



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA

La Universidad Católica de Loja

ÁREA TÉCNICA

TITULACIÓN DE INGENIERO CIVIL

**Análisis de la capacidad y nivel de servicio aplicando metodología de HCM
en la vía Loja-Zamora.**

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN.

AUTOR: Cuenca Poma, Pablo Efraín.

DIRECTOR: Zarate Torres, Belizario Amador, Ing.

LOJA - ECUADOR

2014

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

MSc.

Belizario Amador Zárate Torres.

DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de fin de titulación: **“Análisis de la capacidad y nivel de servicio aplicando la metodología del HCM 2000 en la vía Loja-Zamora.”** realizado por el Sr. Pablo Efraín Cuenca Poma, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por lo cual se aprueba la presentación del mismo.

Loja, Junio de 2014

f)

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo Pablo Efraín Cuenca Poma declaro ser autor del presente trabajo de fin de titulación: **“Análisis de la capacidad y nivel de servicio aplicando la metodología del HCM 2000 en la vía Loja-Zamora.”** de la Titulación de Ingeniero Civil, siendo el MSc. Belizario Amador Zárate Torres director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f.

Autor: Pablo Efraín Cuenca Poma.

Cédula: 1104184476

DEDICATORIA.

Con toda la humildad que puede emanar mi corazón quiero dedicar la presente tesis a mis padres que han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me han ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles, y porque siempre han estado a mi lado apoyándome para lograr que este sueño se haga realidad.

A mi hermana Mayra que siempre ha estado junto a mí brindándome su apoyo incondicional.

A mi familia en general, porque me han brindado su apoyo y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Y a mis amigos más allegados, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas.

Pablo Efraín

AGRADECIMIENTO.

Al Creador de todas las cosas, El que me ha dado salud, fortaleza para continuar cuando estado a punto de caer, y sobre todo porque me ha brindado sabiduría y entendimiento para lograr esta meta.

A mis queridos padres porque siempre estuvieron apoyándome económicamente y en especial moralmente, en toda la carrera y así poder culminarla.

A la Universidad Técnica Particular de Loja, en especial a todos los docentes e ingenieros que me brindaron sus atenciones, dedicación y enseñanzas incondicionales, para poder llegar a conseguir mis objetivos trazados.

Mi sentimiento de agradecimiento más distinguido al Ing. Belizario Amador Zárate Torres, por su valioso aporte a la investigación y como Director del tema me guió y oriento perfectamente en el desarrollo del mismo.

Y a todos mis amigos y personas que de una u otra manera ayudaron hacer posible la culminación del proyecto.

El Autor.

INDICE DE CONTENIDOS.

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.	iv
AGRADECIMIENTO.	v
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
CAPITULO I. GENERALIDADES	11
1.1. Introducción.	12
1.2. Objetivos.....	13
1.2.1. Generalidades.....	13
1.2.2. Específicos.....	13
1.3. Alcance y condiciones de estudio	13
1.3.1. Alcance.	13
1.3.2. Condiciones.	13
1.4. Estado del arte.....	14
CAPITULO II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	16
2.1. Capacidad y nivel de servicio.....	17
2.1.1. Capacidad de una vía	17
2.1.2. Nivel de servicio	17
2.1.2.1. Nivel de servicio A.	17
2.1.2.2. Nivel de servicio B.	18
2.1.2.3. Nivel de servicio C.	18
2.1.2.4. Nivel de servicio D.	18
2.1.2.5. Nivel de servicio E.	18
2.1.2.6. Nivel de seguridad F.....	18

2.1.3.	Carretera de dos carriles.....	18
2.2.	Cálculo y nivel del servicio.....	19
2.2.1.	Velocidad a flujo libre (FFS)	19
2.2.2.	Determinación de la demanda de tasa de flujo (Vp)	20
2.2.3.	PHF (Factor hora pico)	20
2.2.4.	Factor de ajuste por pendiente (<i>fG</i>).....	21
2.2.5.	Ajuste por vehículos pesados (<i>fHV</i>).....	22
2.2.6.	Factor de ajuste de vehículos pesados (<i>fHV</i>).	23
2.2.7.	Determinación de la velocidad promedio de recorrido (ATS).....	23
2.2.8.	Determinación del porcentaje de demora en tiempo (PTSF)	24
2.2.9.	Determinación de los niveles de servicio (LOS).	25
CAPITULO III. METODOLOGÍA.....		28
3.1.	Consideraciones generales	29
3.2.	Características geométricas de la vía	29
3.2.1.	Pendiente.....	29
3.2.2.	Espaldones	34
3.2.3.	Cunetas.....	34
3.2.4.	Ancho de vía.....	35
3.2.5.	Puntos de acceso.....	35
3.2.6.	Zonas de no rebasamiento.....	36
3.2.7.	Obstrucciones laterales.....	37
3.3.	Características del tráfico y velocidad.....	39
3.3.1.	Medición de velocidades instantáneas.....	39
3.3.2.	Medición de velocidades promedio.	41
3.3.3.	Aforo vehicular y composición del tráfico.....	41
3.3.4.	Distribución del tráfico por carril.	47

3.3.5.	Factor de hora pico (PHF)	47
3.3.6.	Volumen máximo por hora.	50
3.4.	HCM 2000	55
CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS		58
4.1.	Datos requeridos.	59
4.2.	Determinación del nivel de servicio.....	60
4.2.1.	Calculo de la velocidad promedio de viaje (ATS).	60
4.2.2.	Porcentaje de tiempo siguiendo a otro vehículo.	61
CONCLUSIONES		65
BIBLIOGRAFÍA.....		67
ANEXOS		68

RESUMEN.

El objetivo principal de este proyecto es realizar una investigación en la vía Loja-Zamora, con la finalidad de determinar la capacidad y el nivel de servicio, tomando en cuenta el volumen del tráfico, velocidad y las características geométricas de la vía.

Esta carretera conecta las ciudades de Loja y Zamora al sur del Ecuador en una longitud de 60,7 km, la misma que está constituida por dos carriles.

Se establecieron las variables geométricas de la carretera en cuanto tiene que ver con longitud, pendiente media, longitud de zonas de rebasamiento y densidad de puntos de acceso; la información del tráfico y velocidad se la determinó empleando un contador vehicular de tipo neumático para un registro diario de 24 horas.

PALABRAS CLAVES: Nivel de Servicio, Capacidad, HCM 2000

ABSTRACT.

The aim of this research is determine the capacity and level of service in Loja-Zamora highway considering traffic volume, speed and geometric characteristics of the highway of the road.

This road connects the cities of Loja and Zamora in southern Ecuador in a length of 60.7 km, it which consists of two lanes.

Geometric variables of the road that has to do with length, average slope length of overrun areas and density of access points were established; traffic information and the speed is determined using a vehicular pneumatic counter to a daily record of 24 hours.

KEYWORDS: Level of service, Capacity, HCM 2000

CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1. Introducción.

El incremento de la población, la formación y preparación personal de cada individuo y el avance de la tecnología, conllevan al incremento paulatino del número de vehículos en la sociedad. Se puede ver claramente cómo se forman filas de vehículos en las vías, a distintas horas del día, ocasionando congestionamientos y molestias a los usuarios. Por ello es muy necesario determinar la capacidad y nivel de servicio que tienen las vías, para ofrecer alternativas de mejora para las mismas y al mismo tiempo contribuir a estudios posteriores.

El análisis de capacidad y el nivel de servicio son métodos importantes para saber el nivel de calidad que una carretera ofrece al usuario, siendo unas de las principales características para determinar el funcionamiento de la misma. Este análisis es usado para la planeación, proyecto, operación y evaluación de una carretera. El presente proyecto tiene como propósitos fundamentales determinar la capacidad y nivel de servicio de la vía Loja-Zamora, así como también conocer los parámetros generales del tramo de estudio, los volúmenes vehiculares que presenta la vía, la composición del tráfico y establecer el nivel de servicio.

Para el cálculo del nivel de servicio y los parámetros mencionados en el párrafo anterior, se aplica la metodología del Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2000, que es un documento que contiene conceptos, directrices y procedimientos para el cálculo de capacidad y nivel de servicio en las vías, autopistas, carreteras, vías arteriales entre otras; es una publicación de la Junta de Investigación del Transporte de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos. El levantamiento de datos y la información necesaria que se necesita para realizar el proyecto se lo hace empleando una estación con un contador automático vehicular Metro Count 5600 de tipo neumático u otro dispositivo electrónico o manual.

1.2. Objetivos

1.2.1. Generalidades.

- ✓ Determinar el nivel de servicio y la capacidad de la carretera Loja – Zamora.

1.2.2. Específicos.

- ✓ Determinar los parámetros generales del tramo de estudio.
- ✓ Determinar los volúmenes vehiculares que se presentan en la vía.
- ✓ Determinar la composición del tráfico existente en la vía.
- ✓ Establecer el nivel de servicio del tramo de estudio.

1.3. Alcance y condiciones de estudio

1.3.1. Alcance.

Elaborar un diagnóstico de la capacidad y nivel de servicio de la vía Loja-Zamora, basándose en información existente y recopilada en campo, utilizando el método establecido en el Highway Capacity Manual (HCM), con miras a contribución de la planeación y diseño de posibles intervenciones en toda la vía analizada.

1.3.2. Condiciones.

Los vehículos pesados en la vía Loja – Zamora circulan a velocidades menores o más bajas que la de un vehículo liviano que alcanza velocidades más rápidas, ocasionando así a los usuarios de la vía malestar y desesperación al momento de rebasar, esto porque no existen suficientes y amplias zonas de rebasamientos y con ello los accidentes son más propensos y la circulación vehicular es más peligrosa.

Como condición del estudio del análisis planteado, se tiene la falta de datos referentes a la geometría de proyecto en análisis, por lo que se ve conveniente realizar la recolección de datos tales como: ancho de carril, espaldones, etc.

Otra condición es la falta de datos de tráfico en el tramo de estudio por lo que se procedió a colocar un contador neumático vehicular que brinda toda la información posible del tráfico vehicular, para satisfacer las necesidades y cumplir los objetivos planteados.

1.4. Estado del arte.

Las provincias de Loja y Zamora Chinchipe cuentan con una carretera de primer orden que está completamente habilitada para cualquier tipo de tráfico vehicular. La vía se inauguró el 10 de noviembre del 2012.

La carretera de 60.7 kilómetros de longitud, está construida íntegramente de hormigón rígido. El gobierno nacional invirtió 28'666.180,31 dólares para su rehabilitación. La obra estuvo a cargo del Cuerpo de Ingenieros del Ejército con un plazo de ejecución de 30 meses, sin contar el mantenimiento rutinario de 2 años que iniciará a partir de la entrega.

Estas carreteras conectan las provincias de Zamora Chinchipe y Loja que permite mejorar las actividades productivas como: agricultura, comercio, ganadería, ranicultura, acuicultura, minería, entre otras.

El pavimento rígido de la vía tiene un espesor de 22 cm, una sub-base de espesor de 20 cm, el ancho de la vía es de 7,30 metros; tiene dos carriles con 3,65 m de ancho cada uno con espaldones de 0,60 m y cuneta 0,60 m.

La vía Loja-Zamora une varios centros poblados entre ellos: Yanacocha, barrio El Calvario, Sabanilla, El Tambo, El Oso, y finalmente al llegar a la provincia de Zamora está el barrio El Limón.

Esta carretera tiene gran afluencia vehicular de transporte público, cuyas compañías de transporte se detallan a continuación:

- ✓ Cooperativa Unión Cariamanga que tiene las rutas: Loja-Zamora, Loja-Zamora-Pangui, Loja-Zamora-Yacuambi, Loja-Zamora-Guaysimi.

- ✓ Cooperativa Loja con las rutas: Loja-Zamora-Yantzaza, Loja-Zamora-Macas, Loja-Zamora-Gualaquiza.
- ✓ Cooperativa Yanzatza con rutas Loja-Zamora, Loja-Yantzaza, se dirigen hasta el Panguí, Guaysimi, Yacuambi.
- ✓ Cooperativa Nambija
- ✓ Cooperativa Zamora.
- ✓ Cooperativa Viajeros con la ruta desde Cuenca-Loja-Zamora-Yantzaza

CAPITULO II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Capacidad y nivel de servicio

Para el estudio de Capacidad y nivel de servicio es necesario disponer de información de campo inherente al tráfico y a la configuración física de la carretera, así como las condiciones topográficas. A continuación se describen algunas de ellas.

2.1.1. Capacidad de una vía

La capacidad es el número máximo de vehículos que pasan por un punto o una sección de una vía o camino durante un período de tiempo, de acuerdo a condiciones predominantes de la carretera y del tránsito. La capacidad vehicular se expresa en vehículos por hora.

Para un mejor resultado en la determinación de la capacidad de una vía se requiere disponer de aforos vehiculares que permitan establecer la velocidad, tipología vehicular, volumen vehicular, etc., para ello se puede emplear dispositivos o sensores de diversa índole, entre los más utilizados se halla los sensores magnéticos y los de tubos neumáticos.

2.1.2. Nivel de servicio

El nivel de servicio es una medida cualitativa que se encarga de describir las condiciones operativas en lo concerniente a una corriente de tránsito y como lo vean los conductores, pasajeros o ambos. También se puede decir, que el nivel de servicio es una medida de la calidad que la vía ofrece al usuario. Cuando se refiere a la calidad de la vía se habla de la velocidad que un vehículo puede circular por la misma con la suficiente comodidad y seguridad.

Existen varios niveles de servicio desde la A hasta la F y los describiremos a continuación:

2.1.2.1. Nivel de servicio A.

Este tipo de nivel representa el flujo libre, el conductor elige la velocidad, las condiciones de circulación son libres y existe gran comodidad física.

2.1.2.2. Nivel de servicio B.

El flujo es estable, los vehículos circulan a velocidades más rápidas la misma que está influenciada por la de otros vehículos, y pueden verse demorados durante ciertos intervalos por otros más lentos, pero no llegan a formarse colas. Este nivel corresponde a unas condiciones de circulación estable.

2.1.2.3. Nivel de servicio C.

Expresa la zona de flujo estable, hay restricciones marcadas para elegir la velocidad y existe pocas posibilidades para rebasar.

