_c = \Sigma (v/s)_{ci} [C / (C - L)] \quad (3)$$

Dónde:

- X_c = Razón crítica v/c para la intersección.
- $\Sigma (v/s)_{ci}$ = Sumatoria de las razones de flujo para todos los grupos de vías críticos.
- C = Duración del ciclo, en segundos.
- L = Total de tiempo perdido por ciclo, calculado como la suma del tiempo perdido tL para todos los grupos de vías críticos.

La ecuación (3) es usada en la evaluación de toda la intersección respecto a la geometría y la duración total del ciclo y también en la estimación de los tiempos de señal cuando ellos son desconocidos o no especificados por la política local o procedimientos. Esto puede ser dado para la relación v/c de los movimientos críticos, asumiendo que el tiempo de verde fue asignado en proporción a los valores v/s .

También es posible tener una razón crítica v/c menor que 1.0 y aún tener movimientos sobre saturados dentro del ciclo del semáforo. Una relación crítica v/c menor que 1.0 también, indica que todos los movimientos en la intersección pueden ser acomodados dentro de la duración del ciclo y la secuencia de fases, para la proporcionalidad de los tiempos de verde asignados.

En la esencia, el total del tiempo de verde disponible en la secuencia de fases es adecuado para manejar todos los movimientos si solo se asignaran sobre la base de v/s .²⁶

²⁶ Íbid - p 34.

El valor de X_c puede, sin embargo, desorientar cuando se usa como un indicador de la suficiencia de la geometría, como es también requerido en aplicaciones de planeamiento. El problema es que tasas de flujos bajas dictan la necesidad de duración de ciclos cortos para minimizar la demora, de la revisión de la ecuación (3) se puede inferir que duraciones de ciclos cortos producen altos valores de X_c para un específico nivel de demanda de tráfico.

Así pues, varios métodos de asignación de tiempo de señales incluyendo el método de planeamiento que no será estudiado en el presente trabajo, se basan en la búsqueda de un valor fijo de X_c . Esto tiende a hacer que X_c sea independiente de los volúmenes de demanda.

1.12 PRINCIPIOS SOBRE EL FLUJO DEL TRÁNSITO.

La corriente de tránsito de cualquier vialidad está definida bajo tres variables principales: volumen o valor del flujo, velocidad y densidad.

Al igual que muchos sistemas dinámicos, los medios físicos y estáticos del tránsito, tales como las carreteras, las calles, las intersecciones, las terminales, etc., están sujetos a ser solicitados y cargados por volúmenes de tránsito, los cuales poseen características espaciales y temporales. Al proyectar una carretera o calle, la selección del tipo de vialidad, las intersecciones, los accesos y los servicios, dependen fundamentalmente del volumen de tránsito o demanda que circulará durante un intervalo de tiempo dado, de su variación, de su tasa de crecimiento y su composición.

La importancia de la velocidad, como elemento básico para el proyecto de un sistema vial, queda establecida por ser un parámetro de cálculo de la mayoría de los demás elementos del proyecto. La velocidad debe ser estudiada, regulada y controlada con el fin de que origine un perfecto entre el usuario, el vehículo y la vía, de tal manera que siempre se garantice la seguridad.²⁷

1.12.1 Tipos de flujo del tránsito

El flujo de tráfico se puede clasificar en continuo y discontinuo.

-El flujo Continúo:

²⁷ CAL Y MAYOR Rafael, CARDENAS GRISALES James, INGENIERÍA DE TRANSITO FUNDAMENTOS Y APLICACIONES, 9ª edición Alfaomega MÉXICO, 2018 p276.

Es aquel en el que el vehículo que va transitando por la vía solo se ve obligado a detenerse por razones inherentes al tráfico. Es el tráfico de las carreteras. Los vehículos se detienen cuando ocurre un accidente, cuando llegan a un destino específico, paradas intermedias, etc.²⁸

-El flujo discontinuo o interrumpido:

Es el característico de las calles, donde las interrupciones son frecuentes por cualquier motivo, siendo una de estas los controles de tránsito de las intersecciones como son los semáforos, los ceda el paso, etc²⁹.

1.12.2 Características del flujo del tránsito

Las tres características principales que se pueden explicar matemáticamente son La Velocidad, el Flujo y la Densidad.

Velocidad

En general, el término velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Es decir, para un vehículo representa su relación de movimiento, generalmente expresada en kilómetros por hora (km/h).³⁰

Para el caso de una velocidad constante, ésta se define como una función lineal de la distancia y el tiempo, expresada por la fórmula:

$$v=dt \text{ (4)}$$

Dónde:

- v = velocidad constante (kilómetros por hora)
- d = distancia recorrida (kilómetros)
- t = tiempo de recorrido (horas).

Existen varios tipos básicos de medida de la velocidad de viaje:

²⁸ Ibid. P-278

²⁹ Ídem.

³⁰ Ibid. P-235

Velocidad de punto

Es la velocidad de un vehículo a su paso por un determinado punto de una carretera o una calle. Como dicha velocidad se toma en el preciso instante del paso del vehículo por el punto, también se le denomina velocidad instantánea.³¹

Velocidad media temporal

Es la media aritmética de las velocidades de punto de todos los vehículos, o parte de ellos, que pasan por un punto específico de una carretera o calle durante un intervalo de tiempo seleccionado. Se dice entonces, que se tiene una distribución temporal de velocidades de punto. Para todas las velocidades de punto no agrupados, matemáticamente la velocidad media temporal se define como:³²

$$\bar{v}_I = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad (5)$$

Dónde:

- \bar{v}_I = velocidad media temporal
- v_i = velocidad del punto del vehículo i
- n = número total de vehículos observados en el punto o tamaño de la muestra

Velocidad media espacial

Es la media aritmética de las velocidades de punto de todos los vehículos que en un instante dado se encuentran en un tramo de carretera o calle. Se dice entonces, que se tiene una distribución espacial de velocidades de punto³³.

Para un espacio o distancia dados, la velocidad media espacial se calcula dividiendo la distancia por el promedio de los tiempos empleados por los vehículos en recorrerla. Esto es:

$$\bar{v}_e = \frac{d}{\bar{t}} = \frac{n}{n \sum_{i=1}^n \frac{1}{v_i}} \quad (6)$$

³¹ Ibid. Pag-237

³² Ibid. Pag-238

³³ Ibid. Pag-239

Dónde:

- v_e^- = velocidad media espacial
- d = distancia dada o recorrida.
- \bar{t} = tiempo promedio de recorrido = $\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}$

Velocidad de recorrido

Llamada también *velocidad global o de viaje*, es el resultado de dividir la distancia recorrida, desde el inicio hasta el fin del viaje, entre el tiempo total que se empleó en recorrerla. En el tiempo total de recorrido están incluidas todas aquellas demoras operacionales de velocidad y paradas provocadas por la vía, el tránsito y los dispositivos de control, ajenos a la voluntad del conductor. No incluye aquellas demoras fuera de la vía, como pueden ser las correspondientes a gasolineras, restaurantes, lugares de recreación, etc. La velocidad de recorrido sirve principalmente para comparar condiciones de fluidez en ciertas rutas; ya sea una contra otra, o bien, en una misma ruta cuando se han realizado cambios, para medir los efectos. *La velocidad media de recorrido* es la suma de sus distancias recorridas divididas por la suma de los tiempos totales de viaje³⁴.

Velocidad de marcha o velocidad de crucero

Es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante la cual el vehículo estuvo en movimiento. Para obtener la velocidad de marcha en un viaje normal, se descontará del tiempo total de recorrido, todo aquel tiempo en que el vehículo se hubiese detenido por cualquier causa asociada a la operación del tránsito. Por lo tanto esta velocidad, por lo general, será de valor superior a la de recorrido.³⁵

Velocidad de proyecto o velocidad de diseño

Es la velocidad máxima a la cual pueden circular los vehículos con seguridad sobre una sección específica de una vía, cuando las condiciones atmosféricas y del tránsito son tan favorables que las características geométricas del proyecto gobiernan la circulación. Todos aquellos elementos geométricos del alineamiento

³⁴ *Ibíd.* Pag-247

³⁵ *Ibíd.* Pag-250

horizontal, vertical y transversal, tales como radios mínimos, pendientes máximas, distancia de visibilidad, sobreelevaciones, anchos de carriles y acotamientos, anchuras y alturas libres, etc., dependen de la velocidad de proyecto y varían con un cambio de ésta.

En Estados Unidos y en Europa se han usado velocidades de proyecto máximas hasta de 140 km/h. Sin embargo, hay una tendencia a reducirlas a 120 km/h (Europa) y 112 km/h (EE.UU.). En México, al igual que en Colombia, las velocidades de proyecto fluctúan entre 40 y 110 km/h, dependiendo del tipo de vía seleccionada.

Volumen y Tasa de flujo

Se define volumen de tránsito, como el número de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o de una calzada, durante un periodo determinado. Se expresa como: ³⁶

$$Q = \frac{N}{T} \quad (7)$$

Dónde:

Q = vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículos/periodo)

N = número total de vehículos que pasan (vehículos)

T = período determinado (unidades de tiempo)

La *tasa de flujo*, es el valor horario equivalente a aquellos en los que los vehículos pasan por un punto dado, una sección de un carril o un camino, durante un intervalo de tiempo dado, menor que una hora, usualmente 15 minutos³⁷.

La diferencia entre el volumen y la tasa de flujo es importante. El volumen es el número actual de vehículos observados o asignados que pasan por un punto durante un intervalo de tiempo. El valor del flujo representa el número de vehículos que pasan por un punto durante un intervalo de tiempo menor que una hora, pero expresada como un valor horario equivalente.

³⁶ Ibid. Pag-168

³⁷ Ídem.

El valor del flujo se obtiene tomando el número de vehículos observados en un período de tiempo menor a una hora, dividiéndolo entre el tiempo (en fracción de hora), en el cual fueron observados. Por ejemplo, un volumen de 100 vehículos observados en un período de 15 minutos se calcularía la tasa de flujo como 100 vehículos/0.25 hora o 400 vehículos/hora.

Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda (Factor Hora Pico)

Es el volumen horario de máxima demanda, a menos que tenga una distribución uniforme, no necesariamente significa que el flujo sea constante durante toda la hora. Esto significa que existen períodos cortos dentro de la hora con tasas de flujo mayores a la de la hora misma. Para la hora de máxima demanda, se llama factor de la hora de máxima demanda, también conocida como factor hora pico, FHMD, a la relación entre el volumen horario de máxima demanda, VHMD, y el flujo máximo, $q_{m\acute{a}x}$, que se presenta durante un período dado dentro de dicha hora. Matemáticamente se expresa como:³⁸

$$FHMD = \frac{VHMD}{N * (q_{m\acute{a}x})} \quad (8)$$

Dónde:

- $FHMD$ = factor de la hora de máxima demanda
- $VHMD$ = volumen horario de máxima demanda
- N = número de períodos durante la hora de máxima demanda
- $q_{m\acute{a}x}$ = volumen máximo que se presenta en el período de la hora de máxima demanda

Los períodos dentro de la hora de máxima demanda pueden ser de 5, 10 o 15 minutos, utilizándose este último con mayor frecuencia.

Densidad

La densidad está definida como el número de vehículos que ocupan una longitud específica, de una vialidad en un momento dado. Generalmente se expresa en

³⁸ *Ibíd.* P-183

vehículos por kilómetro (veh/km), ya sea referido a un carril o a todos los carriles de una calzada. Se calcula como:³⁹

$$k = \frac{N}{d} \quad (9)$$

Dónde:

- k = densidad
- N = número de vehículos que ocupan una longitud específica
- d = longitud específica de una vialidad.

1.13 INTERSECCIONES.

Se llama intersección, al área donde dos o más vías terrestres se unen o cruzan. Se denomina también como intersección a un área que es compartida por dos o más vías, y cuya función principal es posibilitar el cambio de dirección de la ruta.

La intersección varía en complejidad desde un simple cruce, con sólo uno o dos calzadas que se cruzan entre sí en ángulo recto, hasta una intersección más compleja, en la cual se cruzan tres o más calzadas dentro de la misma área. Por tanto, las características propias de las intersecciones influyen en las decisiones de los conductores, respecto de cuál de las rutas alternativas tomar. Este esfuerzo, no se requiere en las áreas de la carretera que no tienen cruces, a parte de la razón por la cual las intersecciones tienden a presentar un alto potencial en accidentes. El flujo de tránsito total en cualquier carretera depende en gran medida del funcionamiento eficiente de los caminos que tienen intersecciones, éstas operan a una capacidad menor que las secciones de paso a través de camino.

Las intersecciones comúnmente encontradas en las ciudades son las de tipo "T" y la tipo "X". Entre los diferentes tipos de intersecciones se tienen:

Intersecciones a desnivel

Las intersecciones a desnivel constan de estructuras que distribuyen el tránsito para que cruce a niveles diferentes sin interrupción (distancias verticales). El potencial de accidentes en las intersecciones a desnivel se reduce, porque se

³⁹ *ilbíd.* P-277

eliminan muchos conflictos potenciales entre los flujos vehiculares que se cruzan. Las intersecciones a nivel no distribuyen al flujo vehicular en diferentes niveles y, por tanto, se presentan conflictos entre los flujos vehiculares que se cruzan.

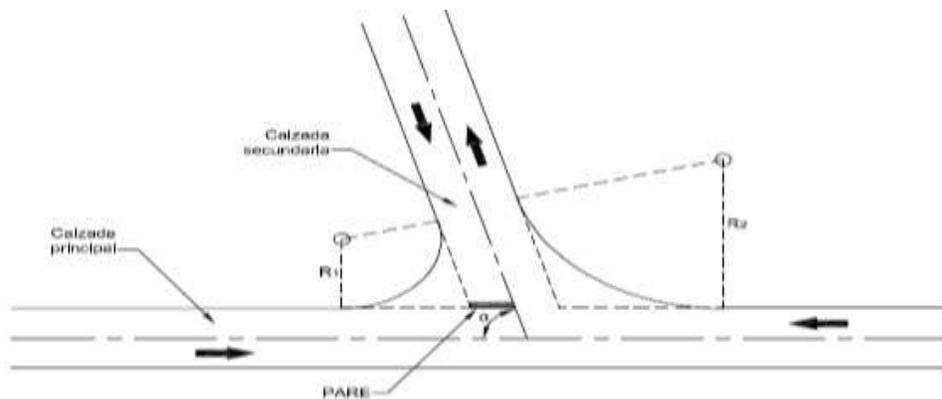
Intersecciones a nivel

Los tipos básicos de intersecciones a nivel son de tipo T o de tres vías, que contemplan tres enfoques; las intersecciones de cuatro vías o tréboles, que tienen cuatro accesos; y las intersecciones de vías múltiples, que tienen cinco o más accesos.

Intersecciones tipo T

En la Ilustración 2 se muestran diferentes tipos de intersecciones en T, que varían de la más simple, a aquella que tiene diferentes carriles con camellones y carriles para dar vuelta. La construcción de varios carriles, contempla el suministro de instalaciones tales como, las marcas en el pavimento y los camellones para regular y encauzar los flujos vehiculares que entran en conflicto para que sigan las trayectorias específicas de viaje.

Ilustración 2 Esquema base intersección en "T" o "Y"



Fuente: INVIAS, Manual de diseño geométrico de carreteras Colombia 2008 pag.176

Intersecciones de cuatro vías o tréboles

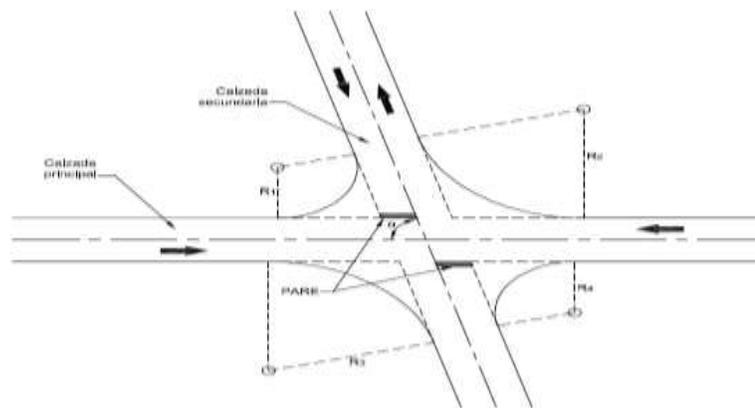
En la Ilustración 3 se muestran diferentes niveles de número de carriles para una intersección de cuatro vías. La intersección de un solo carril se usa principalmente en localidades de cruce con caminos secundarios locales, también puede usarse para el cruce de un camino secundario con una carretera principal. En estos casos los volúmenes que dan vuelta, generalmente son bajos y los caminos se cruzan en

un ángulo que no es mayor de 30 grados respecto de la normal. Cuando los movimientos de vuelta son frecuentes, pueden construirse carriles continuos de vuelta a la derecha

Intersecciones de vías múltiples

Las intersecciones de vías múltiples tienen cinco o más accesos. Siempre que sea posible, debe evitarse este tipo de intersecciones. Con objeto de eliminar algunos de los movimientos conflictivos en las intersecciones principales y con ello aumentar la seguridad y la operación, se realinean una o más vías.

Ilustración 3 Esquema base intersección en Cruz "+" o Equis "X"



Fuente: INVIAS, Manual de diseño geométrico de carreteras Colombia 2008 pag.176

1.13.1 Puntos de conflicto en las intersecciones

Se presentan conflictos cuando los flujos vehiculares que se mueven en diferentes direcciones interfieren entre sí. Los tres tipos de conflictos son incorporación, salida y cruce. El número de posibles puntos de conflicto en una intersección depende del número de accesos, de los movimientos para dar vuelta y del tipo de control de tránsito en la misma.

El objetivo primario en el diseño de un sistema de control de tránsito en una intersección, es reducir el número de puntos importantes de conflicto. Para el diseño de un sistema así, primero es necesario llevar a cabo un análisis de los movimientos de dar vuelta en la intersección que indicará el tipo relevante de conflictos. Los factores que influyen en la relevancia de un conflicto incluyen el tipo de conflicto, número de vehículos en cada uno de los flujos conflictivos y velocidad de los vehículos en estos flujos. Sin embargo, los conflictos de cruce tienden a

tener el efecto más severo en el flujo vehicular y deben reducirse a un mínimo siempre que sea posible.

1.13.2 Ventajas e inconvenientes de intersecciones

Ventajas:

- Mayor facilidad de proyecto y construcción.
- Requiere una menor superficie.
- Generalmente son más económicas.⁴⁰

Desventajas:

- Menor capacidad de tránsito.
- Obligan a reducir la velocidad e incluso parar.
- Condicionadas por la visibilidad.

1.13.3 Criterios de proyecto

Los principios generales que deben regular el proyecto de una intersección, especialmente si ésta es canalizada, son los siguientes:

Preferencia de los movimientos principales:

Los movimientos principales generalmente aquellos que impliquen un mayor número de vehículos deben prevalecer sobre los secundarios, limitando estos últimos con diversos métodos: señalización, reducción del ancho o radios pequeños.

Reducción de las áreas de conflicto:

Las grandes superficies, o lo que es igual, la escasa o inexistente definición de las trayectorias a seguir en cada posible movimiento genera comportamientos desordenados y confusión, aumentando la accidentalidad de la intersección.

⁴⁰ BULL, Alberto. Congestión de tráfico. El problema y como enfrentarlo. Santiago de Chile 2003. ISBN 92-1-322162-2.

Perpendicularidad de las trayectorias:

Las intersecciones en ángulo recto son las que representan áreas de conflicto mínimas. Además, facilitan las maniobras, aumentan la visibilidad en la intersección y reducen tanto la accidentalidad como la gravedad de los accidentes producidos. Son aceptables ángulos comprendidos entre 60° y 120°.

Paralelismo de las trayectorias al converger o divergir:

Los vehículos que se incorporen o salgan de una vía deberán hacerlo con ángulos de entre 10° y 15°, para de este modo aumentar la fluidez de la circulación. Ángulos mayores provocarán detenciones, disminuyendo ostensiblemente la capacidad y la seguridad en la intersección.

Control de los puntos de giro:

Una canalización adecuada permite evitar giros en puntos no convenientes, mediante el empleo de isletas que los hagan materialmente imposibles o muy difíciles. Si las isletas están elevadas, la seguridad será mayor que si se delimitan con marcas en el pavimento de la vía.

Control de la velocidad:

Para evitar accidentes, puede ser conveniente limitar la velocidad máxima en la intersección, disponiendo para ello curvas de menor radio o estrechando las calzadas.

Visibilidad:

La velocidad debe regularse en función de la visibilidad, de forma que entre el punto en que un conductor pueda ver a otro vehículo con preferencia de paso exista, al menos, la distancia de parada.

Sencillez y claridad:

Las intersecciones excesivamente complicadas crean en el conductor un estado de duda y confusión, lo que provocará que cometa errores en la elección de la trayectoria e intente rectificarla, aumentando el riesgo de accidentes.

Comodidad:

El conductor debe poder abordar cualquier trayectoria posible sin efectuar maniobras incómodas o recorridos demasiado largos; el confort deriva en una mayor fluidez en el tráfico.

Previsión de crecimiento:

Debe preverse la demanda futura de tráfico en la intersección, para evitar que quede obsoleta en un corto periodo de tiempo.

Otros aspectos:

En situaciones más particulares, puede ser necesario considerar una serie de factores, como son: separación de los puntos de conflicto, separación de determinados movimientos, creación de zonas protegidas para peatones, etc.

2 FLUJO DE SATURACIÓN

De acuerdo con los referentes teóricos, el flujo de saturación se define como “el máximo volumen de tránsito que pudiera entrar en una intersección semaforizada, por un acceso, carril o carriles del mismo, si el semáforo exhibiese siempre su indicación verde” y a partir de la determinación de este valor, es posible determinar la capacidad de que dispone un carril o grupo de carriles de acuerdo con el tiempo efectivo dispuesto para el cruce.

A nivel local el procedimiento de mayor aplicación para obtener los valores de saturación bajo condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y del subsistema de regulación del tránsito, se fundamenta en la metodología recomendada en el Highway Capacity Manual (HCM).

El flujo de saturación se suele expresar en vehículos (por acceso, carril o carriles) por hora de verde. De acuerdo con lo establecido en el HCM, se considera que un vehículo entra en una intersección cuando su eje trasero (que es prácticamente su extremo trasero) cruza por la línea de pare del acceso.⁴¹

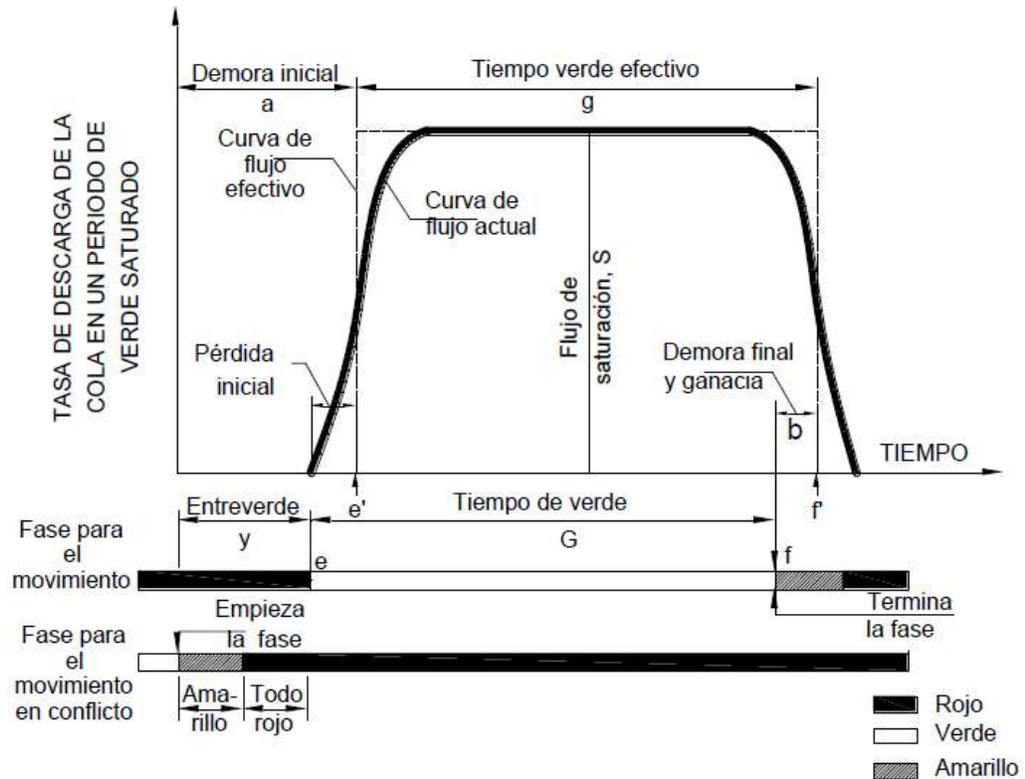
2.1 MODELO CONCEPTUAL DEL FLUJO DE SATURACIÓN

Cada vez que una corriente de vehículos se detiene, se experimenta otro tipo de tiempo perdido, ya que se requiere, por seguridad, un tiempo para despejar la intersección antes de que otra corriente de vehículos intente usar la intersección. A este intervalo se le llama "Tiempo Perdido de Despeje". En la práctica este tiempo período se toma en cuenta en los ciclos mediante el tiempo de luz ámbar y todo el de luz roja. Los conductores generalmente no se detienen durante el intervalo completo.

El "Valor del flujo de saturación" (Ilustración 4), es el valor del flujo por carril en el cual los vehículos pueden pasar a través de una intersección semaforizada en una "cola" en movimiento estable (h). Entonces, el valor del flujo de saturación representa el número de vehículos por hora, por carril, que pueden pasar a través de una intersección si el tiempo de luz verde estuviera disponible durante toda la hora y el flujo de los vehículos nunca fuese interrumpido.

⁴¹ SANCHEZ FRANCESCONI, Jorge Humberto. *Estimación de la afectación de la capacidad en intersecciones semaforizadas como consecuencia del estado del pavimento*. UNAL. Bogotá (2011).

Ilustración 4 Modelo básico del flujo de saturación.



Fuente: Ingeniería de Tránsito (Cal y Mayor R. & Cárdenas G., 2018)

La relación entre el valor del flujo de saturación y los tiempos perdidos es crítica. Para un carril o movimiento dado, los vehículos usan la intersección en el valor de flujo de saturación por un período de tiempo igual al tiempo de luz verde disponible más el intervalo de cambio, menos los tiempos perdidos de inicio y despeje. Por esto, el total de tiempo perdido por hora está relacionado con el ciclo del semáforo.

La cantidad de tiempo perdido impacta la capacidad, la lógica sugiere que la capacidad de la intersección se incrementa con el incremento del ciclo, más sin embargo, la demora también llega a ser excesiva.⁴²

⁴² LOPEZ VAZQUEZ, José Federico. Determinación del máximo valor de flujo de saturación en intersecciones semaforizadas. UANL. México (1998).

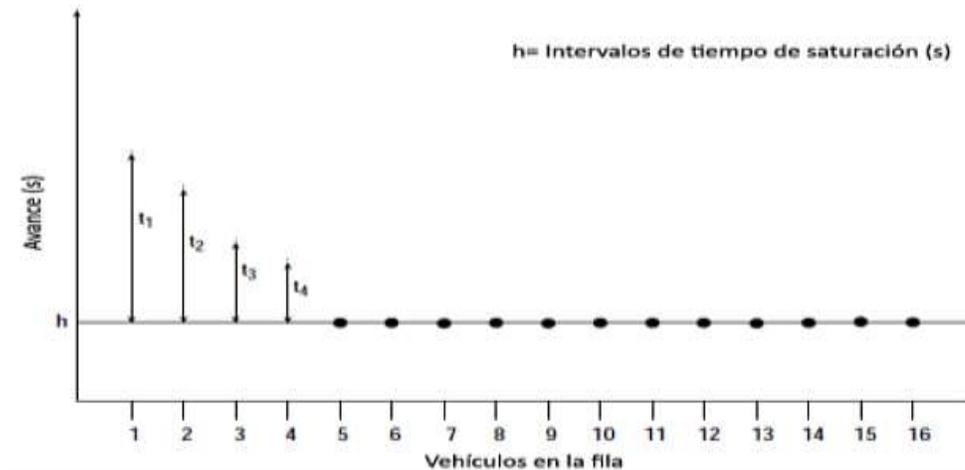
2.2 TIEMPO PERDIDO DE PUESTA EN MARCHA E INTERVALO DE SATURACIÓN

Para determinar la tasa de flujo de saturación real, el tiempo perdido en la puesta en marcha de los vehículos deberá entenderse y tomarse en cuenta. El inicio de la puesta en marcha se puede describir de la siguiente manera:

Cuando la señal de semáforo cambia a verde, los vehículos de la fila empezarán a cruzar la intersección. El tiempo de avance entre los vehículos se pueden describir como el intervalo de tiempo transcurrido entre los vehículos que cruzan la línea de la intersección sucesivamente. El primer intervalo será el tiempo necesario que tome que el eje trasero del primer vehículo cruce la línea de alto. El segundo intervalo de avance, será el transcurrido entre el cruce del eje trasero del primer vehículo y hasta el cruce del eje trasero del segundo vehículo sobre la línea de alto.

El primer conductor de la fila necesita observar y estar pendiente del cambio de la luz roja a verde del semáforo. Después de la observación, el conductor acelera el vehículo para cruzar la intersección y el intervalo de tiempo que tarda es relativamente largo. El segundo conductor realiza el mismo proceso con la excepción de que el conductor podría reaccionar y comenzar a acelerar, mientras que el primer vehículo comenzó a moverse. Esto resulta un tiempo de avance más corto que el primero, debido a que el conductor tenía una longitud extra para avanzar entre el primer vehículo que aceleró. Este proceso se lleva a través de todos los vehículos siguientes donde los progresos de cada vehículo serán ligeramente más cortos que el vehículo precedente. Esto continúa hasta que un cierto número de vehículos han cruzado la intersección y la reacción de puesta en marcha y la aceleración ya no tienen un efecto sobre los intervalos de tiempo para cruzar la intersección. Desde este punto, los intervalos de tiempo de cruce se mantendrán relativamente constantes (Ilustración 5) hasta que todos los vehículos en la cola hayan cruzado la intersección o el tiempo de verde haya terminado. Este intervalo de tiempo constante de avance se conoce como el intervalo de tiempo de flujo de saturación y puede empezar a ocurrir en cualquier parte entre el tercero y sexto vehículo en la fila, por lo general en el cuarto.

Ilustración 5 intervalos de tiempos de flujo de saturación y tiempo perdido en semáforos



Fuente: (*Transportation research board, HCM, 2010*)

2.3 DETERMINACIÓN FLUJO DE SATURACIÓN. MODELO HIGHWAY CAPACITY MANUAL (HCM). FACTORES INCIDENTES.

Para hallar la saturación en intersecciones la Transportation Research Board a través de su manual Highway Capacity Manual plantea el siguiente modelo:

$$S = S_0 * N * F_w * F_{HV} * F_g * F_p * F_{bb} * F_a * F_{LU} * F_{LT} * F_{RT} * F_{Lpb} * F_{Rp}$$

En el que se contempla varios ajustes a realizar para determinar el valor del flujo de saturación real de la intersección.

Dónde:

S= flujo de saturación para el grupo de carriles, expresado como el total para todos los carriles del grupo de carriles en las condiciones prevalecientes (veh/hora de verde)

- S_0 = Intensidad o flujo de saturación ideal por carril (veh/hora de verde/carril) N = número de carriles en el grupo de carriles
- F_w = Factor de ajuste por ancho de carril
- F_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados
- F_g = Factor de ajuste por pendiente
- F_p = Factor de ajuste por estacionamiento en el carril
- F_{bb} = Factor de ajuste por efecto de bloqueo local de buses por paradas

- F_a = Factor de ajuste por tipo de área
- F_{LU} = Factor de ajuste por utilización del carril
- F_{LT} = Factor de ajuste por giros izquierdo en el grupo de carril
- F_{RT} = Factor de ajuste por giros a la derecha en el grupo de carril
- F_{Lpb} = Factor de ajuste por conflicto con peatones/ciclistas en el giro izquierdo
- F_{Rpb} = Factor de ajuste por conflicto con peatones/ciclistas en el giro a la derecha

Cada factor de ajuste debe acercarse lo mejor posible a la realidad, y para esto el HCM los define y establece de la siguiente manera:

2.3.1 Factor de ajuste por ancho de carril:

El ancho de carril se ajusta a un factor, F_w , para el impacto negativo de carriles estrechos en el porcentaje de flujo de saturación y permite un porcentaje de flujo aumentado en los carriles anchos. El ancho de los carriles normales son de 3.6 m. El factor por ancho de carril puede calcularse para carriles con ancho mayor a 4.8 m, o un análisis que usa dos carriles estrechos que pueden ser dirigidos. Note que el uso de dos carriles estrechos siempre resultará con un porcentaje de flujo de saturación más alta que un solo carril ancho, pero en cualquier caso, el análisis debe reflejar la manera en que el ancho realmente se usa o espera ser usado. En ningún caso el factor de ancho de carril debe calcularse para los anchos menores de 2.4 m.⁴³

2.3.2 Factor de ajuste por vehículos pesados y pendiente

Los efectos de vehículos pesados y la pendiente son tratados por factores separados, F_{HV} y F_g , respectivamente, los cuales reconocen que los vehículos livianos son afectados por la pendiente de la vía, como lo son los vehículos pesados. Se definen los vehículos pesados como aquellos con más de cuatro neumáticos en contacto con el pavimento. El factor de corrección por vehículo pesado, por el espacio adicional ocupado y la diferencia en las capacidades en que operan los vehículos pesados comparados con los automóviles del pasajero.

⁴³ TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual, capítulo 18 signalized intersections, pag-15

El pasajero-automóvil equivalente a (E_i) usado para cada vehículo pesado es de 2.0 unidades del pasajero-automóvil y se refleja en la fórmula.⁴⁴

2.3.3 Factor de ajuste por estacionamiento:

El factor de ajuste de estacionamiento, F_p , representa el efecto friccionante de un carril de estacionamiento en el flujo de un grupo de carriles adyacentes así como para el bloqueo ocasional de un carril adyacente por vehículos que se mueven dentro y fuera de los espacios de estacionamiento. Se asume que cada maniobra (dentro o fuera) bloquea el tráfico en el carril de al lado de la maniobra del estacionamiento por 18s, en promedio. El número de maniobras al estacionar usado es el número de maniobras por hora estacionando en las áreas directamente adyacentes al grupo de carriles y dentro de 75 m arriba de la línea de la parada. Un límite adoptado es de 180 maniobras por hora. Si el estacionamiento es adyacente a un grupo de carriles de giro exclusivo, el factor solo aplica a ese grupo de carriles. En una calle con único sentido y si los carriles de giro exclusivos, el número de maniobras usado es el total para ambos lados del grupo de carriles.⁴⁵

2.3.4 Factor de ajuste por bloqueo por paradas de buses:

El factor de ajuste por bloqueo de buses, es F_{bb} , determina el impacto de las paradas de buses de transporte, para ascenso o descenso de pasajeros, dado en un espacio de 75 m antes de arribar a la línea de parada. Este factor solo debe usarse cuando debido a las paradas de los buses, se genera bloqueo en el tráfico en el grupo de carriles. Si existen más de 250 buses por hora, se debe usar este como límite.⁴⁶

2.3.5 Factor de ajuste por tipo de área:

El factor de ajuste por tipo de área, F_a , se calcula para la reducción relativa de carriles en las zonas comerciales, comparado con otras zonas. La aplicación de este factor de ajuste es apropiada en áreas que exhiben las características de la zona comercial central (CBD). Estas características incluyen carril reducido o estrecho, una frecuente maniobra de estacionamiento, bloqueo en los flujos vehiculares, actividad de taxis y buses, que al girar en un pequeño radio, limitan el

⁴⁴ Ídem.

