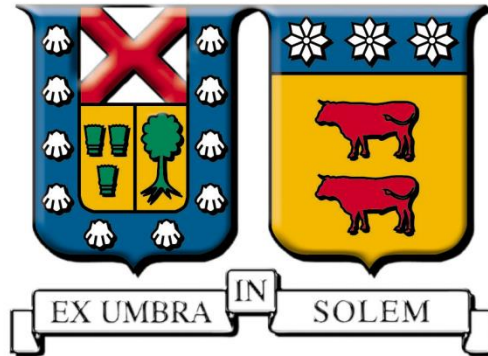


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE OBRAS CIVILES
VALPARAÍSO – CHILE



**DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO
EN CALLES URBANAS**

Memoria de Titulación presentada por

IVAN FRANCISCO SABANDO SANTIBAÑEZ

Como requisito parcial para optar al título de

Ingeniero Civil

Profesor Guía

CARLOS WAHR

Resumen

El objetivo de este trabajo es entregar una guía práctica que permita evaluar el nivel de servicio proporcionado a los usuarios de una instalación de transporte urbano, aportando así, un conjunto de herramientas y criterios técnicos para el estudio de problemas relacionados con el diseño, la operación y la evaluación de proyectos de vialidad urbana nacional.

Para esto, se realizó una revisión bibliográfica del tema, principalmente de la última publicación del Manual de Capacidad de Carreteras (Highway Capacity Manual 2010). De esta manera, se establecieron una serie de criterios necesarios para determinar el nivel de servicio en calles urbanas. Estos criterios se basan en medidas de desempeño que son medibles en terreno y perceptibles por los viajeros, como son la velocidad de viaje y la demora, las cuales reflejan los factores que influyen en el tiempo de viaje a lo largo de un segmento de calle y el retraso que se produce en intersecciones semaforizadas. A su vez, estas medidas de desempeño indican el grado de movilidad proporcionado por la instalación de transporte.

Luego, según los criterios utilizados para determinar el nivel de servicio en calles urbanas, se realizó la aplicación de esta guía práctica a la realidad nacional en un eje vial urbano, Fermín Vivaceta, Santiago, donde se obtuvo como resultado un nivel de servicio que refleja un funcionamiento estable de la instalación vial analizada. Sin embargo, al considerar un análisis individual por tramo, se detectó que un segmento de análisis operaba en condiciones de servicio inaceptables, por lo cual, debe ser considerado en el contexto general de la interpretación del nivel de servicio.

Se concluyó, finalmente, que la propuesta para determinar el nivel de servicio en las calles urbanas es aplicable a la realidad nacional, permitiendo complementar el desarrollo de proyectos de vialidad urbana y ayudando a la toma de decisiones sobre si el desempeño de una instalación vial es aceptable y si un futuro cambio en su funcionamiento, podrá ser percibido como significativo por los usuarios.

Abstract

The objective of this work is to provide a practical guide to evaluate the level of service provided to users of an urban transport facility, thus providing a set of tools and technical criteria for the study of problems related to the design, operation and the evaluation of national urban road projects.

For this, a bibliographical review of the subject was made, mainly of the last publication of the Highway Capacity Manual 2010. In this way, a series of criteria used to determine the level of service in urban streets was established. These criteria are based on performance measures that are measurable on the ground and perceived by travelers, such as travel speed and delay, which reflect the factors that influence travel time along a street segment and the delay that occurs at traffic lights intersections. In turn, these performance measures indicate the degree of mobility provided by the transport facility.

Therefore, according to the criteria used to determine the level of service established on urban streets, the application of this practice to the national reality in a vial urban axis guide was made; Fermin Vivaceta, Santiago. Where was obtained as a result a level of service that reflects stable operation of road facility analyzed, however, when considering an individual analysis section, it was found that a segment analysis operated under unacceptable conditions of service, which should be considered in the overall context of the interpretation service level.

It was finally concluded that the proposal to determine the level of service in urban streets practical guide is applicable to the national reality, allowing complement the development of projects of urban roads and helping decision making on whether the performance of a vial installation is acceptable and if a future change in performance may be perceived as significant by users.