2.1.2.4. Nivel de servicio D.

Se aproxima a la condición de flujo inestable, el conductor tiene poca libertad de maniobra, se forman caravanas y se dificulta el rebasamiento, también existe circulación cercana a la inestabilidad.

2.1.2.5. Nivel de servicio E.

En este nivel se dan bajas velocidades de operación y volúmenes próximos a la capacidad máxima, se produce detención de la circulación por los incrementos de intensidad de tráfico, es difícil rebasar vehículos.

2.1.2.6. Nivel de seguridad F.

En este tipo de nivel se producen condiciones de embotellamiento, hay frecuentemente interrupciones y rupturas del flujo, la intensidad sobrepasa la capacidad de la vía y las velocidades de operación son muy bajas.

2.1.3. Carretera de dos carriles.

Se define como carretera de dos carriles a una calzada que tiene un carril disponible para cada sentido de circulación

2.2. Cálculo y nivel del servicio.

El HCM 2000 tiene establecido un proceso de cálculo tomando en consideración los siguientes parámetros:

2.2.1. Velocidad a flujo libre (FFS)

La velocidad media de un vehículo se la denomina velocidad de flujo libre o Free Flow Speed (FFS), siempre y cuando no sea interrumpido por otro usuario. La FFS se la puede determinar con mediciones de campo o estimándola a partir de la velocidad base de flujo libre (BFSS) (Base Free Flow Speed).

La FFS medida en campo, no debe modificarse y debe realizarse bajo condiciones de flujo libre, o sea cuando la intensidad vehicular es menor a 200 veh/h. y cuando la FFS es estimada en base a BFSS se la debe modificar para reflejar características del tráfico y geometría de la vía. La FFS se calcula con la ecuación 1:

$$FFS = BFSS - f_{LS} - f_A \quad (1)$$

Donde:

FFS = Velocidad a flujo libre estimada (km/h)

$BFSS$ = Velocidad base de flujo libre (km/h)

f_{LS} = Ajuste del ancho de carril y el ancho de berma, Tabla 1

f_A = Ajuste para puntos de acceso, Tabla 2

Tabla 1: Ajuste (f_{LS}) por ancho de carril y berma

ancho de carril (m)	Reducción en la FFS (km/h)			
	Espaldones (m)			
	$\geq 0.0 < 0.6$	$\geq 0.6 < 1.2$	$\geq 1.2 < 1.8$	≥ 1.8
$2.7 < 3.0$	10.3	7.7	5.6	3.5
$\geq 3.0 < 3.3$	8.5	5.9	3.8	1.7
$\geq 3.3 < 3.6$	7.5	4.9	2.8	0.7
≥ 3.6	6.8	4.2	2.1	0

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

Tabla 2: Ajuste (f_A) para densidad de puntos de acceso.

Acceso por Km	Reducción en la FFS (km/h)
0	0
6	4
12	8
18	12
≥ 24	16

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

2.2.2. Determinación de la demanda de tasa de flujo (V_p)

Para la determinación de la tasa de flujo se debe realizar tres ajustes a los volúmenes horarios, para con ello llegar a convertirlo en una tasa de flujo de vehículos equivalentes livianos, los mismos que puedan ser usados en los criterios para la determinación del nivel de servicio. Los ajustes son: el PHF (factor de hora pico), el factor de ajuste por pendiente f_G , el factor de ajuste de vehículo-pesado f_{HV} ; se la calcula con la ecuación 2:

$$v_p = \frac{V}{PHF * f_G * f_{HV}} \quad (2)$$

Donde:

v_p = Tasa de flujo equivalente en vehículos livianos para el periodo pico de 15 min (veh/h)

V = Demanda de volumen para una hora pico completa (veh/H)

PHF = Factor hora pico.

f_G = Factor de ajuste por pendiente, y

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados.

2.2.3. PHF (Factor hora pico)

Es la variación que se produce en el flujo de tráfico en el lapso de una hora. En las carreteras de dos carriles el análisis se basa sobre volúmenes de demanda en periodos de 15 minutos en una hora de interés, tomando en cuenta la hora pico. El PHF se lo determina con la ecuación 3:

$$PHF = \frac{I_{60}}{4I_{15}} \quad (3)$$

Donde:

PHF = Factor hora pico.

I₆₀ = Intensidad vehicular horaria

I₁₅ = Intensidad vehicular cada 15 minutos.

2.2.4. Factor de ajuste por pendiente (f_G)

Este factor indica el efecto del terreno sobre las velocidades de desplazamientos de los vehículos y el porcentaje de seguimiento de un vehículo a otro, inclusive si no existen vehículos pesados presentes. En la Tabla 3 se presentan los valores de f_G para estimar las velocidades de viaje promedio y en la Tabla 4 para estimar el porcentaje de tiempo de seguimiento.

Tabla 3: Factor de ajuste por pendiente f_G para determinar velocidades en segmentos en dos sentidos y segmentos direccionales

Intensidad Horaria (Veh/h)	Tipo de terreno	
	Plano	Montañoso
0 - 600	1.00	0.71
> 600 - 1200	1.00	0.93
> 1200	1.00	0.99

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

Tabla 4: Factor de ajuste por pendiente (f_G) para determinar porcentaje de tiempo de seguimiento en segmentos en dos sentidos y direccional.

Intensidad Horaria (Veh/h)	Tipo de terreno	
	Plano	Montañoso
0 - 600	1.00	0.71
> 600 - 1200	1.00	0.94
> 1200	1.00	1.00

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

2.2.5. Ajuste por vehículos pesados (f_{HV}).

La presencia de vehículos pesados en el flujo de tráfico disminuye la velocidad de flujo libre, para lo cual, el volumen de tráfico se debe ajustar a un caudal equivalente expresado en los vehículos livianos por hora, este ajuste se lleva a cabo utilizando el factor de f_{HV} .

Los equivalentes de vehículos livianos para segmentos extendidos bidireccionales, se determinan en la Tabla 5 para la estimación de las velocidades y de la Tabla 6 para el porcentaje de estimación del tiempo de seguimiento. El terreno de los segmentos bidireccionales debe caracterizarse como plano u ondulado.

- Terreno Plano.

Terreno plano es cualquier combinación de alineación horizontal y vertical que permite a los vehículos pesados mantener una misma velocidad como los vehículos livianos; en general, esto incluye las pendientes cortas de no más de 1 o 2 por ciento.

- Terreno ondulado

Terreno ondulado es cualquier combinación de alineación horizontal y vertical que causan que los vehículos pesados reduzcan sus velocidades respecto a los vehículos livianos, pero no para funcionar a velocidades lentas durante un lapso significativo de tiempo o intervalos de frecuencia; esto incluye las gradientes cortas y medianas de no más de 4 por ciento. Los segmentos con longitudes considerables de más de 4% de pendiente deben ser analizados con el procedimiento específico de calidad para los segmentos direccionales.

Tabla 5: Equivalencias de vehículos livianos para pesados y recreacionales para determinar velocidades en segmentos en dos sentidos y segmentos direccionales.

Tipo de vehículo	Intensidad Horaria (Veh/h)	Tipo de terreno	
		Plano	Montañoso
Camiones, ET	0 - 600	1.7	2.5
	> 600 - 1,200	1.2	1.9
	> 1,200	1.1	1.5
Vehículos de recreo, ER	0 - 600	1.0	1.1
	> 600 - 1,200	1.0	1.1
	> 1,200	1.0	1.1

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

Tabla 6: Equivalencias de vehículos livianos para pesados y recreacionales para determinar tiempos de seguimiento en segmentos de dos sentidos y segmentos direccionales.

Tipo de vehículo	Intensidad Horaria (Veh/h)	Tipo de terreno	
		Plano	Montañoso
Camiones, E_T	0 - 600	1.1	1.8
	> 600 - 1,200	1.1	1.5
	> 1,200	1.0	1.0
Vehículos de recreo, E_R	0 - 600	1.0	1.0
	> 600 - 1,200	1.0	1.0
	> 1,200	1.0	1.0

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

2.2.6. Factor de ajuste de vehículos pesados (f_{HV}).

Determinados los valores de E_T y E_R el ajuste del factor para vehículos pesados se determina mediante la ecuación 4:

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} \quad (4)$$

Donde:

P_T = Proporción de vehículos pesados en el tráfico, expresado en decimal;

P_R = Proporción de vehículos de recreación en el tráfico, expresado como decimal;

E_T = Equivalencia de vehículos por vehículos pesados, obtenido de la Tabla 5 o Tabla 6;

E_R = Equivalencia de vehículos por vehículos de recreación, obtenido de la Tabla 5 o Tabla 6.

2.2.7. Determinación de la velocidad promedio de recorrido (ATS)

Para la determinación de la velocidad promedio de recorrido, se estima tomando en cuenta la velocidad de flujo libre, la demanda de tasa de flujo, y un factor de ajuste para el porcentaje de zonas de no rebasamiento o adelantamiento; la velocidad promedio de recorrido se calcula con la ecuación 5:

$$ATS = FFS - 0.0125v_p - f_{np} \quad (5)$$

Donde:

ATS= Velocidad Promedio de Recorrido para ambas direcciones de trayecto combinado (Km/h).

f_{np}= Porcentaje de ajuste para las zonas de no adelantamiento, Tabla 7, y

v_p= La tasa de flujo de equivalencia de vehículo liviano para un periodo pico de 15min. (Veh/h).

2.2.8. Determinación del porcentaje de demora en tiempo (PTSF)

Se lo determina desde; la tasa de demanda de flujo, la distribución de tráfico direccional y el porcentaje de zonas de no rebasamiento; y lo estimamos con la ecuación 6.

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np} \quad (6)$$

Dónde:

PTSF= Porcentaje de demora en tiempo.

BPTSF= Base de PTSF para ambas direcciones de recorrido combinado (use la Ecuación 7), y

f_{d/np}= Ajuste para el efecto combinado de la distribución direccional del tráfico y el porcentaje de zonas de no rebasamiento sobre el PTSF.

v_p= Tasa de flujo equivalente vehículo liviano por periodo pico de 15 min.

$$BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879v_p}) \quad (7)$$

Un ajuste representativo del efecto combinado de la distribución direccional de tráfico y el porcentaje de zonas de no rebasamiento $f_{d/np}$ es representado en la Tabla 8.

Tabla 7: Ajuste (f_{np}) por el efecto de zonas de no-adelantamiento sobre la velocidad en segmentos en dos sentidos

Intensidad Horaria (Veh/h)	Reducción en la velocidad de viaje promedio (km/h)					
	Zonas de no rebasamiento (%)					
	0	20	40	60	80	100
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
200	0.0	1.0	2.3	3.8	4.2	5.6
400	0.0	2.7	4.3	5.7	6.3	7.3
600	0.0	2.5	3.8	4.9	5.5	6.2
800	0.0	2.2	3.1	3.9	4.3	4.9
1000	0.0	1.8	2.5	3.2	3.6	4.2
1200	0.0	1.3	2.0	2.6	3.0	3.4
1400	0.0	0.9	1.4	1.9	2.3	2.7
1600	0.0	0.9	1.3	1.7	2.1	2.4
1800	0.0	0.8	1.1	1.6	1.8	2.1
2000	0.0	0.8	1.0	1.4	1.6	1.8
2200	0.0	0.8	1.0	1.4	1.5	1.7
2400	0.0	0.8	1.0	1.3	1.5	1.7
2600	0.0	0.8	1.0	1.3	1.4	1.6
2800	0.0	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4
3000	0.0	0.8	0.9	1.1	1.1	1.3
3200	0.0	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

2.2.9. Determinación de los niveles de servicio (LOS).

El primer paso en la determinación de los niveles de servicio (Level Of Service) es comparar la tasa de flujo equivalente de vehículos livianos v_p para la capacidad de dos sentidos de 3,200 veh/h. Si v_p es mayor que la capacidad, entonces la calzada está sobresaturado y el nivel de servicio es F. De igual modo, si la demanda de la tasa de flujo en cualquier dirección de recorrido determinada a partir de la tasa de flujo de dos sentidos y por cada sentido es mayor que 1700 veh/h, entonces la carretera está sobresaturado y el nivel de servicio es F. En el nivel de servicio F, el PTSF está casi al 100 por ciento y las velocidades son muy variables y difíciles de estimar.

Cuando un segmento de clase II tiene una demanda menos que su capacidad, el LOS se determina mediante el porcentaje de tiempo de seguimiento especificado PTSF con el criterio de la Tabla 9. El análisis debe contener los LOS y los valores estimados del porcentaje de demora en tiempo (PTSF) y la velocidad promedio de recorrido (ATS). Aunque la velocidad de viaje promedio

no se considera en la determinación de los LOS para la carretera de Clase II, la estimación puede ser útil para evaluar la calidad del servicio de las instalaciones de dos carriles, redes de carreteras o sistemas, incluyendo el segmento.

Tabla 8: Ajuste ($f_{d/np}$) por el efecto combinado de la distribución de tráfico y el porcentaje de zonas de no-adelantamiento en el porcentaje de demora en tiempo sobre segmentos en dos sentidos.