⁴⁵ Ídem.

⁴⁶ Ídem.

uso del carril externo a carril de giro exclusivo, actividad peatonal alta y población densa.⁴⁷

2.3.6 Factor de ajuste por utilización del carril:

$$F_{LU} = \frac{V_g}{V_{g1}N}$$

El factor de ajuste por utilización del carril, el F_{LU} , se calcula para la distribución desigual de tráfico entre los carriles en un grupo de carriles con más de un carril. El factor proporciona un ajuste al porcentaje de flujo de saturación base. El factor de ajuste es basado en el flujo en el carril con el volumen más alto y es calculado por la siguiente ecuación:

Dónde:

- F_{LU} = factor de ajuste de la utilización del carril
- V_g = Porcentaje de flujo de demanda sin ajustar para el grupo de carriles (veh/h),
- V_{g1} = Porcentaje de flujo de demanda sin ajustar en un solo carril, con el volumen más alto en el carril (veh/h),
- N = Número de carriles en el grupo de carriles.

Se recomienda usarse distribuciones de volumen de carriles reales observados en campo. Un factor de utilización del carril es de 1.0 y puede usarse cuando la distribución de tráfico es uniforme y puede asumirse por todas los carriles en el grupo de carriles o cuando un grupo de carriles comprende un solo carril.⁴⁸

2.3.7 Factor de ajuste por giros a la derecha:

El factor de ajuste de giro a la derecha, F_{RT} , principalmente refleja el efecto de la geometría. El factor de obstáculo por peatones y bicicletas, se usa para reflejar el volumen de peatones y bicicletas que usan el paso de peatones y generan la disminución de la velocidad del vehículo que está girando. El factor de ajuste de giro a la derecha depende de varias variables, incluyendo:

- Si el giro derecho es hecho de un carril exclusivo o compartido

⁴⁷ Ibid. P-17

⁴⁸ Ídem.

- La proporción de vehículos que giran a la derecha de los carriles compartidos.

El factor del giro derecho es 1.0 si el grupo de carriles no incluye ningún giro a la derecha.

2.3.8 Factor de ajuste por giros a la izquierda:

El factor de ajuste de giro a la izquierda, F_{LT} , está basado en las variables similares a la del factor de ajuste para el giro a la derecha, incluyendo:

- Si los giros izquierdos son hechos desde carriles exclusivos o compartidos,
- Tipo de paso (protegido, permitido o protegido más permitido),
- El porcentaje de vehículos que usan un grupo de carriles compartidos para girar a la izquierda, y
- El porcentaje de flujo Contrario cuando se permiten los giros izquierdos.

El grado de afectación en los volúmenes vehiculares por paso de peatones, puede determinarse, según las condiciones en las que se presente, como sigue:

- Caso 1: Carril exclusivo con el paso protegido,
- Caso 2: Carril exclusivo con el paso permitido,
- Caso 3: Carril exclusivo con el paso protegido-mas-permitido,
- Caso 4: Carril compartido con el paso protegido,
- Caso 5: Carril compartido con el paso permitido, y
- Caso 6: Carril compartido con el paso protegido-mas-permitido⁴⁹.

2.3.9 Factor de ajuste por conflictos con peatones y ciclistas en giros derecho e izquierdo:

Estos factores de ajuste consideran aspectos tales como el tipo de fase semafórica bajo la cual se realiza el giro, volúmenes de peatones que usan el paso conflictivo, proporción de vehículos que giran, número de carriles que reciben el giro, etc⁵⁰.

⁴⁹ Idem.

⁵⁰ Ibíd. Pag-18

CAPITULO III: DESARROLLO METODOLÓGICO ESTUDIO

3 DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE

La metodología utilizada para el desarrollo de la investigación, esta se basa en un diagrama de flujo de actividades a realizar en el desarrollo de la investigación el cual se muestra a continuación en la Ilustración 6.

Ilustración 6 diagrama de actividades desarrollo metodológico.



Fuente: El Autor.

3.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

3.1.1 Fuentes de información secundarias:

Las fuentes de información secundarias no se obtienen directamente y están basadas en experiencias relacionadas con el tema a investigar por lo cual se realizó una revisión bibliográfica sobre la literatura referente al análisis de flujo vehicular congestión vial, flujos de saturación, intersecciones señalizadas, partiendo de una base y principios, de estudios realizados por investigadores que se enfocan en el tema.

Las principales fuentes de este tipo de información son las bases de datos, donde se encuentra información real y verídica de artículos científicos, revistas, y demás publicaciones hechas en distintas universidades, centros especializados,

entidades privadas. Las bases de datos principales a consultar son aquellas que se especializan en temas relacionados con la ingeniería como lo son Science Direct, Access Engineering, Ebsco Host, Dialnet.

3.1.2 Fuentes de información primarias:

Las fuentes primarias se obtienen al aplicar procedimientos de campo, y son directas, para lo cual se debe realizar un reconocimiento de la zona de estudio. Para la recolección de estas fuentes, se deberá establecer una zona la cual deberá poseer características específicas que permitan la toma de información en la ciudad, por consiguiente, se establecerán tramos viales o donde prevalezca algunas de las características segregadas según: el tipo de vía, ancho de calzada, y principalmente puntos donde se presenten niveles altos de flujo vehicular, además de que las variables de la ecuación del flujo de saturación puedan ser medidas, por lo que se plantea realizar una categorización de las intersecciones, y tramos viales de la ciudad, para así estimar el valor de la saturación base en puntos óptimos.

La medición del flujo de saturación se debe hacer en el carril que no presente obstáculos para la circulación, tal como: paradas de autobuses, giros, malas condiciones de la vía y presencia de vendedores ambulantes. Los ciclos elegidos para la medición de la saturación deben tener cierto número de vehículos, en cada medición se debe registrar el tiempo al que pasa el vehículo número 4 por la línea de pare del semáforo, también se debe registrar el tiempo del vehículo de referencia (del séptimo al décimo).

Se registra el cuarto vehículo, ya que se supone que después de éste, los vehículos pasan a la tasa de flujo de saturación es decir, el tiempo de salida se estabiliza, puesto que se considera que el tiempo perdido al inicio del verde (entre inicio ciclo verde y paso del eje delantero del primer vehículo) le ocurre a los primero cuatro vehículos en cola. La tasa de flujo de saturación es la máxima tasa de salida de vehículos de un acceso de una intersección, será, la tasa de salida máxima que puede darse en el acceso.

Las mediciones de las características de la intersección así como ancho de carril, ancho de cebras pendientes, debe realizarse con extrema precaución y en lo posible en una hora valle donde el flujo vehicular no sea muy alto para así proteger el personal humano, además de no causar problemas de congestión.

3.2 METODOLOGÍA PARA OBTENER EL FLUJO DE SATURACIÓN SEGUIDO POR EL HCM 2010.

El HCM 2010, considera un flujo de saturación base de 1750 vehículos/hora/carril, para condiciones ideales y proporciona factores de ajuste que lo modifican en función del impacto que producen en la capacidad de la intersección.

Las condiciones ideales a las que se sujeta el HCM son las siguientes:

- Ancho de carriles de 3.6 m.
- 0% de vehículos pesados.
- Accesos planos.
- Ausencia de estacionamientos y paradas de autobús cerca de la intersección.
- Área no comercial.
- Área con poco flujo peatonal y ciclistas.
- Utilización uniforme de los carriles.
- Solo flujos directos sin giros a la izquierda o derecha.

Resultados obtenidos de diversas investigaciones respecto al uso de las metodologías definidas en el HCM han mostrado que su efectividad no es satisfactoria al usar valores recomendados, particularmente cuando el valor de la demanda de vehículos se acerca a la capacidad de la vía. Esto se debe a que el comportamiento de los usuarios de las vías es difiere en cada país.

3.2.1 Procedimiento en campo.

El procedimiento que se describe a continuación es el utilizado por la TRB y la administración de Bogotá, para la obtención del flujo de saturación de cada uno de los carriles de una intersección

Este estudio requiere al menos un observador experimentado, pero pueden ser necesario dos si el acceso a la intersección es largo y el tránsito intenso. Los instrumentos que recomienda el HCM (Transportation Research Board, 1994, p. 9-107) son:

- un cronómetro, o bien una grabadora de voz,
- un computador portátil o cualquier instrumento que registre automáticamente el momento en que ocurren distintos sucesos.

- La ventaja del computador portátil es que los datos quedan en un medio en que se pueden procesar y analizar automáticamente y con posibilidades mínimas de equivocaciones.

Otra alternativa es utilizar una filmadora de video que tiene la ventaja de que capta muchos detalles que pueden servir también para otros estudios. Los datos se extraen de la videocasete con todos los recursos de una oficina. La dificultad principal estriba en encontrar un lugar apropiado y de acceso posible, donde la filmadora pueda abarcar preferiblemente una cola de ocho o más vehículos, pero nunca menos de cuatro. Si capta menos de ocho, se debe observar directamente, y registrar como dato aparte, el número de vehículos en la cola al comenzar la fase verde e identificar el ciclo observado.

3.2.2 Ubicación, día y hora del estudio

El flujo de saturación se emplea generalmente para caracterizar condiciones en que la demanda de tránsito está muy próxima a la capacidad de la vía, así es que debe medirse en las horas pico de días entre semana. Como las colas que se necesitan para la medición del flujo de saturación deben ser por lo menos de ocho vehículos, según el HCM (Transportation Research Board, 1994, p. 9-109), se debe escoger un acceso a la intersección para el estudio en que las colas sean generalmente mayores de ocho vehículos. También es deseable que a veces saturen todo el acceso a la intersección. Las observaciones deben hacerse en el carril o carriles donde no estén parando buses, taxis o haya otros impedimentos a la circulación. No deben iniciarse giros desde ese carril, a menos que se desee observar el flujo de saturación de carriles exclusivos para giros. El semáforo debe ser de tiempos fijos y el pavimento debe estar seco.

Si se desea medir el flujo de saturación en condiciones ideales, como sucede frecuentemente, el sitio debe cumplir con los siguientes requisitos adicionales: carriles de 3.6 m o más, rasante sensiblemente horizontal y pavimento en buen estado, por donde circulen solamente automóviles y sin interferencias de vehículos estacionándose u otras similares. (Transportation Research Board, 1994, p. 9-107)

3.3 CÁLCULO DEL TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA.

Cuando se miden flujos de saturación no interesan solamente los valores que se observaron específicamente en un sitio un día determinado, sino también el flujo de saturación representativo de todos los accesos a intersecciones semaforizadas similares al observado y en condiciones análogas a las del día que se observaron,

es decir la población de los flujos de saturación, para las condiciones dadas. Como es imposible observar toda la población de accesos de interés, lo que se hace es observar una parte de la población que se denomina muestra. Entonces de las características de la muestra se infieren (se inducen en este caso) las características de la población. El resultado de la inferencia son estimaciones de los parámetros de las variables de la población tales como μ y σ^2 . El tamaño mínimo de la muestra se puede establecer mediante la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ mínimo de observaciones} = \left(\frac{\text{Constante } Z * \text{Desviación Estandar}}{\text{Error máximo tolerable}} \right)^2$$

Tomando un nivel de confianza del 95% que corresponde a una constante z de 1.96 y estableciendo una desviación estándar según el ITE Technical Committee de 140 veh/h y un error máximo tolerable de 50 veh/hora según Hummer (1994) tenemos:

$$N^{\circ} \text{ mínimo de observaciones} = \left(\frac{1.96 * 140}{50} \right)^2$$

$$N^{\circ} \text{ mínimo de observaciones} = 30.1 = 30 \text{ observaciones.}$$

Los resultados precisan que para cada uno de los carriles a determinarles el flujo de saturación se le debe tomar como mínimo 30 lecturas.

3.4 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

Una vez se tenga la información, esta se debe procesar de tal manera que luego se pueda realizar un análisis y cálculo del valor a establecer además a la información que se obtiene se le debe aplicar un tratamiento estadístico el cual servirá para determinar el grado de confianza.

3.4.1 Creación de bases de datos:

se creará una base de datos con los datos recolectados en campo y obtenidos de las fuentes de información secundarias para su posterior tratamiento.

3.4.2 aplicación del modelo HCM:

Se aplicara el modelo HCM para la obtencion del valor del flujo de saturacion base para la ciudad de Tunja.

3.5 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

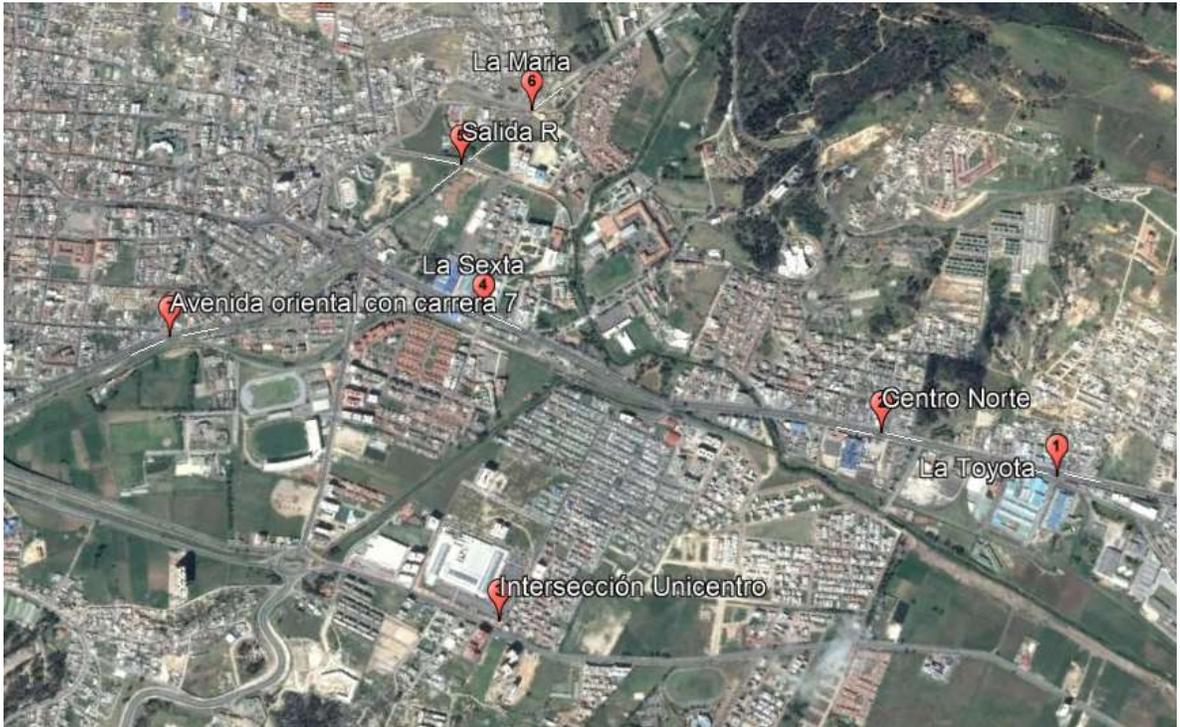
El estudio se desarrolla en la ciudad de Tunja capital del departamento de Boyacá, sobre su área urbana que cuenta con vías importantes y de alta jerarquía—sobre las cuales se tomaran las mediciones en las intersecciones, que de acuerdo con análisis previos corresponden a las de mayores altos flujos vehiculares en sus horas de máxima demanda.

Tunja es un municipio colombiano, capital del departamento de Boyacá, situado sobre la cordillera oriental de los Andes a 130 km al noreste de la ciudad capital de Colombia Bogotá. Es la ciudad capital más alta del país.

En Tunja, el servicio de transporte público está conformado por los siguientes elementos: Transporte Público Colectivo de pasajeros, sistema de taxis urbanos, sistema de ciclo rutas y la red vial vehicular. Las principales vías terrestres de acceso son la Troncal BTS (Briceño-Tunja-Sogamoso) y la A62 que conduce hacia la ciudad de Bucaramanga, ambas pertenecientes a la vía Panamericana. En el perímetro urbano se encuentra la Troncal Central del Norte que comunica la zona urbana con las ciudades de Duitama y Sogamoso; la Avenida Oriental con acceso a la Terminal de Transporte; las carreras 10 y 12 que atraviesan el centro histórico; y la avenida T19-Avenida Colón (acceso hacia las ciudades del occidente del departamento como Chiquinquirá) confluyen en el Monumento a la Raza. En la comuna nororiental se encuentra la Avenida Universitaria. En el oriente El Viaducto Juan Nepomuceno Niño comunica el centro histórico con la zona norte. Se espera la finalización del Viaducto Paseo de la Gobernación que comunica la troncal BTS con la zona urbana en menor tiempo.

En la Ilustración 7 se presentan encerradas en círculo rojo las intersecciones seleccionadas para el estudio: carrera 6 con calle 53, carrera 6 con calle 48, avenida universitaria con calle 49, carrera 6 con calle 37^a, diagonal 38 con calle 32, diagonal 38 con carrera14, avenida oriental 26 con carrera 7

Ilustración 7 localización del área de estudio



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (08 de diciembre de 2018)

3.6 INTERSECCIONES DE ESTUDIO CARACTERÍSTICAS FÍSICAS GEOMÉTRICAS

La selección de las intersecciones, además de observar altas demandas debieron cumplir que se acercaran a las condiciones ideales:

- Bajo nivel de circulación de vehículos pesados.
- Pendiente baja.
- Ancho de carril de 3.65 metros (aproximado)
- Uno o ningún estacionamiento o paradero de buses cercano a la intersección.
- Vía con alto flujo vehicular donde se alcancen a formar colas de más de 7 vehículos.
- Que los movimientos que se permitan para el carril estén estrechamente reducidos al movimiento directo (el cual en ciertas ocasiones no se puede dar, así como en vías con un solo carril por sentido).

De acuerdo con las características indicadas se ha decidido establecer por cada intersección el acceso o los carriles que cumplan con las características anteriormente mencionados o cumplan la mayoría de estas, por lo que se ha decidido seleccionar los siguientes puntos.

3.6.1 Intersección La Toyota. (Carrera 6 con calle 53)

Es una intersección a nivel se muestra en la Ilustración 8, que cuenta con tres cabezas de semáforos en perfecto funcionamiento, dos carriles de circulación en el acceso Norte; dos carriles en el acceso Sur, además de un carril adicional que permite el giro izquierdo hacia el Oeste y el giro en U para tomar el acceso Norte; dos carriles de diferente sentido en el acceso Oeste.

La intersección cuenta en cada acceso con un ancho de calzada de 3.5 m, en los accesos norte y sur hay presencia de cunetas en los costados derechos, la pendiente longitudinal es de aproximadamente 1%; se encuentra debidamente señalizada vertical y horizontalmente, es una intersección donde se evidencia una gran cantidad de flujos vehiculares y peatonales, debido a que está ubicada en una de las principales avenidas que permite la comunicación entre el Norte de la ciudad, el Centro Histórico y las zonas comerciales y de producción.

Ilustración 8 intersección "la Toyota" carrera 6 con calle 53



Fuente: obtenido de Google Earth pro (04 de febrero de 2019)

Esta intersección se caracteriza por tener una divergencia hacia el nororiente en el acceso sur, además de contar con un número de tres carriles en el acceso sur

donde se permite el giro a la derecha. Para esta intersección se ha decidido tomar información en los siguientes accesos y carriles:

- Acceso Norte :

Movimientos permitidos	Carril
Hacia el sur	interno

- Acceso Sur :

Movimientos permitidos	Carril
Hacia el norte	medio

En la Ilustración 9 y la Ilustración 10 se detallan las pendientes para cada uno de los accesos de la intersección la cual se define que se encuentra en un terreno plano.

Ilustración 9 Perfil de elevación acceso sur carrera 6 con calle 53



Fuente: obtenido de Google Earth pro (04 de febrero de 2019)

Ilustración 10 perfil de elevación acceso norte carrera 6 con calle 53



Fuente: obtenido de Google Earth pro (04 de febrero de 2019)

En la Tabla 1 se muestran las características geométricas y de zona de la intersección.

Tabla 1 características intersección carrera 6 con calle 53

Intersección Carrera 6 Con Calle 53		
Acceso	Sur	Norte
<u>Número de carriles: Ni</u>	<u>3</u>	<u>3</u>
<u>Ancho de carril</u>	<u>3.1</u>	<u>3.2</u>
<u>Pendiente del acceso</u>	<u>-0.73%</u>	<u>-1.7%</u>
<u>Tipo de área</u>	<u>NO comercial</u>	<u>NO comercial</u>

Fuente: El Autor.

3.6.2 Intersección Centro Norte. (Carrera 6 con calle 48):

Intersección que se caracteriza por contar con tres carriles (Ilustración 11) en el acceso sur donde se permite el giro a la derecha y el giro en u. además en el acceso norte se permite el giro a la derecha por lo que se sugiere tomar información únicamente en el carril interno.

Ilustración 11 intersección carrera 6 con calle 48



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019)

Para esta intersección, por condiciones operacionales de altos flujos, se decide tomar información en los siguientes accesos y carriles:

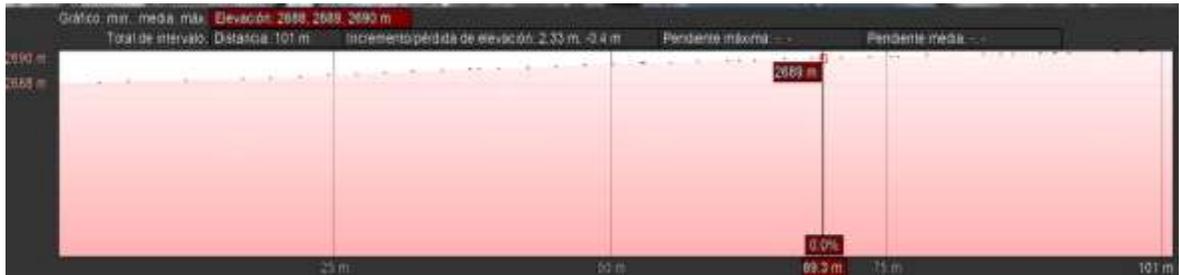
- Acceso Norte :

Movimientos permitidos	Carril
<u>Hacia el sur</u>	<u>interno</u>

- Acceso Sur :

Movimientos permitidos	Carril
<u>Hacia el norte</u>	<u>medio</u>

Ilustración 12 perfil de elevación acceso norte carrera 6 con calle 48.



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019)

En las ilustraciones 12 y 13 se muestran los perfiles de elevación de la carrera 6 con calle 48, donde se detalla que el tipo de terreno en la que esta se encuentra corresponde a terreno plano

Ilustración 13 perfil de elevación acceso sur carrera 6 con calle 48



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019)

En la Tabla 2 características intersección carrera 6 con calle 48 se muestran las características geométricas y de zona de la intersección.

Tabla 2 características intersección carrera 6 con calle 48

Intersección Carrera 6 Con Calle 48		
Acceso	Sur	Norte
Número de carriles: Ni	3	2
Ancho de carril	3.4	3.4
Pendiente del acceso	0.50%	2.30%
Tipo de área	NO comercial	NO comercial

Fuente: El Autor.

3.6.3 Intersección Unicentro. (Avenida universitaria con calle 39):

Intersección tipo T (Ilustración 14 intersección avenida universitaria con calle 39), que cuenta con 3 accesos, localizada en una zona en auge comercial. Para esta intersección se presentan dos carriles en el sentido sur-norte aunque en el carril interno se permite el giro en u y el giro a la derecha por lo que se plantea únicamente tomar información en el carril externo el en el cual únicamente se puede transitar con movimiento directo o hacia el norte.

Ilustración 14 intersección avenida universitaria con calle 39



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019)

En esta intersección se ha decidido tomar información en los siguientes accesos y carriles:

- Acceso Norte :

Movimientos permitidos	Carril
<u>Hacia el sur</u>	<u>interno</u>

- Acceso Sur :

Movimientos permitidos	Carril
<u>Hacia el norte</u>	<u>externo</u>

Ilustración 15 perfil de elevación acceso norte Avenida universitaria con calle 39



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019)

En las ilustraciones 15 y 16 se muestran los perfiles de elevación de la intersección avenida universitaria con calle 39 la cual se detalla que se encuentra en un terreno plano

Ilustración 16 perfil de elevación acceso sur Avenida universitaria con calle 39



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019)

En la Tabla 3 se muestran las características geométricas y de zona de la intersección.

Tabla 3 características Avenida Universitaria con calle 39

Intersección Avenida Universitaria con Calle 39		
Acceso	Sur	Norte
Número de carriles: Ni	<u>2</u>	<u>2</u>
Ancho de carril	<u>3.1</u>	<u>3.1</u>
Pendiente del acceso	<u>-3.00%</u>	<u>0.90%</u>
Tipo de área	<u>NO comercial</u>	<u>NO comercial</u>

Fuente: El Autor.

3.6.4 Intersección la Sexta. (Carrera 6 con calle 37a):

Importante intersección de la ciudad del tipo en cruz (Ilustración 17 intersección carrera sexta con calle 37a) debido a que cuenta con cuatro accesos, se localiza en una zona de alta comercialidad, además de que muy cercana a una universidad, sitio que comúnmente goza de alta transitabilidad peatonal. Para esta intersección se presentan dos carriles tanto en el acceso norte como en el acceso sur, en cada uno de estos accesos se permite el giro a la derecha, por lo que se plantea tomar información únicamente en los carriles correspondientes a los internos de la intersección.

Ilustración 17 intersección carrera sexta con calle 37a



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019)

A continuación se muestran los carriles a los cuales se les tomara información.

- Acceso Norte :

Movimientos permitidos	Carril
Hacia el sur	interno

- Acceso Sur :

Movimientos permitidos	Carril
Hacia el norte	interno

En las Ilustraciones 18 y 19 se detalla el perfil de elevación de la carrera sexta con calle 37ª.

Ilustración 18 perfil de elevación acceso sur carrera 6 con calle 37a



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019)

Ilustración 19 perfil de elevación carrera sexta con calle 37a



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019)

En Tabla 4 características intercesión carrera sexta con calle 37ª se muestran las características geométricas y de zona de la intersección.

Tabla 4 características intersección carrera sexta con calle 37a

intersección Carrera 6 con Calle 37a		
Acceso	Sur	Norte
<u>Número de carriles: Ni</u>	<u>2</u>	<u>2</u>
<u>Ancho de carril</u>	<u>3.35</u>	<u>3.3</u>
<u>Pendiente del acceso</u>	<u>0.70%</u>	<u>0.30%</u>
<u>Tipo de área</u>	<u>comercial</u>	<u>comercial</u>

Fuente: El Autor.

3.6.5 Intersección Diagonal 38 con calle 32:

Para esta intersección se presentan un carril por sentido, se muestra en la Ilustración 20 por lo que se plantea tomar información únicamente en los carriles correspondientes a los accesos este, oeste, sur, aunque cabe aclarar que en el acceso oeste puede que no se lleguen a presentar las colas necesarias y esto a razón del semáforo existente pocos metros más adelante, en la intersección llamada la maría para la cual se ha propuesto un tiempo de ciclo similar y un tiempo de verde desfasado para este acceso, de tal forma que los vehículos que se dirigen en el sentido oeste – este: puedan realizarlo tomando como única demora la del semáforo de la maría. Por esta razón para el acceso oeste se tomara información complementaria en el semáforo de la María.

Ilustración 20 intersección diagonal 38 con calle 32



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019)

De conformidad con las justificaciones expuestas para las anteriores intersecciones, para ésta se plantea tomar información en los siguientes accesos y carriles.

- Acceso Este :

Movimientos permitidos	Carril
<u>Giro a la derecha, directo</u>	<u>único</u>

- Acceso Sur :

Movimientos permitidos	Carril
<u>norte, giro a la derecha</u>	<u>único</u>

- Acceso Oeste :

Movimientos permitidos	Carril
<u>Este, giro a la izquierda,</u>	<u>único</u>

En las ilustraciones 21, 22, 23 se presentan los perfiles de elevación de los accesos de la intersección.

Ilustración 21 perfil de elevación acceso oeste diagonal 38 con calle32



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019))

Ilustración 22 perfil de elevación acceso este diagonal 38 con calle 32



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019)

Ilustración 23 perfil de elevación acceso sur diagonal 38 con calle 32



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019)

En la Tabla 5 se muestran las características geométricas, así como de zona, de la intersección diagonal 38 con calle 32. Esta intersección no cuenta con demarcación horizontal, por lo que la determinación de sus anchos de carril es variable. Esta intersección se encuentra ubicada en un tipo de área no comercial

pero si altamente transitada por estudiantes por lo que, se decide darle al ítem de tipo de zona la clasificación de comercial.

Tabla 5 características intercesión diagonal 38 con calle 32

Intersección Diagonal 38 Con Calle 32			
Acceso	Sur	Este	Oeste
Número de carriles: Ni	1	1	1
Ancho de carril	3.4	3.4	3.4
Pendiente del acceso	1.00%	3.00%	-2.40%
Tipo de área	comercial	comercial	comercial

Fuente: El Autor.

3.6.6 Intersección La María. (Diagonal 38 con carrera 14):

Para esta intersección únicamente se plantea tomar información de los vehículos provenientes del acceso oeste, Ilustración 24

Ilustración 24 intersección diagonal 38 con carrera 14



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019)

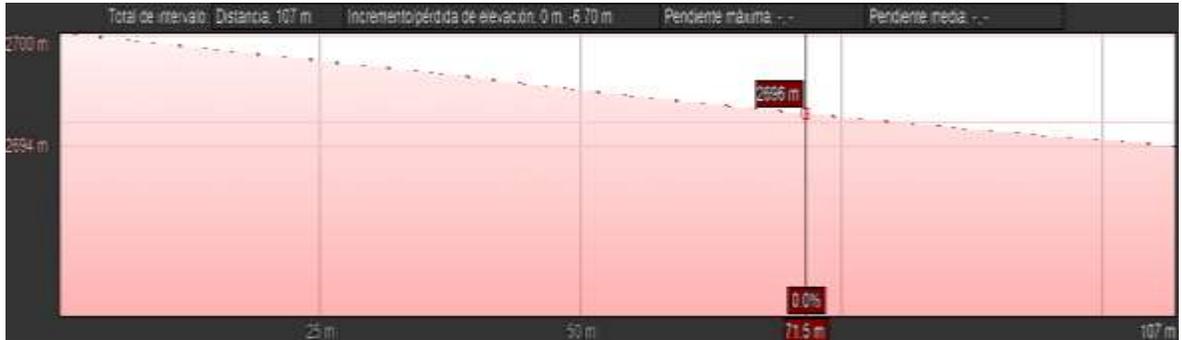
Los accesos a los cuales se plantea tomarles información son los siguientes:

- Acceso oeste :

Movimientos permitidos	Carril
Este, giro a la izquierda,	único

En la Ilustración 25 se muestra el perfil de elevación del carril de la intersección al cual se le toma información.

Ilustración 25 perfil de elevación diagonal 38 con carrera 14



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019)

En la Tabla 6 características geometrías y de zona diagonal 38 con carrera 14 se muestra las características de la intersección diagonal 38 con carrera 14 donde se resalta que el terreno en el que se encuentra ubicada es del tipo ondulado. Además se decide valorar el ítem de tipo de zona como zona comercial, por la transitabilidad de estudiantes

Tabla 6 características geometrías y de zona diagonal 38 con carrera 14

Intersección Diagonal 38 con Carrera 14	
Acceso	Oeste
Número de carriles: N_i	1
Ancho de carril	3.4
Pendiente del acceso	-5.70%
Tipo de área	comercial

Fuente: El Autor.

3.6.7 Intersección Avenida Oriental 26 con carrera 7:

Intersección que se encuentra en la avenida oriental, la cual se caracteriza por una baja transitabilidad peatonal, es una intersección del tipo T la cual presenta la mayor cantidad de flujos sobre la avenida oriental (Ilustración 26).

Ilustración 26 intersección avenida oriental 26 con carrera 7



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019)

Para esta intersección se presentan tres carriles para el acceso sur de tal forma que en el carril interno se permite el giro a la izquierda y el giro en u por esto se plantea tomar información en los otros dos carriles, y para el acceso norte se presentan dos carriles, y en el carril externo se permite el giro a la derecha por lo que se plantea tomar información en el carril interno.

- Acceso Norte:

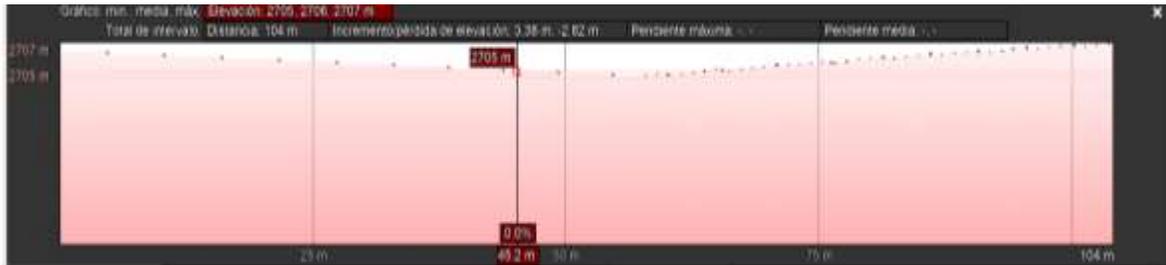
Movimientos permitidos	Carril
<u>Hacia el sur</u>	<u>interno</u>

- Acceso Sur :

Movimientos permitidos	Carril
<u>Hacia el norte</u>	<u>interno</u>

En la Ilustración 27 e Ilustración 28 se muestran los perfiles de elevación de la avenida oriental 26 con carrera 7 la cual se encuentra en un terreno del tipo ondulado

Ilustración 27 perfil de elevación acceso Sur intersección avenida oriental 26 con carrera 7



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019)

Ilustración 28 perfil de elevación acceso sur intersección avenida oriental 26 con carrera 7



Fuente: obtenido de Google Earth Pro (04 de febrero de 2019)

En la Tabla 7 características geométricas y de zona de la avenida Oriental 26 con carrera 7. Tabla 7 se muestran las características de geometría de la intersección en cuestión

Tabla 7 características geométricas y de zona de la avenida Oriental 26 con carrera 7.