Intensidad (Veh/h)	Porcentaje de tiempo de seguimiento (%)					
	Zonas de no rebasamiento (%)					
	0	20	40	60	80	100
Reparto por sentidos = 50/50						
≤ 200	0.0	10.1	17.2	20.2	21.0	21.8
400	0.0	12.4	19	22.7	23.8	24.8
600	0.0	11.2	16.0	18.7	19.7	20.5
800	0.0	9.0	12.3	14.1	14.5	15.4
1400	0.0	3.6	5.5	6.7	7.3	7.9
2000	0.0	1.8	2.9	3.7	4.1	4.4
2600	0.0	1.1	1.6	2.0	2.3	2.4
3200	0.0	0.7	0.9	1.1	1.2	1.4
Reparto por sentidos = 60/40						
≤ 200	0.0	11.8	17.2	22.5	23.1	23.7
400	0.0	11.7	16.2	20.7	21.5	22.2
600	0.0	11.5	15.2	18.9	19.8	20.7
800	0.0	7.6	10.3	13.0	13.7	14.4
1400	0.0	3.7	5.4	7.1	7.5	8.1
2000	0.0	2.3	3.4	3.6	4.0	4.3
≥ 2600	0.0	0.9	1.4	1.9	2.1	2.2
Reparto por sentidos = 70/30						
≤ 200	2.8	13.4	19.1	24.8	25.2	25.5
400	1.1	12.5	17.3	22.0	22.6	23.2
600	0.0	11.6	15.4	19.1	20.0	20.9
800	0.0	7.7	10.5	13.3	14.0	14.6
1400	0.0	3.8	5.6	7.4	7.9	8.3
≥ 2000	0.0	1.4	4.9	3.5	3.9	4.2
Reparto por sentidos = 80/20						
≤ 200	5.1	17.5	24.3	31.0	31.3	31.6
400	2.5	15.8	21.5	27.1	27.6	28.0
600	0.0	14.0	18.6	23.2	23.9	24.5
800	0.0	9.3	12.7	16.0	16.5	17.0
1400	0.0	4.6	6.7	8.7	9.1	9.5
≥ 2000	0.0	2.4	3.4	4.5	4.7	4.9
Reparto por sentidos = 90/10						
≤ 200	5.6	21.6	29.4	37.2	37.4	37.6
400	2.4	19.0	25.6	32.2	32.5	32.8
600	0.0	16.3	21.8	27.2	27.6	28
800	0.0	10.9	14.8	18.6	19	19.4
≥ 1400	0.0	5.5	7.8	10.0	10.4	10.7

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

Tabla 9: Criterios para carreteras de dos carriles de clase II.

LOS	Porcentaje de tiempo de seguimiento
A	≤ 40
B	$> 40 - 55$
C	$>55 - 70$
D	$>70 - 85$
E	>85

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1. Consideraciones generales

En la metodología se describirá el proceso para determinar las características físicas de la carretera como son las pendiente, longitud de espaldones, puntos de acceso, obstrucciones laterales entre otros parámetros de la vía que influyen en la tema de estudio; también se describirá el proceso de determinación de la velocidad y composición del tráfico.

3.2. Características geométricas de la vía

3.2.1. Pendiente.

La pendiente es la relación entre un desnivel y la distancia horizontal entre dos puntos. Para determinar la pendiente en el tramo de estudio, se tomaron mediciones a lo largo de la vía en los sitios donde se producían cambios visuales de la gradiente longitudinal, para ello se empleó un clinómetro marca CST (Figura 1).



Figura 1: Clinómetro de marca CST.
Fuente: El Autor.

El inicio de las mediciones de este parámetro fue la intersección de la vía oriental con la vía Loja – Zamora (sector El Valle) hasta el kilómetro 60+700. La pendiente media de la vía es de: 5,1% Los resultados de esta medición son los que se indican en la Tabla 10.

Tabla 10: Pendientes longitudinales del tramo de estudio

MEDIDA DE PENDIENTES				
N	Abscisa	%	Longitud (m)	Observaciones
1	0+000	8	120	
2	0+120	7	120	
3	0+240	8	480	
4	0+720	3	260	
5	0+980	3	320	
6	1+300	2	200	
7	1+500	-	-	Falla Geológica
8	1+800	3	200	
9	2+00	2	200	
10	2+00	8	300	
11	2+300	7.5	100	
12	2+400	6	300	
13	2+700	5	690	
14	3+390	4	140	
15	3+530	6	400	
16	3+930	1	280	
17	4+210	7	150	
18	4+360	5	70	
19	4+430	7	130	
20	4+560	8	100	
21	4+660	7	600	
22	5+260	5.5	90	
23	5+350	8	430	
24	5+780	4	300	
25	6+080	6.5	130	
26	6+210	8	90	
27	6+300	2	140	
28	6+440	3	90	
29	6+530	5	340	
30	6+870	3	160	
31	7+030	5	240	
32	7+210	3,5	90	
33	7+300	7	90	
34	7+390	8	110	
35	7+500	1	250	
36	7+750	8	750	
37	8+430	7	550	
38	8+980	4	60	
39	9+040	2	110	
40	9+150	5	120	
41	9+270	3	230	
42	9+460	-2	250	
43	9+710	2,5	380	
44	10+090	1	170	
45	10+260	5	110	
46	10+370	4	180	
47	10+550	6	390	
48	10+940	7	120	
49	11+060	2	160	
50	11+220	9,5	110	
51	11+330	4	170	
52	11+500	7,5	360	
53	11+860	8,5	330	
54	12+190	6,5	80	
55	12+270	9	80	

N	Abscisa	%	Longitud (m)	Observaciones
56	12+350	8	1110	
57	13+460	-5	630	
58	14+090	-6	320	
59	14+410	-7	410	
60	14+820	-8	920	
61	15+740	-3	530	
62	16+270	-4	200	
63	16+470	-7	230	
64	16+700	-2	500	
65	17+200	-6	200	
66	17+400	-4	330	
67	17+730	-5	820	
68	18+550	-7	270	
69	18+820	-6	100	
70	18+920	-5	210	
71	19+130	-6	370	
72	19+500	-7	930	
73	20+430	-8,5	70	
74	20+500	-4	120	
75	20+620	-10	460	
76	21+080	-7	170	
77	21+250	-8	1580	
78	22+830	-7	2050	
79	24+880	-6	160	
80	25+040	-8	140	
81	25+180	-9	80	
82	25+260	-3	190	
83	25+450	-4	290	
84	25+740	8	270	
85	26+010	5	90	
86	26+100	1	300	
87	26+400	8	420	
88	26+820	-7	390	
89	27+210	-8	300	
90	28+510	-7	130	
91	28+640	-4	540	
92	29+180	-5	60	
93	29+240	-3,5	90	
94	29+330	-5	120	
95	29+450	-8	210	
96	29+660	-6,5	250	
97	29+910	-8	330	
98	30+240	-9	400	
99	30+640	-8	790	
100	31+430	-5	190	
101	31+620	-8	150	
102	31+770	-7	160	
103	31+930	-3	410	
104	32+340	-8	170	
105	32+510	2	210	
106	32+720	5	100	
107	32+820	0	15	Puente el Tambo
108	32+835	3	205	
109	33+040	-6	220	
110	33+260	-5	110	
111	33+370	-2	230	
112	33+600	-0,5	210	

N	Abscisa	%	Longitud (m)	Observaciones
113	33+810	-5	250	
114	34+060	-2	500	
115	34+560	-4	80	
116	34+640	-6	40	
117	34+680	-4	160	
118	34+840	-1	200	
119	35+040	1	730	
120	35+770	-5,5	230	
121	36+000	4	210	
122	36+210	6	830	
123	37+040	-5	180	
124	37+220	-8	240	
125	37+460	-9	390	
126	37+850	-7,5	230	
127	38+080	-8,5	140	
128	38+220	-6	80	
129	38+300	-2	100	
130	38+400	3	170	
131	38+570	2	180	
132	38+750	3	120	
133	38+870	1	140	
134	39+010	3	200	
135	39+210	-3	270	
136	39+480	5	110	
137	39+590	7	160	
138	39+750	8	130	
139	39+880	3	140	
140	40+020	7	260	
141	40+280	-1	170	
142	40+450	-8	400	
143	40+850	2	240	
144	41+090	-7	360	
145	41+450	-1	160	
146	41+610	-2	360	
147	41+970	-4	140	
148	42+110	5	300	
149	42+410	1	140	
150	42+550	-2	370	
151	42+920	-7	200	
152	43+120	-2	450	
153	43+570	-7	160	
154	43+730	-5	190	
155	43+920	-4	120	
156	44+040	-2	160	
157	44+200	-7	220	
158	44+420	-4	310	
159	44+730	-5	150	
160	44+880	-6	180	
161	45+060	-8	300	
162	45+360	-6	120	
163	45+480	-5	160	
164	45+640	-1	160	
165	45+800	-10	740	
166	45+540	-3	340	
167	45+880	-8	350	
168	46+230	-7	480	
167	46+710	-9	680	

N	Abscisa	%	Longitud (m)	Observaciones
168	47+390	-7	200	
169	47+590	-10	290	
170	47+880	-7	350	
171	48+230	-2	140	
172	48+370	4	210	
173	48+580	7	110	
174	48+690	4	210	
175	48+900	-7	140	
176	49+040	-3	130	
177	49+170	-5	1140	
178	50+310	-8	260	
179	50+570	-7	340	
180	50+910	-3	60	
181	50+970	-1	400	
182	51+370	-9	150	
183	51+520	-8	210	
184	51+730	-9	130	
185	51+860	-8	350	
186	52+210	-7	120	
187	52+330	-8	150	
188	52+480	-7	390	
189	52+870	-4	200	
190	53+070	3	220	
191	53+290	9	140	
192	53+430	4	120	
193	53+550	-1	180	
194	53+730	1	200	
195	53+930	7	130	
196	54+060	3	100	
197	54+160	1	100	
198	54+260	-1	60	
199	54+320	-3	130	
200	54+450	1	350	
201	54+800	2	150	
202	54+950	-1	80	
203	55+030	-3	120	
204	55+150	-7	70	
205	55+220	-9	70	
206	55+290	-1	13	Puente existente Quebrada Limones
207	55+303	-	-	Fin Puente
208	55+303	5	470	
209	55+773	-6	152	
210	55+925	-9	200	
211	56+125	1	185	
212	56+310	-6	170	
213	56+480	-4	200	
214	56+680	6	80	
215	56+760	-6	60	
	Promedio	5,1		

Fuente: El Autor.

3.2.2. Espaldones

Es la parte que se encuentra a continuación de la calzada, y estos lugares son destinados eventualmente para que puedan estacionarse los vehículos ante emergencias o paradas técnicas (Figura 2).



Figura 2: Vía Loja-Zamora.
Fuente: El Autor.

3.2.3. Cunetas.

Es el canal o zanja que se construye al borde de la calzada y que sirve especialmente para recoger las aguas lluvias, en la figura 3 se aprecia la sección de cuneta en la vía de estudio.



Figura 3: Cuneta de la vía Loja-Zamora.
Fuente: El Autor.

3.2.4. Ancho de vía.

También llamado ancho de calzada, corresponde a la suma de las dimensiones de los carriles que la conforman y por donde circulan los vehículos como se aprecia en la Figura 4. La vía Loja-Zamora tiene dos carriles de circulación y el bombeo transversal es del 2%.

Cabe recalcar que desde la salida de Loja en el barrio el Valle la vía tiene 4 carriles dos para cada sentido y esto es en una longitud de 4 km., a partir de allí la vía se constituye a dos carriles hasta la llegar a la provincia de Zamora.



Figura 4: Ancho de toda la vía en el km 2+000
Fuente: El Autor.

3.2.5. Puntos de acceso.

Son todos los lugares donde existe entrada a las zonas pobladas, y se encuentran en todo el trayecto de la vía, en la Tabla 11 se describe las coordenadas de los puntos de acceso de la vía Loja-Zamora.

Tabla 11. Abscisas y Coordenadas de los puntos de acceso.

N Acceso	Nombre	Lado	Abscisas (m)	Coordenadas Geográficas		Cota
				Latitud	Longitud	
1	Calle Paris	Derecho	0+500	700209	9559658	2066
2	Yanacocha	Izquierdo	0+500	700216	9559661	2066
3	El Calvario	Derecho	4+000	701672	9558474	2269
4	Zona Tolerancia	Derecho	4+400	702248	9558354	2299
5	El Tambo	Izquierdo	32+600	715850	9561414	1693
6	El Retorno	Izquierdo	38+100	719376	9562289	1592
7	El Limón	Izquierdo	56+100	725796	9550985	982

Fuente: El Autor.

Cada punto de acceso por kilómetro disminuye la velocidad de flujo libre, por lo cual es muy importante conocer todos los puntos de acceso que hay en toda la vía, para lo cual se contabilizó cada uno de ellos en el recorrido.

En toda la longitud de la vía (60.7 km) existen 7 accesos, por lo que el tramo tiene una densidad de accesos por kilómetro de 0,12 accesos/km.

3.2.6. Zonas de no rebasamiento.

Las zonas de no rebasamiento son los lugares donde los vehículos no pueden efectuar maniobras de adelantamiento. Estas zonas son los tramos de longitud de curva y en ningún momento se podrá rebasar en una curva.



Figura 5: Vehículo utilizado para campañas de medición

Fuente: El Autor.

Para saber cuál es el porcentaje de zona de no rebasamiento se procede a contar con el odómetro de un vehículo (Figura 5) los tramos de vía rectos, las

longitudes de curva no fueron tomadas en cuenta; posteriormente se sumaron todas las longitudes de tramo recto obteniendo así la longitud total de zonas de rebasamiento.

Para determinar el porcentaje de zonas de no rebasamiento se lo hace con la ecuación 8:

$$\%ZNR = \frac{(L_{TL}-L_R)}{L_{TL}} * 100 \quad (8)$$

Donde:

$\%ZNR$ = Es el porcentaje de zonas de no rebasamiento, expresado en porcentaje y es la longitud del tramo de estudio.

L_R = Es la longitud de zonas rebasables (tramos rectos de vía), expresada en metros.

L_{TL} = Es la longitud total de la vía, medida en metros.

$$\%ZNR = \frac{(L_{TL} - L_R)}{L_{TL}} * 100$$

$$\%ZNR = \frac{(60700-21037)}{60700} * 100$$

$$\%ZNR = 65.34$$

3.2.7. Obstrucciones laterales.

Las obstrucciones laterales son todas las señales de tránsito que se encuentran en toda la vía, y que también son conocidas como Dispositivos de Control de Tránsito. Las señales reglamentarias que son las de color amarillo con negro están ubicadas a 0.90 metros del bordillo de la vía (Figura 6).



Figura 6: Medición de señales reglamentarias en el kilómetro 2+047
Fuente: El Autor.

Las señales informativas son las que indican al conductor o usuarios de la vía distancias a poblaciones, lugares turísticos; estas señales se encuentran a 1,20 metros desde el bordillo de la vía (Figura 7).



Figura 7: Medición de señales informativas en el kilómetro 2+047
Fuente: El Autor.

3.3. Características del tráfico y velocidad

3.3.1. Medición de velocidades instantáneas.

El equipo MC5600 determina las velocidades de los vehículos de la siguiente manera; se instalan dos sensores (tubos de goma), en la calzada de la vía separados una distancia de 1 m (Figura 9), y se conectan al equipo que está al borde de la carretera; al pasar un vehículo con el eje delantero presiona el primer sensor (A), y con el(los) otro(s) eje(s) golpea el segundo sensor (B), se establece un tiempo determinado según la velocidad con que circule el vehículo, el sistema calcula la diferencia de tiempo ($\Delta t = t_B - t_A$) que viene hacer la diferencia de tiempo entre los dos primeros golpes de los sensores, conocida la distancia entre los sensores el equipo calcula la velocidad del vehículo utilizando la ecuación de física $V = S/\Delta t$; en la Figura 8 se muestra la forma en la cual el equipo determina las velocidades.

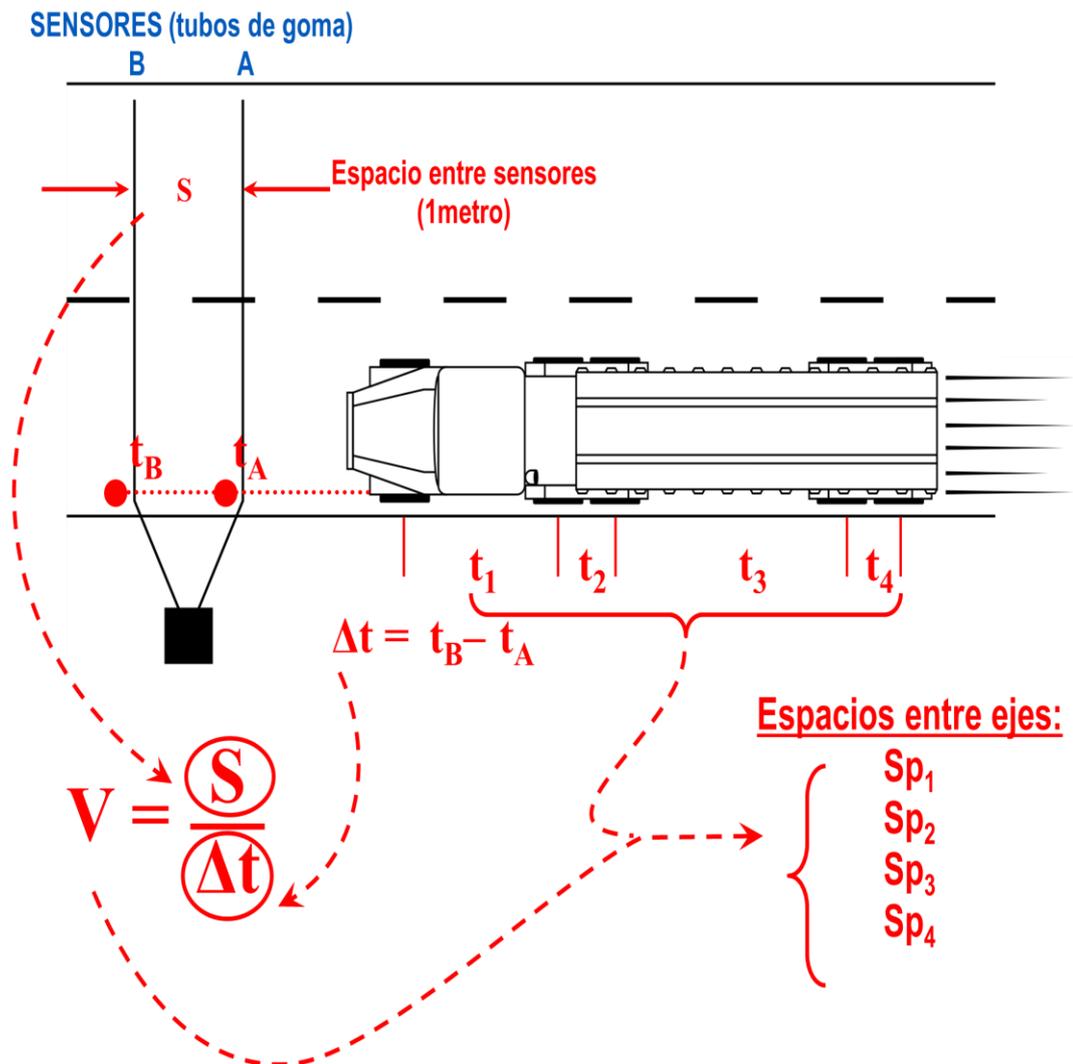


Figura 8: Descripción para cálculo de velocidad.
Fuente: Guía MetroCount 5600.

En la Tabla 12 se presenta la matriz de velocidades en función de las clases de vehículos. En ella se aprecia básicamente que la mayoría de los vehículos que transitan por la zona (31.5%) circulan a una velocidad comprendida en el intervalo de 50 a 60 km/h.

Tabla 12. Matriz de velocidades

MATRIS DE VELOCIDADES														
VELOCID	CLASES DE VEHICULOS CLASIFICACION ARX												TOTAL	%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
	MC	SV	SVT	TB2	TB3	T4	ART3	ART4	ART5	ART6	BD	DRT		
10-20	2	25	0	50	11	0	0	0	0	8	0	0	96	0.6%
20-30	5	134	1	216	50	1	1	1	2	49	0	0	460	2.8%
30-40	17	490	3	507	33	0	0	2	3	19	0	0	1074	6.5%
40-50	21	1711	7	614	60	0	1	3	18	9	0	0	2444	14.8%
50-60	28	4297	8	746	64	1	3	1	26	16	0	0	5190	31.5%
60-70	17	4667	3	280	13	1	0	1	4	2	0	0	4988	30.3%
70-80	5	1871	0	94	0	0	0	0	0	0	0	0	1970	12.0%
80-90	1	226	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	243	1.5%
90-100	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0.0%
100-110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
110-120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
120-130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
130-140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
140-150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
150-160	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL	96	13426	22	2523	231	3	5	8	53	103	0	0	16470	
Porcentaje	0.58%	81.52%	0.13%	15.32%	1.40%	0.02%	0.03%	0.05%	0.32%	0.63%	0.00%	0.00%	100.00%	

Fuente: El Autor.

3.3.2. Medición de velocidades promedio.

Para determinar la velocidad promedio de recorrido de un vehículo en condiciones normales se midió el tiempo que se emplea en recorrer todo el trayecto de estudio, empezando en el punto 0+000 (sector El Valle) hasta la abscisa 60+700 correspondiente a la entrada a la ciudad de Zamora, obteniendo un tiempo de 65 minutos en condiciones de flujo libre, obteniendo una velocidad de 56,03 Km/hora.

3.3.3. Aforo vehicular y composición del tráfico.

La composición del tráfico es la clasificación de vehículos de acuerdo a sus ejes, como consta en la Tabla 12.

Para realizar la composición del tráfico y conteo vehicular en la vía Loja-Zamora se lo realizó con un contador vehicular Metro Count 5600. El Metro Count 5600 es un sistema combinado de software y hardware para la realización del monitoreo de tráfico.

El Metro Count funciona de la siguiente manera, usa mangueras o tubos neumáticos de goma que son colocados en la calzada de la vía anclados en cada extremo, son asegurados con cintas especiales para evitar que se levanten, luego de esto, el equipo se calibra y ajusta para proceder al conteo vehicular. Los tubos neumáticos son separados una distancia de 1 metro uno del otro; es el método de detección de tráfico más rentable y de fácil instalación, (Figura 9). Al paso de los vehículos los tubos neumáticos toman en cuenta la distancia entre ejes para con ello establecer la tipología del vehículo de acuerdo a los esquemas almacenados en el dispositivo; así mismo con la separación entre los sensores (tubos neumáticos), se determina la velocidad de circulación instantánea de los vehículos midiendo el tiempo de circulación del sensor A al sensor B.

El equipo es colocado en un tramo de la vía, que para el presente estudio se lo ubicó en el kilómetro 5+300, tanto al costado derecho como izquierdo para el registro de la información por un lapso de una semana continua y durante 24 horas.

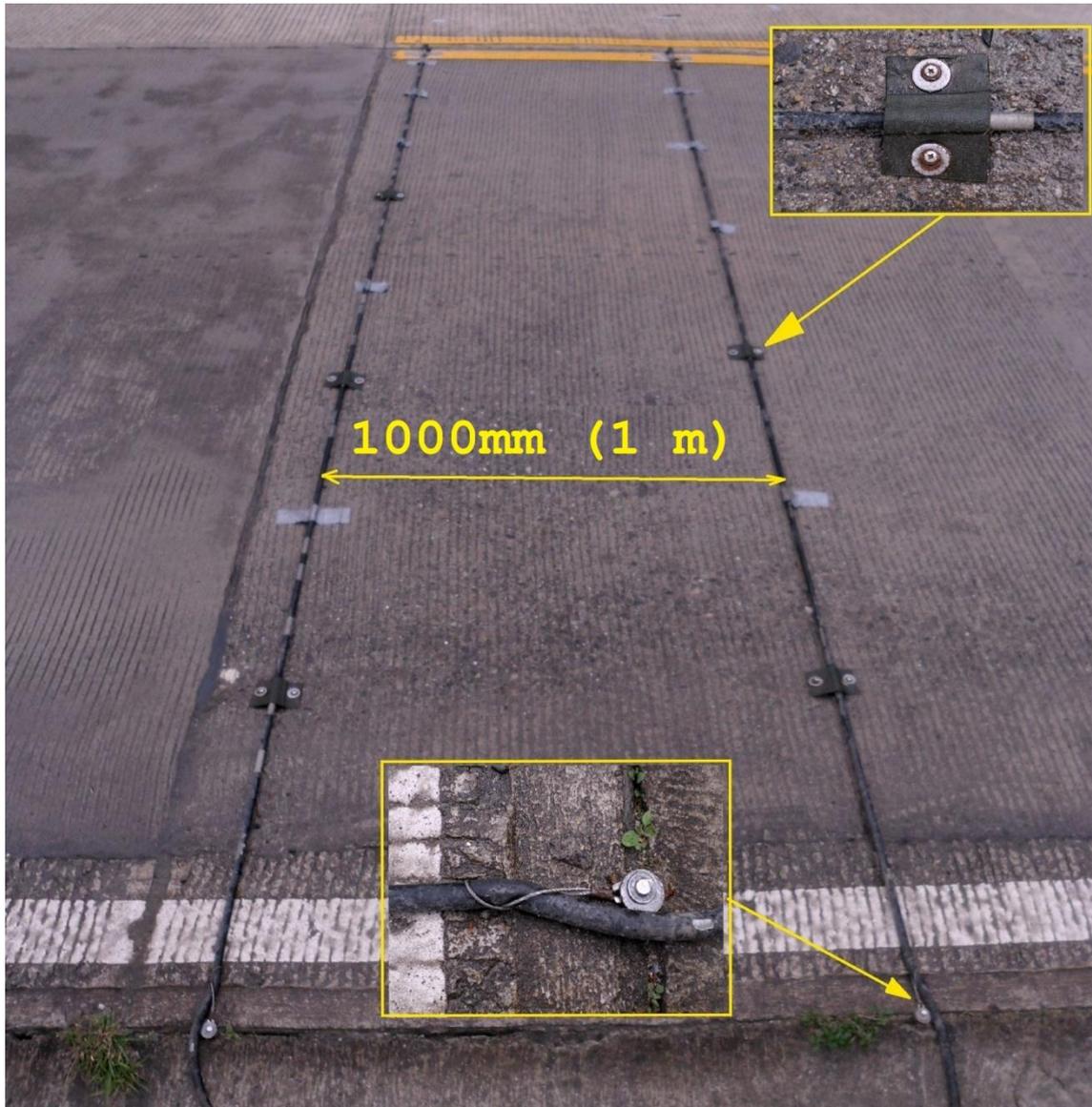


Figura 9: Ilustración de instalación de los tubos de goma (sensores), separados a 1 metro uno del otro.

Fuente: El Autor.

Empleando el contador vehicular se estableció la composición vehicular así como las intensidades horarias en el periodo de medición. Estos dos aspectos los realiza el equipo de forma automática tomando para ello el tiempo que transcurren en pasar los ejes de los vehículos sobre los dos tubos neumáticos como se lo puede observar en la Figura 9.