Intersección Avenida Oriental con Carrera 7		
Acceso	SUR	NORTE
Número de carriles: Ni	3	2
Ancho de carril	3.2	3.2
Pendiente del acceso	1.42%	4.33%
Tipo de área	NO comercial	NO comercial

Fuente: El Autor.

3.7 FLUJOS DE SATURACIÓN. TOMA DE INFORMACIÓN.

En primera instancia, se determinó el tipo y la localización de la intersección y las características con las que esta cuenta, como lo es el número de accesos, los

movimientos permitidos, el número de carriles, las condiciones geométricas, los semáforos presentes en el lugar y el comportamiento en general de los vehículos. Todo ello se realizó con el fin de tener una idea más clara y ordenada de lo que se deberá realizar en el momento de la toma de información. Los tópicos observados para la toma de información son:

- Formatos de campo de fácil diligenciamiento y toma de varia información al tiempo, de tal manera que mientras se toman flujos de saturación se realiza un análisis y clasificación de la composición vehicular de las filas que se forman para cada toma.
- Toma de los flujos de saturación, cabe resaltar que para este ítem se ha planteado tomar información únicamente de aquellas colas para las cuales no exista alguna clase de maniobra o acción la cual afecte el valor del flujo de saturación. Estas maniobras o acciones llegan a ser las siguientes:
 - Paso de un vehículo de servicio especial en la fila, así como paso de camión de bomberos o ambulancias las cuales se encuentren en ejecución de sus labores.
 - La fila se compone de un vehículo con 3 o más ejes ya que reduce drásticamente la velocidad de la fila.
 - Movimientos de divergencia de la fila, en algunos casos se llega a presentar que los vehículos que se encuentran en la parte final de las colas en el momento de despeje de la intersección intentan ejecutar maniobras de adelantamiento y por esto se llega a perder las condiciones en las cuales se desarrolla el flujo de saturación de una forma real.
 - Paso de peatones en el momento de despeje de una fila. Los conductores se ven obligados a parar para así garantizar la seguridad del peatón, por lo que se pierde la continuidad en la salida de vehículos.
 - Presencia de vendedores ambulantes en la intersección. Es evidente que con la situación que se vive en el país con el caso de personas desplazadas o inmigrantes venezolanos, se han aumentado el número de personas que se centran en las intersecciones para ofrecer servicios de limpieza a vehículos, así como venta de productos varios y distracción en el tiempo de detenimiento del flujo, por lo que en ocasiones su presencia en la intersección causa demoras e interrupción en el flujo.
 - Distracciones en el conductor. Las cuales ocasionan la perdida de la continuidad de las salidas.

3.7.1 Procedimiento de Campo.

Los materiales y el procedimiento que se describe a continuación es el utilizado por la TRB y la administración de Bogotá, para la obtención del flujo de saturación de cada uno de los carriles de una intersección.

Condiciones del recurso humano y de materiales utilizados:

El estudio requiere al menos un observador experimentado, pero pueden ser requeridos dos si el acceso a la intersección es largo y el tránsito intenso.

Los materiales e instrumentos utilizados y que recomienda el HCM (Transportation Research Board, 1994, p. 9-107), para la toma de información en campo fueron los siguientes:

- Grabadora de video.
- Cronometro.
- Cinta métrica.
- Formatos de campo
- Lápiz.

La Ilustración 29 presenta el formato utilizado

Ilustración 29 formato utilizado en la toma de información.

<i>DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (SO) PARA CIUDADES PEQUEÑAS, CASO TUNJA.</i>	ESTUDIO DE FLUJO DE SATURACIÓN FORMATO DE CAMPO	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
--------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------



fecha: (D,M,A) _____	INTERSECCION: _____	Hoja: <u>1</u>	De: <u>1</u>
Acceso: _____	Carril: _____	Croquis	
ancho Carril: _____			
Hora inicio: _____	Hora final: _____	pendiente: _____	

CICLO	tiempo en segundos entre el 4° y el ...				tipo de vehículo			
	7°	8°	9°	10°	AUTOS	BUSES	CAMION	MOTO
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
Sumatoria								
Totales	(a)	(b)	(c)	(d)				

Flujo de sat. medio = $\frac{(3600 \times \text{numero de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$	Flujo de saturación medio
observaciones: _____ _____ _____	

Fuente: El Autor

Desplazamiento a el punto de toma de información: el aforador se desplazó hasta el punto de toma de información en un tiempo anterior al de una hora pico, debido a que es recomendable aplicar este estudio en horas pico, de tal manera que una vez situado en la intersección con toda seguridad nos encontraremos ante la formación de colas de más de 7 vehículos, una situación de carácter obligatoria para así poder llevar acabo la toma de información.

La Ilustración 30 muestra la decisión del aforador por la escogencia del lugar, de donde se resalta que en la mayoría de las veces se escoge el separador de la calzada principal como el lugar idóneo para la toma de información

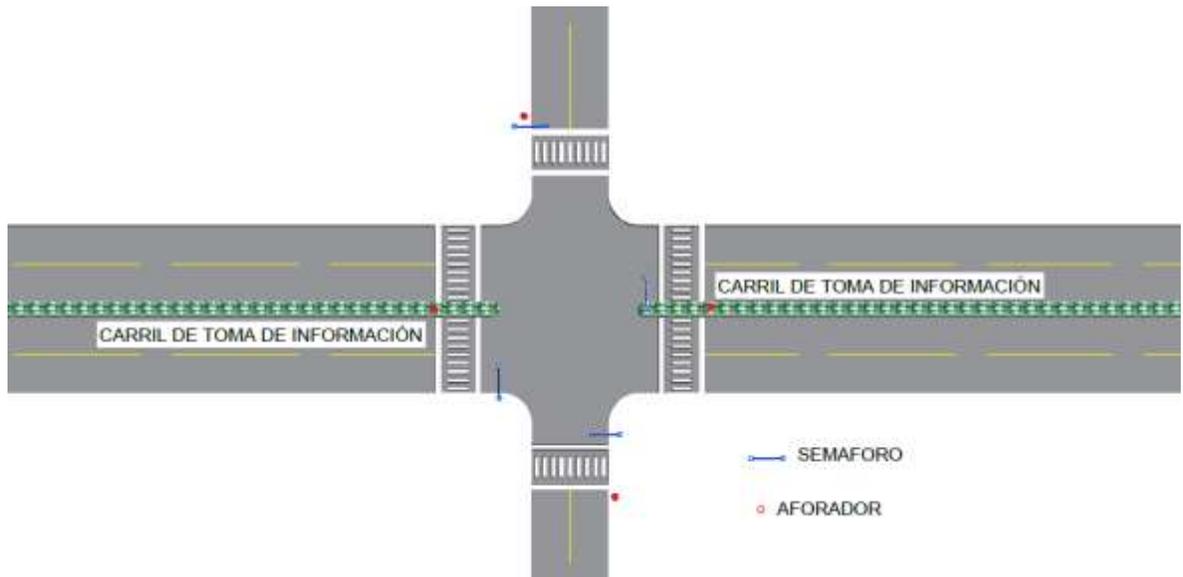
Ilustración 30 zona de estudio.



Fuente: El Autor.

El procedimiento supone que los intervalos de saturación empiezan después del tercer vehículo de la cola. Se registra el momento de entrada en la intersección del cuarto vehículo y también la entrada del último vehículo de la cola (como mínimo después del séptimo vehículo). La diferencia entre los momentos de entrada registrados dividida entre la diferencia entre las posiciones, proporciona un estimativo del intervalo de saturación, que, combinado con otras medidas similares, se usa para estimar el flujo de saturación.

Ilustración 31 esquema de intersección guía para toma de información.



Fuente: EL Autor

Una vez el semáforo da luz roja, se comienza a formar la fila, para esta fila se tienen en cuenta los ítems anteriormente planteados los cuales describen una fila idónea para la cual tomar información (Ilustración 32). Con el semáforo en rojo se van contando los vehículos que se van uniendo a la cola y se identifica el décimo vehículo, o el último de la cola si la misma no ha llegado a diez vehículos, cuando el semáforo cambia a verde.

Ilustración 32 formación de la fila deseada



Fuente: El Autor.

Cuando el eje trasero del cuarto vehículo de la cola pasa por la Línea de Pare se pone en marcha el cronómetro y se detiene cuando el eje trasero del último vehículo de la cola pasa por esa línea; siempre que sea posterior al séptimo vehículo y anterior al undécimo. De este modo, si el último vehículo es anterior al séptimo no se registra nada y si la cola tiene más de diez vehículos se registra el tiempo correspondiente al paso del décimo.

- Así se registran los tiempos de recorrido de los vehículos en el formato, hasta llegar a tomar el número de observaciones calculado.
- Este proceso también se realizó mediante toma de videos en cada una de las intersecciones, a cada uno de los accesos se les grabo durante una hora, una hora pico en la cual se capta excelente información.

CAPITULO IV: DESARROLLO PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

4 RESULTADOS, DATOS OBTENIDOS.

Para cada una de las intersecciones se obtienen los datos que se describen a continuación:

4.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y DE ZONA DE CADA UNO DE LOS PUNTOS DE TOMA DE INFORMACIÓN

Para cada uno de los accesos se determinan sus características geométricas y de zona para así poder llevar a cabo el cálculo del flujo de saturación base.

Los datos de número de carriles y ancho de carril son medidos en campo, aunque se resalta que la falta de una buena demarcación horizontal en las vías e intersecciones seleccionadas incurre en que se cometan errores.

La pendiente del acceso fue medida con el programa de Google Earth Pro debido a la complejidad de la toma de este dato directamente de campo.

4.1.1 Intersección la Toyota. (Carrera 6 con calle 53):

La intersección cuenta en cada acceso con un ancho de calzada de 3.5 m, en los accesos norte y sur hay presencia de cunetas en los costados derechos, la pendiente longitudinal es de aproximadamente 1%; se encuentra debidamente señalizada vertical y horizontalmente, es una intersección donde se evidencia una gran cantidad de flujos vehiculares y peatonales. Lo descrito se resume en la [Tabla 8](#).

Tabla 8 características geométricas y de zona intersección carrera 6 con calle 53

Intersección Carrera 6 con Calle 53		
Acceso	Sur	Norte
Número de carriles: Ni	<u>3</u>	<u>3</u>
Ancho de carril	<u>3.1</u>	<u>3.2</u>
Pendiente del acceso	<u>-0.73%</u>	<u>-1.70%</u>
Tipo de área	<u>NO comercial</u>	<u>NO comercial</u>

Fuente: El Autor.

4.1.2 Intersección Centro Norte. (Carrera 6 con calle 48):

Intersección en tipo T esta intersección se caracteriza por contar con un número de tres carriles en el acceso sur donde se permite el giro a la derecha y el giro en u, ubicada en una zona de alto índice comercial. Lo descrito se resume en la Tabla 9

Tabla 9 características geométricas y de zona intersección carrera 6 con calle 48

Intersección Carrera 6 con Calle 48		
Acceso	Sur	Norte
<u>Número de carriles: Ni</u>	<u>3</u>	<u>2</u>
<u>Ancho de carril</u>	<u>3.4</u>	<u>3.4</u>
<u>Pendiente del acceso</u>	<u>0.50%</u>	<u>2.30%</u>
<u>Tipo de área</u>	<u>NO comercial</u>	<u>NO comercial</u>

Fuente: El Autor.

4.1.3 Intersección Unicentro. (Avenida universitaria con calle 39):

Intersección característica del tipo T la cual cuenta con 3 accesos, localizada en una zona en auge comercial.

Tabla 10 características geométricas y de zona intersección avenida universitaria con calle 39

Intersección Avenida Universitaria con Calle 39		
Acceso	Sur	Norte
<u>Número de carriles: Ni</u>	<u>2</u>	<u>2</u>
<u>Ancho de carril</u>	<u>3.1</u>	<u>3.1</u>
<u>Pendiente del acceso</u>	<u>-3.00%</u>	<u>0.90%</u>
<u>Tipo de área</u>	<u>NO comercial</u>	<u>NO comercial</u>

Fuente: El Autor.

4.1.4 Intersección La María. (Diagonal 38 con carrera 14):

Intersección contigua a la diagonal 38 con calle 32, de modo que en gran medida por estas intersecciones hay un tránsito similar sus características se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11 características geométricas y de zona intersección diagonal 38 con carrera 14

Intersección Diagonal 38 con Carrera 14	
Acceso	Oeste
Número de carriles: Ni	<u>1</u>
Ancho de carril	<u>3.4</u>
Pendiente del acceso	<u>-5.70%</u>
Tipo de área	<u>comercial</u>

Fuente: El Autor.

4.1.5 Intersección. (Diagonal 38 con calle 32)

Para esta intersección se presentan un carril por sentido en cada uno de sus accesos, intersección de prioridad en la ciudad, debido a que se ubica sobre vía nacional. Lo descrito se resume en la Tabla 13

Tabla 12 características geométricas y de zona intersección diagonal 38 con calle 32.

Intersección Diagonal 38 con Calle 32			
Acceso	Sur	Este	Oeste
Número de carriles: Ni	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
Ancho de carril	<u>3.4</u>	<u>3.4</u>	<u>3.4</u>
Pendiente del acceso	<u>1.00%</u>	<u>3.00%</u>	<u>-2.40%</u>
Tipo de área	<u>NO comercial</u>	<u>NO comercial</u>	<u>NO comercial</u>

Fuente: El Autor.

4.1.6 Intersección Avenida Oriental 26 con carrera 7:

Intersección que se encuentra en la avenida oriental, la cual se caracteriza por una baja transitabilidad peatonal, es una intersección del tipo T la cual presenta la mayor cantidad de flujos sobre la avenida oriental. Lo descrito se resume en la Tabla 13

Tabla 13 características geométricas y de zona intersección avenida oriental con carrera 7

Intersección Avenida Oriental con Carrera 7		
Acceso	SUR	NORTE
Número de carriles: Ni	<u>3</u>	<u>2</u>
Ancho de carril	<u>3.2</u>	<u>3.2</u>
Pendiente del acceso	<u>1.42%</u>	<u>4.33%</u>
Tipo de área	<u>NO comercial</u>	<u>NO comercial</u>

Fuente: El Autor.

4.1.7 Intersección La Sexta. (Carrera 6 con calle 37a):

Intersección del tipo en cruz debido a que cuenta con cuatro accesos, se localiza en una zona de alta comercialidad, además de que muy cercana a una universidad, sitio que comúnmente goza de alta transitabilidad peatonal. Las características de geometría y zona se resumen en la Tabla 14

Tabla 14 características geométricas y de zona intersección carrera 6 con calle 37a

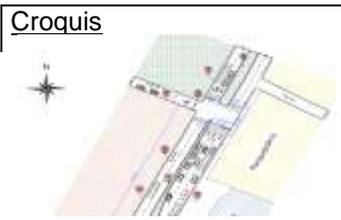
intersección carrera 6 con calle 37a		
Acceso	Sur	Norte
Número de carriles: <u>Ni</u>	<u>2</u>	<u>2</u>
Ancho de carril	<u>3.35</u>	<u>3.3</u>
Pendiente del acceso	<u>0.70%</u>	<u>0.30%</u>
Tipo de área	<u>NO comercial</u>	<u>NO comercial</u>

Fuente: El Autor.

4.2 FLUJO DE SATURACIÓN. INTERVALOS DE PASO

Mediante la medición tanto en campo directamente (Tabla 15), como la obtenida de los videos, se determina el flujo de saturación “S” para cada uno de los accesos.

Tabla 15 flujo de saturación en campo intersección carrera 6 con calle 48 acceso sur

<i>DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (SO) PARA CIUDADES PEQUEÑAS, CASO TUNJA.</i>		ESTUDIO DE FLUJO DE SATURACIÓN FORMATO DE CAMPO		UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA				
fecha: (D,M,A)	24, 10, 2018	INTERSECCIÓN:	CENTRO NORTE	Hoja: 1	De: 2			
Acceso:	<u>SUR</u>	Carril:	<u>INTERNO</u>	ancho Carril:	<u>3.65m</u>			
Hora inicio:	<u>9:15 AM</u>	Hora final:	<u>10:15 AM</u>	pendiente:	<u>-1%</u>			
CICLO	tiempo en segundos entre el 4° y el ...				tipo de vehículo			
	7°	8°	9°	10°	A	B	C	M

<u>1</u>	-	-	-	<u>14.98</u>	<u>6</u>	<u>0</u>	<u>C2P</u>	<u>0</u>
<u>2</u>	-	-	-	<u>11.02</u>	<u>5</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1</u>
<u>3</u>	-	<u>8.6</u>	-	-	<u>4</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>4</u>	-	<u>10</u>	-	-	<u>4</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>5</u>	-	-	<u>10.11</u>	-	<u>5</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>6</u>	-	-	<u>12.59</u>	-	<u>5</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>7</u>	-	<u>9.65</u>	-	-	<u>4</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>8</u>	-	<u>9.46</u>	-	-	<u>4</u>	<u>1</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>9</u>	-	-	-	<u>14.69</u>	<u>6</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>10</u>	-	-	<u>11.01</u>	-	<u>5</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>11</u>	<u>7.27</u>	-	-	-	<u>3</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>12</u>	<u>7.1</u>	-	-	-	<u>3</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>13</u>	-	-	<u>10.04</u>	-	<u>5</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>14</u>	-	<u>8.35</u>	-	-	<u>4</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>15</u>	<u>7.02</u>	-	-	-	<u>3</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>16</u>	-	-	-	<u>14.36</u>	<u>6</u>	<u>0</u>	<u>C2G</u>	<u>0</u>
<u>17</u>	-	<u>8.8</u>	-	-	<u>4</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>18</u>	-	<u>10.03</u>	-	-	<u>4</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>19</u>	-	<u>9.07</u>	-	-	<u>4</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>20</u>	<u>6.23</u>	-	-	-	<u>3</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>21</u>	-	<u>7.83</u>	-	-	<u>4</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>22</u>	-	-	-	<u>12.58</u>	<u>6</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>23</u>	<u>7.88</u>	-	-	-	<u>3</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>24</u>	-	-	-	<u>11.48</u>	<u>6</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>25</u>	-	-	<u>11.4</u>	-	<u>5</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>26</u>	-	-	<u>9.56</u>	-	<u>5</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>27</u>	<u>6.57</u>	-	-	-	<u>3</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>28</u>	<u>7.3</u>	-	-	-	<u>3</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>29</u>	-	-	<u>9.09</u>	-	<u>5</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>30</u>	-	-	-	<u>10.4</u>	<u>6</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>Sumatoria</u>	<u>49.37</u>	<u>81.79</u>	<u>73.8</u>	<u>89.51</u>	<u>133</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>
<u>Totales</u>	<u>(a)</u>	<u>(b)</u>	<u>(c)</u>	<u>(d)</u>	-	-	-	-

<u>Flujo de sat. medio =</u>	$\frac{(3600 \times \text{número de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$	<u>Flujo de saturación medio</u>	<u>1622.0</u>	<u>veh/h</u>
------------------------------	-------------------------------------------------------------------	----------------------------------	---------------	--------------

Observaciones se observa que en ciertas ocasiones se presentan brechas grandes entre el octavo y noveno vehículo por lo que esto se asocia con la distancia de visibilidad del conductor y su capacidad de reacción y conducción.

Fuente: El Autor.

Los datos de intervalos que se obtienen del análisis y procesamiento de los videos, se destacan los datos obtenidos presentados en las Tablas 16, 17, 18 y 19, corresponden a vehículos ligeros, de buses, de camiones y de motocicletas:

4.2.1 Intervalos de paso entre vehículos ligeros.

Tabla 16 intervalo de paso entre vehículos ligeros.

# Llegada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Prom	Prom 4-10	Prom
CICLO 1	-	<u>2.26</u>	-	<u>1.54</u>	<u>2.53</u>	-	<u>1.63</u>	<u>1.84</u>	<u>1.67</u>	<u>2.04</u>	<u>1.93</u>	<u>1.94</u>	1.89
	-	<u>2.21</u>	-	<u>2.12</u>	<u>2.35</u>	-	<u>1.63</u>	<u>1.9</u>	<u>1.57</u>	<u>2.01</u>	<u>1.97</u>	<u>1.89</u>	
	-	<u>2.36</u>	-	<u>1.75</u>	<u>2.24</u>	-	<u>1.61</u>	<u>1.81</u>	<u>1.56</u>	<u>1.9</u>	<u>1.89</u>	<u>1.82</u>	
CICLO 2	<u>2.95</u>	<u>2.6</u>	<u>3.24</u>	<u>2.62</u>	<u>1.54</u>	<u>2.07</u>	<u>1.63</u>	<u>2.23</u>	<u>1.57</u>	-	<u>2.272</u>	<u>1.80</u>	1.85
	<u>2.99</u>	<u>2.19</u>	<u>3.14</u>	<u>2.39</u>	<u>1.57</u>	<u>2.04</u>	<u>1.58</u>	<u>2.38</u>	<u>1.69</u>	-	<u>2.219</u>	<u>1.85</u>	
	<u>3</u>	<u>2.39</u>	<u>3.01</u>	<u>2.39</u>	<u>1.74</u>	<u>2.02</u>	<u>1.72</u>	<u>2.34</u>	<u>1.59</u>	-	<u>2.244</u>	<u>1.88</u>	
CICLO 3	<u>3.37</u>	<u>4.1</u>	<u>1.99</u>	<u>2.13</u>	<u>2.04</u>	-	<u>2.78</u>	<u>1.75</u>	<u>2.83</u>	<u>1.89</u>	<u>2.542</u>	<u>2.25</u>	2.22
	<u>3.04</u>	<u>3.92</u>	<u>2.16</u>	<u>2.26</u>	<u>1.59</u>	-	<u>2.43</u>	<u>1.39</u>	<u>3.48</u>	<u>1.75</u>	<u>2.447</u>	<u>2.12</u>	
	<u>3.23</u>	<u>4.45</u>	<u>1.78</u>	<u>2.09</u>	<u>2.09</u>	-	<u>2.35</u>	<u>1.83</u>	<u>3.17</u>	<u>1.90</u>	<u>2.543</u>	<u>2.26</u>	
CICLO 4	<u>2.68</u>	<u>4.13</u>	<u>4.04</u>	<u>3.09</u>	<u>2.29</u>	<u>2.24</u>	<u>1.81</u>	<u>2.35</u>	<u>1.45</u>	-	<u>2.676</u>	<u>2.02</u>	2.07
	<u>2.8</u>	<u>4.22</u>	<u>4</u>	<u>3.04</u>	<u>2.2</u>	<u>2.16</u>	<u>1.9</u>	<u>2.42</u>	<u>1.92</u>	-	<u>2.74</u>	<u>2.12</u>	
	<u>2.7</u>	<u>4.17</u>	<u>3.79</u>	<u>3.06</u>	<u>2.4</u>	<u>2.01</u>	<u>1.61</u>	<u>2.69</u>	<u>1.67</u>	-	<u>2.678</u>	<u>2.07</u>	
CICLO 5	<u>3.13</u>	<u>3.91</u>	<u>1.92</u>	<u>1.92</u>	<u>1.4</u>	<u>2.33</u>	<u>2.09</u>	<u>3.38</u>	<u>2.21</u>	<u>2.33</u>	<u>2.462</u>	<u>2.29</u>	2.32
	<u>3.52</u>	<u>3.76</u>	<u>2.24</u>	<u>1.75</u>	<u>1.48</u>	<u>2.52</u>	<u>1.79</u>	<u>3.61</u>	<u>2.22</u>	<u>2.28</u>	<u>2.517</u>	<u>2.37</u>	
	<u>3.12</u>	<u>3.76</u>	<u>2.3</u>	<u>1.83</u>	<u>1.37</u>	<u>2.37</u>	<u>2.23</u>	<u>3.38</u>	<u>2.43</u>	<u>2.27</u>	<u>2.506</u>	<u>2.34</u>	
CICLO 6	<u>2.82</u>	<u>1.73</u>	<u>3.16</u>	<u>2.31</u>	<u>1.88</u>	<u>2.09</u>	<u>2.37</u>	<u>1.85</u>	<u>1.25</u>	<u>2.78</u>	<u>2.224</u>	<u>2.03</u>	2.06
	<u>2.87</u>	<u>2.17</u>	<u>3.48</u>	<u>2.45</u>	<u>1.36</u>	<u>2.62</u>	<u>2.23</u>	<u>1.68</u>	<u>1.62</u>	<u>2.89</u>	<u>2.337</u>	<u>2.06</u>	
	<u>3.44</u>	<u>2.19</u>	<u>3.77</u>	<u>2.3</u>	<u>1.74</u>	<u>2.24</u>	<u>2.31</u>	<u>1.67</u>	<u>1.43</u>	<u>3.09</u>	<u>2.418</u>	<u>2.08</u>	
CICLO 7	<u>3.22</u>	<u>2.06</u>	<u>1.67</u>	<u>2.4</u>	<u>2.27</u>	<u>1.85</u>	<u>1.36</u>	<u>2.97</u>	<u>2.2</u>	<u>1.58</u>	<u>2.158</u>	<u>1.99</u>	2.03
	<u>3.21</u>	<u>2.27</u>	<u>2.14</u>	<u>2.3</u>	<u>2.14</u>	<u>1.9</u>	<u>1.45</u>	<u>2.95</u>	<u>2.17</u>	<u>1.35</u>	<u>2.188</u>	<u>1.99</u>	
	<u>3.21</u>	<u>2.06</u>	<u>1.59</u>	<u>2.24</u>	<u>2.37</u>	<u>1.98</u>	<u>1.42</u>	<u>2.87</u>	<u>2.14</u>	<u>1.87</u>	<u>2.175</u>	<u>2.10</u>	
CICLO 8	<u>2.63</u>	<u>2.06</u>	<u>1.92</u>	<u>1.64</u>	<u>2.16</u>	<u>1.99</u>	<u>1.97</u>	<u>3.45</u>	<u>0.74</u>	<u>3.4</u>	<u>2.196</u>	<u>2.28</u>	2.29
	<u>2.71</u>	<u>2.29</u>	<u>1.71</u>	<u>1.83</u>	<u>2.09</u>	<u>2.23</u>	<u>1.78</u>	<u>3.56</u>	<u>0.65</u>	<u>3.41</u>	<u>2.226</u>	<u>2.28</u>	
	<u>2.56</u>	<u>2.06</u>	<u>2.18</u>	<u>1.66</u>	<u>2.18</u>	<u>2.26</u>	<u>1.55</u>	<u>3.45</u>	<u>0.91</u>	<u>3.43</u>	<u>2.224</u>	<u>2.29</u>	
CICLO 9	<u>3.49</u>	<u>3.01</u>	-	<u>4.69</u>	<u>2.39</u>	-	<u>3.86</u>	-	<u>3.39</u>	-	<u>3.472</u>	<u>3.21</u>	3.12
	<u>3.54</u>	<u>3.1</u>	-	<u>4.67</u>	<u>2.25</u>	-	<u>3.46</u>	-	<u>3.28</u>	-	<u>3.383</u>	<u>2.99</u>	
	<u>3.5</u>	<u>3.1</u>	-	<u>4.37</u>	<u>2.45</u>	-	<u>3.56</u>	-	<u>3.41</u>	-	<u>3.398</u>	<u>3.14</u>	
CICLO 10	<u>2.99</u>	-	<u>2.39</u>	-	<u>2.78</u>	-	<u>1.66</u>	<u>2.49</u>	-	-	<u>2.462</u>	<u>2.31</u>	2.19
	<u>3.21</u>	-	<u>2.59</u>	-	<u>2.56</u>	-	<u>1.31</u>	<u>2.41</u>	-	-	<u>2.416</u>	<u>2.09</u>	
	<u>2.97</u>	-	<u>2.44</u>	-	<u>2.39</u>	-	<u>1.63</u>	<u>2.5</u>	-	-	<u>2.386</u>	<u>2.17</u>	

CICLO 11	<u>3.84</u>	<u>1.92</u>	<u>1.83</u>	<u>5.25</u>	<u>2.89</u>	<u>1.55</u>	<u>1.78</u>	<u>1.84</u>	<u>2.15</u>	<u>1.38</u>	<u>2.44</u>	<u>1.93</u>	1.91
	<u>3.76</u>	<u>1.94</u>	<u>1.7</u>	<u>5.31</u>	<u>2.99</u>	<u>1.66</u>	<u>1.7</u>	<u>1.74</u>	<u>2.11</u>	<u>1.26</u>	<u>2.41</u>	<u>1.91</u>	
	<u>3.8</u>	<u>1.93</u>	<u>1.75</u>	<u>5.31</u>	<u>2.74</u>	<u>1.45</u>	<u>1.65</u>	<u>1.98</u>	<u>1.96</u>	<u>1.6</u>	<u>2.41</u>	<u>1.89</u>	
CICLO 12	<u>3.58</u>	<u>1.84</u>	<u>2.68</u>	<u>4.33</u>	<u>1.92</u>	<u>2.18</u>	-	-	<u>3.38</u>	<u>2.88</u>	<u>2.84</u>	<u>2.59</u>	2.56
	<u>3.75</u>	<u>1.93</u>	<u>2.32</u>	<u>4.4</u>	<u>2.22</u>	<u>1.9</u>	-	-	<u>3.36</u>	<u>2.73</u>	<u>2.82</u>	<u>2.55</u>	
	<u>3.84</u>	<u>1.7</u>	<u>2.7</u>	<u>4.35</u>	<u>1.9</u>	<u>2.17</u>	-	-	<u>3.54</u>	<u>2.55</u>	<u>2.84</u>	<u>2.54</u>	
CICLO 13	<u>2.69</u>	<u>1.61</u>	<u>3.33</u>	<u>1.82</u>	<u>3.76</u>	<u>2.13</u>	<u>1.7</u>	<u>1.43</u>	<u>1.42</u>	<u>1.42</u>	<u>2.13</u>	<u>1.97</u>	1.99
	<u>2.89</u>	<u>1.5</u>	<u>3.01</u>	<u>1.87</u>	<u>3.87</u>	<u>2.23</u>	<u>1.62</u>	<u>1.78</u>	<u>1.4</u>	<u>1.32</u>	<u>2.14</u>	<u>2.03</u>	
	<u>2.72</u>	<u>1.72</u>	<u>3.35</u>	<u>1.9</u>	<u>3.59</u>	<u>2.1</u>	<u>1.77</u>	<u>1.64</u>	<u>1.5</u>	<u>1.13</u>	<u>2.14</u>	<u>1.95</u>	
CICLO 14	<u>3.41</u>	<u>3.32</u>	<u>2.16</u>	<u>1.85</u>	<u>1.62</u>	<u>2.92</u>	<u>1.81</u>	<u>1.5</u>	<u>2.28</u>	<u>1.84</u>	<u>2.27</u>	<u>1.99</u>	1.98
	<u>3.1</u>	<u>3.15</u>	<u>2.1</u>	<u>1.92</u>	<u>1.44</u>	<u>3.06</u>	<u>1.82</u>	<u>1.69</u>	<u>2.07</u>	<u>1.84</u>	<u>2.21</u>	<u>1.98</u>	
	<u>3.4</u>	<u>3.36</u>	<u>2.21</u>	<u>2.04</u>	<u>1.44</u>	<u>2.81</u>	<u>1.85</u>	<u>1.62</u>	<u>2.3</u>	<u>1.66</u>	<u>2.26</u>	<u>1.94</u>	
CICLO 15	<u>2.61</u>	<u>2.44</u>	<u>3.02</u>	<u>2.42</u>	<u>1.93</u>	<u>1.83</u>	<u>1.59</u>	<u>2.75</u>	<u>2.72</u>	<u>2.58</u>	<u>2.38</u>	<u>2.23</u>	2.23
	<u>2.46</u>	<u>2.54</u>	<u>2.64</u>	<u>2.63</u>	<u>1.78</u>	<u>1.63</u>	<u>1.9</u>	<u>2.48</u>	<u>2.63</u>	<u>2.6</u>	<u>2.32</u>	<u>2.17</u>	
	<u>2.66</u>	<u>2.68</u>	<u>2.69</u>	<u>2.44</u>	<u>2.03</u>	<u>1.96</u>	<u>1.7</u>	<u>2.8</u>	<u>2.38</u>	<u>2.76</u>	<u>2.41</u>	<u>2.27</u>	
CICLO 16	<u>4.23</u>	<u>3.3</u>	<u>2.53</u>	<u>1.97</u>	<u>1.38</u>	<u>3.33</u>	-	<u>3.45</u>	-	<u>2.33</u>	<u>2.81</u>	<u>2.62</u>	2.54
	<u>4.02</u>	<u>2.83</u>	<u>2.99</u>	<u>2.19</u>	<u>1.31</u>	<u>3.24</u>	-	<u>3.15</u>	-	<u>2.14</u>	<u>2.73</u>	<u>2.46</u>	
	<u>4.24</u>	<u>3.2</u>	<u>2.63</u>	<u>2.1</u>	<u>1.4</u>	<u>3.1</u>	-	<u>3.23</u>	-	<u>2.37</u>	<u>2.78</u>	<u>2.52</u>	
CICLO 17	<u>4.38</u>	<u>2.27</u>	<u>3.66</u>	<u>1.7</u>	<u>1.68</u>	<u>1.65</u>	-	<u>2.54</u>	-	<u>1.75</u>	<u>2.45</u>	<u>1.90</u>	1.90
	<u>4.57</u>	<u>2.2</u>	<u>3.58</u>	<u>1.63</u>	<u>1.71</u>	<u>1.57</u>	-	<u>2.7</u>	-	<u>1.62</u>	<u>2.44</u>	<u>1.90</u>	
	<u>4.47</u>	<u>2.14</u>	<u>3.49</u>	<u>1.82</u>	<u>1.52</u>	<u>1.6</u>	-	<u>2.62</u>	-	<u>1.83</u>	<u>2.14</u>	<u>1.89</u>	
CICLO 18	<u>5.34</u>	<u>2.23</u>	<u>2.04</u>	<u>3.16</u>	<u>1.78</u>	<u>1.63</u>	<u>2.48</u>	<u>2.36</u>	<u>1.68</u>	<u>1.88</u>	<u>2.45</u>	<u>1.96</u>	1.95
	<u>5.28</u>	<u>2.2</u>	<u>2.05</u>	<u>3.11</u>	<u>1.68</u>	<u>1.53</u>	<u>2.29</u>	<u>2.41</u>	<u>1.96</u>	<u>1.75</u>	<u>2.42</u>	<u>1.93</u>	
	<u>5.3</u>	<u>2.2</u>	<u>2.1</u>	<u>3.14</u>	<u>1.7</u>	<u>1.58</u>	<u>2.4</u>	<u>2.25</u>	<u>1.92</u>	<u>1.8</u>	<u>2.43</u>	<u>1.94</u>	
CICLO 19	<u>3.9</u>	<u>3.39</u>	<u>1.95</u>	<u>2.95</u>	<u>2.26</u>	<u>1.57</u>	<u>2.37</u>	<u>2</u>	<u>1.96</u>	<u>1.69</u>	<u>2.40</u>	<u>1.97</u>	1.95
	<u>3.83</u>	<u>3.37</u>	<u>2.08</u>	<u>2.92</u>	<u>1.93</u>	<u>1.58</u>	<u>2.57</u>	<u>1.88</u>	<u>1.93</u>	<u>1.69</u>	<u>2.37</u>	<u>1.93</u>	
	<u>3.68</u>	<u>3.37</u>	<u>2.03</u>	<u>3.11</u>	<u>2.02</u>	<u>1.43</u>	<u>2.47</u>	<u>2.01</u>	<u>1.97</u>	<u>1.76</u>	<u>2.38</u>	<u>1.94</u>	
CICLO 20	<u>4.29</u>	<u>3.27</u>	<u>2.12</u>	<u>2.55</u>	<u>2.36</u>	<u>2.34</u>	<u>2.64</u>	<u>1.99</u>	-	<u>2.34</u>	<u>2.65</u>	<u>2.33</u>	2.31
	<u>4.28</u>	<u>3.47</u>	<u>2.22</u>	<u>2.52</u>	<u>2.34</u>	<u>2.24</u>	<u>2.77</u>	<u>1.94</u>	-	<u>2.39</u>	<u>2.68</u>	<u>2.33</u>	
	<u>4.37</u>	<u>3.35</u>	<u>1.98</u>	<u>2.69</u>	<u>2.21</u>	<u>2.29</u>	<u>2.67</u>	<u>1.92</u>	-	<u>2.23</u>	<u>2.63</u>	<u>2.26</u>	
CICLO 21	<u>3.86</u>	<u>2.41</u>	<u>2.78</u>	<u>2.17</u>	<u>3.56</u>	<u>1.38</u>	<u>1.56</u>	<u>3.78</u>	<u>1.83</u>	<u>1.75</u>	<u>2.50</u>	<u>2.31</u>	2.28
	<u>3.6</u>	<u>2.27</u>	<u>2.8</u>	<u>2.22</u>	<u>3.32</u>	<u>1.51</u>	<u>1.76</u>	<u>3.83</u>	<u>1.73</u>	<u>1.56</u>	<u>2.46</u>	<u>2.28</u>	
	<u>3.66</u>	<u>2.28</u>	<u>2.71</u>	<u>2.27</u>	<u>3.3</u>	<u>1.38</u>	<u>1.81</u>	<u>3.77</u>	<u>1.63</u>	<u>1.66</u>	<u>2.44</u>	<u>2.25</u>	
CICLO 22	<u>3.97</u>	<u>3.34</u>	<u>2.5</u>	<u>3.31</u>	<u>1.35</u>	<u>2.23</u>	<u>2.16</u>	<u>2.06</u>	<u>2.34</u>	<u>1.97</u>	<u>2.52</u>	<u>2.01</u>	2.02
	<u>3.97</u>	<u>3.34</u>	<u>2.5</u>	<u>3.31</u>	<u>1.35</u>	<u>2.23</u>	<u>2.16</u>	<u>2.06</u>	<u>2.34</u>	<u>1.97</u>	<u>2.52</u>	<u>2.01</u>	
	<u>3.97</u>	<u>3.34</u>	<u>2.5</u>	<u>3.31</u>	<u>1.35</u>	<u>2.23</u>	<u>2.16</u>	<u>2.06</u>	<u>2.34</u>	<u>1.97</u>	<u>2.52</u>	<u>2.01</u>	
CICLO 23	<u>3.71</u>	<u>1.96</u>	<u>1.68</u>	<u>1.85</u>	<u>2.13</u>	<u>2.59</u>	-	<u>2.86</u>	<u>3.16</u>	-	<u>2.49</u>	<u>2.68</u>	2.69
	<u>3.71</u>	<u>1.96</u>	<u>1.68</u>	<u>1.85</u>	<u>2.13</u>	<u>2.59</u>	-	<u>2.86</u>	<u>3.16</u>	-	<u>2.49</u>	<u>2.68</u>	
	<u>3.71</u>	<u>1.96</u>	<u>1.68</u>	<u>1.85</u>	<u>2.13</u>	<u>2.59</u>	-	<u>2.86</u>	<u>3.16</u>	-	<u>2.49</u>	<u>2.68</u>	

CICLO 24	<u>2.59</u>	<u>2.05</u>	<u>2.16</u>	<u>2.5</u>	<u>1.99</u>	<u>1.28</u>	-	<u>2.38</u>	<u>3.24</u>	<u>1.7</u>	<u>2.21</u>	<u>2.11</u>	2.12
	<u>2.59</u>	<u>2.05</u>	<u>2.16</u>	<u>2.5</u>	<u>1.99</u>	<u>1.28</u>	-	<u>2.38</u>	<u>3.24</u>	<u>1.7</u>	<u>2.21</u>	<u>2.11</u>	
	<u>2.59</u>	<u>2.05</u>	<u>2.16</u>	<u>2.5</u>	<u>1.99</u>	<u>1.28</u>	-	<u>2.38</u>	<u>3.24</u>	<u>1.7</u>	<u>2.21</u>	<u>2.11</u>	
CICLO 25	<u>4.14</u>	-	<u>2.54</u>	<u>2.51</u>	<u>1.95</u>	<u>1.99</u>	<u>1.69</u>	<u>1.62</u>	<u>1.9</u>	<u>1.82</u>	<u>2.24</u>	<u>1.82</u>	1.79
	<u>4.1</u>	-	<u>2.45</u>	<u>2.54</u>	<u>1.99</u>	<u>1.99</u>	<u>1.58</u>	<u>1.47</u>	<u>1.56</u>	<u>2.01</u>	<u>2.18</u>	<u>1.76</u>	
	<u>4.01</u>	-	<u>2.32</u>	<u>2.26</u>	<u>1.95</u>	<u>1.98</u>	<u>1.74</u>	<u>1.45</u>	<u>1.45</u>	<u>2</u>	<u>2.12</u>	<u>1.76</u>	
CICLO 26	<u>2.92</u>	-	<u>4.77</u>	-	<u>1.8</u>	-	<u>2.61</u>	<u>2.44</u>	<u>1.56</u>	<u>2.38</u>	<u>2.64</u>	<u>2.15</u>	2.14
	<u>2.85</u>	-	<u>4.85</u>	-	<u>1.85</u>	-	<u>2.31</u>	<u>2.54</u>	<u>1.66</u>	<u>2.27</u>	<u>2.61</u>	<u>2.12</u>	
	<u>2.78</u>	-	<u>4.9</u>	-	<u>1.87</u>	-	<u>2.31</u>	<u>2.49</u>	<u>1.66</u>	<u>2.35</u>	<u>2.62</u>	<u>2.13</u>	
CICLO 27	<u>3.48</u>	<u>2.26</u>	<u>2.03</u>	-	<u>2.39</u>	<u>2.12</u>	-	<u>3.02</u>	-	-	<u>2.55</u>	<u>2.51</u>	2.51
	<u>3.5</u>	<u>2.25</u>	<u>2.02</u>	-	<u>2.39</u>	<u>2.01</u>	-	<u>3.12</u>	-	-	<u>2.54</u>	<u>2.50</u>	
	<u>3.41</u>	<u>2.24</u>	<u>2.03</u>	-	<u>2.45</u>	<u>2.01</u>	-	<u>3.1</u>	-	-	<u>2.36</u>	<u>2.52</u>	
CICLO 28	<u>7.02</u>	<u>2.28</u>	<u>2.2</u>	<u>1.89</u>	<u>2.09</u>	<u>2.92</u>	<u>1.62</u>	<u>1.92</u>	<u>2.24</u>	<u>1.76</u>	<u>2.59</u>	<u>2.07</u>	2.36
	<u>6.89</u>	<u>2.2</u>	<u>2.14</u>	<u>1.87</u>	<u>2.1</u>	<u>2.96</u>	-	-	-	-	<u>3.02</u>	<u>2.53</u>	
	<u>6.94</u>	<u>2.23</u>	<u>2.14</u>	<u>1.85</u>	<u>2.04</u>	<u>2.87</u>	-	-	-	-	<u>3.01</u>	<u>2.45</u>	
CICLO 29	<u>3.65</u>	<u>2.15</u>	<u>2.31</u>	<u>2.42</u>	<u>1.73</u>	<u>1.67</u>	-	<u>3.35</u>	<u>2.63</u>	<u>2.82</u>	<u>2.52</u>	<u>2.43</u>	2.43
	<u>3.56</u>	<u>2.14</u>	<u>2.21</u>	<u>2.37</u>	<u>1.85</u>	<u>1.58</u>	-	<u>3.24</u>	<u>2.6</u>	<u>2.75</u>	<u>2.47</u>	<u>2.40</u>	
	<u>3.66</u>	<u>2.1</u>	<u>2.12</u>	<u>2.4</u>	<u>1.9</u>	<u>1.65</u>	-	<u>3.42</u>	<u>2.58</u>	<u>2.69</u>	<u>2.50</u>	<u>2.44</u>	
CICLO 30	<u>2.89</u>	<u>1.69</u>	<u>3.3</u>	<u>1.83</u>	<u>1.93</u>	<u>2.24</u>	<u>1.55</u>	-	<u>2.82</u>	<u>2.19</u>	<u>2.27</u>	<u>2.14</u>	2.13
	<u>2.9</u>	<u>1.58</u>	<u>3.32</u>	<u>1.87</u>	<u>1.95</u>	<u>2.14</u>	<u>1.56</u>	-	<u>2.88</u>	<u>2.19</u>	<u>2.26</u>	<u>2.14</u>	
	<u>2.92</u>	<u>1.7</u>	<u>3.3</u>	<u>1.85</u>	<u>1.92</u>	<u>2.14</u>	<u>1.54</u>	-	<u>2.78</u>	<u>2.18</u>	<u>2.25</u>	<u>2.11</u>	

Fuente: El Autor.

Con la Tabla 16 se obtienen los intervalos de paso de vehículos ligeros, dato con el que se determinan los factores de equivalencia usados únicamente con el fin de desarrollar la investigación.

El resultado arrojado por la media aritmética de los datos recolectados en la Tabla 16, corresponde a 2.194 segundos valor que significa que el intervalo de paso promedio entre el 4 y el 10 vehículo de algunas de las corrientes vehiculares no corresponde al mencionado por el HCM, y otras entidades, quienes dan este valor como 2 segundos, para los valores hallados se calcula la Desviación Estándar en 0.29, un valor que representa una variabilidad baja para este tipo de datos.

4.2.2 Intervalo de paso entre motos.

Es bien sabido que las motos influyen en las corrientes vehiculares y actualmente las tendencias de crecimiento de su parque automotor son muy positivas de esta tipología en todo el mundo y para ser más concretos en el país, razón por la cual

se decide agregar a este tipo de vehículo en la investigación y realizarle los respectivos cálculos y análisis como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17 intervalo de paso entre motos.

# LLEGADA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PRO M	PR OM 4- 10	PROM
<u>CICLO 1</u>	-	-	-	-	<u>1.59</u>	-	-	-	-	-	<u>1.59</u>	<u>1.59</u>	<u>1.52</u>
	-	-	-	-	<u>1.63</u>	-	-	-	-	-	<u>1.63</u>	<u>1.63</u>	
	-	-	-	-	<u>1.33</u>	-	-	-	-	-	<u>1.33</u>	<u>1.33</u>	
<u>CICLO 2</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.61</u>	<u>1.61</u>	<u>1.61</u>	<u>1.37</u>
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.23</u>	<u>1.23</u>	<u>1.23</u>	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.27</u>	<u>1.27</u>	<u>1.27</u>	
<u>CICLO 3</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>0.9</u>	<u>0.9</u>	<u>0.9</u>	<u>0.91</u>
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>0.8</u>	<u>0.8</u>	<u>0.8</u>	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.03</u>	<u>1.03</u>	<u>1.03</u>	
<u>CICLO 4</u>	-	-	-	-	-	-	<u>1.28</u>	-	-	-	<u>1.28</u>	<u>1.28</u>	<u>1.36</u>
	-	-	-	-	-	-	<u>1.44</u>	-	-	-	<u>1.44</u>	<u>1.44</u>	
	-	-	-	-	-	-	<u>1.36</u>	-	-	-	<u>1.36</u>	<u>1.36</u>	
<u>CICLO 5</u>	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.9</u>	-	-	<u>1.9</u>	<u>1.9</u>	<u>1.89</u>
	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.85</u>	-	-	<u>1.85</u>	<u>1.85</u>	
	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.91</u>	-	-	<u>1.91</u>	<u>1.91</u>	
<u>CICLO 6</u>	-	-	-	-	-	<u>1.12</u>	-	-	-	-	<u>1.12</u>	<u>1.12</u>	<u>1.15</u>
	-	-	-	-	-	<u>1.05</u>	-	-	-	-	<u>1.05</u>	<u>1.05</u>	
	-	-	-	-	-	<u>1.27</u>	-	-	-	-	<u>1.27</u>	<u>1.27</u>	
<u>CICLO 7</u>	-	-	-	-	<u>1.04</u>	-	-	-	-	-	<u>1.04</u>	<u>1.04</u>	<u>1.18</u>
	-	-	-	-	<u>1.26</u>	-	-	-	-	-	<u>1.26</u>	<u>1.26</u>	
	-	-	-	-	<u>1.23</u>	-	-	-	-	-	<u>1.23</u>	<u>1.23</u>	
<u>CICLO 8</u>	-	-	-	-	<u>1.76</u>	-	-	-	-	-	<u>1.76</u>	<u>1.76</u>	<u>1.68</u>
	-	-	-	-	<u>1.84</u>	-	-	-	-	-	<u>1.84</u>	<u>1.84</u>	
	-	-	-	-	<u>1.45</u>	-	-	-	-	-	<u>1.45</u>	<u>1.45</u>	
<u>CICLO 9</u>	-	-	-	-	<u>1.28</u>	-	-	-	-	-	<u>1.28</u>	<u>1.28</u>	<u>1.29</u>
	-	-	-	-	<u>1.28</u>	-	-	-	-	-	<u>1.28</u>	<u>1.28</u>	
	-	-	-	-	<u>1.32</u>	-	-	-	-	-	<u>1.32</u>	<u>1.32</u>	
<u>CICLO 10</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.44</u>	<u>1.44</u>	<u>1.44</u>	<u>1.34</u>
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.36</u>	<u>1.36</u>	<u>1.36</u>	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.22</u>	<u>1.22</u>	<u>1.22</u>	

CICLO 11	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.36</u>	-	-	<u>1.36</u>	<u>1.36</u>	1.33
	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.35</u>	-	-	<u>1.35</u>	<u>1.35</u>	
	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.27</u>	-	-	<u>1.27</u>	<u>1.27</u>	
CICLO 12	-	-	-	-	<u>1.23</u>	-	-	-	-	<u>0.86</u>	<u>1.04</u>	<u>1.04</u>	1.01
	-	-	-	-	<u>1.22</u>	-	-	-	-	<u>0.75</u>	<u>0.98</u>	<u>0.98</u>	
	-	-	-	-	<u>1.23</u>	-	-	-	-	<u>0.75</u>	<u>0.99</u>	<u>0.99</u>	
CICLO 13	-	-	-	-	-	<u>1.44</u>	-	-	-	-	<u>1.44</u>	<u>1.44</u>	1.38
	-	-	-	-	-	<u>1.46</u>	-	-	-	-	<u>1.46</u>	<u>1.46</u>	
	-	-	-	-	-	<u>1.23</u>	-	-	-	-	<u>1.23</u>	<u>1.23</u>	
CICLO 14	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.36</u>	-	-	<u>1.36</u>	<u>1.36</u>	1.36
	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.36</u>	-	-	<u>1.36</u>	<u>1.36</u>	
	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.36</u>	-	-	<u>1.36</u>	<u>1.36</u>	
CICLO 15	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.28</u>	-	-	<u>1.28</u>	<u>1.28</u>	1.35
	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.36</u>	-	-	<u>1.36</u>	<u>1.36</u>	
	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.42</u>	-	-	<u>1.42</u>	<u>1.42</u>	
CICLO 16	-	-	<u>1.09</u>	-	-	-	-	-	-	<u>1.3</u>	<u>1.195</u>	<u>1.30</u>	1.28
	-	-	<u>1.19</u>	-	-	-	-	-	-	<u>1.3</u>	<u>1.245</u>	<u>1.30</u>	
	-	-	<u>1.11</u>	-	-	-	-	-	-	<u>1.24</u>	<u>1.175</u>	<u>1.24</u>	
CICLO 17	-	<u>1.7</u>	-	<u>1.3</u>	-	-	-	-	-	-	<u>1.5</u>	-	-
	-	<u>1.6</u>	-	<u>1.5</u>	-	-	-	-	-	-	<u>1.57</u>	-	
	-	<u>1.8</u>	-	<u>1.4</u>	-	-	-	-	-	-	<u>1.6</u>	-	
CICLO 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.18</u>	<u>1.18</u>	<u>1.18</u>	1.13
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.14</u>	<u>1.14</u>	<u>1.14</u>	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.08</u>	<u>1.08</u>	<u>1.08</u>	
CICLO 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.15</u>	<u>1.15</u>	<u>1.15</u>	1.19
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.22</u>	<u>1.22</u>	<u>1.22</u>	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.2</u>	<u>1.2</u>	<u>1.2</u>	
CICLO 20	-	-	-	-	-	<u>1.08</u>	-	-	-	-	<u>1.08</u>	<u>1.08</u>	0.96
	-	-	-	-	-	<u>0.9</u>	-	-	-	-	<u>0.9</u>	<u>0.9</u>	
	-	-	-	-	-	<u>0.89</u>	-	-	-	-	<u>0.89</u>	<u>0.89</u>	
CICLO 21	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.87</u>	-	<u>1.87</u>	<u>1.87</u>	1.90
	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.87</u>	-	<u>1.87</u>	<u>1.87</u>	
	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.96</u>	-	<u>1.96</u>	<u>1.96</u>	
CICLO 22	-	-	-	-	-	<u>1.21</u>	-	<u>0.91</u>	-	-	<u>1.06</u>	<u>1.06</u>	1.03
	-	-	-	-	-	<u>1.21</u>	-	<u>0.87</u>	-	-	<u>1.04</u>	<u>1.04</u>	
	-	-	-	-	-	<u>1.12</u>	-	<u>0.85</u>	-	-	<u>0.985</u>	<u>0.98</u>	
CICLO 23	-	-	-	-	-	-	<u>1.09</u>	-	<u>1.16</u>	-	<u>1.125</u>	<u>1.12</u>	1.13
	-	-	-	-	-	-	<u>1.1</u>	-	<u>1.03</u>	-	<u>1.065</u>	<u>1.06</u>	

	-	-	-	-	-	-	<u>1.23</u>	-	<u>1.14</u>	-	<u>1.185</u>	<u>1.18</u>	
<u>CICLO 24</u>	-	-	-	<u>1</u>	-	-	-	-	-	-	<u>0.98</u>	-	-
	-	-	-	<u>1</u>	-	-	-	-	-	-	<u>1.04</u>	-	
	-	-	-	<u>1</u>	-	-	-	-	-	-	<u>1.04</u>	-	
<u>CICLO 25</u>	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.88</u>	-	-	<u>1.88</u>	<u>1.88</u>	1.90
	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.9</u>	-	-	<u>1.9</u>	<u>1.9</u>	
	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.92</u>	-	-	<u>1.92</u>	<u>1.92</u>	
<u>CICLO 26</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.22</u>	<u>1.22</u>	<u>1.22</u>	1.22
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.23</u>	<u>1.23</u>	<u>1.23</u>	
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.2</u>	<u>1.2</u>	<u>1.2</u>	
<u>CICLO 27</u>	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.21</u>	-	-	<u>1.21</u>	<u>1.21</u>	1.26
	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.3</u>	-	-	<u>1.3</u>	<u>1.3</u>	
	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.26</u>	-	-	<u>1.26</u>	<u>1.26</u>	
<u>CICLO 28</u>	-	-	-	-	<u>1.02</u>	-	-	-	-	-	<u>1.02</u>	<u>1.02</u>	1.05
	-	-	-	-	<u>1.08</u>	-	-	-	-	-	<u>1.08</u>	<u>1.08</u>	
	-	-	-	-	<u>1.04</u>	-	-	-	-	-	<u>1.04</u>	<u>1.04</u>	
<u>CICLO 29</u>	-	-	-	-	-	<u>1.85</u>	-	-	-	-	<u>1.85</u>	<u>1.85</u>	1.85
	-	-	-	-	-	<u>1.85</u>	-	-	-	-	<u>1.85</u>	<u>1.85</u>	
	-	-	-	-	-	<u>1.85</u>	-	-	-	-	<u>1.85</u>	<u>1.85</u>	
<u>CICLO 30</u>	-	<u>1.8</u>	-	-	-	-	-	-	<u>1.14</u>	-	<u>1.46</u>	<u>1.14</u>	1.13
	-	<u>1.7</u>	-	-	-	-	-	-	<u>1.12</u>	-	<u>1.43</u>	<u>1.12</u>	
	-	<u>1.6</u>	-	-	-	-	-	-	<u>1.12</u>	-	<u>1.34</u>	<u>1.12</u>	
<u>CICLO 31</u>	-	-	-	-	<u>1.27</u>	-	-	-	-	-	<u>1.27</u>	<u>1.27</u>	1.30
	-	-	-	-	<u>1.3</u>	-	-	-	-	-	<u>1.3</u>	<u>1.3</u>	
	-	-	-	-	<u>1.33</u>	-	-	-	-	-	<u>1.33</u>	<u>1.33</u>	
<u>CICLO 32</u>	-	-	-	-	-	-	<u>1.54</u>	-	-	-	<u>1.54</u>	<u>1.54</u>	1.52
	-	-	-	-	-	-	<u>1.55</u>	-	-	-	<u>1.55</u>	<u>1.55</u>	
	-	-	-	-	-	-	<u>1.48</u>	-	-	-	<u>1.48</u>	<u>1.48</u>	

Fuente: El Autor.

Para la toma del dato de intervalo de paso entre motos se tienen en cuenta varios aspectos, así como:

- Que la moto se encuentre haciendo la fila, más no por un lado.
- Si la moto se encuentra en la fila, y con el inicio de verde se dirige hacia el centro de la vía, para así ejecutar la maniobra de adelantar, esta se desprecia, no se tiene en cuenta, de igual manera no se le toma flujo de saturación a la fila, por que sucede una maniobra que tropieza la toma de información.

El valor promedio del intervalo de paso entre motos es de 1.33 segundos valor referencia para obtener así el factor de equivalencia de moto a vehículos ligeros. Con una Desviación Estándar es de 0.278, valor que se considera como variabilidad baja para este tipo de datos.

4.2.3 Intervalo de paso buses.

Los buses característicos de las corrientes vehiculares en la ciudad de Tunja corresponden a los operados por la empresa prestadora del servicio público urbano, y ya que estos vehículos al compararlos con la otra tipología de buses, se encuentra que estos son mucho más pequeños, lo que quiere decir que su intervalo de paso debería obedecer a ser mucho más pequeño. Por lo que a continuación corroboramos lo antes mencionado con la Tabla 18.

Tabla 18 intervalo de paso para la tipología de buses.

# LLEGADA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	SUMA	PROM 4-10
CICLO 1	<u>1.63</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.63</u>	-
	<u>1.75</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.75</u>	-
	<u>1.65</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>1.65</u>	-
CICLO 2	-	-	-	-	<u>2.5</u>	-	-	-	-	-	<u>2.53</u>	<u>2.53</u>
	-	-	-	-	<u>2.6</u>	-	-	-	-	-	<u>2.64</u>	<u>2.64</u>
	-	-	-	-	<u>2.9</u>	-	-	-	-	-	<u>2.87</u>	<u>2.87</u>
CICLO 3	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>2.7</u>	-	<u>2.7</u>	<u>2.70</u>
	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>2.75</u>	-	<u>2.75</u>	<u>2.75</u>
	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>2.96</u>	-	<u>2.96</u>	<u>2.96</u>
CICLO 4	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>3.34</u>	-	<u>3.34</u>	<u>3.34</u>
	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>3.64</u>	-	<u>3.64</u>	<u>3.64</u>
	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>3.56</u>	-	<u>3.56</u>	<u>3.56</u>
CICLO 5	-	-	-	-	-	-	<u>4.01</u>	-	-	-	<u>4.01</u>	<u>4.01</u>
	-	-	-	-	-	-	<u>3.74</u>	-	-	-	<u>3.74</u>	<u>3.74</u>
	-	-	-	-	-	-	<u>3.78</u>	-	-	-	<u>3.78</u>	<u>3.78</u>
CICLO 6	-	-	-	-	-	<u>1.88</u>	-	<u>1.57</u>	-	-	<u>3.45</u>	<u>1.72</u>
	-	-	-	-	-	<u>2.07</u>	-	<u>1.89</u>	-	-	<u>3.96</u>	<u>1.98</u>
	-	-	-	-	-	<u>1.9</u>	-	<u>1.78</u>	-	-	<u>3.68</u>	<u>1.84</u>
CICLO 7	-	-	-	-	<u>3.1</u>	<u>2.52</u>	<u>3.93</u>	<u>5.06</u>	-	-	<u>14.61</u>	<u>3.65</u>
	-	-	-	-	<u>2.8</u>	<u>2.37</u>	<u>4.13</u>	<u>5.14</u>	-	-	<u>14.4</u>	<u>3.60</u>
	-	-	-	-	<u>2.6</u>	<u>2.47</u>	<u>4</u>	<u>5.13</u>	-	-	<u>14.19</u>	<u>3.54</u>
CICLO 8	-	-	-	-	-	<u>2.8</u>	<u>6.32</u>	<u>4.79</u>	<u>4.15</u>	-	<u>18.06</u>	<u>4.51</u>
	-	-	-	-	-	<u>2.84</u>	<u>6.39</u>	<u>4.69</u>	<u>4.29</u>	-	<u>18.21</u>	<u>4.55</u>
	-	-	-	-	-	<u>2.7</u>	<u>6.25</u>	<u>4.89</u>	<u>4.64</u>	-	<u>18.48</u>	<u>4.62</u>

CICLO 9	-	-	-	-	-	-	<u>2.88</u>	<u>2.49</u>	<u>3.65</u>	-	<u>9.02</u>	<u>3.00</u>
	-	-	-	-	-	-	<u>3.12</u>	<u>2.35</u>	<u>3.69</u>	-	<u>9.16</u>	<u>3.05</u>
	-	-	-	-	-	-	<u>2.91</u>	<u>2.64</u>	<u>3.6</u>	-	<u>9.15</u>	<u>3.05</u>
CICLO 10	<u>3.65</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>3.65</u>	-
	<u>3.55</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>3.55</u>	-
	<u>4.01</u>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>4.01</u>	-
CICLO 11	-	-	-	-	<u>3.5</u>	<u>3.18</u>	<u>2.78</u>	-	-	-	<u>9.49</u>	<u>3.16</u>
	-	-	-	-	<u>4</u>	<u>3.7</u>	<u>2.66</u>	-	-	-	<u>10.33</u>	<u>3.44</u>
	-	-	-	-	<u>4</u>	<u>3.35</u>	<u>2.48</u>	-	-	-	<u>9.78</u>	<u>3.26</u>
CICLO 12	-	-	-	-	-	-	-	<u>4.01</u>	-	-	<u>4.01</u>	<u>4.01</u>
	-	-	-	-	-	-	-	<u>4.12</u>	-	-	<u>4.12</u>	<u>4.12</u>
	-	-	-	-	-	-	-	<u>4.07</u>	-	-	<u>4.07</u>	<u>4.07</u>
CICLO 13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>2.49</u>	<u>2.49</u>	<u>2.49</u>
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>2.55</u>	<u>2.55</u>	<u>2.55</u>
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<u>2.64</u>	<u>2.64</u>	<u>2.64</u>
CICLO 14	-	-	-	-	<u>2.1</u>	-	<u>3.26</u>	<u>4.47</u>	-	<u>4.23</u>	<u>14.06</u>	<u>3.51</u>
	-	-	-	-	<u>2.2</u>	-	<u>3.14</u>	<u>4.36</u>	-	<u>4.04</u>	<u>13.73</u>	<u>3.43</u>
	-	-	-	-	<u>2.1</u>	-	<u>3.15</u>	<u>4.36</u>	-	<u>4.05</u>	<u>13.67</u>	<u>3.41</u>
CICLO 15	-	-	-	-	-	-	-	<u>4.8</u>	-	-	<u>4.8</u>	<u>4.80</u>
	-	-	-	-	-	-	-	<u>4.78</u>	-	-	<u>4.78</u>	<u>4.78</u>
	-	-	-	-	-	-	-	<u>4.82</u>	-	-	<u>4.82</u>	<u>4.82</u>
CICLO 16	-	-	-	-	-	-	<u>2.84</u>	<u>3.91</u>	<u>4.32</u>	-	<u>11.07</u>	<u>3.69</u>
	-	-	-	-	-	-	<u>2.84</u>	<u>3.91</u>	<u>4.32</u>	-	<u>11.07</u>	<u>3.69</u>
	-	-	-	-	-	-	<u>2.84</u>	<u>3.91</u>	<u>4.32</u>	-	<u>11.07</u>	<u>3.69</u>
CICLO 17	-	-	-	<u>2.3</u>	-	-	-	-	-	-	<u>2.25</u>	-
	-	-	-	<u>2.2</u>	-	-	-	-	-	-	<u>2.24</u>	-
	-	-	-	<u>2.2</u>	-	-	-	-	-	-	<u>2.16</u>	-
CICLO 18	-	-	-	<u>3.4</u>	-	-	<u>4.45</u>	-	-	-	<u>7.83</u>	<u>4.45</u>
	-	-	-	<u>3.4</u>	-	-	<u>4.45</u>	-	-	-	<u>7.81</u>	<u>4.45</u>
	-	-	-	<u>3.3</u>	-	-	<u>4.36</u>	-	-	-	<u>7.61</u>	<u>4.36</u>
CICLO 19	-	-	-	-	-	<u>4.88</u>	-	-	-	-	<u>4.88</u>	<u>4.88</u>
	-	-	-	-	-	<u>4.75</u>	-	-	-	-	<u>4.75</u>	<u>4.75</u>
	-	-	-	-	-	<u>4.68</u>	-	-	-	-	<u>4.68</u>	<u>4.68</u>
CICLO 20	-	-	-	-	-	<u>2.28</u>	-	-	-	-	<u>2.28</u>	<u>2.28</u>
	-	-	-	-	-	<u>2.25</u>	-	-	-	-	<u>2.25</u>	<u>2.25</u>
	-	-	-	-	-	<u>2.27</u>	-	-	-	-	<u>2.27</u>	<u>2.27</u>

Fuente: El Autor.

El intervalo de paso promedio para los buses es de 3.483 segundos, este valor corresponde en su mayoría a buses del transporte colectivo urbano de la ciudad, y

su Desviación Estándar es de 0.863 valor alto aunque su variabilidad se debe a los diferentes tipos de vehículos a los que se les toma los tiempos.

4.2.4 Intervalo de paso para camiones.

En el intervalo de paso de los camiones se tienen en cuenta todas las tipologías de camiones, desde camiones pequeños de dos ejes, y hasta camiones de seis ejes, por lo que los valores presentados en la Tabla 19 comprenden un rango bastante alto para los datos trabajados.

Tabla 19 intervalo de paso camiones.