La composición vehicular es establecida en función del esquema previamente seleccionado al iniciar el equipo. Para este estudio se empleó el esquema ARX que clasifica los vehículos en 12 categorías como se lo muestra en la Tabla 13

Tabla 13: Clasificación vehicular ARX

CONTEO DE TRÁFICO AUTOMÁTICO SISTEMA DE CLASIFICACIÓN								
Longitud	Ejes y Grupos		Tipo de Velocidad	ARX CLSIFICACIÓN				
Tipo	Ejes	Grupos	Descripción	Clases	Parametros	Vehículo		
VEHICULOS LIGEROS								
Corto hasta 5,5 m	2	1 - 2	Muy corto Bicicleta o Motocicleta	MC	1	$d(1) < 1,7$ y ejes = 2		
	2	1 - 2	CORTO. Salon, Hatchback, Estate, 4WD, Burgoneta, Bicicletas, Motocicletas, etc	SV	2	$d(1) > 1,7m$. $d(1) \leq 3,2m$ y ejes = 2		
Medio de 5,5m hasta 14,5m	3, 4 o 5	3	CORTO REMOLQUE. Remolque, caravana, barco, etc	SVT	3	grupos = 3, $d(1) > 2,1m$. $d(1) \leq 3,2m$. $d(2) \geq 2,1m$ y ejes = 3,4,5		
	VEHICULOS PESADOS							
	2	2	Dos ejes o Buses Camiones	TB2	4	$d(1) > 3,2m$ y ejes = 2		
	3	2	Tres ejes o Buses Camiones	TB3	5	ejes = 3 y grupos = 2		
> 3	2	Cuatro ejes Camiones	T4	6	$d(1) = 3,2m$. ejes = 3 y grupos = 3			
Largo 11,5m hasta 19,0m	3	3	TRES EJES ARTICULADOS vehículo de tres ejes articulados o vehículo rígido y remolque	ART3	7	$d(1) > 3,2m$. ejes = 3 y grupos = 3		
	4	> 2	CUATRO EJES ARTICULADOS vehículo de cuatro ejes articulados o vehículo rígido y remolque	ART4	8	$d(2) < 2,1m$ o $d(1) < 2,1m$ o $d(1) > 3,2m$ ejes = 4 y grupos < 2		
	5	> 2	CINCO EJES ARTICULADOS vehículo de cinco ejes articulados o vehículo rígido y remolque	ART5	9	$d(2) < 2,1m$ o $d(1) < 2,1m$ o $d(1) > 3,2m$ ejes = 5 y grupos > 2		
	> = 6	> 2	SEIS EJES ARTICULADOS vehículo de seis o mas ejes articulados o vehículo rígido y remolque	ART6	10	ejes = 6 y grupos > 2 o ejes > 6 y grupos = 3		
Combinación de medio y largo sobre 17,5m	> 6	4	B DOBLE Doble o camión pesado y remolque	B	BD	11	grupos = 4 y ejes > 6	
	> 6	>= 5	TREN DE CARRETERA DE DOBLE O TRIPLE Doble tren de carretera o camión pesado y remolque	DRT	12	grupos = 5 o 6 y ejes > 6		
CLASES SIN GRUPOS								
			Vehículos sin clasificación		13			
			Eventos de ejes sin clasificación					

Grupo:	Grupo de ejes, ejes adyacentes donde están a menos de 2,1m de separación
Grupos:	Grupo de ejes (distancia entre ejes máxima de 10,0m)
Ejes:	Número de ejes (distancia entre ejes máxima de 10,0m)
d(1):	Distancia entre el primer y segundo eje
d(2):	Distancia entre el segundo y tercer eje

Fuente: Guia Metro Count 5600

En base a lo anteriormente indicado, en la Figura 10 se presenta la composición vehicular registrada en el periodo de estudio tomando en cuenta los dos carriles.

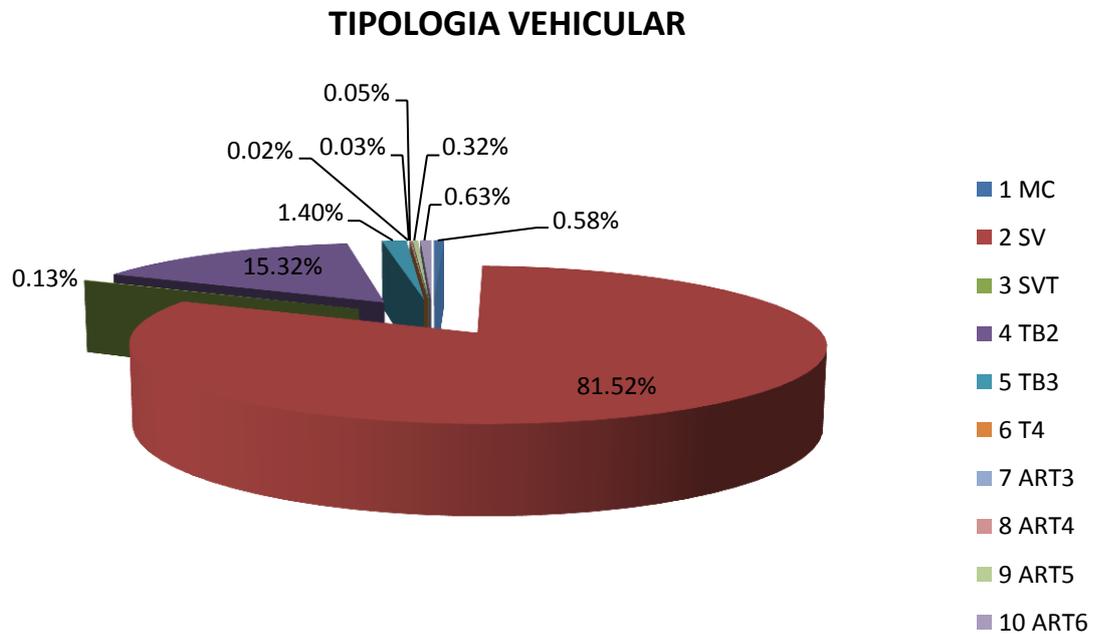


Figura 10: Composición del tráfico.
Fuente: El Autor.

La intensidad vehicular establece el número de vehículos que circula por la vía en un periodo de tiempo determinado; generalmente este periodo es de una hora, con registros de 15 minutos. En la Figura 11 se muestran los resultados concernientes a la variación temporal de la intensidad (volumen) de tráfico durante 24 horas continuas de una semana. Se puede apreciar que la intensidad máxima promedio registrada durante la semana se encuentra en el rango de las 17h00 a 19h00 con una intensidad de 223 vehículos (viernes); de igual forma la intensidad mínima se establece desde las 02h00 hasta las 04h00 con un volumen horario de 15 veh/h (lunes).

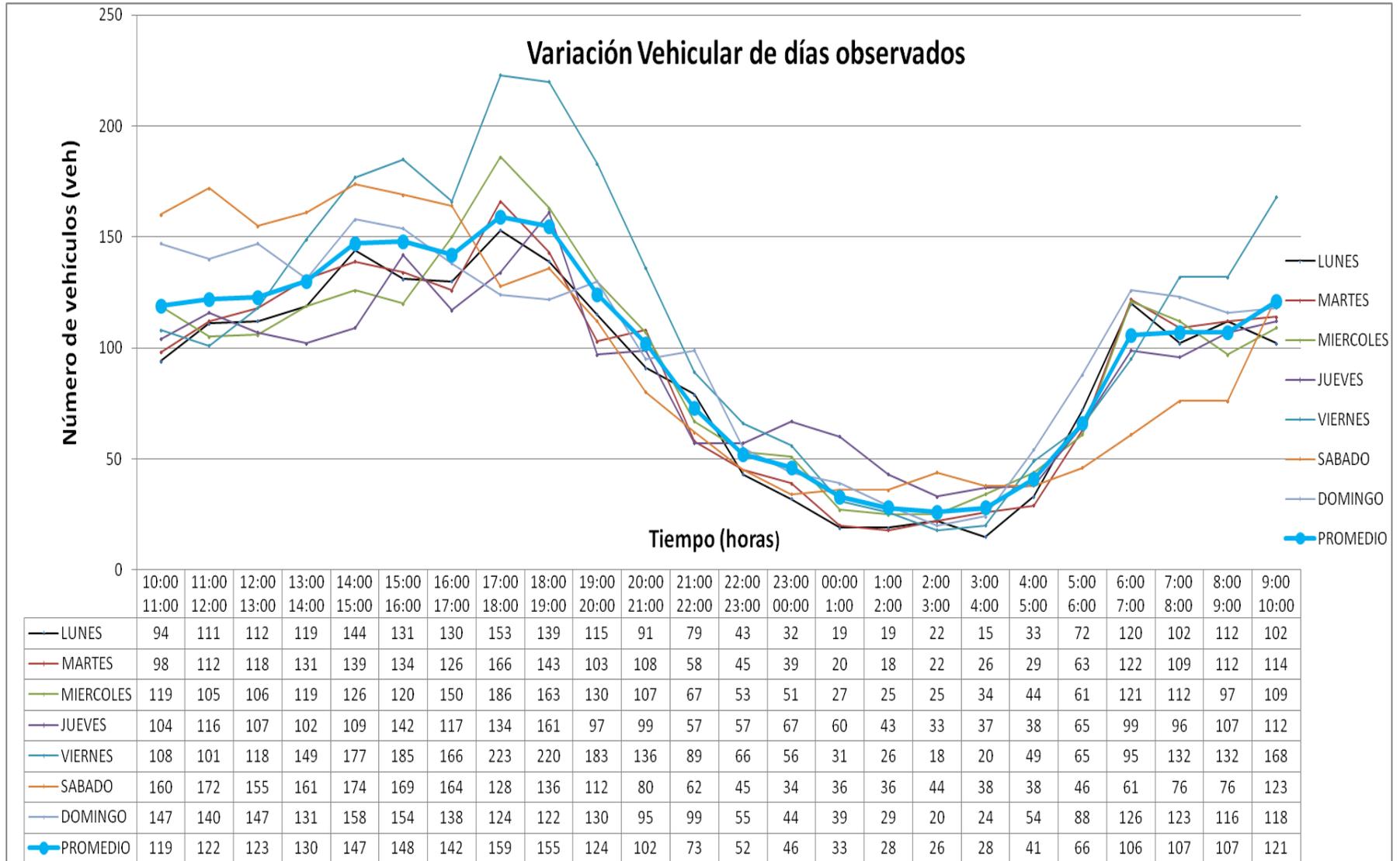


Figura 11: Composición del tráfico
Fuente: El Autor.

3.3.4. Distribución del tráfico por carril.

El HCM establece como dato importante para el cálculo del nivel de servicio, la distribución del tráfico por cada carril. Con los datos obtenidos del volumen vehicular por carril se determina los porcentajes de ocupación por carril y de ello se determina que para el carril derecho (recorrido Loja Zamora) tiene 53,59% y para el carril izquierdo (recorrido Zamora Loja) se obtiene 46,41%. Para efectos de cálculo del nivel de servicio, el HCM ha establecido distribuciones de tráfico en el orden de 50/50, 60/40 y 70/30, en este estudio se ha aproximado al valor más cercano, el mismo que se ha establecido en 50/50 (Ver Tabla 14).

Tabla 11: Distribución del tráfico por carril

Carril	L	M	M	J	V	S	D	Total	Totales	%	% Asumido
Derecho	1176	1207	1303	1058	1348	1317	1244	8653	16148	53.59	50
Izquierdo	941	948	954	1101	1365	1009	1177	7495		46.41	50
										100	100

Fuente: El Autor

3.3.5. Factor de hora pico (PHF)

El factor de hora pico (PHF) representa la variación en la circulación en el tiempo de una hora, además es un indicador de las características de flujo de tránsito en periodos máximos. Durante la hora pico suelen producirse conflictos o congestionamientos en las vías que conectan a las ciudades.

Cuando el valor del PHF es igual a uno significa uniformidad en los flujos de estudio cada 15 minutos en la hora. Valores inferiores a uno significan que existe una variación en los flujos cada 15 minutos, característico de zonas urbanas.

La figura 12 muestra los valores de hora pico promedio, que están entre 0,69 el más bajo y 0,88 el más alto con lo que se tiene un flujo vehicular homogéneo. La misma figura 12 también indica equilibrio en el flujo vehicular en todos los días observados sobre todo los días jueves y sábado de 13H00 a 14H00 con un valor de 0,95; el valor

más crítico se da en los días: viernes (01H00 – 02H00) y sábado (23H00 – 00H00) con valores de 0,59 y 0,60 respectivamente.

Para el análisis de este estudio se tomó los valores del PHF de cada día, para así obtener mejor resultado.

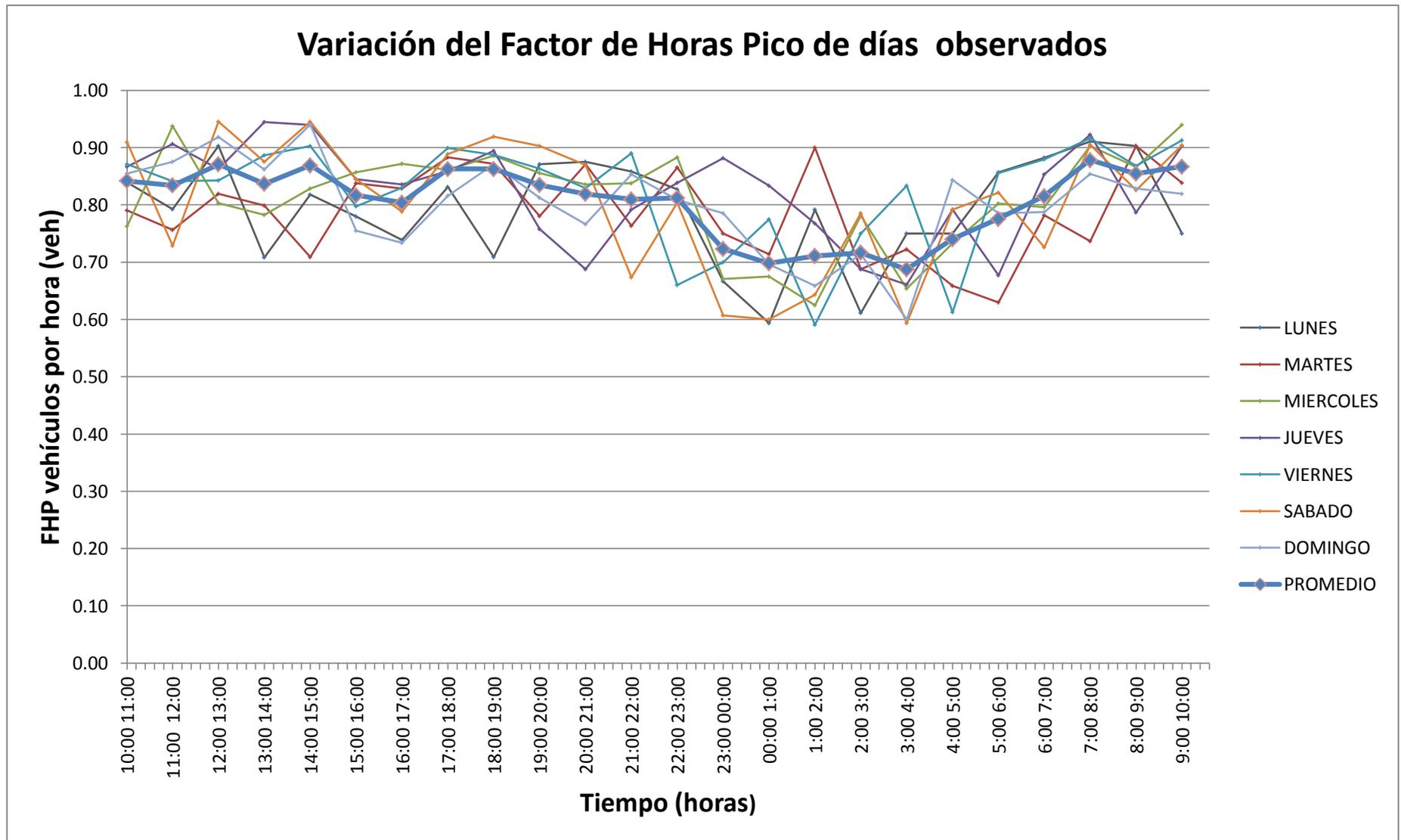


Figura 12: Variación del Factor de Horas Pico de días observados.