# LLEGADA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROM	PROM N4-N	TIPO
CICLO 1	-	-	-	-	-	<u>4.13</u>	-	-	-	-	<u>4.13</u>	<u>4.13</u>	<u>C2G</u>
	-	-	-	-	-	<u>4.44</u>	-	-	-	-	<u>4.44</u>	<u>4.44</u>	<u>C2G</u>
	-	-	-	-	-	<u>4.41</u>	-	-	-	-	<u>4.41</u>	<u>4.41</u>	<u>C2G</u>
CICLO 2	-	-	-	-	-	<u>4.84</u>	-	-	-	-	<u>4.84</u>	<u>4.84</u>	<u>C2G</u>
	-	-	-	-	-	<u>4.82</u>	-	-	-	-	<u>4.82</u>	<u>4.82</u>	<u>C2G</u>
	-	-	-	-	-	<u>4.69</u>	-	-	-	-	<u>4.69</u>	<u>4.69</u>	<u>C2G</u>
CICLO 3	-	-	-	-	-	-	<u>4.39</u>	<u>3.05</u>	-	-	<u>3.72</u>	<u>3.72</u>	<u>C3,C2P</u>
	-	-	-	-	-	-	<u>4.38</u>	<u>3.18</u>	-	-	<u>3.78</u>	<u>3.78</u>	<u>C3,C2P</u>
	-	-	-	-	-	-	<u>4.28</u>	<u>3.07</u>	-	-	<u>3.67</u>	<u>3.67</u>	<u>C3,C2P</u>
CICLO 4	-	-	<u>3.2</u>	-	-	-	-	-	-	-	<u>3.22</u>	-	<u>C2P</u>
	-	-	<u>3.3</u>	-	-	-	-	-	-	-	<u>3.33</u>	-	<u>C2P</u>
	-	-	<u>3.2</u>	-	-	-	-	-	-	-	<u>3.28</u>	-	<u>C2P</u>
CICLO 5	-	-	-	-	-	-	<u>6.6</u>	-	<u>4.09</u>	-	<u>5.34</u>	<u>5.34</u>	<u>C6,C2P</u>
	-	-	-	-	-	-	<u>6.61</u>	-	<u>4</u>	-	<u>5.30</u>	<u>5.30</u>	<u>C6,C2P</u>
	-	-	-	-	-	-	<u>6.65</u>	-	<u>4.22</u>	-	<u>5.43</u>	<u>5.43</u>	<u>C6,C2P</u>
CICLO 6	-	-	-	-	-	-	<u>6.54</u>	-	-	-	<u>6.54</u>	<u>6.54</u>	<u>C2G</u>
	-	-	-	-	-	-	<u>6.71</u>	-	-	-	<u>6.71</u>	<u>6.71</u>	<u>C2G</u>
	-	-	-	-	-	-	<u>6.6</u>	-	-	-	<u>6.6</u>	<u>6.6</u>	<u>C2G</u>
CICLO 7	-	-	-	-	<u>4.4</u>	-	-	<u>4.24</u>	-	-	<u>4.35</u>	<u>4.35</u>	<u>C3,C2P</u>
	-	-	-	-	<u>4.3</u>	-	-	<u>4.03</u>	-	-	<u>4.21</u>	<u>4.21</u>	<u>C3,C2P</u>
	-	-	-	-	<u>4.4</u>	-	-	<u>4.17</u>	-	-	<u>4.30</u>	<u>4.30</u>	<u>C3,C2P</u>
CICLO 8	-	-	-	-	-	-	<u>3.24</u>	-	-	-	<u>3.24</u>	<u>3.24</u>	<u>C2G</u>
	-	-	-	-	-	-	<u>3.18</u>	-	-	-	<u>3.18</u>	<u>3.18</u>	<u>C2G</u>
	-	-	-	-	-	-	<u>3.2</u>	-	-	-	<u>3.2</u>	<u>3.2</u>	<u>C2G</u>
CICLO 9	-	-	-	-	-	<u>6.55</u>	-	-	-	-	<u>6.55</u>	<u>6.55</u>	<u>C6</u>
	-	-	-	-	-	<u>6.47</u>	-	-	-	-	<u>6.47</u>	<u>6.47</u>	<u>C6</u>
	-	-	-	-	-	<u>6.36</u>	-	-	-	-	<u>6.36</u>	<u>6.36</u>	<u>C6</u>

CICLO 10	-	-	-	<u>5.22</u>	-	-	-	-	-	-	<u>5.22</u>	<u>5.22</u>	<u>C2G</u>
	-	-	-	<u>5.22</u>	-	-	-	-	-	-	<u>5.22</u>	<u>5.22</u>	<u>C2G</u>
	-	-	-	<u>5.17</u>	-	-	-	-	-	-	<u>5.17</u>	<u>5.17</u>	<u>C2G</u>
CICLO 11	-	-	-	-	-	-	-	<u>3.14</u>	-	-	<u>3.14</u>	<u>3.14</u>	<u>C2G</u>
	-	-	-	-	-	-	-	<u>3.16</u>	-	-	<u>3.16</u>	<u>3.16</u>	<u>C2G</u>
	-	-	-	-	-	-	-	<u>3.14</u>	-	-	<u>3.14</u>	<u>3.14</u>	<u>C2G</u>
CICLO 12	-	-	-	-	-	-	-	<u>4.18</u>	-	-	<u>4.18</u>	<u>4.18</u>	<u>C2G</u>
	-	-	-	-	-	-	-	<u>4.14</u>	-	-	<u>4.14</u>	<u>4.14</u>	<u>C2G</u>
	-	-	-	-	-	-	-	<u>4.3</u>	-	-	<u>4.3</u>	<u>4.3</u>	<u>C2G</u>
CICLO 13	-	<u>3.5</u>	-	-	-	-	-	-	<u>3.31</u>	-	<u>3.38</u>	<u>3.31</u>	<u>C2P,C2P</u>
	-	<u>3.6</u>	-	-	-	-	-	-	<u>3.21</u>	-	<u>3.39</u>	<u>3.21</u>	<u>C2P,C2P</u>
	-	<u>3.5</u>	-	-	-	-	-	-	<u>3.47</u>	-	<u>3.48</u>	<u>3.47</u>	<u>C2P,C2P</u>
CICLO 14	-	-	-	-	-	-	-	<u>3.77</u>	-	-	<u>3.77</u>	<u>3.77</u>	<u>C2P</u>
	-	-	-	-	-	-	-	<u>3.65</u>	-	-	<u>3.65</u>	<u>3.65</u>	<u>C2P</u>
	-	-	-	-	-	-	-	<u>3.88</u>	-	-	<u>3.88</u>	<u>3.88</u>	<u>C2P</u>
CICLO 15	-	-	-	<u>3.39</u>	-	-	-	-	-	-	<u>3.39</u>	<u>3.39</u>	<u>C2G</u>
	-	-	-	<u>3.5</u>	-	-	-	-	-	-	<u>3.5</u>	<u>3.5</u>	<u>C2G</u>
	-	-	-	<u>3.52</u>	-	-	-	-	-	-	<u>3.52</u>	<u>3.52</u>	<u>C2G</u>

Fuente: El Autor.

El número de ciclos en los que pasan los vehículos del tipo camión es bajo debido a la restricción de paso que poseen ellos por el sector urbano de la ciudad, por lo que sus conductores transitan por el área perimetral y de esta forma se evita el tránsito y sus problemas que se ciñen a la ciudad.

El intervalo de paso promedio para los camiones es de 4.42 segundos, este valor corresponde en su mayoría a buses del transporte colectivo urbano de la ciudad, y su Desviación Estándar es de 1.11 valor alto aunque su variabilidad se debe a los diferentes tipos de vehículos a los que se les toma los tiempos

5 CÁLCULOS

5.1 FLUJO DE SATURACIÓN MEDIDO.

A continuación se muestra el proceso para la obtención del valor del flujo de saturación del acceso. En la Tabla 20 se muestra el resultado de la toma de información del flujo de saturación en campo para la intersección La Toyota para el acceso sur

Tabla 20 resultados aforo flujo de saturación

Sumatoria	49.37	81.79	73.8	89.51	133	1	2	1
Totales	(a)	(b)	(c)	(d)				

Flujo de sat. medio = $\frac{(3600 \times \text{número de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$	de saturación medio	1622.0	veh/h
-----------------------------------------------------------------------------------------	------------------------	--------	-------

Fuente: El Autor.

El cálculo del flujo de saturación se determinó mediante la siguiente expresión:

$$\text{Flujo de saturación medio} = \frac{3600 * \text{Número total de ciclos}}{\left(\frac{a}{3}\right) + \left(\frac{b}{4}\right) + \left(\frac{c}{5}\right) + \left(\frac{d}{6}\right)}$$

$$\text{Flujo de saturación medio} = \frac{3600 * 30}{\left(\frac{49.37}{3}\right) + \left(\frac{81.79}{4}\right) + \left(\frac{73.8}{5}\right) + \left(\frac{89.51}{6}\right)}$$

$$\text{Flujo de saturación medio} = 1622.04 \text{ veh/h verde/carril}$$

Debido a que el flujo de saturación es una variable cuantitativa discreta, el valor se debe dar en número entero, por esto:

$$\text{Flujo de saturación medio} = 1622 \text{ veh/h verde/carril}$$

El mismo procedimiento se realizó para determinar el flujo de saturación medio para los otros accesos, los datos utilizados para la saturación se encuentran en los formatos anexos.

A continuación se muestra en la Tabla 21 el resumen con cada uno de los valores de flujo de saturación medidos en campo.

Tabla 21 resumen flujo de saturación medio, medido en campo.

INTERSECCIÓN	ACCESO	FLUJO DE SAT. MED (Veh/h verde/carril)
CARRERA 6 CON CALLE 53	SUR	1606 veh mixtos
	NORTE	1602 veh mixtos
CARRERA 6 CON CALLE 48	SUR	1622 veh mixtos
	NORTE	1643 veh mixtos
AVENIDA UNIVERSITARIA CON CALLE 49	SUR	1621 veh mixtos
	NORTE	1626 veh mixtos
CARRERA 6 CON CALLE 37a	SUR	1666 veh mixtos
	NORTE	1692 veh mixtos
DIAGONAL 38 CON CALLE 32	ESTE	1625 veh mixtos
	OESTE	1664 veh mixtos
	SUR	1593 veh mixtos
DIAGONAL 38 CON CARRERA 14	OESTE	1664 veh mixtos
AVENIDA ORIENTAL 26 CON CARRERA 7	SUR	1641 veh mixtos
	NORTE	1630 veh mixtos

Fuente: El Autor.

De la anterior tabla se da a conocer que el flujo de saturación, llevado a las condiciones más cercanas a las ideales que se encuentran en la ciudad de Tunja se encuentra en el rango de entre 1590 vehículos mixtos/ hora de verde/ carril y 1690 vehículos mixtos/ hora de verde/ carril con una media cercana a los 1635 vehículos mixtos/ hora de verde/ carril

5.2 DETERMINACIÓN DE LOS FACTOR DE AJUSTE DE CADA UNO DE LOS ACCESOS.

Como es bien sabido para la toma de información se caracterizaron los puntos de toma de información o intersecciones, esto con el fin de poder calcular los factores de ajuste a cada uno de estos puntos.

5.2.1 Factor de ajuste por ancho de carriles (fw).

El factor de ajuste de ancho de carril, fw, explica el impacto negativo de los carriles estrechos en la tasa de flujo de saturación y permite una mayor intensidad de vehículos en carriles anchos. Los anchos de carril estándar son de 3.658 m (12 pies). El factor de ancho de carril se puede calcular con precaución para anchos de carril mayores de 4,878 m (16 pies), o se puede realizar un análisis utilizando dos carriles angostos. Observando que el uso de dos carriles angostos siempre dará como resultado un índice de flujo de saturación más alto que un solo carril ancho, pero en cualquier caso, el análisis debe reflejar la forma en que el ancho es realmente usado o se espera que sea usado. Y por ningún motivo el factor de ancho de carril debe ser calculado para anchos de menos de 2.438m (8.0 pies).

En el HCM se proponen los valores de ajuste que se muestran en la Tabla 22 de la cual se resalta la no utilización de la ecuación del factor de ajuste por ancho de carril, y por el contrario dar un valor de factor que comprende un rango de anchos de carril demasiado alto, con lo cual se resalta que la variación en el ancho de carril no influye de gran modo en el flujo de saturación.

Tabla 22 Factor de ajuste ancho de carril HCM 2010)

Promedio de ancho de carril (m)	Factor de ajuste ancho de carril (fw)
<3.0	0.96
≥3.0-3.92	1
>3.92	1.04

Fuente: *Transportation Research Board, Highway Capacity Manual 2010, cap 18, p40*

Con la fórmula que se muestra a continuación se determinan los valores del factor del ancho de carril para cada uno de los puntos en estudio.

$$f_w = 1 + \frac{w - 3.658}{9}$$

Dónde

- f_w = factor de ajuste por ancho de carril
- w = ancho de carril en metros

A continuación se muestra el cálculo realizado a cada uno de los valores de ancho de carril para así establecer el factor de ajuste correspondiente.

Tabla 23 ancho de carril de cada uno de los puntos de estudio

INTERSECCIÓN	ACCESO	ANCHO DE CARRIL(m)
<u>CARRERA 6 CON CALLE 53</u>	<u>SUR</u>	<u>3.1</u>
	<u>NORTE</u>	<u>3.2</u>
<u>CARRERA 6 CON CALLE 48</u>	<u>SUR</u>	<u>3.4</u>
	<u>NORTE</u>	<u>3.4</u>
<u>AVENIDA UNIVERSITARIA CON CALLE 49</u>	<u>SUR</u>	<u>3.1</u>
	<u>NORTE</u>	<u>3.1</u>
<u>CARRERA 6 CON CALLE 37a</u>	<u>SUR</u>	<u>3.35</u>
	<u>NORTE</u>	<u>3.3</u>
<u>DIAGONAL 38 CON CALLE 32</u>	<u>ESTE</u>	<u>3.4</u>
	<u>OESTE</u>	<u>3.4</u>
	<u>SUR</u>	<u>3.4</u>
<u>DIAGONAL 38 CON CARRERA14</u>	<u>OESTE</u>	<u>3.4</u>
<u>AVENIDA ORIENTAL 26 CON CARRERA 7</u>	<u>SUR</u>	<u>3.2</u>
	<u>NORTE</u>	<u>3.2</u>

Fuente: El Autor.

Cálculo factor de ajuste por ancho de carril

Para $w = 3.1\text{m}$

$$f_w = 1 + \frac{w-3.658}{9} , f_w = 1 + \frac{3.1-3.658}{9}, f_w = 0.938$$

El valor calculado es hallado mediante la formulación del HCM-2000, y este significa que al ser un valor menor a uno y encontrarse multiplicando al valor del flujo de saturación base en el modelo general para hallar la tasa del flujo de saturación éste se reduce, diferente es si acudimos a los valores tabulados suministrados por el HCM 2010 donde se establecen unos rangos de ancho de carril y se da un valor de ajuste, el cual varía en gran medida con el valor hallado.

$$\text{si } w \geq 3 - 3.92 \text{ entonces } Fw = 1$$

Como w = ancho de carril y para el caso = 3.1 metros, el valor del factor de ajuste corresponde a 1.

Para el estudio, en cada uno de los valores de ancho de carril se hallan los factores de ajuste por ancho de carril, aunque el valor de ajuste por ancho de carril que se usará para efectos del desarrollo del estudio, es el proporcionado por la fórmula.

Tabla 24 factor de ajuste por ancho de carril Fw

INTERSECCIÓN	ACCESO	ANCHO DE CARRIL(m)	Fw (formula)	Fw (tabulado)
<u>CARRERA 6 CON CALLE 53</u>	<u>SUR</u>	<u>3.1</u>	<u>0.938</u>	<u>1</u>
	<u>NORTE</u>	<u>3.2</u>	<u>0.949</u>	<u>1</u>
<u>CARRERA 6 CON CALLE 48</u>	<u>SUR</u>	<u>3.4</u>	<u>0.971</u>	<u>1</u>
	<u>NORTE</u>	<u>3.4</u>	<u>0.971</u>	<u>1</u>
<u>AVENIDA UNIVERSITARIA CON CALLE 49</u>	<u>SUR</u>	<u>3.1</u>	<u>0.938</u>	<u>1</u>
	<u>NORTE</u>	<u>3.1</u>	<u>0.938</u>	<u>1</u>
<u>CARRERA 6 CON CALLE 37a</u>	<u>SUR</u>	<u>3.35</u>	<u>0.966</u>	<u>1</u>
	<u>NORTE</u>	<u>3.3</u>	<u>0.960</u>	<u>1</u>
<u>DIAGONAL 38 CON CALLE 32</u>	<u>ESTE</u>	<u>3.4</u>	<u>0.971</u>	<u>1</u>
	<u>OESTE</u>	<u>3.4</u>	<u>0.971</u>	<u>1</u>
	<u>SUR</u>	<u>3.4</u>	<u>0.971</u>	<u>1</u>
<u>DIAGONAL 38 CON CARRERA 14</u>	<u>OESTE</u>	<u>3.4</u>	<u>0.971</u>	<u>1</u>
<u>AVENIDA ORIENTAL 26 CON CARRERA 7</u>	<u>SUR</u>	<u>3.2</u>	<u>0.949</u>	<u>1</u>
	<u>NORTE</u>	<u>3.2</u>	<u>0.949</u>	<u>1</u>

Fuente: El Autor.

De la Tabla 24 se resalta que los valores de ajuste para cada uno de las intersecciones presenta variaciones grandes entre ellos cuando se calcula por el modelo del HCM-2000 (con valor de Desviación Estándar alto, muy por el contrario sin variaciones si se utilizan los valores tabulados del factor de ajuste de ancho de

carril del HCM 2010, razón por la que se puede afirmar que los anchos de carriles encontrados en el estudio (diseño generalizado de nuestras áreas urbanas), según el modelo americano de 2010, no presenta incidencia en los flujos de saturación ajustado.

5.2.2 Factor de ajuste por vehículos pesados (f_{HV})

Este factor incorpora una minimización a la tasa de flujo de saturación a partir del factor de ajuste por vehículos pesados (f_{HV}), al tener en cuenta el espacio adicional que ocupan los vehículos pesados, la velocidad y las diferentes paradas en relación con los vehículos ligeros. Este factor es calculado a partir de factores de equivalencia para los cuales el HCM recomienda 2.0 tanto para buses como para camiones. Mediante el método de intervalos de vehículos se ha calculado cada uno de los factores de equivalencia para buses, motos y camiones.

El factor de vehículos pesados es usado para transformar un volumen o número de vehículos con composición mixta (autos buses, camiones, motos) a un volumen o número de vehículos expresado en vehículos ligeros. El factor de ajuste por vehículos pesados normalmente es aplicado a vehículos con más de un par de llantas, o vehículos pesados, para este caso también se ha decidido utilizarlo para pasar de motos a vehículos ligeros, ya que este método lo posibilita, por lo que se aplicara la siguiente ecuación:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + \%HV(ET - 1)}$$

Dónde:

- f_{HV} = factor de ajuste por vehículos pesados.
- $\%HV$ = proporción de vehículos pesados.
- ET = factor de equivalencia de camiones.

Al realizar un análisis de fórmula, se determina que el uso por separado y conjunto de los factores de equivalencia para motos y vehículos pesados arroja el mismo resultado, por consiguiente se trabajaran conjuntamente para transformar los vehículos que no son ligeros a los propiamente dichos.

Por lo que la ecuación adecuando, tanto los buses como los camiones y motos resulta de la siguiente manera.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + \%B(EB - 1) + \%C(EC - 1) + \%M(EM - 1)}$$

Dónde:

- f_{HV} = factor de ajuste por vehículos pesados.
- $\%B$ = proporción de buses.
- EB = factor de equivalencia de buses.
- $\%C$ = proporción de camiones.
- EC = factor de equivalencia de camiones.
- $\%M$ = proporción de motos.
- EM = factor de equivalencia de motos.

Los porcentajes de vehículos se obtienen del aforo de flujo de saturación donde conjuntamente se anota la tipología de vehículos presentes en las filas de toma de saturación. Los porcentajes de vehículos pesados (buses camiones) y motos son muy bajos debido a la forma en la que se tomó el flujo se saturación, obedeciendo a tomar información en condiciones cercanas a las ideales.

De esta forma en la Tabla 25 se muestran los porcentajes para cada toma de información de vehículos, y esto resumido en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 25 porcentajes de vehículos por tipo.

Intersección	Autos	Buses	Camión	Moto
CARRERA 6 CON CALLE 53	96.64%	0.84%	1.68%	0.84%
	97.71%	0.76%	0.00%	1.53%
CARRERA 6 CON CALLE 48	96.27%	0.75%	1.49%	1.49%
	96.35%	2.19%	0.73%	0.73%
AVENIDA UNIVERSITARIA CON CALLE 49	97.52%	0.00%	0.83%	1.65%
	92.25%	3.10%	2.33%	2.33%
CARRERA 6 CON CALLE 37a	99.33%	0.00%	0.67%	0.00%
	94.17%	2.50%	1.67%	1.67%
DIAGONAL 38 CON CALLE 32	97.46%	0.85%	0.00%	1.69%
	97.71%	0.76%	0.00%	1.53%
	100.00%	0.00%	0.00%	0.00%

DIAGONAL 38 CON CARRERA14	99.24%	0.00%	0.76%	0.00%
	93.98%	2.26%	1.50%	2.26%
AVENIDA ORIENTAL 26 CON CARRERA 7	93.60%	2.40%	1.60%	2.40%

Fuente: El Autor.

Determinación de los factores de Equivalencia.

Los factores de equivalencia cumplen un papel importante en la determinación o en la transformación de un volumen en vehículos mixtos a vehículos equivalentes. Para efectos de la presente investigación se ha decidido calcular los vehículos equivalentes de camiones motos y buses a través de los intervalos de paso entre vehículos de la misma tipología.

De esta manera se tiene el valor correspondiente al intervalo entre vehículos ligeros como referencia y sobre los cuales se transformaran cada una de las tipologías de vehículos. En la Tabla 26 se resumen los valores de los intervalos promedio entre las diferentes tipologías de vehículos.

Tabla 26 intervalo promedio entre las tipologías de vehículos.

Tipo	Tiempo Promedio entre 4-10 Veh
AUTOS	2.19
BUSES	3.48
CAMIONES	4.42
MOTOS	1.33

Fuente: El Autor.

El tiempo que se muestra en la anterior tabla se encuentra en segundos, y lo que se debe resaltar es que un vehículo ligero tarda 2.19 segundos en promedio, y su factor de equivalencia corresponderá a 1.

Los otros factores de equivalencia se obtienen de la división del tiempo gastado en promedio por cada una de las tipologías entre el tiempo gastado por un vehículo ligero. Lo anterior mencionado se muestra con el siguiente ejemplo de cálculo para hallar el factor de equivalencia de los buses

$$\text{factor de equivalencia} = \frac{\text{intervalo promedio de paso de los buses}}{\text{intervalo promedio de paso de vehiculos ligeros}}$$

$$factorde\ equivalencia\ buses = \frac{3.482650327\ seg}{2.193614444\ seg}$$

$$factorde\ equivalencia\ buses = 1.587631015$$

Por lo que se infiere en que un bus (típicamente los buses del servicio público urbano de la ciudad) gastan 1.587 veces de tiempo en atravesar un intervalo de vehículos, que el que gasta un vehículo ligero. El mismo procedimiento se realiza para cada una de las tipologías de vehículos, arrojando como resultado lo siguiente:

Tabla 27 factor de equivalencia diferentes tipologías de vehículos.

Tipo	Factor de Equivalencia
<u>AUTOS</u>	<u>1.00</u>
<u>BUSES</u>	<u>1.58</u>
<u>CAMIONES</u>	<u>2.01</u>
<u>MOTOS</u>	<u>0.61</u>

Fuente: El Autor.

Estos factores de equivalencia también son calculados para cada una de las tipologías de camiones, esto para analizar la variabilidad entre cada uno de ellos.

Estos factores no son usados en el cálculo del flujo de saturación base, con argumento en que se presentan muy pocos datos. Esto se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28 intervalo de paso entre las diferentes tipologías de camiones.

Tipo	Tiempo Promedio entre 4-10 Veh
<u>C2P</u>	<u>3.76</u>
<u>C2G</u>	<u>4.37</u>
<u>C3</u>	<u>4.39</u>
<u>C6</u>	<u>6.54</u>

Fuente: El Autor.

En la Tabla 28 se muestran los intervalos de paso de las diferentes clases de camiones donde se resalta que el rango entre cada uno de estos tipos es alto. En la Tabla 29 se muestran los factores de equivalencia para los tipos de camión.

Tabla 29 factor de equivalencia diferentes tipos de camión

Tipo	Factor de Equivalencia
C2P	1.71
C2G	1.99
C3	2.00
C6	2.98

Fuente: El Autor.

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE AJUSTE POR VEHÍCULOS

A continuación se muestra el proceso para determinar el factor de ajuste por vehículos pesados y motos para la carrera sexta con calle 53 con sentido sur

Tabla 30 porcentajes de vehículos para la intersección carrera 6 con calle 53

INTERSECCIÓN	AUTOS	BUSES	CAMIÓN	MOTO
CARRERA 6 CON CALLE 53	96.64%	0.84%	1.68%	0.84%
	97.71%	0.76%	0.00%	1.53%

Fuente: El Autor.

Con los datos mostrados en las Tablas 29 y 30 se calcula el factor de vehículos pesados y motos para la carrera 6 con calle 53.

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + \%B(EB - 1) + \%C(EC - 1) + \%M(EM - 1)}$$

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + 0.84(1.587 - 1) + 1.68(2.015 - 1) + 0.84(0.606 - 1)}$$

$$f_{HV} = 0.98164$$

Valor que significa que en el proceso del cálculo del flujo de saturación real, este valor reduciría el flujo de saturación ideal o base en cierta medida.

En la Tabla 31 se muestra el resumen de los factores de ajuste por vehículos pesados y motos hallados para cada uno de los puntos de estudio.

Tabla 31 factor de ajuste por vehículos pesados y motos

Intersección	Fhv
<u>CARRERA 6 CON CALLE 53</u>	0.981
	1.001
<u>CARRERA 6 CON CALLE 48</u>	0.986
	0.982
<u>AVENIDA UNIVERSITARIA CON CALLE 49</u>	0.998
	0.968
<u>CARRERA 6 CON CALLE 37a</u>	0.993
	0.975
<u>DIAGONAL 38 CON CALLE 32</u>	1.001
	1.001
	1.000
<u>DIAGONAL 38 CON CARRERA14</u>	0.992
<u>AVENIDA ORIENTAL 26 CON CARRERA 7</u>	0.980
	0.979

Fuente: El Autor.

5.2.3 Factor de ajuste por pendiente (f_g)

Este factor tiene en cuenta el efecto de las rampas y pendientes, y se aplica un factor de corrección, este factor se mantiene para pendientes entre un rango de -6% a 10%.

Con la fórmula que se muestra a continuación se determinan los valores del factor de ajuste por pendiente para cada uno de los puntos en estudio resaltando que debido a que los puntos en estudio presentan rampas de acceso moderadas, características de un terreno entre plano y ondulado, razón por la cual el efecto de la pendiente no será mayor.

$$f_g = 1 - \frac{\%G}{200}$$

Dónde:

f_g = factor de ajuste por pendiente

$\%G$ = pendiente en porcentaje.

A continuación en la Tabla 32 se muestra el cálculo realizado a cada uno de los valores de ancho de carril para así establecer el factor de ajuste correspondiente.

Tabla 32 Pendiente longitudinal para cada uno de los puntos de estudio.

Intersección	Acceso	Pendiente Longitudinal
CARRERA 6 CON CALLE 53	SUR	-0.73%
	NORTE	-1.70%
CARRERA 6 CON CALLE 48	SUR	0.50%
	NORTE	2.30%
AVENIDA UNIVERSITARIA CON CALLE 49	SUR	-3.00%
	NORTE	0.90%
CARRERA 6 CON CALLE 37a	SUR	0.70%
	NORTE	0.30%
DIAGONAL 38 CON CALLE 32	ESTE	1.00%
	OESTE	3.00%
	SUR	-2.40%
DIAGONAL 38 CON CARRERA14	OESTE	-5.70%
AVENIDA ORIENTAL 26 CON CARRERA 7	SUR	1.42%
	NORTE	4.33%

Fuente: El Autor.

Cálculo factor de ajuste por pendiente

A continuación se muestra el proceso de cálculo para la carrera 6 con calle 53 en sentido sur la cual tiene una pendiente longitudinal de acceso de -0.73%.

Para $G = -0.73\%$

$$fg = 1 - \frac{G\%}{200}$$

$$fg = 1 + \frac{0.73}{200}$$

$$fg = 1.0036$$

El valor que se calcula anteriormente, es hallado mediante el método de fórmula, y este lo que quiere decir es que al ser un valor mayor a uno aumentara el resultado del flujo de saturación

Para cada uno de los valores de pendiente se hallan los factores de ajuste por grado de inclinación, lo cual se muestra en la Tabla 33.

Tabla 33 factor de ajuste por pendiente para cada uno de los puntos de estudio.

Intersección	Acceso	Pendiente Longitudinal	Fg (Formula)
<u>CARRERA 6 CON CALLE 53</u>	SUR	-0.73%	1.004
	NORTE	-1.70%	1.009
<u>CARRERA 6 CON CALLE 48</u>	SUR	0.50%	0.998
	NORTE	2.30%	0.989
<u>AVENIDA UNIVERSITARIA CON CALLE 49</u>	SUR	-3.00%	1.015
	NORTE	0.90%	0.996
<u>CARRERA 6 CON CALLE 37a</u>	SUR	0.70%	0.997
	NORTE	0.30%	0.999
<u>DIAGONAL 38 CON CALLE 32</u>	ESTE	1.00%	0.995
	OESTE	3.00%	0.985
	SUR	-2.40%	1.012
<u>DIAGONAL 38 CON CARRERA14</u>	OESTE	-5.70%	1.029
<u>AVENIDA ORIENTAL 26 CON CARRERA 7</u>	SUR	1.42%	0.993
	NORTE	4.33%	0.978

Fuente: El Autor.

Debido a que se muestra que los valores obtenidos son muy cercanos a uno se infiere en que la pendiente no afecta en gran medida al flujo de saturación.

5.2.4 Factor de ajuste de estacionamiento

Para efectos de esta tesis este factor no se calcula, obedeciendo a que los datos que se tomaron en campo se asemejan a los de las condiciones ideales, en las cuales no existen estacionamientos en cercanías a la intersección.

5.2.5 Factor de ajuste por bloqueo de bus

Para efectos de esta tesis este factor no se calcula, obedeciendo a que los datos que se tomaron en campo se asemejan a los de las condiciones ideales, en las cuales no existen las paradas de buses, razón de más para imposibilitar la toma del flujo de saturación.

5.2.6 Factor de ajuste por tipo de área.

En este caso la gran mayoría de puntos de estudio se encuentran en zonas altamente comerciales, razón por la cual su factor de ajuste debería corresponder a 0.9, más por el contrario, como se tomaron flujos con unas condiciones especiales, en las cuales no influyen ni peatones, ni demás agentes que modifican el tránsito, se infiere en que este valor debe corresponder a 1 esto se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34 Factor de ajuste por tipo de área.

Intersección	Acceso	Factor De Ajuste Por Tipo De Área
CARRERA 6 CON CALLE 53	SUR	1.00
	NORTE	1.00
CARRERA 6 CON CALLE 48	SUR	1.00
	NORTE	1.00
AVENIDA UNIVERSITARIA CON CALLE 49	SUR	1.00
	NORTE	1.00
CARRERA 6 CON CALLE 37a	SUR	1.00
	NORTE	1.00
DIAGONAL 38 CON CALLE 32	ESTE	1.00
	OESTE	1.00
	SUR	1.00
DIAGONAL 38 CON CARRERA14	OESTE	1.00
AVENIDA ORIENTAL 26 CON CARRERA 7	SUR	1.00
	NORTE	1.00

Fuente: El Autor.

5.2.7 Factor de ajuste por utilización del carril (fu)

Debido a que en todos los casos el flujo de saturación se tomó únicamente en un carril, este factor corresponde a 1 en todos los casos que competen al estudio.

5.2.8 Factor de ajuste por giros a la derecha

En la medición del flujo de saturación, se tuvo en cuenta que los flujos que se dieran en cada uno de los accesos correspondiera únicamente a directos, razón por la cual este factor de ajuste corresponde a 1.

Únicamente se tomó un carril con movimiento exclusivo a la derecha que corresponde al del acceso sur de la *Intersección (diagonal 38 con calle 32)*, para este acceso su factor de ajuste por giros a la derecha corresponde a 0.85, esto obedeciendo a las pautas que se presentan en el HCM.

Tabla 35 factor de ajuste por giro a la derecha

Intersección	Acceso	Factor De Ajuste Por Giro A La Derecha
CARRERA 6 CON CALLE 53	SUR	1.00
	NORTE	1.00
CARRERA 6 CON CALLE 48	SUR	1.00
	NORTE	1.00
AVENIDA UNIVERSITARIA CON CALLE 49	SUR	1.00
	NORTE	1.00
CARRERA 6 CON CALLE 37a	SUR	1.00
	NORTE	1.00
DIAGONAL 38 CON CALLE 32	ESTE	1.00
	OESTE	1.00
	SUR	0.85
DIAGONAL 38 CON CARRERA14	OESTE	1.00
AVENIDA ORIENTAL 26 CON CARRERA 7	SUR	1.00
	NORTE	1.00

Fuente: El Autor.

Este valor también se toma para detallar evaluar y analizar el comportamiento de los vehículos a los que únicamente se les permite el giro a la derecha, y en qué forma infiere el valor de ajuste recomendado por el HCM.

5.2.9 Factor de ajuste por vueltas a la izquierda

Para efectos de esta tesis este factor no se calcula, obedeciendo a que los datos que se tomaron en campo se asemejan a los de las condiciones ideales, por esta razón no se tomaron flujos en los cuales se permitiera el giro a la izquierda, por lo que el factor de ajuste por vueltas a la izquierda para cada uno de los puntos de estudio corresponde a 1.

5.2.10 Factor de ajuste izquierdo peatones y ciclistas

Para efectos de esta tesis este factor no se calcula, obedeciendo a que los datos que se tomaron en campo se asemejan a los de las condiciones ideales, por esta razón no se tomaron flujos en los cuales se permitiera el giro a la izquierda, por esta razón, tampoco existen peatones o ciclistas en el giro a la izquierda, y con esto el factor de ajuste izquierdo peatones y ciclistas corresponde a 1 para todos los casos.

5.2.11 Factor de ajuste derecho peatones y ciclistas.

Como se mencionó anteriormente para efectos de esta tesis este factor no se calcula, obedeciendo a que se siguen unas condiciones específicas en las cuales no se aceptan la presencia de peatones y ciclistas cuando se toma la información, además de esto este valor únicamente podría afectar al acceso que cuenta con este giro y que corresponde al del acceso sur de la *Intersección (diagonal 38 con calle 32)*, pero por las razones anteriormente mencionadas para este factor se da el valor de 1 en todos los casos.

5.3 CALCULO DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE.

Para el cálculo del flujo de saturación real en intersecciones la Transportation Research Board a través de su manual Highway Capacity Manual plantea la siguiente ecuación

$$S = S_0 * N * Fw * FHV * Fg * Fp * Fbb * Fa * FLU * FLT * FRT * FLpb * FRp$$

Donde a un flujo de saturación base o en condiciones ideales, se le aplican unos factores de reducción los cuales lo reducen hasta llegar a unas condiciones que representan la realidad, "un modelo". Por consiguiente se ha planteado llevar el proceso inverso en el cual se tiene el flujo de saturación real de los accesos e

intersecciones, y se le aplicaran factores que lo lleven hasta lo ideal para así llegar hasta encontrar el flujo de saturación base.

Con la siguiente expresión se muestra lo anteriormente mencionado:

$$S_o = \frac{S}{N * F_w * F_{HV} * F_g * F_p * F_{bb} * F_a * F_{LU} * F_{LT} * F_{RT} * F_{LPb} * F_{Rp}}$$

De la manera en la que se muestra la expresión se determina el valor del flujo de saturación base. Seguido se presenta el proceso de cálculo para el acceso sur de la carrera sexta con calle 53 Donde se tiene las siguientes características:

- Grupo de carriles: T
- Número de carriles N: 1
- Flujo de saturación medido en campo: Si (veh/h verde/carril) 1606
- Factor de ajuste por ancho de carriles: fw 0.938
- Factor de ajuste por vehículos pesados: fhv 0.981
- Factor de ajuste por pendientes del acceso: fg 1.00365
- Factor de ajuste por estacionamiento: fp 1
- Factor de ajuste por bloqueo de buses: fbb 1
- Factor de ajuste por tipo de área: fa 1
- Factor de ajuste por utilización de carril: Flu 1
- Factor de ajuste por vueltas a la izquierda: fL 1
- Factor de ajuste por vueltas a la derecha: fR 1
- Factor de ajuste izquierdo peatones y ciclistas: fLPb 1
- Factor de ajuste derecho peatones y ciclistas: fRPb 1

Con los valores que se muestran anteriormente se determina el flujo de saturación base para el acceso:

$$S_o = \frac{S}{N * F_w * F_{HV} * F_g * F_p * F_{bb} * F_a * F_{LU} * F_{LT} * F_{RT} * F_{LPb} * F_{Rp}}$$

$$S_o = \frac{1606 \text{ veh/h verde/carril}}{1 * 0.938 * 0.981 * 1.00365 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1 * 1}$$

$$S_o = 1737.827 \text{ veh ligeros/h verde/carril}$$

Debido a que el flujo de saturación es una variable cuantitativa discreta, el valor se debe dar en número entero, por esto:

$$S_o = 1737 \text{ veh ligeros/h verde/carril}$$

Para cada uno de los puntos de estudio se ha determinado el valor del flujo de saturación base de la manera anteriormente mostrada.