Fuente: El Autor.

3.3.6. Volumen máximo por hora.

Para obtener el volumen máximo horario, se suma el total de vehículos que pasan en los periodos de 15 minutos por hora, sin importar la clase de vehículo, esto se hace para cada carril como se muestra en la Tabla 15. Estos datos fueron obtenidos mediante el empleo del contador neumático instalado en la vía.

Tabla 12: Volumen de los carriles Derecho e Izquierdo en periodos de 15 minutos.

AFORO VEHICULAR															
Tiempo/ 15min	HOR AS	LUNES		MARTES		MIERCOLE		JUEVES		VIERNES		SABADO		DOMINGO	
		C-D	C-I	C-D	C-I	C-D	C-I								
00-15	10:00	17	13	13	8	25	14	13	7	15	14	20	12	18	25
15-30		16	16	16	15	18	11	8	17	11	16	20	24	23	12
30-45		15	3	12	6	21	5	13	17	14	17	26	18	14	16
45-60		12	10	17	11	14	11	14	15	13	8	23	17	25	14
TOTAL		60	42	58	40	78	41	48	56	53	55	89	71	80	67
00-15	11:00	18	13	19	12	13	13	17	10	13	17	18	16	21	19
15-30		17	18	21	16	18	9	15	17	11	10	30	29	18	14
30-45		13	5	14	9	17	11	10	15	15	15	21	19	20	18
45-60		15	12	12	9	14	10	15	17	12	8	20	19	15	15
TOTAL		63	48	66	46	62	43	57	59	51	50	89	83	74	66
00-15	12:00	14	17	15	16	11	10	14	17	15	20	27	13	18	17
15-30		19	7	13	12	21	4	10	8	14	17	19	15	15	21
30-45		16	13	24	12	19	14	18	10	15	6	22	18	16	20
45-60		17	9	12	14	17	10	18	12	12	19	24	17	23	17
TOTAL		66	46	64	54	68	38	60	47	56	62	92	63	72	75
00-15	13:00	11	10	19	11	22	16	17	8	13	23	26	20	18	20
15-30		22	10	25	16	19	7	10	15	19	11	26	18	11	22
30-45		14	10	11	16	17	10	16	11	23	19	28	12	13	14
45-60		23	19	23	10	16	12	12	13	20	21	17	14	15	18
TOTAL		70	49	78	53	74	45	55	47	75	74	97	64	57	74
00-15	14:00	14	13	19	11	16	8	15	12	16	23	28	18	18	24
15-30		25	19	12	12	17	16	13	15	22	24	26	17	24	16
30-45		23	16	21	15	26	5	13	12	28	21	27	16	12	27
45-60		15	19	23	26	17	21	13	16	19	24	20	22	18	19
TOTAL		77	67	75	64	76	50	54	55	85	92	101	73	72	86
00-15	15:00	24	18	20	20	16	17	19	15	25	33	21	13	11	18
15-30		13	14	17	19	14	7	16	21	21	20	21	16	15	36
30-45		15	16	15	12	15	16	18	24	23	21	33	15	10	16
45-60		17	14	19	12	21	14	14	15	19	23	31	19	28	20
TOTAL		69	62	71	63	66	54	67	75	88	97	106	63	64	90
00-15	16:00	22	22	18	13	24	19	18	14	15	19	20	14	17	13
15-30		20	13	19	19	16	15	12	11	16	19	22	25	14	18
30-45		12	14	14	14	26	16	13	14	29	18	25	27	17	30
45-60		12	15	17	12	19	15	16	19	25	25	16	15	14	15
TOTAL		66	64	68	58	85	65	59	58	85	81	83	81	62	76
00-15	17:00	18	18	26	15	20	14	10	13	17	25	17	19	17	18
15-30	18:00	22	24	19	18	30	23	15	24	25	32	13	15	13	13

AFORO VEHICULAR															
Tiempo/ 15min	HOR AS	LUNES		MARTES		MIERCOLE		JUEVES		VIERNES		SABADO		DOMINGO	
		C-D	C-I	C-D	C-I	C-D	C-I	C-D	C-I	C-D	C-I	C-D	C-I	C-D	C-I
30-45	17:00	20	16	19	22	32	22	14	20	26	36	17	13	22	16
45-60	18:00	16	19	23	24	22	23	18	20	23	39	15	19	8	17
TOTAL		76	77	87	79	104	82	57	77	91	132	62	66	60	64
00-15	18:00	20	29	22	19	25	21	23	22	23	35	10	23	12	22
15-30		12	14	19	16	25	18	23	21	23	24	19	12	17	18
30-45		22	14	14	12	22	17	16	15	27	35	17	20	17	12
45-60		15	13	14	27	22	13	21	20	23	30	15	20	11	13
TOTAL		69	70	69	74	94	69	83	78	96	124	61	75	57	65
00-15	19:00	20	13	20	13	20	18	12	8	29	24	14	14	20	20
15-30		16	12	11	12	14	15	13	19	26	23	17	12	19	12
30-45		11	14	16	10	19	11	10	16	18	19	12	19	9	15
45-60		15	14	11	10	13	20	11	8	14	30	14	10	20	15
TOTAL		62	53	58	45	66	64	46	51	87	96	57	55	68	62
00-15	20:00	12	13	15	16	16	12	10	11	16	25	10	7	13	8
15-30		11	15	7	16	14	18	15	7	16	20	6	13	8	12
30-45		8	14	15	14	15	10	17	19	14	17	9	14	10	21
45-60		8	10	14	11	16	6	12	8	15	13	10	11	12	11
TOTAL		39	52	51	57	61	46	54	45	61	75	35	45	43	52
00-15	21:00	14	9	12	5	8	8	9	8	8	14	6	14	10	16
15-30		6	7	4	4	8	9	2	7	10	11	6	17	9	19
30-45		10	13	14	5	8	12	6	7	9	12	11	3	8	8
45-60		10	10	4	10	5	9	11	7	13	12	3	2	13	16
TOTAL		40	39	34	24	29	38	28	29	40	49	26	36	40	59
00-15	22:00	8	5	6	3	8	6	7	10	10	15	5	3	9	8
15-30		4	8	5	6	6	3	1	15	7	8	8	6	4	10
30-45		6	3	3	10	6	9	1	7	3	8	7	3	4	8
45-60		4	5	7	5	5	10	3	13	5	10	5	8	4	8
TOTAL		22	21	21	24	25	28	12	45	25	41	25	20	21	34
00-15	23:00	5	7	3	10	9	10	7	9	6	14	7	7	5	9
15-30		2	4	6	4	5	8	7	12	12	4	1	5	4	8
30-45		6	1	4	4	4	6	4	12	5	5	5	3	4	7
45-60		4	3	5	3	1	8	6	10	7	3	4	2	1	6
TOTAL		17	15	18	21	19	32	24	43	30	26	17	17	14	30
00-15	00:00	3	1	5	2	2	8	3	15	2	3	4	11	3	9
15-30		2	0	2	4	4	1	7	10	3	4	3	2	5	9
30-45		1	7	2	3	1	5	11	1	2	7	8	5	2	6
45-60		2	3	2	0	3	3	6	7	3	7	1	2	1	4
TOTAL		8	11	11	9	10	17	27	33	10	21	16	20	11	28
00-15	1:00	1	2	1	3	2	8	5	5	5	6	4	0	1	2
15-30		1	4	1	3	1	4	2	6	2	3	5	4	4	6
30-45		3	3	2	3	2	0	5	9	3	1	6	3	5	6
45-60		1	4	0	5	4	4	6	5	2	4	8	6	1	4
TOTAL		6	13	4	14	9	16	18	25	12	14	23	13	11	18
00-15	2:00	4	5	2	4	3	2	2	6	3	3	5	2	2	5
15-30		3	3	2	1	3	5	3	9	1	2	11	0	2	4
30-45		0	4	0	5	1	5	1	5	2	1	9	3	2	1
45-60		1	2	2	6	2	4	3	4	4	2	14	0	1	3
TOTAL		8	14	6	16	9	16	9	24	10	8	39	5	7	13
00-15	3:00	1	1	3	2	4	5	1	5	2	3	14	2	3	1
15-30		3	2	3	6	4	1	3	5	4	2	7	2	7	0
30-45		4	1	5	4	3	10	1	8	3	1	4	0	0	3

AFORO VEHICULAR															
Tiempo/ 15min	HOR AS	LUNES		MARTES		MIERCOLE		JUEVES		VIERNES		SABADO		DOMINGO	
		C-D	C-I												
45-60		1	2	0	3	5	2	7	7	3	2	6	3	10	0
TOTAL		9	6	11	15	16	18	12	25	12	8	31	7	20	4
00-15	4:00	6	5	6	3	7	8	3	5	7	3	5	2	8	4
15-30		6	1	4	1	5	5	9	3	7	2	10	2	10	3
30-45	5:00	4	4	1	3	8	1	5	4	7	3	6	3	9	7
45-60		6	1	8	3	6	4	7	2	13	7	9	1	8	5
TOTAL		22	11	19	10	26	18	24	14	34	15	30	8	35	19
00-15	5:00	11	3	9	4	8	5	9	7	10	3	6	3	12	2
15-30		17	4	9	3	11	5	17	7	11	6	6	5	13	7
30-45	6:00	12	4	8	5	8	5	8	3	12	7	11	3	17	9
45-60		17	4	15	10	12	7	7	7	12	4	8	4	19	9
TOTAL		57	15	41	22	39	22	41	24	45	20	31	15	61	27
00-15	6:00	16	16	13	5	12	6	13	9	13	11	7	3	23	5
15-30		15	9	20	11	24	6	17	12	17	10	7	7	17	11
30-45	7:00	19	11	31	8	28	7	17	9	18	3	17	4	22	8
45-60		28	6	25	9	32	6	11	11	15	8	11	5	29	11
TOTAL		78	42	89	33	96	25	58	41	63	32	42	19	91	35
00-15	7:00	18	8	19	2	20	10	16	9	18	16	18	3	27	9
15-30		20	7	23	13	21	10	14	11	21	5	10	5	27	7
30-45	8:00	13	8	10	5	19	8	14	6	17	19	15	6	20	8
45-60		16	12	20	17	17	7	13	13	23	13	11	8	15	10
TOTAL		67	35	72	37	77	35	57	39	79	53	54	22	89	34
00-15	8:00	13	15	19	7	12	7	18	15	16	14	5	9	16	12
15-30		14	12	17	8	17	10	6	10	16	22	9	7	16	6
30-45	9:00	25	6	22	9	11	12	9	15	20	16	12	11	20	11
45-60		11	16	12	18	14	14	16	18	13	15	12	11	21	14
TOTAL		63	49	70	42	54	43	49	58	65	67	38	38	73	43
00-15	9:00	18	6	19	15	17	12	13	16	26	20	16	12	11	15
15-30		14	9	10	10	13	15	13	11	17	24	18	11	12	14
30-45	10:00	21	13	19	14	17	10	14	14	28	18	17	17	16	14
45-60		9	12	18	9	13	12	19	12	24	11	22	10	23	13
TOTAL		62	40	66	48	60	49	59	53	95	73	73	50	62	56

Fuente: El Autor.

En la Tabla 16 se presentan los volúmenes horarios considerando ambos carriles, para ello se ha sumado por cada día los respectivos volúmenes en los pertinentes intervalos de 15 minutos; con esta información es posible establecer los valores máximos por cada día y que corresponde a los Volúmenes horarios máximos empleados para determinar el nivel de servicio.

Tabla 13: Valores de vehículos totales por cada hora y los máximos.

Tiempo/15'	Horas	TOTAL							
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
00-15	10:00	30	21	39	20	29	32	43	
15-30		32	31	29	25	27	44	35	
30-45		11:00	18	18	26	30	31	44	30
45-60			22	28	25	29	21	40	39
TOTAL		102	98	119	104	108	160	147	
00-15	11:00	31	31	26	27	30	34	40	
15-30		12:00	35	37	27	32	21	59	32
30-45			18	23	28	25	30	40	38
45-60		27	21	24	32	20	39	30	
TOTAL		111	112	105	116	101	172	140	
00-15	12:00	31	31	21	31	35	40	35	
15-30		13:00	26	25	25	18	31	34	36
30-45			29	36	33	28	21	40	36
45-60		26	26	27	30	31	41	40	
TOTAL		112	118	106	107	118	155	147	
00-15	13:00	21	30	38	25	36	46	38	
15-30		14:00	32	41	26	25	30	44	33
30-45			24	27	27	27	42	40	27
45-60		42	33	28	25	41	31	33	
TOTAL		119	131	119	102	149	161	131	
00-15	14:00	27	30	24	27	39	46	42	
15-30		15:00	44	24	33	28	46	43	40
30-45			39	36	31	25	49	43	39
45-60		34	49	38	29	43	42	37	
TOTAL		144	139	126	109	177	174	158	
00-15	15:00	42	40	33	34	58	34	29	
15-30		16:00	27	36	21	37	41	37	51
30-45			31	27	31	42	44	48	26
45-60		31	31	35	29	42	50	48	
TOTAL		131	134	120	142	185	169	154	
00-15	16:00	44	31	43	32	34	34	30	
15-30		17:00	33	38	31	23	35	47	32
30-45			26	28	42	27	47	52	47
45-60		27	29	34	35	50	31	29	
TOTAL		130	126	150	117	166	164	138	
00-15	17:00	36	41	34	23	42	36	35	
15-30		18:00	46	37	53	39	57	28	26
30-45			36	41	54	34	62	30	38
45-60		35	47	45	38	62	34	25	
TOTAL		153	166	186	134	223	128	124	
00-15	18:00	49	41	46	45	58	33	34	
15-30		19:00	26	35	43	44	47	31	35
30-45			36	26	39	31	62	37	29
45-60		28	41	35	41	53	35	24	
TOTAL		139	143	163	161	220	136	122	
00-15	19:00	33	33	38	20	53	28	40	
15-30		20:00	28	23	29	32	49	29	31
30-45			25	26	30	26	37	31	24
45-60		29	21	33	19	44	24	35	
TOTAL		115	103	130	97	183	112	130	