5.3.1 Flujo de saturación base intersección carrera 6 con calle 53.

Tabla 36 Flujo de saturación base intersección carrera 6 con calle 53

Intersección Carrera 6 con Calle 53		
Accesos	Sur	Norte
Grupo de carriles	<u>1</u>	<u>1</u>
Número de carriles: N_i	<u>1</u>	<u>1</u>
flujo de saturación medido en campo: S_i (veh/h verde/carril)	<u>1606</u>	<u>1602</u>
factor de ajuste por ancho de carriles: f_w	<u>0.938</u>	<u>0.94911111</u>
factor de ajuste por vehículos pesados: f_{hv}	<u>0.981643343</u>	<u>1.00151789</u>
factor de ajuste por pendientes del acceso: f_g	<u>1.00365</u>	<u>1.0085</u>
factor de ajuste por estacionamiento: f_p	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por bloqueo de buses: f_{bb}	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por tipo de área: f_a	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por utilización de carril: f_{Lu}	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por vueltas a la izquierda: f_L	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por vueltas a la derecha: f_R	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste izquierdo peatones y ciclistas: f_{LPb}	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste derecho peatones y ciclistas: f_{RPb}	<u>1</u>	<u>1</u>
flujo de saturación base : S_o (veh/h verde/carril)	<u>1737.82759</u>	<u>1671.13232</u>

Fuente: El Autor.

Esta intersección presenta para sus dos accesos un flujo de saturación medido muy cercano, presenta variaciones así como en su ancho de carril y la pendiente de la rampa de acceso, por esto el flujo de saturación base varía para los accesos con algo más de 65 vehículos ligeros (Tabla 36).

5.3.2 Flujo de saturación base intersección carrera 6 con calle 48.

Esta intersección cuenta con características homogéneas para sus accesos, por lo que su variación en gran medida se da por los flujos de saturación medidos en campo (Tabla 37).

Tabla 37 Flujo de saturación base intersección carrera 6 con calle 48.

Intersección Carrera 6 con Calle 48		
Accesos	Sur	Norte
Grupo de carriles	<u>1</u>	<u>1</u>
Número de carriles: Ni	<u>1</u>	<u>1</u>
flujo de saturación medido en campo: Si (veh/h verde/carril)	<u>1622</u>	<u>1643</u>
factor de ajuste por ancho de carriles: fw	<u>0.971</u>	<u>0.971</u>
factor de ajuste por vehículos pesados: fhv	<u>0.987</u>	<u>0.983</u>
factor de ajuste por pendientes del acceso: fg	<u>0.997</u>	<u>0.988</u>
factor de ajuste por estacionamiento: fp	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por bloqueo de buses: fbb	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por tipo de área: fa	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por utilización de carril: Flu	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por vueltas a la izquierda: fL	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por vueltas a la derecha: fR	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste izquierdo peatones y ciclistas: fLPb	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste derecho peatones y ciclistas: fRPb	<u>1</u>	<u>1</u>
flujo de saturación base : So (veh/h verde/carril)	<u>1697</u>	<u>1741</u>

Fuente: El Autor.

5.3.3 Flujo de saturación base intersección avenida universitaria con calle 49.

Para esta intersección se presentan variaciones con los vehículos pesados y la pendiente de ambos sentidos (Tabla 38), razón por la que se muestra una diferencia entre los flujos ideales.

Tabla 38 Flujo de saturación base intersección avenida universitaria con calle 49.

Intersección Avenida Universitaria Con Calle 49		
ACCESOS	SUR	NORTE
Grupo de carriles	<u>I</u>	<u>I</u>
Número de carriles: Ni	<u>1</u>	<u>1</u>
flujo de saturación medido en campo: Si (veh/h verde/carril)	<u>1621</u>	<u>1579</u>
factor de ajuste por ancho de carriles: fw	<u>0.938</u>	<u>0.938</u>
factor de ajuste por vehículos pesados: fhv	<u>0.998</u>	<u>0.968</u>
factor de ajuste por pendientes del acceso: fg	<u>1.015</u>	<u>0.995</u>
factor de ajuste por estacionamiento: fp	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por bloqueo de buses: fbb	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por tipo de área: fa	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por utilización de carril: Flu	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por vueltas a la izquierda: fL	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por vueltas a la derecha: fR	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste izquierdo peatones y ciclistas: fLPb	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste derecho peatones y ciclistas: fRPb	<u>1</u>	<u>1</u>
flujo de saturación base : So (veh/h verde/carril)	<u>1706</u>	<u>1746</u>

Fuente: El Autor.

5.3.4 Flujo de saturación base intersección carrera 6 con calle 37ª.

Esta intersección presenta su mayor variación en su flujo de saturación medido en campo Tabla 39.

Tabla 39 Flujo de saturación base intersección carrera 6 con calle 37ª.

Intersección Carrera 6 con Calle 37a		
Accesos	Sur	Norte
Grupo de carriles	<u>I</u>	<u>I</u>
Número de carriles: Ni	<u>1</u>	<u>1</u>
flujo de saturación medido en campo: Si (veh/h verde/carril)	<u>1666</u>	<u>1692</u>
factor de ajuste por ancho de carriles: fw	<u>0.966</u>	<u>0.960</u>
factor de ajuste por vehículos pesados: fhv	<u>0.993</u>	<u>0.975</u>
factor de ajuste por pendientes del acceso: fg	<u>0.996</u>	<u>0.998</u>
factor de ajuste por estacionamiento: fp	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por bloqueo de buses: fbb	<u>1</u>	<u>1</u>

factor de ajuste por tipo de área: fa	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por utilización de carril: Flu	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por vueltas a la izquierda: fL	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por vueltas a la derecha: fR	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste izquierdo peatones y ciclistas: fLPb	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste derecho peatones y ciclistas: fRPb	<u>1</u>	<u>1</u>
flujo de saturación base : So (veh/h verde/carril)	1743	1809

Fuente: El Autor.

5.3.5 Flujo de saturación base intersección Diagonal 38 con calle 32.

Esta intersección la variación que presenta está representada con su acceso sur, donde se tomaron únicamente flujos de saturación con giro a la derecha, razón por la cual se le aplicó el factor de ajuste de giro a la derecha, y de este modo se llega a un flujo de saturación base mucho más alto que para los otros casos, por lo que se podría llegar a inferir en que este factor de ajuste podría llegar a ser un poco alto Tabla 40.

Tabla 40 Flujo de saturación base intersección diagonal 38 con calle 32

Intersección Diagonal 38 Con Calle 32			
Accesos	Este	Oeste	Sur
Grupo de carriles	<u>I</u>	<u>I</u>	<u>R</u>
Número de carriles: Ni	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
flujo de saturación medido en campo: Si (veh/h verde/carril)	1625	1664	1593
factor de ajuste por ancho de carriles: fw	<u>0.971</u>	<u>0.971</u>	<u>0.971</u>
factor de ajuste por vehículos pesados: fhv	<u>1.001</u>	<u>1.001</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por pendientes del acceso: fg	<u>0.995</u>	<u>0.985</u>	<u>1.012</u>
factor de ajuste por estacionamiento: fp	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por bloqueo de buses: fbb	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por tipo de área: fa	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por utilización de carril: Flu	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por vueltas a la izquierda: fL	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por vueltas a la derecha: fR	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>0.85</u>
factor de ajuste izquierdo peatones y ciclistas: fLPb	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste derecho peatones y ciclistas: fRPb	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>
flujo de saturación base : So (veh/h verde/carril)	1678	1736	1906

Fuente: El Autor.

5.3.6 Flujo de saturación base intersección Diagonal 38 con carrera 14.

Este acceso presenta condiciones muy similares a las del acceso oeste de la intersección diagonal 38 con calle 32 mostrado en la Tabla 40, por lo que su flujo de saturación base debe ser muy similar, aunque al calcularlos presentan variación Tabla 41, lo que puede ser debido a factores del tránsito así como el día en el que se realizó la toma de información, y la composición vehicular.

Tabla 41 Flujo de saturación base intersección diagonal 38 con carrera 14

Intersección Diagonal 38 con Carrera 14	
Accesos	Oeste
Grupo de carriles	I
Número de carriles: Ni	1
flujo de saturación medido en campo: Si (veh/h verde/carril)	1664
factor de ajuste por ancho de carriles: fw	0.971
factor de ajuste por vehículos pesados: fhv	0.992
factor de ajuste por pendientes del acceso: fg	1.028
factor de ajuste por estacionamiento: fp	1
factor de ajuste por bloqueo de buses: fbb	1
factor de ajuste por tipo de área: fa	1
factor de ajuste por utilización de carril: Flu	1
factor de ajuste por vueltas a la izquierda: fL	1
factor de ajuste por vueltas a la derecha: fR	1
factor de ajuste izquierdo peatones y ciclistas: fLPb	1
factor de ajuste derecho peatones y ciclistas: fRPb	1
flujo de saturación base : So (veh/h verde/carril)	1679

Fuente: El Autor.

5.3.7 Flujo de saturación base intersección Carrera 6 con Calle 48.

Presenta flujos de saturación base muy cercanos debido a sus condiciones de servicio tan similares (Tabla 42).

Tabla 42 Flujo de saturación base intersección carrera 6 con calle 48

Intersección Avenida Oriental con Carrera 7		
Accesos	Sur	Norte
Grupo de carriles	<u>1</u>	<u>1</u>
Número de carriles: Ni	<u>1</u>	<u>1</u>
flujo de saturación medido en campo: Si (veh/h verde/carril)	<u>1641</u>	<u>1630</u>
factor de ajuste por ancho de carriles: fw	<u>0.949</u>	<u>0.949</u>
factor de ajuste por vehículos pesados: fhv	<u>0.981</u>	<u>0.979</u>
factor de ajuste por pendientes del acceso: fg	<u>0.993</u>	<u>0.978</u>
factor de ajuste por estacionamiento: fp	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por bloqueo de buses: fbb	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por tipo de área: fa	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por utilización de carril: Flu	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por vueltas a la izquierda: fL	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste por vueltas a la derecha: fR	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste izquierdo peatones y ciclistas: fLPb	<u>1</u>	<u>1</u>
factor de ajuste derecho peatones y ciclistas: fRPb	<u>1</u>	<u>1</u>
flujo de saturación base : So (veh/h verde/carril)	<u>1775</u>	<u>1792</u>

Fuente: El Autor.

5.4 FLUJO DE SATURACIÓN BASE REPRESENTATIVO PARA LA CIUDAD DE TUNJA

A continuación se muestran algunos procesos estadísticos realizados para así determinar el valor del flujo de saturación base para la ciudad de Tunja.

Tabla 43 medidas estadísticas

Medidas de Tendencia Estadística		
	<u>1</u>	<u>2</u>
<u>MEDIA</u>	<u>1745</u>	<u>1732</u>
<u>DESV ESTÁNDAR</u>	<u>62.428</u>	<u>43.390</u>
<u>MEDIA ARMÓNICA</u>	<u>1742.</u>	<u>1731</u>
<u>MEDIA GEOMÉTRICA</u>	<u>1743.</u>	<u>1732</u>
<u>MEDIANA</u>	<u>1739</u>	<u>1738</u>

Fuente: El Autor.

Las casillas que se encuentran en la columna 1 en la Tabla 43 corresponden a la aplicación de la estadística de todos los datos de flujo de saturación base hallados.

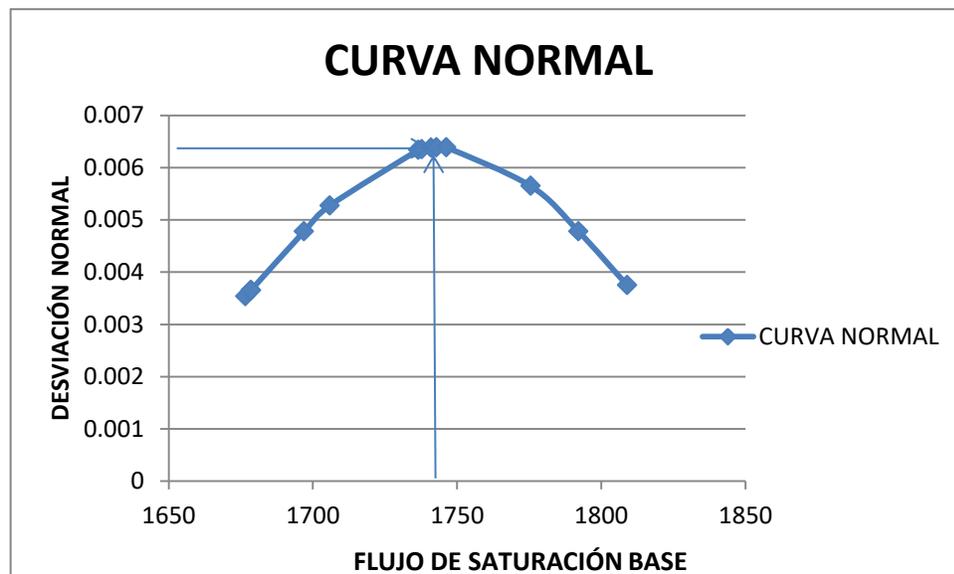
Las casillas que se encuentran en la columna 2 de la Tabla 43 corresponden a la aplicación de la estadística a los datos determinados únicamente para los flujos directos, lo que quiere decir que se exige el valor del flujo de saturación base para la diagonal 38 con calle 32 en el acceso sur, donde únicamente se dio el giro a la derecha.

Mediante esta tabla se llega a afirmar que el flujo de saturación base para la ciudad de Tunja se encuentra en un rango de entre 1745 y 1732 vehículos ligeros/hora de verde/ carril.

5.5 CURVA NORMAL

Mediante el uso de la curva normal se decide normalizar los datos de tal manera que se evidencie la cercanía de varios valores al valor promedio del flujo de saturación (Gráfica 1). Para la obtención de la gráfica se ha descartado el valor de flujo de saturación atípico, correspondiente al valor para la diagonal 38 con calle 32 en el acceso sur, donde únicamente se dio el giro a la derecha.

Gráfica 1 curva normal flujo de saturación base.



Fuente: El Autor.

Mediante la utilización de la curva normal se llega a determinar que el valor del flujo de saturación es muy cercano a los 1742 vehículos ligeros/ hora de verde/ carril.

5.6 FLUJO DE SATURACIÓN TÍPICO.

Mediante el uso de los valores típicos, o promedio de los ya calculados, se halla el valor del flujo de saturación base, para el cual se utilizó las siguientes características:

Intervalo de paso de vehículos ligeros: 2.194 segundos/vehículo ligero, con el cual se determina un flujo de saturación medido de la siguiente manera:

$$S = \frac{3600 \text{ Segundos}}{\text{intervalo de paso promedio para vehiculos ligeros}}$$

$$S = \frac{3600 \text{ Segundos}}{2.194 \text{ segundos/vehículo ligero/carril}}$$

$$S = 1641.12 \text{ Vehículos ligeros/ hora de verde/ carril.}$$

$$S = 1641 \text{ Vehículos ligeros/ hora de verde/ carril}$$

- Ancho de carril: se determina utilizar el valor promedio de los anchos de carril utilizados, valor el cual corresponde a tres metros y treinta centímetros (3.3m), valor referencia para una vía secundaria con una velocidad de diseño de 50 km/hora, razón por la cual es lo más pertinente.
- Pendiente media del 1%: valor de referencia obtenido de los promedios de las pendientes utilizadas. Y un valor que no afecta en gran medida la ecuación.

La Tabla 44 muestra los datos de la intersección típica:

Tabla 44 flujo de saturación intersección típica

Intersección Típica	
Accesos	Típico
grupo de carriles	<u>1</u>
Número de carriles: N_i	<u>1</u>
flujo de saturación medido en campo: S_i (veh/h verde/carril)	<u>1641</u>
factor de ajuste por ancho de carriles: f_w	<u>0.949</u>
factor de ajuste por vehículos pesados: f_{hv}	<u>1</u>
factor de ajuste por pendientes del acceso: f_g	<u>0.995</u>
factor de ajuste por estacionamiento: f_p	<u>1</u>
factor de ajuste por bloqueo de buses: f_{bb}	<u>1</u>
factor de ajuste por tipo de área: f_a	<u>1</u>
factor de ajuste por utilización de carril: F_{lu}	<u>1</u>
factor de ajuste por vueltas a la izquierda: f_L	<u>1</u>
factor de ajuste por vueltas a la derecha: f_R	<u>1</u>
factor de ajuste izquierdo peatones y ciclistas: f_{LPb}	<u>1</u>
factor de ajuste derecho peatones y ciclistas: f_{RPb}	<u>1</u>
flujo de saturación base : S_o (veh/h verde/carril)	<u>1738</u>

Fuente: El Autor.

El valor del flujo de saturación base calculado para la intersección típica se asemeja mucho al valor hallado para las otras intersecciones, razón por la cual se determina que el valor del flujo de saturación para la ciudad de Tunja es de 1740 Vehículos ligeros/ hora de verde/ carril.

Este valor resulta ser muy cercano al que se presenta en el HCM para este tipo de ciudades de 1750 Vehículos ligeros/ hora de verde/ carril.

Por lo que se llega a inferir en que la metodología adoptada del HCM para el cálculo del flujo de saturación base y real llega a ser acertada.

5.7 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE AJUSTE POR ANCHO DE CARRIL.

Para las condiciones obtenidas en el estudio es importante determinar con datos de campo la real incidencia del ancho de carril sobre el flujo de saturación bajo las condiciones existentes de tal forma establecer el grado en el que influye sobre como los carriles anchos permiten un aumento gradual en el flujo de vehículos, lo

que por el contrario los carriles angostos disminuyen dicho flujo, dicho esto se muestra el paso realizado para hallar el valor de los factores y la ecuación que permiten determinar el grado de aumento o disminución del flujo.

Para llevar a cabo la determinación de este valor se hace necesario realizar una gráfica que muestre la relación y variabilidad del flujo de saturación base con respecto al ancho de carril. Por esta razón se grafica el ancho de carril de los puntos en estudio contra el flujo de saturación base afectado por todos los factores y exceptuando el factor de ancho de carril, estos datos se muestran en la Tabla 45 y la Gráfica 2 factor de ajuste por ancho de carril vs flujo de saturación base no afectado por fw.

Tabla 45 determinación factor de ajuste por ancho de carril

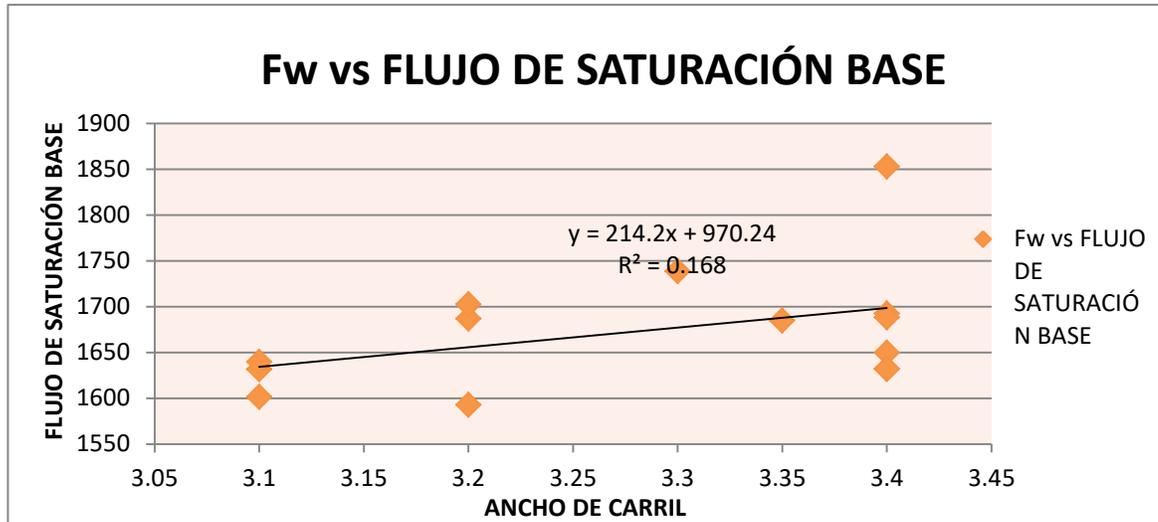
<i>Intersección</i>	<i>Acceso</i>	<i>Ancho De Carril</i>	<i>Flujo de Sat. Base (Veh Equivalentes/H Verde/Carril)</i>	<i>Factor De Ajuste Por Ancho De Carril</i>	<i>Flujo De Sat. Base (Sin Factor Por Ancho De Carril)</i>
CARRERA 6 CON CALLE 53	SUR	3.1	1738	0.939	1632
	NORTE	3.2	1677	0.950	1593
CARRERA 6 CON CALLE 48	SUR	3.4	1697	0.972	1650
	NORTE	3.4	1741	0.972	1693
AVENIDA UNIVERSITARIA CON CALLE 49	SUR	3.1	1706	0.939	1602
	NORTE	3.1	1746	0.939	1640
CARRERA 6 CON CALLE 37a	SUR	3.35	1743	0.967	1685
	NORTE	3.3	1809	0.961	1739
DIAGONAL 38 CON CALLE 32	ESTE	3.4	1679	0.972	1632
	OESTE	3.4	1737	0.972	1688
	SUR	3.4	1906	0.972	1853
DIAGONAL 38 CON CARRERA14	OESTE	3.4	1679	0.972	1632
AVENIDA ORIENTAL 26 CON CARRERA 7	SUR	3.2	1776	0.950	1687
	NORTE	3.2	1792	0.950	1703

Fuente: El Autor.

Con los datos mostrados anteriormente se realiza la Gráfica 2 que muestra la dispersión de los datos del flujo de saturación no afectados por el ajuste de ancho

de carril Fw, que se muestran en una tendencia creciente a medida se aumenta el ancho.

Gráfica 2 factor de ajuste por ancho de carril vs flujo de saturación base no afectado por fw



Fuente: El Autor.

En la Gráfica 2, la tendencia que más se ajusta a los datos es del tipo lineal, con un coeficiente de correlación muy bajo, la ecuación presentada representa el valor del flujo de saturación base en función del ancho de carril.

El motivo de realizar la gráfica de los valores de flujo de saturación sin ser afectados por el ancho de carril obedece a que el valor de los datos registrados en el plano Y (flujo de saturación base) deben estar en función del plano x (ancho de carril), y este valor está en función de cada uno de los anchos que son variables.

Con esta ecuación se comparan los valores de los factores por los métodos de HCM y de este procedimiento, encontrando una gran similitud.

En la Tabla 46 se muestran los valores hallados, donde la columna uno corresponde al ancho de carril, la columna dos corresponde al factor de ajuste HCM, la columna tres corresponde al flujo de saturación base tomando como referencia un valor de 1750 veh/hora de verde/ carril, y siendo afectado por cada uno de los factores de ajuste HCM, la columna cuatro muestra la diferencia o aumento entre cada ancho de carril el cual se da en aumentos graduales de cinco centímetros (5cm), el valor de la columna cinco corresponde al valor del flujo de

saturación calculado a partir de la ecuación de la línea de tendencia, como se muestra en el siguiente ejemplo:

$$\text{Ecuación de la recta: } y = 214.2x + 970.24$$

Para un $X = \text{ancho de carril} = 3.65\text{m}$

$$y = 214.2 * 3.65 + 970.24$$

$$y = 1752 \text{ vehiculos ligeros}$$

Mediante esta expresión de comportamiento se encuentra que el valor para un ancho de carril de 3.65 metros se obtienen 1752 vehículos ligeros/hora de verde /carril, y mediante el uso de la fórmula HCM se obtiene 1750 vehículos ligeros/hora de verde /carril, razón por la cual se afirma que aunque los datos no se ajustan a la recta, si se obtiene valores de saturación muy cercanos.

En la columna seis se muestra la diferencia de flujos, donde se muestra un aumento gradual de aproximadamente diez punto siete vehículos por cada cinco centímetros de aumento en el ancho de carril, que al compararlo con el valor dado por el HCM es mayor, en un vehículo, lo que quiere decir que el ancho de carril influye de una mayor manera para el tipo de intersecciones en estudio, que para las estudiadas en el HCM.

En la columna siete se muestra el factor hallado para cada uno de los anchos de carril, este valor se obtiene al dividir el valor del flujo de saturación base para cada uno de los anchos de carril en el flujo de saturación normalizado, (valor correspondiente a un ancho de carril de 3.65m), así como se muestra en el siguiente ejemplo.

Valor de flujo de saturación para $w=3.3\text{m} = 1677\text{veh/h/carril}$

Valor del flujo de saturación para $w=3.65\text{m} = 1752 \text{ veh/h/carril}$.

$$\text{Por lo tanto } F_w \text{ para } 3.3\text{m} = \frac{1677\text{veh/h/carril}}{1752 \text{ veh/h/carril.}}$$

$$F_w \text{ para } 3.3 = 0.9572.$$

$$F_w \text{ para } 3.3 \text{ mediante fórmula HCM} = 0.961$$

Para el cálculo anterior se muestra la proximidad de los resultados mediante los dos métodos.

A continuación se muestra la Tabla 46 que resume lo anteriormente mencionado.

Tabla 46 resumen factor de ancho de carril hallado

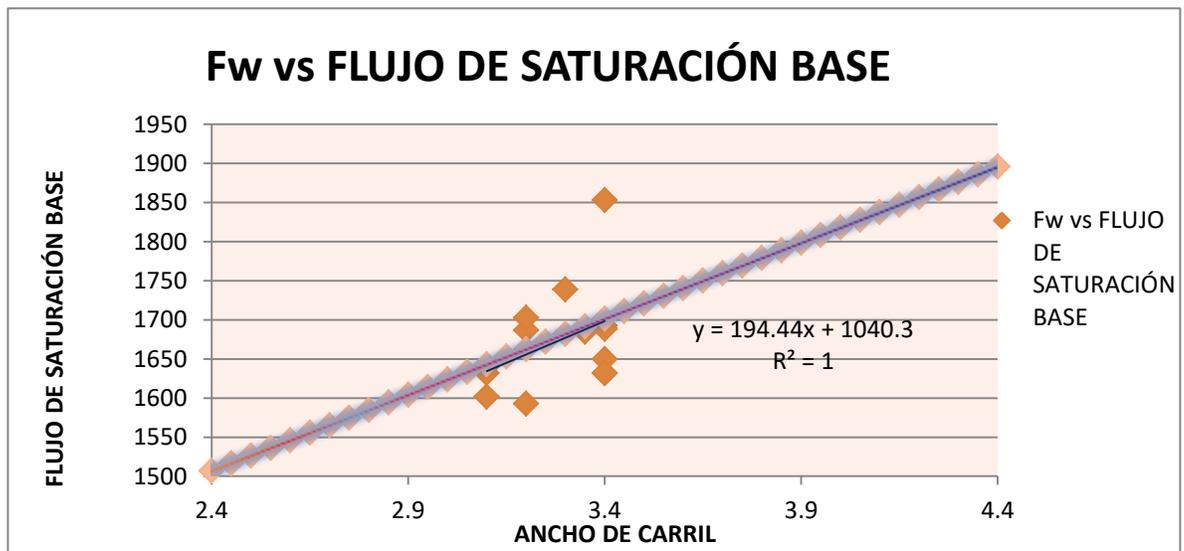
Ancho de Carril	Factor HCM	Flujo De Sat Base HCM	Diferencia	Flujo Con Factor Fw	Diferencia	Factor Hallado
4.4	1.083	1895	9.72	1912.72	10.71	1.091
4.35	1.077	1886	9.72	1902.01	10.71	1.085
4.3	1.072	1876	9.72	1891.30	10.71	1.079
4.25	1.066	1867	9.72	1880.59	10.71	1.073
4.2	1.061	1857	9.72	1869.88	10.71	1.067
4.15	1.055	1847	9.72	1859.17	10.71	1.061
4.1	1.05	1837	9.72	1848.46	10.71	1.055
4.05	1.044	1823	9.72	1837.75	10.71	1.048
4	1.038	1818	9.72	1827.04	10.71	1.042
3.95	1.033	1808	9.72	1816.33	10.71	1.036
3.9	1.027	1798	9.72	1805.62	10.71	1.030
3.85	1.022	1789	9.72	1794.91	10.71	1.024
3.8	1.016	1779	9.72	1784.20	10.71	1.018
3.75	1.011	1769	9.72	1773.49	10.71	1.012
3.7	1.005	1759	9.72	1762.78	10.71	1.006
3.65	1	1750	9.72	1752.07	10.71	1
3.6	0.994	1740	9.72	1741.36	10.71	0.993
3.55	0.988	1730	9.72	1730.65	10.71	0.987
3.5	0.983	1720	9.72	1719.94	10.71	0.981
3.45	0.977	1711	9.72	1709.23	10.71	0.975
3.4	0.972	1701	9.72	1698.52	10.71	0.969
3.35	0.966	1692	9.72	1687.81	10.71	0.963
3.3	0.961	1682	9.72	1677.10	10.71	0.957
3.25	0.955	1672	9.72	1666.39	10.71	0.951
3.2	0.95	1663	9.72	1655.68	10.71	0.944
3.15	0.944	1653	9.72	1644.97	10.71	0.938
3.1	0.938	1643	9.72	1634.26	10.71	0.932
3.05	0.933	1633	9.72	1623.55	10.71	0.926
3	0.927	1627	9.72	1612.84	10.71	0.920
2.95	0.922	1614	9.72	1602.13	10.71	0.914
2.9	0.916	1604	9.72	1591.42	10.71	0.908

2.85	0.911	1594	9.72	1580.71	10.71	0.902
2.8	0.905	1585	9.72	1570	10.71	0.896
2.75	0.9	1575	9.72	1559.29	10.71	0.889
2.7	0.894	1565	9.72	1548.58	10.71	0.883
2.65	0.888	1555	9.72	1537.87	10.71	0.877
2.6	0.883	1546	9.72	1527.16	10.71	0.871
2.55	0.877	1536	9.72	1516.45	10.71	0.865
2.5	0.872	1526	9.72	1505.74	10.71	0.859
2.45	0.866	1517	9.72	1495.03	10.71	0.853
2.4	0.861	1507	-	1484.32	1484.32	0.847

Fuente: El Autor.

La Gráfica 3 muestra la línea de tendencia de los valores de flujo de saturación respecto a los anchos de carril mostrados en el HCM (color azul), y la cual se muestra junto a la línea de tendencia de la anterior serie de datos (color negro), lo cual demuestra la proximidad de los datos y que aunque la primer serie de datos es variada, de ella se obtiene una tendencia buena.

Gráfica 3 factor de ajuste por ancho de carril HCM



Fuente: El Autor.

Con lo mostrado anteriormente se determina la fórmula para el cálculo del factor de ajuste por ancho de carril de la siguiente manera.

Para $w = 3.3m$ y $Fw = 0.9572$.

Formula:

$$f_w = 1 + \frac{w - 3.658}{9}$$

La anterior ecuación muestra el aumento o reducción del factor de ajuste por ancho de carril, razón por la que se determina que el único valor que puede cambiar en la ecuación es el 9 o el número divisor, por lo que se recalcula dicho valor mediante el uso de valores ya encontrados, esto se muestra a continuación.

Para $w = 3.3\text{m}$ y $F_w = 0.9572$.

$$f_w = 1 + \frac{w - 3.65}{x}$$

Reemplazando datos en la ecuación se obtiene lo siguiente:

$$0.9572 = 1 + \frac{3.3 - 3.65}{x}$$

Expresado de otra forma se tiene que:

$$-0.043 = -\frac{0.35}{x}$$

$$x = \frac{0.35}{0.043}$$

$$x = 8.18$$

Por tanto la fórmula encontrada para el ajuste de los datos por ancho de carril corresponde a:

$$f_w = 1 + \frac{w - 3.65}{8.18}$$

De lo anterior se muestra un cambio significativo en la fórmula, se pasa de un divisor de 9 a 8.18, por esto se da el aumento gradual de un vehículo por cada 5 centímetros de ancho de carril, en comparación con el factor de ajuste dado por el HCM.

5.8 DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE AJUSTE POR PENDIENTE.

Es bien sabido que la pendiente influye en el flujo de saturación, el grado en el que influye es determinado para las condiciones existentes, de tal forma que la pendiente negativa permiten un aumento gradual en el flujo de vehículos, y por el contrario con la pendiente positiva se disminuyen dicho flujo, esto únicamente se cumple para una pendiente comprendida entre seis por ciento negativa y diez por ciento positiva (-6% ; 10%) dicho esto se muestra el paso realizado para hallar el valor de los factores y la ecuación que permiten determinar el grado de aumento o disminución del flujo.

Para llevar a cabo la determinación de este valor se hace necesario realizar una gráfica que muestre la relación y variabilidad del flujo de saturación base con respecto a la pendiente de la vía.

Por esta razón se grafica la pendiente longitudinal del acceso de los puntos en estudio contra el flujo de saturación base afectado por todos los factores y exceptuando el factor de ancho de pendiente, estos datos se muestran en la Tabla 47 y en la Gráfica 4

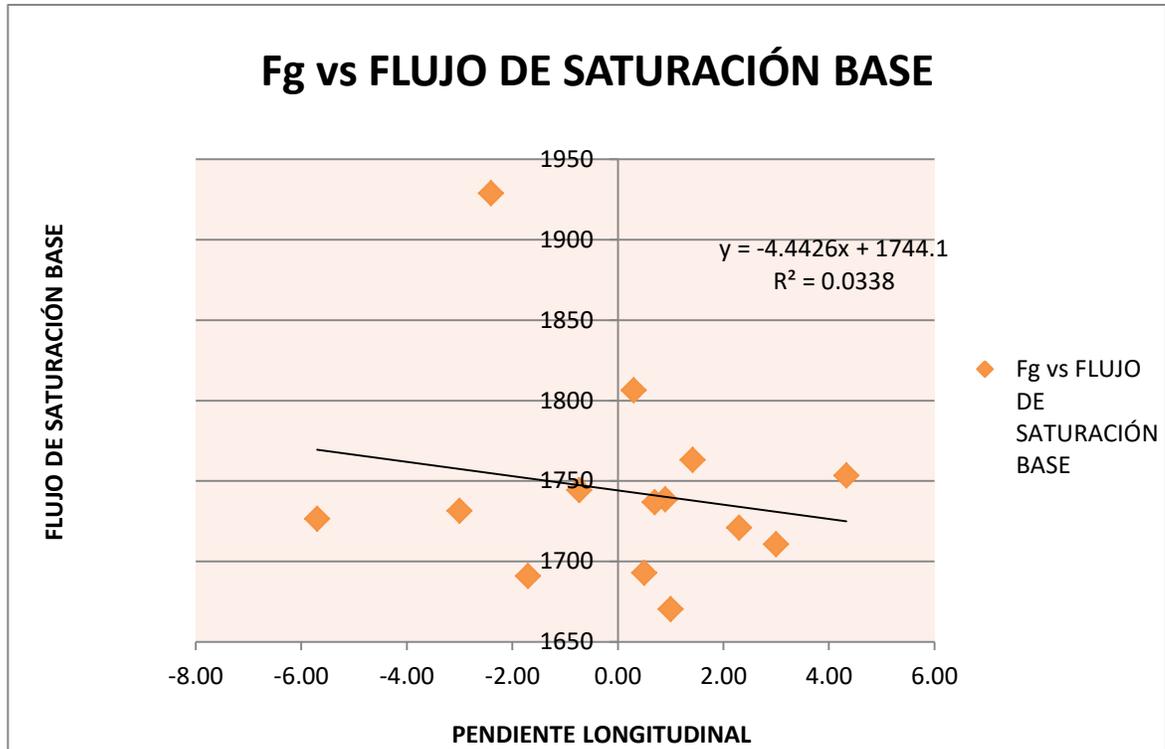
Tabla 47 resumen factor de ajuste por pendiente

Intersección	Acceso	Pendiente	Flujo de Sat. Base (Veh Equivalentes/H Verde/Carril)	Factor de Ajuste Por Pendiente	Flujo de Sat. Base (Sin Factor Por Pendiente)
CARRERA 6 CON CALLE 53	SUR	-0.73%	1738	1.004	1744
	NORTE	-1.70%	1677	1.008	1691
CARRERA 6 CON CALLE 48	SUR	0.50%	1697	0.997	1693
	NORTE	2.30%	1741	0.988	1721
AVENIDA UNIVERSITARIA CON CALLE 49	SUR	-3.00%	1706	1.015	1731
	NORTE	0.90%	1746	0.995	1738
CARRERA 6 CON CALLE 37a	SUR	0.70%	1743	0.996	1737
	NORTE	0.30%	1809	0.998	1806
DIAGONAL 38 CON CALLE 32	ESTE	1.00%	1679	0.995	1670
	OESTE	3.00%	1737	0.985	1711
	SUR	-2.40%	1906	1.012	1929
DIAGONAL 38 CON CARRERA14	OESTE	-5.70%	1679	1.028	1726
AVENIDA ORIENTAL 26 CON CARRERA 7	SUR	1.42%	1776	0.992	1763
	NORTE	4.33%	1792	0.978	1753

Fuente: El Autor.

Con los datos mostrados anteriormente se realiza la Gráfica 4 factor de ajuste por pendiente vs flujo de saturación base no afectado por fg que muestra la dispersión de los datos del flujo de saturación no afectados por el ajuste de ancho de carril Fw, que se muestran en una tendencia creciente a medida se aumenta el ancho.

Gráfica 4 factor de ajuste por pendiente vs flujo de saturación base no afectado por fg



Fuente: El Autor.

De la Gráfica 4, la tendencia que más se ajusta a los datos es del tipo lineal, aunque con un coeficiente de correlación muy bajo, la ecuación presentada representa el valor del flujo de saturación base en función de la pendiente.

El motivo de realizar la gráfica de los valores de flujo de saturación sin ser afectados por el la pendiente obedece a que el valor de los datos registrados en el plano Y (flujo de saturación base) deben estar en función del plano x (ancho de carril), y este valor está en función de cada pendiente que son variables.

Con esta ecuación se comparan los valores de los factores por los métodos de HCM y de este procedimiento, encontrando una gran similitud.

En la siguiente tabla se muestran los valores hallados, donde la columna uno corresponde a la pendiente a la cual se le da un aumento gradual de punto cinco por ciento (0.5%), la columna dos corresponde al factor de ajuste HCM para la pendiente, la columna tres corresponde al flujo de saturación base tomando como referencia un valor de 1750 veh/hora de verde/ carril, y siendo afectado por cada uno de los factores de ajuste HCM, la columna cuatro muestra la diferencia o aumento entre el flujo de saturación base para cada ancho de carril el cual se da en aumentos graduales de cinco centímetros (5cm), el valor de la columna cinco corresponde al valor del flujo de saturación calculado a partir de la ecuación de la línea de tendencia, como se muestra en el siguiente ejemplo:

Ecuación de la recta: $y = -4.4426 X + 1744.1$

Para una $X=pendiente = 0\%$

$$y = -4.4426 * 0 + 1744.1$$

$$y = 1744 \text{ vehiculos ligeros}$$

Mediante esta fórmula se encuentra que el valor para una pendiente del cero por ciento (0%) se obtiene un flujo de 1744 vehículos ligeros/hora de verde /carril, y mediante el uso de la formula HCM se obtiene 1750 vehículos ligeros/hora de verde /carril, razón por la cual se afirma que aunque los datos no se ajustan a la recta, si se obtiene un índice de proximidad muy cercano.

En la columna seis se muestra la diferencia de flujos, donde se muestra una aumento gradual de aproximadamente dos punto dos (2.2) vehículos por cada punto cinco por ciento de aumento en la pendiente, que al compararlo con el valor dado por el HCM es menor en casi la mitad, (4.4 para HCM), lo que quiere decir que el ancho de carril influye de una mayor manera diferente para el tipo de intersecciones en estudio, que para las estudiadas en el HCM.

En la columna siete se muestra el factor hallado para cada una de las pendientes, este valor se obtiene al dividir el valor del flujo de saturación base para cada de las pendientes en el flujo de saturación normalizado, (valor correspondiente a una pendiente del cero por ciento 0%), así como se muestra en el siguiente ejemplo.

$$\text{Valor de flujo de saturación para } g=3\% = 1731 \text{ veh/h/carril}$$

$$\text{Valor del flujo de saturación para } g=0\% = 1744 \text{ veh/h/carril.}$$

$$\text{Por lo tanto } F_g \text{ para } 3\% = \frac{1731 \text{ veh/h/carril}}{1744 \text{ veh/h/carril.}}$$

$$F_g \text{ para } 3\% = 0.992$$

$$F_g \text{ para } 3\% \text{ mediante fórmula HCM} = 0.985$$

Para el cálculo anterior se muestra la proximidad de los resultados mediante los dos métodos. A continuación se muestra la Tabla 48 que resume lo anteriormente mencionado.

Tabla 48 resumen factor por pendiente hallado

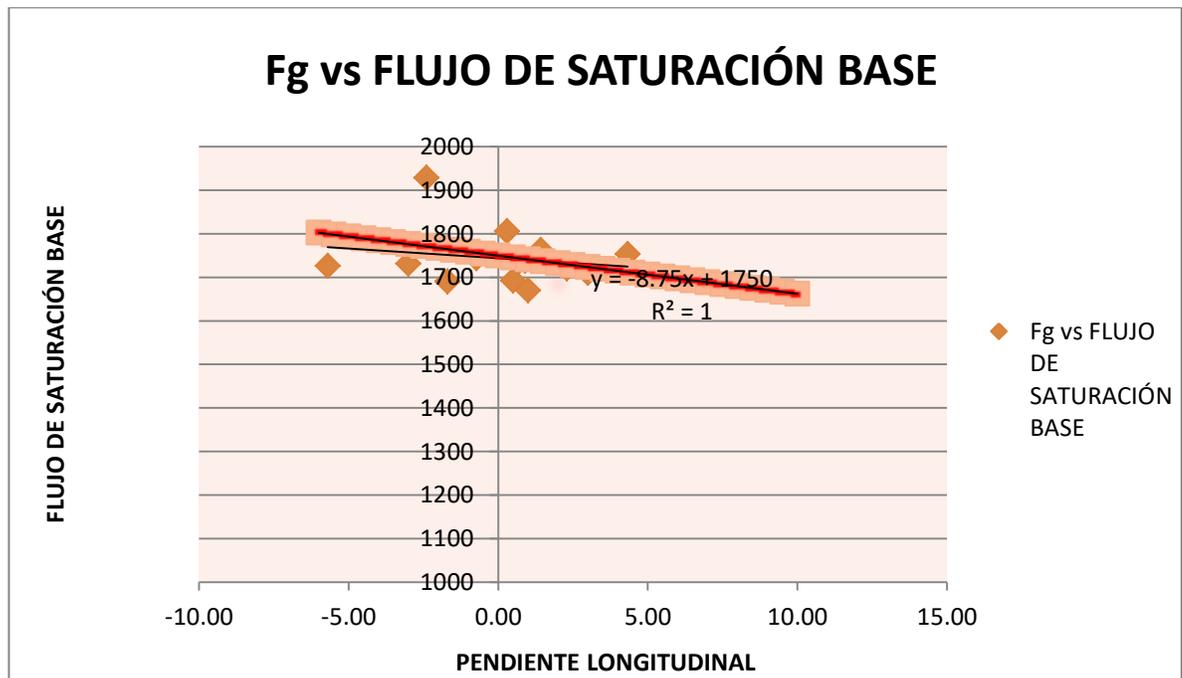
Pendiente	factor HCM	Flujo de sat base HCM	diferencia	Flujo de sat con factor Fg	diferencia	factor hallado
-6%	1.03	1802	4.375	1770	2.2213	1.015
-5.50%	1.0275	1798	4.375	1768	2.2213	1.014
-5%	1.025	1793	4.375	1766	2.2213	1.012
-4.50%	1.0225	1789	4.375	1764	2.2213	1.011
-4%	1.02	1785	4.375	1761	2.2213	1.010
-3.50%	1.0175	1780	4.375	1759	2.2213	1.008
-3%	1.015	1776	4.375	1757	2.2213	1.007
-2.50%	1.0125	1771	4.375	1755	2.2213	1.006
-2%	1.01	1767	4.375	1752	2.2213	1.005
-1.50%	1.0075	1763	4.375	1750	2.2213	1.003
-1%	1.005	1758	4.375	1748	2.2213	1.002
-0.50%	1.0025	1754	4.375	1746	2.2213	1.001
0%	1	1750	4.375	1744	2.2213	1.000
0.50%	0.9975	1745	4.375	1741	2.2213	0.998
1%	0.995	1741	4.375	1739	2.2213	0.997
1.50%	0.9925	1736	4.375	1737	2.2213	0.996
2%	0.99	1732	4.375	1735	2.2213	0.994
2.50%	0.9875	1728	4.375	1732	2.2213	0.993
3%	0.985	1723	4.375	1730	2.2213	0.992
3.50%	0.9825	1719	4.375	1728	2.2213	0.991
4%	0.98	1715	4.375	1726	2.2213	0.989
4.50%	0.9775	1710	4.375	1724	2.2213	0.988
5%	0.975	1706	4.375	1721	2.2213	0.987
5.50%	0.9725	1701	4.375	1719	2.2213	0.986
6%	0.97	1697	4.375	1717	2.2213	0.984

6.50%	0.9675	1693	4.375	1715	2.2213	0.983
7%	0.965	1688	4.375	1713	2.2213	0.982
7.50%	0.9625	1684	4.375	1711	2.2213	0.980
8%	0.96	1680	4.375	1708	2.2213	0.979
8.50%	0.9575	1675	4.375	1706	2.2213	0.978
9%	0.955	1671	4.375	1704	2.2213	0.977
9.50%	0.9525	1666	4.375	1701	2.2213	0.975
10%	0.95	1662	-	1699	-	0.974

Fuente: El Autor.

En la Gráfica 5 se muestra la línea de tendencia de los valores de flujo de saturación respecto al ancho de carril dados en el HCM (color rojo), y la cual se muestra junto a la línea de tendencia de la anterior serie de datos (color negro), lo cual demuestra la proximidad de los datos y que aunque la primer serie de datos es variada, de ella se obtiene una tendencia buena. Con el mismo sentido de inclinación, aunque un poco más suave.

Gráfica 5 factor de ajuste por pendiente de carril HCM



Fuente: El Autor.

Con lo mostrado anteriormente se determina la fórmula para el cálculo del factor de ajuste por ancho de carril de la siguiente manera.

Para $g= 2\%$ y $Fg= 0.9949$.

Formula:

$$fg = 1 - \frac{\%G}{200}$$

La anterior ecuación muestra el aumento o reducción del factor de ajuste por ancho de carril, razón por la que se determina que el único valor que puede cambiar en la ecuación es el 200 o el numero divisor, por lo que se recalcula dicho valor mediante el uso de valores ya encontrados, esto se muestra a continuación.

Para $g= 2\%$ y $Fg= 0.9949$.

$$fg = 1 - \frac{\%G}{x}$$

Reemplazando datos en la ecuación se obtiene lo siguiente:

$$0.9949 = 1 - \frac{2}{x}$$

Expresado de otra forma se tiene que:

$$-0.0051 = -\frac{2}{x}$$

$$x = \frac{2}{0.0051}$$

$$x = 392.6$$

Por tanto la formula encontrada para el ajuste de los datos por ancho de carril corresponde a:

$$fg = 1 - \frac{\%G}{392.6}$$

De lo anterior se muestra un cambio significativo en la formula, se pasa de un divisor de 200 a 392.6, un valor de casi el doble, lo que conlleva a que el aumento de vehículos por el aumento de pendiente sea un poco menor.

CAPITULO V: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

6 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En la Tabla 49 se muestra la variación de cada uno de los flujos de saturación, base y medido para cada uno de los puntos en estudio, donde se evidencia un aumento significativo, de un flujo de saturación medido a un flujo de saturación base.

Este aumento para los accesos en los que únicamente se permite el giro directo está comprendido entre 15 vehículos y 162 un rango alto, el cual varía respecto a los ajustes que se planteen a cada acceso lo cual representa que la variación alta lo único que llega a representar es que la intersección en estudio se aleja de una intersección del tipo ideal.

Tabla 49 Comparación flujos de saturación.

Intersección	Acceso	Flujo de Sat. (Veh Mixtos/H Verde/Carril)	Flujo de Sat. Base (Veh Equivalentes/H Verde/Carril)	Diferencia Entre Flujos
CARRERA 6 CON CALLE 53	SUR	1606	1738	132
	NORTE	1602	1677	75
CARRERA 6 CON CALLE 48	SUR	1622	1697	75
	NORTE	1643	1741	98
AVENIDA UNIVERSITARIA CON CALLE 49	SUR	1621	1706	85
	NORTE	1626	1746	120
CARRERA 6 CON CALLE 37a	SUR	1666	1743	77
	NORTE	1692	1809	117
DIAGONAL 38 CON CALLE 32	ESTE	1625	1679	54
	OESTE	1664	1737	73
	SUR	1593	1906	313
DIAGONAL 38 CON CARRERA14	OESTE	1664	1679	15
AVENIDA ORIENTAL 26 CON CARRERA 7	SUR	1641	1776	135
	NORTE	1630	1792	162

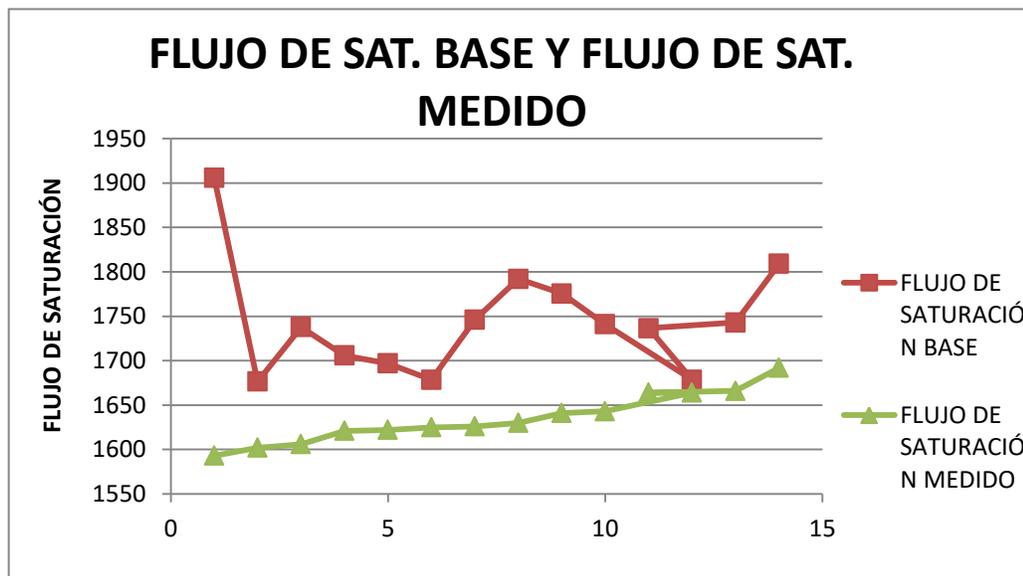
Fuente: El Autor.

Para el flujo en el que únicamente se permite el giro a la derecha en la intersección diagonal 38 con calle 32 acceso sur, se evidencia un aumento significativo de 313 vehículos, y esto se debe principalmente al alto factor de ajuste que se le aplica por giro exclusivo a la derecha. Factor de 0.85, que se llega a concluir que llega a ser muy alto.

Si no se aplica este factor, el flujo de saturación base llega a ser de 1621, que al compararlo con los demás flujos obtenidos es relativamente bajo. Y al aplicar el factor se da un aumento de 285 vehículos.

En la Gráfica 6 se muestra la variación de los flujos de saturación tanto real como base,

Gráfica 6 comparación de los flujos de saturación base y medido.



Fuente: El Autor.

Para mostrar una gráfica entendible se propone ordenar los datos del flujo de saturación real (medido en campo) de menor a mayor (lo cual no tiene ninguna repercusión en el análisis de los datos).

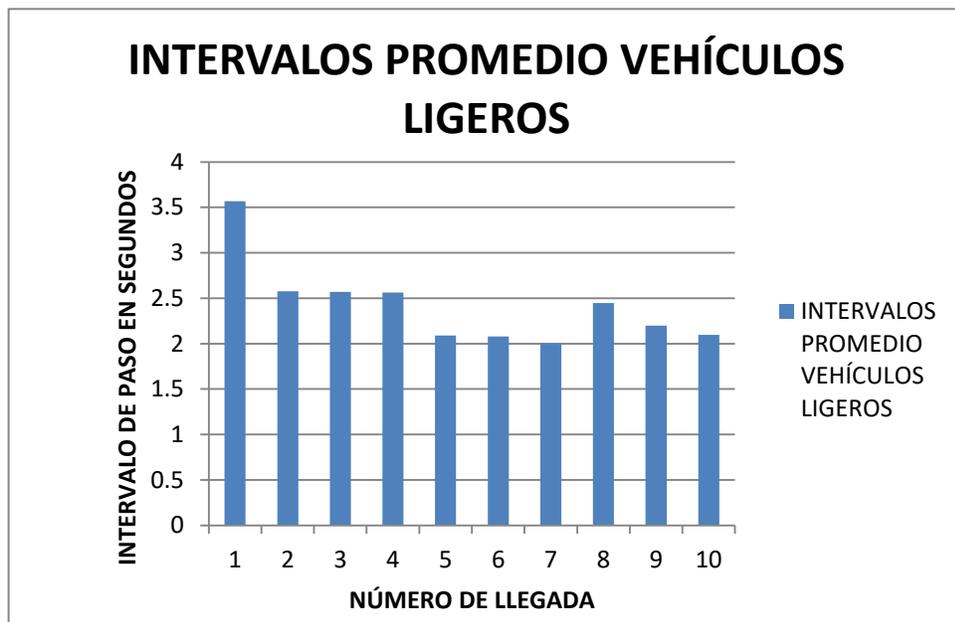
El primer punto que se muestra en la gráfica corresponde al de la intersección diagonal 14 con calle 32 acceso sur, de este se detalla que es el menor de los flujos reales, medidos en campo. Pero el mayor de los flujos de saturación base, por lo que se afirma que el factor usado para normalizar los flujos con giro a la derecha, es muy alto.

Para los otros flujos se observa un aumento gradual confiable.

En la Gráfica 7 se muestra el intervalo promedio de los vehículos ligeros el cual tiene un promedio de 2.19 segundos, un valor mayor al presentado por la Transportation Research Board en su documento base HCM (Highway Capacity Manual) versión del 2010. De 2.0 segundos.

El aumento en el intervalo puede ser debido a factores como los de características geométricas de la vía, características operacionales, así como el conocimiento del conductor de la vía, el tipo de automóvil, la conducta tanto del conductor como peatón y ciclista dentro de la vía.

Gráfica 7 intervalo promedio vehículos ligeros.



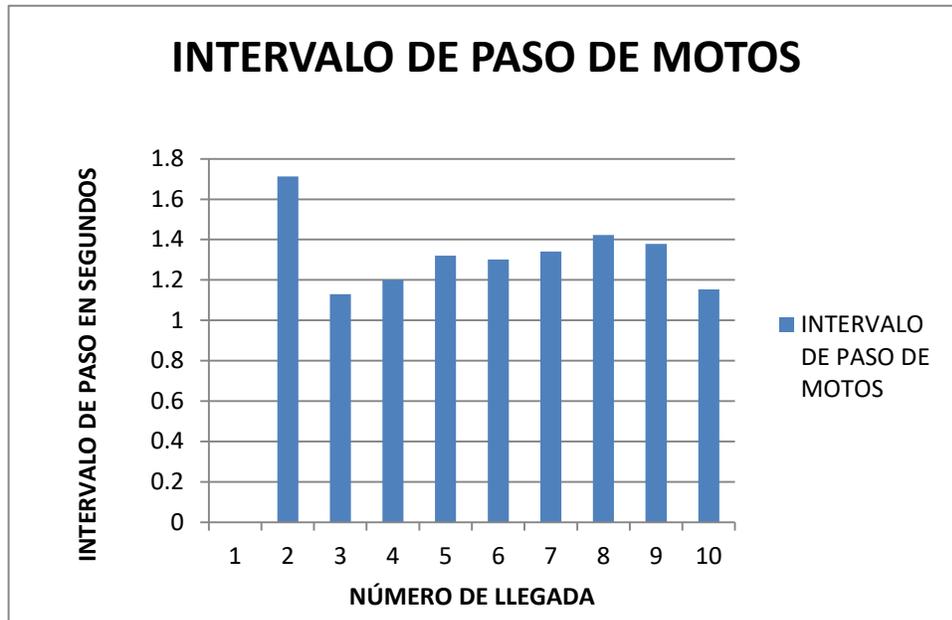
Fuente: El Autor.

En la anterior gráfica (gráfica 7) se muestra un aumento gradual en el intervalo de paso en los vehículos que ocupan la posición 8 y 9, este fenómeno se atribuye a la distancia de visibilidad de los conductores la cual está comprendida entre 80 y 100 metros, además de otros factores como los vendedores ambulantes en la vía

En la Gráfica 8 se muestra el intervalo de paso para las motos, donde únicamente se tienen en cuenta las que hacen la fila y esperan a pasar en su respectiva posición, las motos tiene un intervalo de paso mucho menor al de los vehículos ligeros, y esto se da por que las motos tienen una longitud mucho menor, y los

conductores están un poco más al tanto del inicio de la fase de verde, aunque en este intervalo también se presenta el fenómeno de aumento en el intervalo en los vehículos que ocupan la posición 8 y 9.

Gráfica 8 intervalo promedio de paso de motos

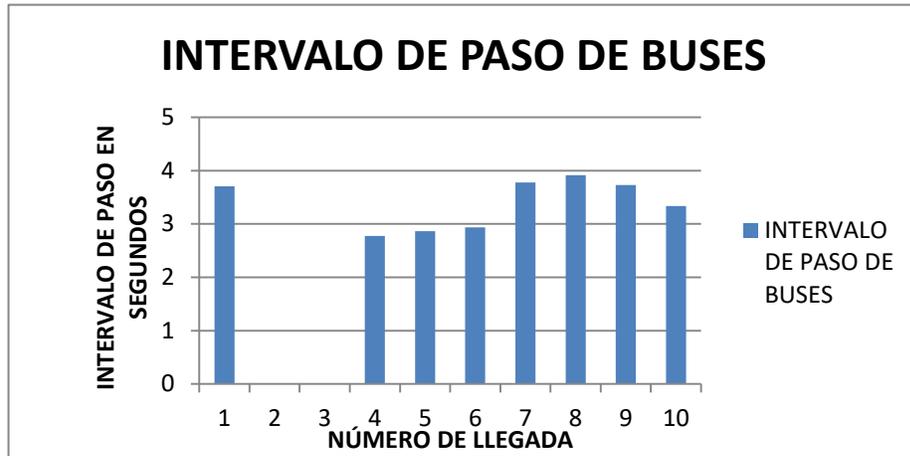


Fuente: El Autor.

Para este intervalo no se tiene vehículos que ocupan la primera posición por que comúnmente de entrada estos fueron descartados, además de los conductores de motos presentan reacción mucho más rápida, y en casos arrancan antes de que inicie el verde.

En la Gráfica 9 se muestra el intervalo de paso para los buses, que característicamente se destacan los del transporte público colectivo urbano TPCU de la ciudad de Tunja. De este se destaca que el valor del intervalo es de más de 3 segundos, aproximadamente un 150% más que para los vehículos ligeros, aunque es un valor mucho más bajo que el presentado en el HCM de 4 segundos o dos veces el tiempo gastado por los vehículos ligeros, y esto es debido a que se presentan muy pocos buses grandes, y al conocimiento de los conductores de la vía y de los dispositivos que regulan el tránsito.

Gráfica 9 intervalo de paso de buses

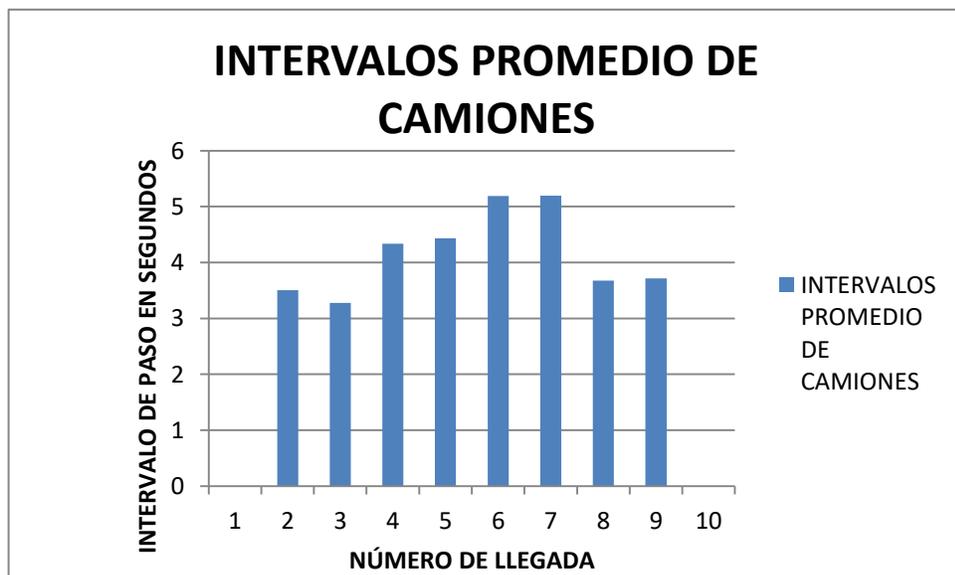


Fuente: El Autor.

Para el intervalo de buses también se ve un aumento de tiempo en los vehículos que ocupan la posición 8 y 9 en la fila.

En la Gráfica 10 se muestra el intervalo de paso de los camiones.

Gráfica 10 intervalo promedio de camiones



Fuente: El Autor.

Los camiones presentan intervalos variables, debido a que por camiones se entiende a todas las tipologías, que van desde el camión pequeño hasta los vehículos de 6 ejes

La variación de los vehículos respecto a los otros es demasiado alta se puede detallar que después del 4 vehículo ligero el intervalo promedio de vehículos se estabiliza, esto hasta llegar al 8 y 9 vehículo donde este valor se acrecienta y esto se relaciona con la distancia de visibilidad, la cual permite que los conductores de los vehículos no estén pendientes del semáforo y a causa de esto el tránsito comience a fluir aumentando su tiempo de percepción y reacción, con lo que se aumenta el intervalo en estas dos posiciones

Para las motos y los buses sucede algo muy similar donde se ve un aumento en el intervalo de vehículos que se encuentran en la posición 8 y 9

Lo anterior no sucede con los camiones debido a que los intervalos entre camiones están medidos para todas las tipologías, lo cual imposibilita el análisis de estos tiempos o intervalos.

Las ecuaciones halladas para los factores de ajuste de ancho de carril y pendiente se asemejan a las dadas por el HCM, aunque de cierto modo varían y hacen que los valores resultantes varíen en un grado bajo.

Las motos deben ser tenidas en cuenta en las modelaciones y cálculos de valores importantes, así como el flujo de saturación, obedeciendo a que para esta tipología de vehículo se ve un aumento en su utilización, razón por la que no se puede eximir de ninguno de los procesos descritos.

En la Tabla 50 se muestran los flujos de saturación determinados para diferentes países, donde se destaca que este varía respecto a las culturas. Y enfatizando en las conductas de las personas quienes interactúan en la vía, así como lo son peatones y conductores.

Tabla 50 flujo de saturación base para diferentes lugares.

País	Flujo de Saturación (Veh/h Verde/ Carril)
<u>Australia</u>	<u>1710</u>
<u>Grecia</u>	<u>1972</u>
<u>Egipto</u>	<u>1617</u>
<u>Malasia</u>	<u>1945</u>

<u>Finlandia</u>	<u>1603</u>
<u>India</u>	<u>1232</u>
<u>Brasil</u>	<u>1660</u>
<u>China</u>	<u>1326</u>
<u>China</u>	<u>1465</u>
<u>Estados Unidos</u>	<u>1900</u>
<u>Estados Unidos</u>	<u>1750</u>
<u>Reino Unido</u>	<u>2080</u>
<u>Reino Unido</u>	<u>1778</u>
<u>Reino Unido</u>	<u>1691</u>
<u>Reino Unido</u>	<u>1575</u>
<u>México</u>	<u>1651</u>
<u>Colombia (Tunja)</u>	<u>1740</u>

Fuente: El Autor.

Como se observa en la tabla anterior, el flujo de saturación es muy variable y principalmente depende de las características geométricas y de la conducta de quienes interactúan en la vía, el valor obtenido para Tunja está por encima de la mayoría de valores calculados para diferentes países, se encuentra en un rango medio-alto. De tal forma que se infiere en que los valores de ajuste calculados y usados se ajustan muy bien con las características presentes en el país y la ciudad de Tunja.

En la ilustración 33 se muestra el diagrama que relaciona el tiempo y la distancia entre los vehículos, para la cual se tienen ciertos análisis vistos en el desarrollo de la investigación como lo son:

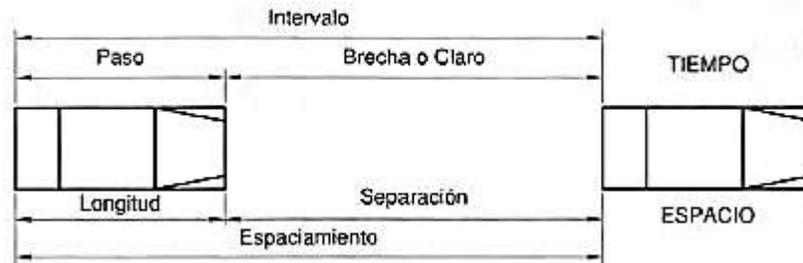
La separación entre un vehículo de más de 2 ejes (para el caso solo camiones) y un vehículo ligero, moto o bus, es mucho mayor a las descritas entre las tipologías de vehículos mencionadas, y esto se relaciona, con el miedo que se vive por los conductores al estar justo en la fila contiguo a un vehículo de grandes dimensiones.

Con la puesta en marcha de la fila, con presencia de vehículos pesados, no es muy común que las motos tomen iniciativas de adelantar o pasarse a la mitad de la vía.

Es muy común que los conductores de los buses conozcan los tiempos de todo rojo de los semáforos, por lo que las filas rara vez iniciaban con una bus, esto

debido a que los conductores se pasaban en tiempo de rojo y amarillo donde no hay presencia de las autoridades competentes.

Ilustración 33 relación de tiempo y espacio entre vehículos.



Fuente: CAL Y MAYOR Rafael, CARDENAS GRISALES James, INGENIERÍA DE TRANSITO FUNDAMENTOS Y APLICACIONES, 9ª edición Alfaomega MÉXICO, 2018, p(290)

Aunque al graficar los valores de flujo de saturación exentos de ajustar por el ancho de carril y la pendiente contra el ancho de carril y la pendiente, se tienen series de datos con mucha variabilidad, a las cuales se ajustan las líneas de tendencia del modo lineal, con un coeficiente de correlación muy bajo. Las ecuaciones que se obtienen son muy cercanas a las mostradas en el HCM, Y en ellas se evidencian valores de flujo de saturación en condiciones ideales muy cercanos al calculado y al reseñado en el HCM.

Se obtiene un flujo de saturación base de 1740 vehículos ligeros/hora de verde / carril para la ciudad de Tunja, un valor muy próximo al presentado por el HCM para este tipo de ciudad. Lo que quiere decir que al utilizar la metodología Estadounidense es de cierto modo acertado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El manual de capacidad de carreteras (HCM 2010), fue hecho para los Estados Unidos de América, y sus componentes del tránsito, éste se utiliza en nuestro país para los proyectos de tránsito, así como para calcular la capacidad y niveles de servicio de las vías y su diseño. Las condiciones que prevalecen en Colombia y específicamente en Tunja difieren con las de los Estados Unidos de América. Por esto se deben realizar los cálculos y ajustes que se recomiendan

Para efectos de esta investigación se utiliza un factor de vehículos para las motos, factor no usado por el HCM. Este factor es tratado como se maneja los datos para las otras tipologías de vehículos, un procedimiento resumido en hallar su factor en vehículos equivalentes, y después determinar el valor de ajuste a razón de la existencia de un número de estos vehículos en los flujos vehiculares.

Se determinan las fórmulas para realizar los ajustes por ancho de carril y pendiente a los datos medidos en campo, estas fórmulas o ajustes varían respecto a las dadas en el HCM 2010, aunque su variabilidad es muy mínima, estas fórmulas se presentan únicamente como parte de la investigación, debido a que si se quieren llegar a usar se debe enfatizar en tomar mucha más información, de tal manera que la variabilidad la confiabilidad sea mayor.

Los valores que influyen en mayor grado en la variación del flujo de saturación son los del ajuste por ancho de carril y los de ajuste por giros a la derecha, para este valor de ajuste por giro a la derecha se analiza que es demasiado alto debido a que mayor, en gran medida el flujo de saturación en el acceso en el que se presenta dicho movimiento.

Se determina un flujo de saturación base para la ciudad de Tunja de 1740 vehículos ligeros por hora de verde por carril, un valor muy cercano al presentado por la Transportation Research Board mediante su manual HCM 2010 de 1750 vehículos ligeros por hora de verde por carril para una ciudad de tamaño menor que comprende una población menor de 250000 habitantes.

Debido a la cercanía de los valores hallados de flujo de saturación base, tendencias y ajustes, con los valores propuestos por el HCM, se infiere en que la metodología hasta el momento utilizada, no se ajusta del todo con las características del tránsito presentes en nuestro país, pero en su utilización no se llega a un alto grado de error por la cercanía de los valores.