Tiempo/15'	Horas	TOTAL						
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
00-15	20:00	25	31	28	21	41	17	21
15-30		26	23	32	22	36	19	20
30-45		22	29	25	36	31	23	31
45-60		18	25	22	20	28	21	23
TOTAL		91	108	107	99	136	80	95
00-15	21:00	23	17	16	17	22	20	26
15-30		13	8	17	9	21	23	28
30-45		23	19	20	13	21	14	16
45-60		20	14	14	18	25	5	29
TOTAL		79	58	67	57	89	62	99
00-15	22:00	13	9	14	17	25	8	17
15-30		12	11	9	16	15	14	14
30-45		9	13	15	8	11	10	12
45-60		9	12	15	16	15	13	12
TOTAL		43	45	53	57	66	45	55
00-15	23:00	12	13	19	16	20	14	14
15-30		6	10	13	19	16	6	12
30-45		7	8	10	16	10	8	11
45-60		7	8	9	16	10	6	7
TOTAL		32	39	51	67	56	34	44
00-15	00:00	4	7	10	18	5	15	12
15-30		2	6	5	17	7	5	14
30-45		8	5	6	12	9	13	8
45-60		5	2	6	13	10	3	5
TOTAL		19	20	27	60	31	36	39
00-15	1:00	3	4	10	10	11	4	3
15-30		5	4	5	8	5	9	10
30-45		6	5	2	14	4	9	11
45-60		5	5	8	11	6	14	5
TOTAL		19	18	25	43	26	36	29
00-15	2:00	9	6	5	8	6	7	7
15-30		6	3	8	12	3	11	6
30-45		4	5	6	6	3	12	3
45-60		3	8	6	7	6	14	4
TOTAL		22	22	25	33	18	44	20
00-15	3:00	2	5	9	6	5	16	4
15-30		5	9	5	8	6	9	7
30-45		5	9	13	9	4	4	3
45-60		3	3	7	14	5	9	10
TOTAL		15	26	34	37	20	38	24
00-15	4:00	11	9	15	8	10	7	12
15-30		7	5	10	12	9	12	13
30-45		8	4	9	9	10	9	16
45-60		7	11	10	9	20	10	13
TOTAL		33	29	44	38	49	38	54
00-15	5:00	14	13	13	16	13	9	14
15-30		21	12	16	24	17	11	20
30-45		16	13	13	11	19	14	26
45-60		21	25	19	14	16	12	28
TOTAL		72	63	61	65	65	46	88
00-15	6:00	32	18	18	22	24	10	28
15-30		24	31	30	29	27	14	28
30-45		30	39	35	26	21	21	30

Tiempo/15'	Horas	TOTAL						
		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
45-60		34	34	38	22	23	16	40
TOTAL		120	122	121	99	95	61	126
00-15	7:00	26	21	30	25	34	21	36
15-30		27	36	31	25	26	15	34
30-45		21	15	27	20	36	21	28
45-60		28	37	24	26	36	19	25
TOTAL		102	109	112	96	132	76	123
00-15	8:00	28	26	19	33	30	14	28
15-30		26	25	27	16	38	16	22
30-45		31	31	23	24	36	23	31
45-60		27	30	28	34	28	23	35
TOTAL		112	112	97	107	132	76	116
00-15	9:00	24	34	29	29	46	28	26
15-30		23	20	28	24	41	29	26
30-45		34	33	27	28	46	34	30
45-60		21	27	25	31	35	32	36
TOTAL		102	114	109	112	168	123	118
MAXIMO =		153	166	186	161	223	174	158

Fuente: El Autor.

3.4. HCM 2000

El manual HCM tiene el método de cálculo de la capacidad más conocido y utilizado, el manual es preparado en los Estados Unidos por el Transportation Research Board desde 1935 tiene cinco ediciones y la última es la del 2000 con la que se trabaja para la presente investigación.

El HCM 2000, en su metodología trabaja con condiciones ideales de servicio para una vía de dos carriles, todos estos parámetros serán modificados dependiendo de las características que tengan el estudio. Las condiciones de servicio del HCM son para una capacidad de 3200 veh/hora para carretera bidireccional, y de 1700 veh/hora en cada carril, para carretera unidireccional.

Las condiciones ideales que establece el HCM 2000 son:

- ✓ Carriles de 3,60m.
- ✓ Espaldones de 1,80m.
- ✓ Sin puntos de accesos.
- ✓ Terreno llano.
- ✓ Tráfico formado exclusivamente por coches.

- ✓ Sin prohibiciones de adelantamiento.
- ✓ Porcentaje de tráfico total en cada sentido de 50/50 %

La Figura 13 muestra un resumen que sirve como guía para la obtención del nivel de servicio de una vía de dos carriles.

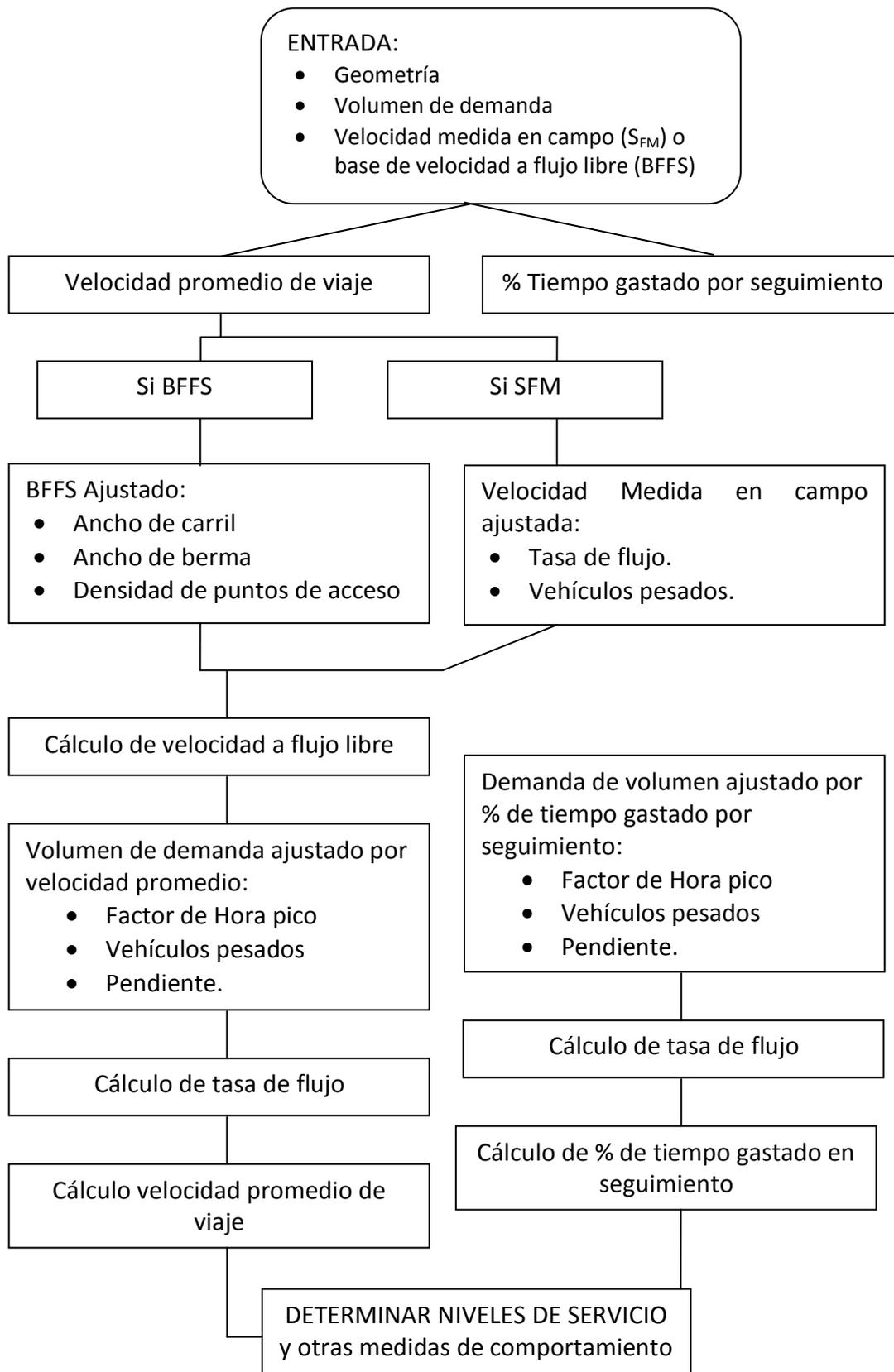


Figura 13: Flujograma para nivel de servicio para vía de dos carriles.
Fuente: Highway Capacity Manual 2000.

CAPITULO IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Datos requeridos.

Para el cálculo del nivel de servicio se requiere determinar antes los parámetros detallados a continuación:

- ✓ Volumen bidireccional
- ✓ Porcentaje de buses y camiones
- ✓ Porcentaje de vehículos de recreación
- ✓ Factor de hora pico
- ✓ Tipo de terreno
- ✓ Dimensiones de los espaldones
- ✓ Porcentaje de zonas de no rebasamiento
- ✓ Velocidad de flujo libre
- ✓ Porcentaje de distribución de volumen por cada carril
- ✓ Ancho de carril
- ✓ Longitud total de tramo de estudio
- ✓ Densidad de puntos de accesos por kilómetro.

Aplicando las ecuaciones descritas en el capítulo II, se tienen el resumen de los siguientes datos:

Porcentaje de camiones y buses =	17,77%
Porcentaje de vehículos de recreación =	0,13%
Tipo de terreno =	montañoso
Espaldones =	0,60 m
Ancho de carril =	3,65 m
Porcentaje de zonas de no rebasamiento =	65%
Velocidad de flujo libre =	50 km/h
Porcentaje de distribución del volumen por cada carril =	50/50
Longitud del tramo de estudio =	60,7 Km
Densidad de accesos por Km =	0,12 accesos/Km

De la Tabla 12 se determina el porcentaje de camiones y buses y el porcentaje de vehículos de recreación, con la fórmula 8 se determina el porcentaje de zonas de no rebasamiento que está en la página 37, la velocidad a flujo libre

también se determina en la tabla 12, en la tabla 14 se determina el porcentaje de distribución del volumen por cada carril, para la densidad de accesos por kilometro se procede a dividir el numero de accesos para la longitud total del tramo de estudio con lo que se tiene 0,12 accesos/km

4.2. Determinación del nivel de servicio

4.2.1. Calculo de la velocidad promedio de viaje (ATS).

Se calcula el factor de ajuste de vehículos pesados (f_{HV}) aplicando la ecuación 4, y con los valores de las tablas descritas en el capítulo II se tiene los valores:

- ✓ $f_G = 0,71$ factor de ajuste por pendiente, (de la Tabla 3 en la página 21)
- ✓ $E_T = 2,5$ equivalencia de vehículos por camión, (de la Tabla 5 en la página 22)
- ✓ $E_R = 1,1$ equivalencia de vehículos de recreación, (de la Tabla 5 en la página 22)
- ✓ $f_{np} = 3,9$ reducción en la velocidad de viaje promedio, (interpolando en la Tabla 7 que se encuentra en la página 25)

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + 0,17(2,5 - 1) + 0,0013(1,1 - 1)}$$

$$f_{HV} = 0,789$$

Con la ecuación 2, se calcula la demanda de tasa de flujo.

$$v_p = \frac{V}{PHF * f_G * f_{HV}}$$

$$v_p = \frac{153}{0,79 * 0,71 * 0,789}$$

$$v_p = 346 \text{ veh/hora}$$

Después se determina la tasa de flujo por carril, se toma en cuenta el porcentaje del carril con mayor tráfico que para el presente estudio es 50% obteniendo el siguiente resultado.

$$TFC = 0.5 * 346 \text{ veh/hora}$$

$$TFC = 173 \text{ veh/hora}$$

El valor de TFC se compara con el valor de 1700 veh/hora; si el TFC es superior a 1700 veh/hora, se considera que la vía se encuentra en un nivel de servicio F con lo cual concluye el cálculo. Como se puede apreciar el TFC es menor por lo que se prosigue con la determinación de LOS.

Primero se determina la velocidad a flujo libre, $f_{LS} = 4,2$ (de la Tabla 1 en la página 19), y $f_A = 4,67$ (interpolando de la Tabla 2 en la página 20)

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$$

$$FFS = 50 - 4,2 - 4,67$$

$$FFS = 41,13$$

$$ATS = FFS - 0.0125v_p - f_{np}$$

$$ATS = 41,13 \text{ km/hora} - 0.0125(346 \text{ veh/hora}) - 3,9$$

$$ATS = 32,9 \text{ km/hora}$$

4.2.2. Porcentaje de tiempo siguiendo a otro vehículo.

Se determina el ATS de la misma manera que el paso anterior pero tomando en cuenta los siguientes datos:

Factor de ajuste por pendiente $f_G = 0,77$ (de la Tabla 4 en la página 21)

Equivalencia de vehículos por camión $E_T = 1,8$ (de la Tabla 6 en la página 23)

Equivalencia de vehículos de recreación $E_R = 1,0$ (de la Tabla 6 en la página 23)

Obteniendo los siguientes resultados: $f_{HV} = 0,88$, $v_p = 286 \text{ veh/hora}$, $TFC = 143 \text{ veh/hora}$

Seguidamente se determina el PTSF con la ecuación 6, y los datos de la Tabla 8 (página 26) se obtiene el $f_{d/np} = 20,4$ (interpolando), que toma en cuenta el ajuste por el efecto combinado de la distribución de tráfico y el porcentaje de zonas de no rebasamiento.

$$BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879v_p})$$
$$BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879*286\text{veh/hora}})$$
$$BPTSF = 22,23\%$$

$$PTSF = BPTSF + f_{d/np}$$
$$PTSF = 22,23\% + 20,4$$
$$PTSF = 42,63\%$$

Con el valor del PTSF (Percent Time Speed Following) se ingresa a la Tabla 9 (página 27) y se obtiene el nivel de servicio que ofrece la vía Loja-Zamora correspondiente al **Nivel de servicio B**

Según las ecuaciones descritas en el capítulo 2 y lo explicado en la metodología se procede a realizar los cálculos necesarios para el desarrollo de la investigación y que en la Tabla 18 se muestra el resumen de los valores obtenidos.

La tabla 17 muestra el formato de cálculo para la determinación del nivel de servicio que corresponde al día lunes.

Tabla 14: Formato para la determinación del Nivel de Servicio.

TWO-WAY TWO-LANE HIGHWAY SEGMENT WORKSHEET											
<table border="0" style="width:100%"> <tr> <td style="width:50%">General Information</td> <td style="width:50%">Site Information</td> </tr> <tr> <td>Analyst _____</td> <td>Highway _____</td> </tr> <tr> <td>Agency or Company _____</td> <td>From/To _____</td> </tr> <tr> <td>Date Performed _____</td> <td>Jurisdiction _____</td> </tr> <tr> <td>Analysis Time Period _____</td> <td>Analysis Year _____</td> </tr> </table>		General Information	Site Information	Analyst _____	Highway _____	Agency or Company _____	From/To _____	Date Performed _____	Jurisdiction _____	Analysis Time Period _____	Analysis Year _____
General Information	Site Information										
Analyst _____	Highway _____										
Agency or Company _____	From/To _____										
Date Performed _____	Jurisdiction _____										
Analysis Time Period _____	Analysis Year _____										
<input type="checkbox"/> Operational (LOS) <input type="checkbox"/> Design (v_p) <input type="checkbox"/> Planning (LOS) <input type="checkbox"/> Planning (v_p)											
Input Data											
	<input type="checkbox"/> Class I highway <input checked="" type="checkbox"/> Class II highway Terrain <input type="checkbox"/> Level <input checked="" type="checkbox"/> Rolling Two-way hourly volume <u>153</u> veh/h Directional split <u>50 / 50</u> Peak-hour factor, PHF <u>0,79</u> % Trucks and buses, P_T <u>17,77</u> % % Recreational vehicles, P_R <u>0,13</u> % % No-passing zone <u>65</u> % Access points/km <u>0,12</u> /km										
Average Travel Speed											
Grade adjustment factor, f_G (Exhibit 20-7)	<u>0,71</u>										
Passenger-car equivalents for trucks, E_T (Exhibit 20-9)	<u>2,5</u>										
Passenger-car equivalents for RVs, E_R (Exhibit 20-9)	<u>1,1</u>										
Heavy-vehicle adjustment factor, $f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$	<u>0,79</u>										
Two-way flow rate, ¹ v_p (pc/h) $v_p = \frac{V}{PHF \cdot f_G \cdot f_{HV}}$	<u>346</u>										
v_p * highest directional split proportion ² (pc/h)	<u>173</u>										
Free-Flow Speed from Field Measurement	Estimated Free-Flow Speed										
Field measured speed, S_{FM} _____ km/h	Base free-flow speed, BFFS <u>50</u> km/h										
Observed volume, V_f _____ veh/h	Adj. for lane width and shoulder width, f_{LS} (Exhibit 20-5) <u>4,2</u> km/h										
Free-flow speed, FFS _____ km/h	Adj. for access points, f_A (Exhibit 20-6) <u>4,67</u> km/h										
$FFS = S_{FM} + 0.0125 \left(\frac{V_f}{f_{HV}} \right)$	Free-flow speed, FFS <u>41,13</u> km/h										
	$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$										
Adj. for no-passing zones, f_{np} (km/h) (Exhibit 20-11)	<u>3,9</u>										
Average travel speed, ATS (km/h) $ATS = FFS - 0.0125v_p - f_{np}$	<u>32,92</u>										
Percent Time-Spent-Following											
Grade adjustment factor, f_G (Exhibit 20-8)	<u>0,77</u>										
Passenger-car equivalents for trucks, E_T (Exhibit 20-10)	<u>1,80</u>										
Passenger-car equivalents for RVs, E_R (Exhibit 20-10)	<u>1,00</u>										
Heavy-vehicle adjustment factor, $f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$	<u>0,88</u>										
Two-way flow rate, ¹ v_p (pc/h) $v_p = \frac{V}{PHF \cdot f_G \cdot f_{HV}}$	<u>286</u>										
v_p * highest directional split proportion ² (pc/h)	<u>143</u>										
Base percent time-spent-following, BPTSF (%) $BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879v_p})$	<u>22,23</u>										
Adj. for directional distribution and no-passing zone, f_{dnp} (%) (Exhibit 20-12)	<u>20,40</u>										
Percent time-spent-following, PTSF (%) $PTSF = BPTSF + f_{dnp}$	<u>42,63</u>										
Level of Service and Other Performance Measures											
Level of service, LOS (Exhibit 20-3 for Class I or 20-4 for Class II)	B										
Volume to capacity ratio, v/c $v/c = \frac{v_p}{3,200}$	<u>0,11</u>										
Peak 15-min vehicle-kilometers of travel, $VkmT_{15}$ (veh-km) $VkmT_{15} = 0.25L \left(\frac{V}{PHF} \right)$	<u>2939</u>										
Peak-hour vehicle-kilometers of travel, $VkmT_{60}$ (veh-km) $VkmT_{60} = V \cdot L$	<u>9287</u>										
Peak 15-min total travel time, TT_{15} (veh-h) $TT_{15} = \frac{VkmT_{15}}{ATS}$	<u>89,3</u>										
Notes											
1. If $v_p \geq 3,200$ pc/h, terminate analysis—the LOS is F. 2. If highest directional split $v_p \geq 1,700$ pc/h, terminate analysis—the LOS is F.											

Fuente: Highway Capacity Manual 2000.

Tabla 15: Resumen de los datos obtenidos.

PARAMETROS	DIAS AFORADOS						
	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
Volumen máximo por hora veh/día	153	166	186	161	223	174	158
FHP	0.79	0.79	0.81	0.82	0.82	0.80	0.80
Nivel de Servicio	B	B	B	B	B	B	B
% de seguimiento	42.63%	44.25%	46.17%	42.90%	52.69%	44.98%	42.97%

Fuente: El Autor.

CONCLUSIONES

- ✓ El estudio de la capacidad y del nivel de servicio de una vía, forma una de las partes muy importantes para el diseño y planeación de posibles mejoramientos de la vía.
- ✓ Los vehículos que circulan por la vía Loja-Zamora corresponden según el esquema de clasificación ARX como Clase 2 (SV) con un 81,52%, en segundo lugar están los vehículos de Clase 4 (TB2) con 15,32%, el porcentaje de motocicletas es 0,58% que pertenecen a la Clase 1 (MC), como vehículos recreativos se tiene 0,13% y los camiones pesados representan el 2,45%.
- ✓ El porcentaje de distribución del tráfico que se obtuvo es de 53,59% para el carril derecho y el 46,41% para el carril izquierdo, con lo cual para cálculos del proyecto se adoptó el 50/50% de distribución para cada carril.
- ✓ El volumen horario máximo de vehículos se produce de 17H00 a 18H00, con 159 vehículos, y los volúmenes mínimos de vehículos se dan entre la 01H00 a 04H00 con 26 vehículos.
- ✓ El día viernes se tiene el mayor flujo vehicular, alcanzando un total de 223 vehículos entre las 17H00 a 18H00.
- ✓ El factor de hora pico más alto se produce de 07H00-08H00 y es de 0,88 y el mínimo de 03H00-04H00, que es de 0,69 por lo que las condiciones operativas de la carretera variarán sustancialmente.
- ✓ Existe una relación directamente proporcional entre la cantidad de vehículos y el flujo vehicular, esto quiere decir que si existe mayor número de vehículos mayor será el congestionamiento vehicular, y sucede lo contrario si hay menor cantidad de vehículos.

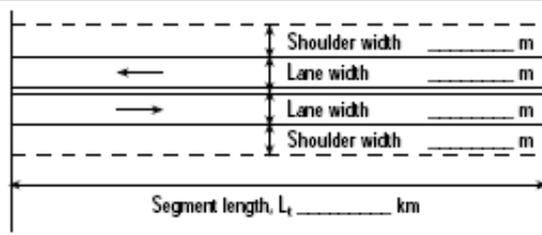
- ✓ Luego de aplicar la metodología HCM 2000 para la evaluación de capacidad y nivel de servicio de la vía Loja-Zamora se obtuvo como resultado que la vía se halla en un nivel de servicio B, por lo cual se tiene un flujo estable, no se forman colas, los vehículos circulan a velocidades más rápidas que se ven influenciando por otros vehículos; y las condiciones de circulación son estables.

BIBLIOGRAFÍA.

- Análisis de Capacidad y Nivel de Servicio de Segmentos Básicos de Autopistas, Segmentos trenzados y rampas de acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras. *HCM 2000 aplicando MathCad*. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/417/A6.pdf?sequence=6>.
- BOARD, T.R. (2000). *Highway Capacity Manual*. Washington D.C.
- Chavez Tabares, Alexander y otros. (2002). *Metodología para la óptima coordinación de corredores viales semaforizados utilizando software especializado en la ciudad Santiago de Cali*. Universidad del Valle. http://gittv.univalle.edu.co/publicaciones/Tesis_JMH_web.pdf
- KRAEMER, C., PARDILLO, J. M., ROCCI, S., ROMANA, M., SÁNCHEZ BLANCO, V., & DEL VAL, M. Á. (2009). *Ingeniería de Carreteras Vol. 1*. España: McGraw-Hill.
- METROCOUNT 5600 series. (January 2002). *Roadside Unit Operator Guide*.
- METROCOUNT ARX, (October 2007). *MTE User Manual – Classification Schemes*.
- Normas de diseño geométrico de carreteras MTOP 2003
- Naranjo Herrera, Víctor Hugo. (2008). *Análisis de la Capacidad y nivel de servicio de las vías principales y secundarias de acceso a la ciudad de Manizales*. Universidad de Colombia.

ANEXOS

Formato para determinar el nivel de servicio.

TWO-WAY TWO-LANE HIGHWAY SEGMENT WORKSHEET			
General Information	Site Information		
Analyst _____	Highway _____		
Agency or Company _____	From/To _____		
Date Performed _____	Jurisdiction _____		
Analysis Time Period _____	Analysis Year _____		
<input type="checkbox"/> Operational (LOS)	<input type="checkbox"/> Design (v_p)	<input type="checkbox"/> Planning (LOS)	<input type="checkbox"/> Planning (v_p)
Input Data			
	<input type="checkbox"/> Class I highway <input type="checkbox"/> Class II highway Terrain <input type="checkbox"/> Level <input type="checkbox"/> Rolling Two-way hourly volume _____ veh/h Directional split _____ / _____ Peak-hour factor, PHF _____ % Trucks and buses, P_T _____ % % Recreational vehicles, P_R _____ % % No-passing zone _____ % Access points/km _____ /km		
Average Travel Speed			
Grade adjustment factor, f_G (Exhibit 20-7)			
Passenger-car equivalents for trucks, E_T (Exhibit 20-9)			
Passenger-car equivalents for RVs, E_R (Exhibit 20-9)			
Heavy-vehicle adjustment factor, f_{HV} $f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$			
Two-way flow rate, ¹ v_p (pc/h) $v_p = \frac{V}{PHF \cdot f_G \cdot f_{HV}}$			
v_p * highest directional split proportion ² (pc/h)			
Free-Flow Speed from Field Measurement	Estimated Free-Flow Speed		
Field measured speed, S_{FM} _____ km/h	Base free-flow speed, BFFS _____ km/h		
Observed volume, V_f _____ veh/h	Adj. for lane width and shoulder width, f_{LS} (Exhibit 20-5) _____ km/h		
Free-flow speed, FFS _____ km/h	Adj. for access points, f_A (Exhibit 20-6) _____ km/h		
$FFS = S_{FM} + 0.0125 \left(\frac{V_f}{V_{HV}} \right)$	Free-flow speed, FFS _____ km/h		
	$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A$		
Adj. for no-passing zones, f_{np} (km/h) (Exhibit 20-11)			
Average travel speed, ATS (km/h) $ATS = FFS - 0.0125v_p - f_{np}$			
Percent Time-Spent-Following			
Grade adjustment factor, f_G (Exhibit 20-8)			
Passenger-car equivalents for trucks, E_T (Exhibit 20-10)			
Passenger-car equivalents for RVs, E_R (Exhibit 20-10)			
Heavy-vehicle adjustment factor, f_{HV} $f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)}$			
Two-way flow rate, ¹ v_p (pc/h) $v_p = \frac{V}{PHF \cdot f_G \cdot f_{HV}}$			
v_p * highest directional split proportion ² (pc/h)			
Base percent time-spent-following, BPTSF (%) $BPTSF = 100(1 - e^{-0.000879v_p})$			
Adj. for directional distribution and no-passing zone, $f_{d/np}$ (%) (Exhibit 20-12)			
Percent time-spent-following, PTSF (%) $PTSF = BPTSF + f_{d/np}$			
Level of Service and Other Performance Measures			
Level of service, LOS (Exhibit 20-3 for Class I or 20-4 for Class II)			
Volume to capacity ratio, v/c $v/c = \frac{v_p}{3,200}$			
Peak 15-min vehicle-kilometers of travel, $VkmT_{15}$ (veh-km) $VkmT_{15} = 0.25L \left(\frac{V}{PHF} \right)$			
Peak-hour vehicle-kilometers of travel, $VkmT_{60}$ (veh-km) $VkmT_{60} = V \cdot L$			
Peak 15-min total travel time, TT_{15} (veh-h) $TT_{15} = \frac{VkmT_{15}}{ATS}$			
Notes			
1. If $v_p \geq 3,200$ pc/h, terminate analysis—the LOS is F.			
2. If highest directional split $v_p \geq 1,700$ pc/h, terminate analysis—the LOS is F.			