Se mostró la variabilidad del flujo de saturación en otros países, y esta se debe primordialmente a las metodologías que usan para hallarlas y los componentes del tránsito, como lo son las características geométricas de las vías, los conductores y

Se halla el valor del intervalo promedio de los vehículos ligeros, camiones, buses y motos, valores que son un tanto mayores a los que se presentan en el HCM, y en el manual de planeación de desarrollo del tránsito para Bogotá, además se evidencia un aumento en el tiempo de paso en los vehículos que ocupan la posición, octava y novena en la fila, este aumento de tiempo se relaciona con la distancia de visibilidad que tiene los conductores al semáforo.

Se recomienda realizar posteriores investigaciones y mediciones exhaustivas del tránsito que faciliten y aumenten el grado de confiabilidad de los datos, además de buscar hallar los valores que realmente representen la realidad del tránsito en Colombia.

El tránsito es muy variable por lo que es complejo encontrar una función o valor que se ajuste perfectamente a lo que se representa como realidad, por esto se escatima en que los datos deben tener una tendencia, aunque no siguen una linealidad

BIBLIOGRAFÍA

BULL, Alberto. Congestión de tráfico. El problema y como enfrentarlo. Santiago de Chile 2003. ISBN 92-1-322162-2.

CAL Y MAYOR Rafael, CÁRDENAS GRISALES James, INGENIERÍA DE TRANSITO FUNDAMENTOS Y APLICACIONES, 9ª edición Alfaomega MÉXICO, 2018

CERQUERA,E.Flor. Capacidad y Niveles de Servicio. Guías de clase Especialización. Uptc-2010

INVIAS, Manual de diseño geométrico de carreteras Colombia 2008

JERI GODOY Guido, Optimización del ciclo semafórico en intersecciones congestionadas a nivel microscópico, Lima Perú 2015.

LLANES AYALA Jose Matias, ESTIMACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN EN INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS SELECCIONADAS DE LA CIUDAD DE MÉXICO”, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, MÉXICO D.F. Mayo de 2014.

LOPEZ VAZQUEZ, José Federico. *Determinación del máximo valor de flujo de saturación en intersecciones semaforizadas*. UANL. México (1998).

MANUAL DE PLANEACIÓN Y DISEÑO PARA LA ADMINISTRACIÓN DEL TRÁNSITO Y TRANSPORTE, TOMO II, Bogotá, 2005).

MOZO SÁNCHEZ José, Análisis de Nivel de Servicio y Capacidad de Segmentos Básicos de Autopistas, Segmentos Trenzados y Rampas de acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras HCM2000 aplicando MathCad, México D.F 2011

SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL manual de estudios de ingeniería de tránsito, México, 2015

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, Highway Capacity Manual 2010.

SANCHEZ FRANCESCONI, Jorge Humberto. *Estimación de la afectación de la capacidad en intersecciones semaforizadas como consecuencia del estado del pavimento*. UNAL. Bogotá (2011).

ANEXOS

Para los anexos se muestran los flujos de saturación tomados en campo para cada una de las intersecciones.

Anexo 1 formato de campo generalizado

<i>DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (SO) PARA CIUDADES PEQUEÑAS, CASO TUNJA.</i>	ESTUDIO DE FLUJO DE SATURACIÓN FORMATO DE CAMPO	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA						
fecha: (D,M,A) _____ INTERSECCION: _____		Hoja: <u> </u> De: <u> </u>						
Acceso: _____ Carril: _____ ancho Carril: _____		Croquis 						
Hora inicio: _____ Hora final: _____ pendiente: _____								
CICLO	tiempo en segundos entre el 4° y el ...				tipo de vehículo			
	7°	8°	9°	10°	AUTOS	BUSES	CAMION	MOTO
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
Sumatoria								
Totales	(a)	(b)	(c)	(d)				
Flujo de sat. medio = $\frac{(3600 \times \text{numero de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$					Flujo de saturación medio			
observaciones: _____ _____ _____								

Anexo 2 Formatos Flujo de Saturación intersecciones, datos de campo.

- CARRERA 6 CON CALLE 53 acceso Sur

DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (SO) PARA CIUDADES PEQUEÑAS, CASO TUNJA.	ESTUDIO DE FLUJO DE SATURACIÓN FORMATO DE CAMPO	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA	
-------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

fecha: (D,M,A) <u>24.10.2018</u>	INTERSECCION: <u>LA TOYOTA</u>	Hoja: 1	De: <u>2</u>
Accesos: <u>SUR</u>	Carril: <u>INTERNO</u>	ancho Carril: <u>3.65m</u>	Croquis
Hora inicio: <u>9:15 AM</u>	Hora final: <u>10:15 AM</u>	pendiente: <u>-1%</u>	

CICLO	tiempo en segundos entre el 4° y el ...				tipo de vehículo			
	7°	8°	9°	10°	AUTOS	BUSES	CAMION	MOTO
1	9.13				3	0	0	0
2	7.64				3	0	0	0
3		7.52			4	0	0	0
4				12.16	6	0	0	0
5		8.47			4	0	0	0
6	8.69				3	0	0	0
7		8.4			4	0	0	0
8		9.79			4	0	0	0
9	6.29				3	0	0	0
10	8.48				3	0	0	0
11	8.23				2	0	C2G	0
12				10.72	5	0	C2G	0
13	6.56				2	1	0	0
14		8.84			4	0	0	0
15			10.11		4	0	0	1
16	8.51				3	0	0	0
17		10.52			4	0	0	0
18	7.23				3	0	0	0
19			9.74		5	0	0	0
20		7.45			4	0	0	0
21	7.22				3	0	0	0
22		7.6			4	0	0	0
23			11.23		5	0	0	0
24		9.5			4	0	0	0
25	6.32				3	0	0	0
26	6.03				3	0	0	0
27			8.76		5	0	0	0
28				12	6	0	0	0
29		7.32			4	0	0	0
30			10		5	0	0	0
Sumatoria	90.33	85.41	49.84	34.88	115	1	2	1
Totales	(a)	(b)	(c)	(d)				

Flujo de sat. medio =	$\frac{(3600 \times \text{numero de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$	Flujo de saturación medio	1606.09523	veh/h
observaciones				

- CARRERA 6 CON CALLE 53 acceso Norte

DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (SO) PARA CIUDADES PEQUEÑAS, CASO TUNJA.	ESTUDIO DE FLUJO DE SATURACIÓN FORMATO DE CAMPO	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA	
-------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	--------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

fecha: (D,M,A) <u>24.10.2018</u>	INTERSECCION: <u>LA TOYOTA</u>	Hoja: 1 De: 2
Acceso: <u>NORTE</u>	Carril: <u>INTERNO</u>	ancho Carril: <u>3.65m</u>
Hora inicio: <u>9:15 AM</u>	Hora final: <u>10:15 AM</u>	pendiente: <u>-1%</u>
Croquis		

CICLO	tiempo en segundos entre el 4° y el ...				tipo de vehículo			
	7°	8°	9°	10°	AUTOS	BUSES	CAMION	MOTO
1	7.63				3	0	0	0
2			11.67		5	0	0	0
3		7.61			3	0	0	1
4		9.56			4	0	0	0
5				14.26	6	0	0	0
6			9.65		5	0	0	0
7		9.23			4	0	0	0
8				14.05	6	0	0	0
9			10.8		5	0	0	0
10			10.36		5	0	0	0
11		9.54			3	1	0	0
12		10.35			4	0	0	0
13			10.32		5	0	0	0
14				12.25	6	0	0	0
15	7.26				3	0	0	0
16		7.49			3	0	C2G	0
17	6.87				3	0	0	0
18			10.14		5	0	0	0
19			13.23		5	0	0	0
20			10.41		5	0	0	0
21	7.08				3	0	0	0
22		9.23			4	0	0	0
23	8.25				2	0	0	1
24			9.85		5	0	0	0
25			8.47		5	0	0	0
26		7.65			4	0	0	0
27	7.35				3	0	0	0
28				13.01	6	0	0	0
29		9.81			4	0	0	0
30		10.23			4	0	0	0
Sumatoria	44.44	90.7	104.9	53.57	128	1	0	2
Totales	(a)	(b)	(c)	(d)				

Flujo de sat. medio =	$\frac{(3600 \times \text{numero de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$	Flujo de saturación medio	1602.45314	veh/h
observaciones _____				

- CARRERA 6 CON CALLE 48 acceso Sur

DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (SO) PARA CIUDADES PEQUEÑAS, CASO TUNJA.	ESTUDIO DE FLUJO DE SATURACIÓN FORMATO DE CAMPO	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA	
-------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

fecha: (D.M.A) <u>24.10.2018</u>	INTERSECCION: <u>CENTRO NORTE</u>	Hoja: 1	De: 2
Acceso: <u>SUR</u>	Carril: <u>INTERNO</u>	ancho Carril: <u>3.65m</u>	Croquis 
Hora inicio: <u>9:15 AM</u>	Hora final: <u>10:15 AM</u>	pendiente: <u>-1%</u>	

CICLO	tiempo en segundos entre el 4° y el ...				tipo de vehículo			
	7°	8°	9°	10°	AUTOS	BUSES	CAMION	MOTO
1				14.98	5	0	C2P	0
2				11.02	5	0	0	1
3		8.6			4	0	0	0
4		10			4	0	0	0
5			10.11		5	0	0	0
6			12.59		5	0	0	0
7		9.65			4	0	0	0
8		9.46			3	1	0	0
9				14.69	6	0	0	0
10			11.01		5	0	0	0
11	7.27				3	0	0	0
12	7.1				3	0	0	0
13			10.04		5	0	0	0
14		8.35			3	0	0	1
15	7.02				3	0	0	0
16				14.36	5	0	C2G	0
17		8.8			4	0	0	0
18		10.03			4	0	0	0
19		9.07			4	0	0	0
20	6.23				3	0	0	0
21		7.83			4	0	0	0
22				12.58	6	0	0	0
23	7.88				3	0	0	0
24				11.48	6	0	0	0
25			11.4		5	0	0	0
26			9.56		5	0	0	0
27	6.57				3	0	0	0
28	7.3				3	0	0	0
29			9.09		5	0	0	0
30				10.4	6	0	0	0
Sumatoria	49.37	81.79	73.8	89.51	129	1	2	2
Totales	(a)	(b)	(c)	(d)				

Flujo de sat. medio =	$\frac{(3600 \times \text{numero de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$	Flujo de saturación medio	1622.04784	veh/h
observaciones				

- CARRERA 6 CON CALLE 48 acceso Norte

DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (SO) PARA CIUDADES PEQUEÑAS, CASO TUNJA.	ESTUDIO DE FLUJO DE SATURACIÓN FORMATO DE CAMPO	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA	
-------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

fecha: (D,M,A) <u>24.10.2018</u>	INTERSECCION: <u>CENTRO NORTE</u>	Hoja: 1	De: 2
Acceso: <u>NORTE</u>	Carril: <u>INTERNO</u>	ancho Carril: <u>3.65m</u>	Croquis
Hora inicio: <u>9:15 AM</u>	Hora final: <u>10:15 AM</u>	pendiente: <u>-1%</u>	

CICLO	tiempo en segundos entre el 4° y el ...				tipo de vehículo			
	7°	8°	9°	10°	AUTOS	BUSES	CAMION	MOTO
1		9.93			3	1	0	0
2	6.69				3	0	0	0
3		8.77			4	0	0	0
4				11.25	6	0	0	0
5		7.88			4	0	0	0
6		10.08			4	0	0	0
7				14.25	6	0	0	0
8				12.95	6	0	0	0
9			10.54		5	0	0	0
10	8				3	0	0	0
11		8.14			4	0	0	0
12	7.2				3	0	0	0
13			11.56		4	1	0	0
14	6.51				2	0	0	1
15				11.74	6	0	0	0
16		8.87			4	0	0	0
17	6.78				3	0	0	0
18				12.92	6	0	0	0
19				13.31	6	0	0	0
20		8.1			4	0	0	0
21			11.58		5	0	0	0
22		8.32			4	0	0	0
23	7.13				3	0	0	0
24			11.07		5	0	0	0
25				11.99	6	0	0	0
26		8.13			4	0	0	0
27			9.51		5	0	0	0
28	6.35				3	0	0	0
29				14.02	4	1	1	0
30			10.05		5	0	0	0
Sumatoria	48.66	78.22	64.31	102.43	130	3	1	1
Totales	(a)	(b)	(c)	(d)				

Flujo de sat. medio =	$\frac{(3600 \times \text{numero de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$	Flujo de saturación medio	1643.6188	veh/h
observaciones: <u>entre el vehículo que ocupa la octava y la novena posición se aprecia un fenómeno de pérdida de tiempo, tal vez se relacione con la distancia de visibilidad que llegan a tener los conductores hasta el semáforo</u>				

- CARRERA 6 CON CALLE 37a acceso Sur

DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (SO) PARA CIUDADES PEQUEÑAS, CASO TUNJA.	ESTUDIO DE FLUJO DE SATURACIÓN FORMATO DE CAMPO	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA	
-------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	--------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

fecha: (D,M,A) <u>24.10.2018</u>	INTERSECCION: <u>LA SEXTA</u>	Hoja: 2 De: 2
Acceso: <u>SUR</u>	Carril: <u>INTERNO</u>	ancho Carril: <u>3.65m</u>
Hora inicio: <u>10:15 AM</u>	Hora final: <u>11:12 AM</u>	pendiente: <u>-1%</u>
Croquis		

CICLO	tiempo en segundos entre el 4° y el ...				tipo de vehículo			
	7°	8°	9°	10°	AUTOS	BUSES	CAMION	MOTO
1	8.13				3	0	0	0
2			10.54		5	0	0	0
3			9.63		5	0	0	0
4			10.82		5	0	0	0
5	5.86				3	0	0	0
6			9.2		5	0	0	0
7		9.31			4	0	0	0
8	6.63				3	0	0	0
9			10.98		5	0	0	0
10			9.42		5	0	0	0
11		8.13			4	0	0	0
12			10.66		5	0	0	0
13	7.82				3	0	0	0
14			12.24		5	0	0	0
15				11.55	6	0	0	0
16			11.6		5	0	0	0
17	5.58				3	0	0	0
18		8.92			4	0	0	0
19		7.82			4	0	0	0
20		10.46			4	0	0	0
21				13.47	6	0	0	0
22			11.48		5	0	0	0
23		9.07			4	0	0	0
24		9.86			4	0	0	0
25	6.34				3	0	0	0
26		7.78			4	0	0	0
27	6.75				3	0	0	0
28	6.57				3	0	0	0
29		8.17			4	0	0	0
30				14.81	5	0	c2g	0
31	7.11				3	0	0	0
32		9.58			4	0	0	0
33		7.92			4	0	0	0
34			8.95		5	0	0	0
35			6.75		5	0	0	0
Sumatoria	60.79	97.02	122.27	39.83	148	0	1	0
Totales	(a)	(b)	(c)	(d)				

Flujo de sat. medio =	$\frac{(3600 \times \text{numero de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$	Flujo de saturación medio	1666.431544	veh/h
observaciones _____				

- CARRERA 6 CON CALLE 37a acceso Norte

<i>DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (SO) PARA CIUDADES PEQUEÑAS, CASO TUNJA.</i>	ESTUDIO DE FLUJO DE SATURACIÓN FORMATO DE CAMPO	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA	
--------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

fecha: (D,M,A) <u>24.10.2018</u>	INTERSECCION: <u>LA SEXTA</u>	Hoja: 1 De: 2
Acceso: <u>NORTE</u>	Carril: <u>INTERNO</u>	ancho Carril: <u>3.65m</u>
Hora inicio: <u>9:15 AM</u>	Hora final: <u>10:15 AM</u>	pendiente: <u>-1%</u>
Croquis		

CICLO	tiempo en segundos entre el 4° y el ...				tipo de vehículo			
	7°	8°	9°	10°	AUTOS	BUSES	CAMION	MOTO
1				12.19	4	1	0	1
2	6.94				3	0	0	0
3			9.17		4	0	0	1
4			9.32		5	0	0	0
5	7.31				3	0	0	0
6		8.25			4	0	0	0
7			10.01		4	0	c4	0
8		9.2			3	0	c2p	0
9		7.97			4	0	0	0
10	7.54				3	0	0	0
11		7.45			4	0	0	0
12	7.61				3	0	0	0
13	7.35				3	0	0	0
14	6.06				3	0	0	0
15	6.24				3	0	0	0
16		7.02			4	0	0	0
17		9.12			4	0	0	0
18			9.63		5	0	0	0
19	6.02				3	0	0	0
20			10.43		5	0	0	0
21			9.23		5	0	0	0
22			11.6		5	2	0	0
23	6.51				3	0	0	0
24		7.2			4	0	0	0
25			7.98		5	0	0	0
26	7.21				3	0	0	0
27		9.45			4	0	0	0
28		9.56			4	0	0	0
29	6.98				3	0	0	0
30	6.69				3	0	0	0
Sumatoria	82.46	75.22	77.37	12.19	113	3	2	2
Totales	(a)	(b)	(c)	(d)				

Flujo de sat. medio =	$\frac{(3600 \times \text{numero de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$	Flujo de saturación medio	1692.86073	veh/h
observaciones _____				

- **DIAGONAL 38 CON CALLE 32 acceso Este**

DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (SO) PARA CIUDADES PEQUEÑAS, CASO TUNJA.	ESTUDIO DE FLUJO DE SATURACIÓN FORMATO DE CAMPO	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA	
-------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------	--------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

fecha: (D,M,A) <u>24.10.2018</u>	INTERSECCION: <u>SALIDA R</u>	Hoja: 2 De: 2
Acceso: <u>ESTE</u>	Carril: <u>UNICO</u>	ancho Carril: <u>3.65m</u>
Hora inicio: <u>10:15 AM</u>	Hora final: <u>11:12 AM</u>	pendiente: <u>-1%</u>
Croquis		

CICLO	tiempo en segundos entre el 4° y el ...				tipo de vehículo			
	7°	8°	9°	10°	AUTOS	BUSES	CAMION	MOTO
1		7.3			3	0	0	1
2		9.51			4	0	0	0
3				13.51	6	0	0	0
4				11.91	6	0	0	0
5		8.91			4	0	0	0
6	7.34				3	0	0	0
7		7.95			4	0	0	0
8		8.43			4	0	0	0
9		8.52			4	0	0	0
10	7.04				2	0	0	1
11	6.83				3	0	0	0
12			11.9		5	0	0	0
13			9.62		5	0	0	0
14	7.02				3	0	0	0
15	7.58				3	0	0	0
16	7.42				3	0	0	0
17		8.7			4	0	0	0
18	7.5				3	0	0	0
19		9.27			4	0	0	0
20		8.29			4	0	0	0
21	5.93				3	0	0	0
22		8.54			4	0	0	0
23	6.91				3	0	0	0
24	8.08				2	1	0	0
25	7.91				3	0	0	0
26			9.53		5	0	0	0
27			10.74		5	0	0	0
28		7.85			4	0	0	0
29	6.93				3	0	0	0
30				10.14	6	0	0	0
Sumatoria	86.49	93.27	41.79	35.56	115	1	0	2
Totales	(a)	(b)	(c)	(d)				

Flujo de sat. medio =	$\frac{(3600 \times \text{numero de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$	Flujo de saturación medio	1625.71846	veh/h
observaciones _____ _____ _____				

- DIAGONAL 38 CON CALLE 32 acceso Oeste

DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (SO) PARA CIUDADES PEQUEÑAS, CASO TUNJA.	ESTUDIO DE FLUJO DE SATURACIÓN FORMATO DE CAMPO	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA	
-------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	--------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

fecha: (D.M.A) <u>24.10.2018</u>	INTERSECCION: <u>SALIDA R</u>	Hoja: 2 De: 2
Acceso: <u>OESTE</u>	Carril: <u>UNICO</u>	ancho Carril: <u>3.65m</u>
Hora inicio: <u>10:15 AM</u>	Hora final: <u>11:12 AM</u>	pendiente: <u>-1%</u>
Croquis		

CICLO	tiempo en segundos entre el 4° y el ...				tipo de vehículo			
	7°	8°	9°	10°	AUTOS	BUSES	CAMION	MOTO
1		7.42			4	0	0	0
2	8.07				3	0	0	0
3			11		5	0	0	0
4	6.37				3	0	0	0
5	7.42				3	0	0	0
6		8.93			4	0	0	0
7		8.36			4	0	0	0
8				11.13	6	0	0	0
9			13.37		5	0	0	0
10	6.34				3	0	0	0
11			9.63		5	0	0	0
12	6.57				2	0	0	1
13			11.8		5	0	0	0
14			10.02		5	0	0	0
15		9.27			4	0	0	0
16		7.99			4	0	0	0
17				12.91	5	0	0	1
18				14.71	6	0	0	0
19	6.58				3	0	0	0
20				11.07	6	0	0	0
21		8.2			4	0	0	0
22		8.46			4	0	0	0
23	7.34				3	0	0	0
24		10.09			3	1	0	0
25		8.9			4	0	0	0
26	6.52				3	0	0	0
27			9.02		5	0	0	0
28			9.42		5	0	0	0
29				11.49	6	0	0	0
30				11.93	6	0	0	0
Sumatoria	55.21	77.62	74.26	73.24	128	1	0	2
Totales	(a)	(b)	(c)	(d)				

Flujo de sat. medio =	$\frac{(3600 \times \text{numero de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$	Flujo de saturación medio	1664.9452	veh/h
observaciones _____ _____ _____				

- DIAGONAL 38 CON CALLE 32 acceso Sur

DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (SO) PARA CIUDADES PEQUEÑAS, CASO TUNJA.	ESTUDIO DE FLUJO DE SATURACIÓN FORMATO DE CAMPO	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA	
-------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	--------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

fecha: (D.M.A) <u>24.10.2018</u>	INTERSECCION: <u>SALIDA R</u>	Hoja: 2 De: 2
Acceso: <u>SUR</u>	Carril: <u>UNICO</u>	ancho Carril: <u>3.65m</u>
Hora inicio: <u>10:15 AM</u>	Hora final: <u>11:12 AM</u>	pendiente: <u>-1%</u>
Croquis		

CICLO	tiempo en segundos entre el 4° y el ...				tipo de vehículo			
	7°	8°	9°	10°	AUTOS	BUSES	CAMION	MOTO
1	7.42				3	0	0	0
2	8.3				3	0	0	0
3	8.4				3	0	0	0
4				12.53	6	0	0	0
5	7.34				3	0	0	0
6			14.03		5	0	0	0
7	7.66				3	0	0	0
8	7.13				3	0	0	0
9	7.77				3	0	0	0
10				11.92	6	0	0	0
11			12.32		5	0	0	0
12			9.72		5	0	0	0
13			9.43		5	0	0	0
14	6.4				3	0	0	0
15			11.18		5	0	0	0
16		9.03			4	0	0	0
17			9.4		5	0	0	0
18				12.48	6	0	0	0
19			9.26		5	0	0	0
20	6.27				3	0	0	0
21	6.23				3	0	0	0
22	7.32				3	0	0	0
23	7.22				3	0	0	0
24		7.83			4	0	0	0
25			10.11		5	0	0	0
26	7.56				3	0	0	0
27		8.31			4	0	0	0
28			10.14		5	0	0	0
29		9.41			4	0	0	0
30	6.56				3	0	0	0
Sumatoria	101.58	34.58	95.59	36.93	121	0	0	0
Totales	(a)	(b)	(c)	(d)				

Flujo de sat. medio =	$\frac{(3600 \times \text{numero de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$	Flujo de saturación medio	1593.4374	veh/h
observaciones _____ _____ _____				

- DIAGONAL 38 CON CARRERA14 acceso Oeste

DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (SO) PARA CIUDADES PEQUEÑAS, CASO TUNJA.	ESTUDIO DE FLUJO DE SATURACIÓN FORMATO DE CAMPO	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA	
-------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

fecha: (D,M,A) <u>24.10.2018</u>	INTERSECCION: <u>LA MARIA</u>		Hoja: <u>1</u>	De: <u>1</u>
Acceso: <u>OESTE</u>	Carril: <u>UNICO</u>	ancho Carril: <u>3.65m</u>	Croquis	
Hora inicio: <u>10:15 AM</u>	Hora final: <u>11:12 AM</u>	pendiente: <u>-1%</u>		

CICLO	tiempo en segundos entre el 4° y el ...				tipo de vehículo			
	7°	8°	9°	10°	AUTOS	BUSES	CAMION	MOTO
1		9.46			4	0	0	0
2				13.09	6	0	0	0
3				12.4	6	0	0	0
4	7.34				2	0	c2p	0
5			10.09		5	0	0	0
6		8.9			4	0	0	0
7	6.52				3	0	0	0
8				14.71	6	0	0	0
9		10.14			4	0	0	0
10	6.56				3	0	0	0
11	6.58				3	0	0	0
12			9.02		5	0	0	0
13		8.18			4	0	0	0
14				11.07	6	0	0	0
15		7.86			4	0	0	0
16		9.41			4	0	0	0
17	6.88				3	0	0	0
18				11.93	6	0	0	0
19		8.31			4	0	0	0
20		8.05			4	0	0	0
21			11.43		5	0	0	0
22			9.72		5	0	0	0
23	5.22				3	0	0	0
24				13.8	5	1	0	0
25	6.34				3	0	0	0
26			10.91		5	0	0	0
27			9.96		5	0	0	0
28		9.56			4	0	0	0
29				13.22	6	0	0	0
30	7.567				3	0	0	0
Sumatoria	53.007	79.87	61.13	90.22	130	0	1	0
Totales	(a)	(b)	(c)	(d)				

Flujo de sat. medio =	$\frac{(3600 \times \text{numero de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$	Flujo de saturación medio	1664.11998	veh/h
-----------------------	-------------------------------------------------------------------	---------------------------	------------	-------

observaciones: para esta intersección no se puede tomar, o medir el flujo de saturación para otro acceso, esto debido a que el acceso sur presenta un carril de divergencia para el movimiento sur-este (giro a la derecha, además para el acceso este, tampoco se puede realizar las respectivas mediciones debido a que el semáforo presente en la diagonal 38 con calle 32 se encuentra desfasado con el semáforo de la intersección la maria, por lo cual no se alcanzan a formar las colas necesarias.

- AVENIDA UNIVERSITARIA CON CALLE 49 acceso Sur

DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (SO) PARA CIUDADES PEQUEÑAS, CASO TUNJA.	ESTUDIO DE FLUJO DE SATURACIÓN FORMATO DE CAMPO	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA	
-------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

fecha: (D.M.A) <u>24.10.2018</u>	INTERSECCION: <u>UNICENTRO</u>	Hoja: 1	De: 2
Acceso: <u>SUR</u>	Carril: <u>INTERNO</u>	ancho Carril: <u>3.65m</u>	Croquis
Hora inicio: <u>9:15 AM</u>	Hora final: <u>10:15 AM</u>	pendiente: <u>-1%</u>	

CICLO	tiempo en segundos entre el 4° y el ...				tipo de vehículo			
	7°	8°	9°	10°	AUTOS	BUSES	CAMION	MOTO
1	8.06				3	0	0	0
2			11.02		5	0	0	0
3		6.35			4	0	0	0
4	7.03				3	0	0	0
5	7.12				3	0	0	0
6			11.5		5	0	0	0
7				11.71	6	0	0	0
8		9.91			4	0	0	0
9		8.68			4	0	0	0
10		12.76			3	0	1	0
11	8.7				3	0	0	0
12		9.07			4	0	0	0
13	7.45				3	0	0	0
14		7.95			4	0	0	0
15		6.18			3	0	0	1
16			10.36		5	0	0	0
17			11.64		5	0	0	0
18			10.33		5	0	0	0
19	7.46				3	0	0	0
20		7.96			4	0	0	0
21		8.07			4	0	0	0
22				14.2	6	0	0	0
23	5.6				3	0	0	0
24			10.5		5	0	0	0
25		8.89			4	0	0	0
26		8.49			4	0	0	0
27	6.07				3	0	0	0
28			9.65		4	0	0	1
29	7				3	0	0	0
30	6.65				3	0	0	0
Sumatoria	71.14	94.31	75	25.91	118	0	1	2
Totales	(a)	(b)	(c)	(d)				

Flujo de sat. medio =	$\frac{(3600 \times \text{numero de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$	Flujo de saturación medio	1621.39846	veh/h
observaciones				

- AVENIDA UNIVERSITARIA CON CALLE 49 acceso Norte

DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (SO) PARA CIUDADES PEQUEÑAS, CASO TUNJA.	ESTUDIO DE FLUJO DE SATURACIÓN FORMATO DE CAMPO	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA	
-------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	--------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

fecha: (D,M,A) <u>24.10.2018</u>	INTERSECCION: <u>UNICENTRO</u>	Hoja: 1	De: 2
Acceso: <u>NORTE</u>	Carril: <u>INTERNO</u>	ancho Carril: <u>3.65m</u>	Croquis
Hora inicio: <u>9:15 AM</u>	Hora final: <u>10:15 AM</u>	pendiente: <u>-1%</u>	

CICLO	tiempo en segundos entre el 4° y el ...				tipo de vehículo			
	7°	8°	9°	10°	AUTOS	BUSES	CAMION	MOTO
1			11.22		5	0	0	0
2				15.46	4	1	C2G	0
3			11.52		5	0	0	0
4		9.27			4	0	0	0
5		7.93			4	0	0	0
6		11.09			3	0	0	1
7		8.95			4	0	0	0
8		8.86			4	0	0	0
9			12.78		5	0	0	0
10			10.75		5	2	0	0
11		8.07			4	0	0	0
12	7.63				3	0	0	0
13	10.4				3	0	0	0
14		9.13			4	0	0	0
15		9.58			4	0	0	0
16	9.98				3	0	0	0
17				12.43	5	0	C2P	0
18	7.29				3	0	0	0
19		10			4	0	0	0
20		9.23			2	0	0	2
21		8.9			4	0	0	0
22	7.03				2	0	C3	0
23			9.87		5	0	0	0
24	5.27				3	0	0	0
25			10.23		5	0	0	0
26		8.07			4	0	0	0
27			8.87		5	0	0	0
28			9.03		4	0	C2P	0
29		7.59			3	1	0	0
30				11.04	6	0	0	0
Sumatoria	47.6	116.67	84.27	38.93	119	4	3	3
Totales	(a)	(b)	(c)	(d)				

Flujo de sat. medio =	$\frac{(3600 \times \text{numero de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$	Flujo de saturación medio	1579.49003	veh/h
observaciones _____				

- AVENIDA ORIENTAL 26 CON CARRERA 7 acceso Sur

DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (SO) PARA CIUDADES PEQUEÑAS, CASO TUNJA.	ESTUDIO DE FLUJO DE SATURACIÓN FORMATO DE CAMPO	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA	
-------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	--------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

fecha: (D,M,A) <u>24.10.2018</u>	INTERSECCION: <u>BOMBEROS</u>	Hoja: 1 De: 2
Acceso: <u>SUR</u>	Carril: <u>INTERNO</u>	ancho Carril: <u>3.65m</u>
Hora inicio: <u>9:15 AM</u>	Hora final: <u>10:15 AM</u>	pendiente: <u>-1%</u>

Croquis

CICLO	tiempo en segundos entre el 4° y el ...				tipo de vehículo			
	7°	8°	9°	10°	AUTOS	BUSES	CAMION	MOTO
1	7.13				2	0	0	1
2	6.85				3	0	0	0
3			12.15		3	1	0	0
4				13.22	6	0	0	0
5				14.14	6	0	0	0
6		8.13			3	0	1 (C2P)	0
7		7.98			4	0	0	0
8	6.25				2	0	0	1
9	7.58				3	0	0	0
10		9.41			4	0	0	0
11			9.22		5	0	0	0
12			11.02		4	1	0	0
13			9.53		5	0	0	0
14		8.12			4	0	0	0
15		10.25			4	0	0	0
16		10.13			4	0	0	0
17	6.63				3	0	0	0
18		7.56			3	0	0	1
19				11.66	6	0	0	0
20				12.28	6	0	0	0
21			9.54		5	0	0	0
22			13.25		4	1	0	0
23		7.19			4	0	0	0
24				12.01	6	0	0	0
25		8.16			4	0	0	0
26		7.95			4	0	0	0
27			11.03		5	0	0	0
28	8.09				3	0	C2G	0
29		10.74			4	0	0	0
30				11.98	6	0	0	0
Sumatoria	42.53	95.62	75.74	75.29	125	3	2	3
Totales	(a)	(b)	(c)	(d)				

Flujo de sat. medio = $\frac{(3600 \times \text{numero de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$	Flujo de saturación medio	1641.88634	veh/h
observaciones _____			

- AVENIDA ORIENTAL 26 CON CARRERA 7 acceso Norte

DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE SATURACIÓN BASE (SO) PARA CIUDADES PEQUEÑAS, CASO TUNJA.	ESTUDIO DE FLUJO DE SATURACIÓN FORMATO DE CAMPO	UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA	
-------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

fecha: (D,M,A) <u>24.10.2018</u>	INTERSECCION: <u>BOMBEROS</u>	Hoja: 1	De: 2
Acceso: <u>NORTE</u>	Carril: <u>INTERNO</u>	ancho Carril: <u>3.65m</u>	Croquis
Hora inicio: <u>9:15 AM</u>	Hora final: <u>10:15 AM</u>	pendiente: <u>-1%</u>	

CICLO	tiempo en segundos entre el 4° y el ...				tipo de vehículo			
	7°	8°	9°	10°	AUTOS	BUSES	CAMION	MOTO
1		10.15			3	1	0	0
2				13.17	6	0	0	0
3			10.98		5	0	0	0
4			9.56		5	0	0	0
5			9.64		5	0	0	0
6	7.38				3	0	0	0
7	8.15				3	0	0	0
8	7.63				3	0	0	0
9		9.54			4	0	0	0
10			10.32		5	0	0	0
11			10.36		5	0	0	0
12				14.01	6	0	0	0
13		7.95			4	0	0	0
14		8.43			3	0	0	1
15	6.66				3	0	0	0
16	5.42				1	1	C2P	0
17		9.03			4	0	0	0
18		9.27			4	0	0	0
19			11.9		5	0	0	0
20			9.62		5	0	0	0
21				11.92	6	0	0	0
22		8.91			4	0	0	0
23		7.63			4	0	0	0
24	6.45				2	0	C3	0
25		8.08			3	0	0	1
26				13.37	6	0	0	0
27	7.66				3	0	0	0
28	7.13				2	1	0	0
29	6.94				3	0	0	0
30	6.38				2	0	0	1
Sumatoria	69.8	78.99	72.38	52.47	117	3	2	3
Totales	(a)	(b)	(c)	(d)				

Flujo de sat. medio =	$\frac{(3600 \times \text{numero de ciclos})}{(a/3+b/4+c/5+d/6)}$	Flujo de saturación medio	1630.55376	veh/h
observaciones				