Glosario

C :	Duración del ciclo del semáforo
c :	Capacidad de la pista
c_l :	Capacidad de giro a la izquierda
c_m :	Capacidad para combinación
c_{nm} :	Capacidad de no-combinación
c_{th} :	Capacidad del movimiento a través del segmento
d_c :	Demora por control
d_{c1} :	Demora uniforme
d_{c2} :	Demora incremental
d_{c3} :	Demora inicial en cola
d_1 :	Demora condicional del primer vehículo en seguimiento
d_2 :	Demora condicional del segundo vehículo en seguimiento
D_a :	Densidad de puntos de acceso en el segmento
$d_{ap,i}$:	Demora debido a giros a la izquierda y derecha desde la calle hacia el punto de acceso i
$d_{ap,l}$:	Demora media vehicular debido a giros a la izquierda
$d_{ap,r}$:	Demora media vehicular debido a giros a la derecha
Δ :	Tiempo de espaciamiento mínimo vehicular
d_i :	Demora condicional del i-ésimo vehículo en seguimiento
d_m :	Demora por combinación
d_{nm} :	Demora de vehículos que no se combinan
$d_{t,1}$:	Demora media de los vehículos en la pista 1
$d_{t/r}$:	Demora vehicular por maniobra de giro a la derecha

d_{other} : Demora debido a otras fuentes

E_L : Vehículo equivalente para un giro vehicular a la izquierda

E_L^* : Vehículo equivalente modificado para un giro vehicular a la izquierda

E_R : Vehículo equivalente para un giro vehicular a la derecha

E_R^* : Vehículo equivalente modificado para un giro vehicular a la derecha

f_A : Factor de ajuste para puntos de acceso

f_{CS} : Factor de ajuste para sección transversal

f_L : Factor de ajuste por espaciamiento de señales

f_v : Factor de ajuste por proximidad

g : Tiempo de verde efectivo

$\frac{g}{c}$: Razón de verde efectivo

H_1 : Tiempo de espaciamiento máximo que puede tener el primer vehículo en seguimiento y aún incurrir en demora

HCM : Highway Capacity Manual

$h_{\Delta < h < H_1}$: Tiempo de espaciamiento medio de los intervalos entre Δ y H_1

h_{lc} : Tiempo de espaciamiento mínimo para un cambio de pista

k : Factor de ajuste para demora incremental por tipo de controlador

L : Longitud del segmento

l : Factor de ajuste para demora incremental por llegadas filtradas

l_1 : Pérdida de tiempo en la partida

LOS : Nivel de servicio (Level of service)

L_s : Distancia entre intersecciones semaforizadas adyacentes

L_v : Espaciamiento vehicular medio en una cola de detención

λ : Parámetro de velocidad de flujo

m : Número de segmentos en la vía

MESPIVU: Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana

n : Número de pistas del segmento en la dirección de viaje

N_{ap} : Número de puntos de acceso influyentes que se aproximan a lo largo del segmento

$N_{ap,o}$: Número de puntos de acceso por el lado derecho en la dirección opuesta de viaje

$N_{ap,s}$: Número de puntos de acceso por el lado derecho en la dirección de viaje

N_v : Número de vehículos girando a la izquierda que puede almacenar la bahía de giro antes de desbordarse en la pista adyacente

P : Proporción de vehículos llegando durante el verde

$p_{ap,lt}$: Proporción de $N_{ap,o}$ que se puede acceder por un giro a la izquierda desde la dirección de viaje

p_{curb} : Proporción del segmento con solera del lado derecho

PF : Factor de ajuste por progresión

P_L : Proporción de vehículos girando a la izquierda en la pista izquierda

P_{lc} : Probabilidad de un cambio de pista

P_{LT} : Proporción de vehículos girando a la izquierda en la corriente de tránsito

p_m : Proporción del segmento con mediana restrictiva

P_{ov} : Probabilidad de que la bahía de giro a la izquierda se desborde

P_{RT} : Proporción de vehículos girando a la derecha en la corriente de tránsito

P_R : Proporción de vehículos girando a la derecha en la pista derecha

q_n : Flujo de pista exterior

REDEVU: Manual de Vialidad Urbana, Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana

r_a : Razón de aceleración

r_d : Razón de desaceleración

R_p :	Relación de pelotón
S_0 :	Velocidad constante
s_1 :	Flujo de saturación para la pista izquierda
$SECTRA$:	Secretaria de Planificación de Transporte
$SECTU$:	Secretaria Ejecutiva de la Comisión de Transporte Urbano
S_f :	Velocidad de flujo libre
S_{fo} :	Velocidad de flujo libre base
$S_{f0,i}$:	Velocidad de flujo libre para el segmento i
s_{lc} :	Máximo flujo que permita algún cambio de pista
S_{pl} :	Límite de velocidad
s_t :	Flujo de saturación para una corriente de tránsito
$S_{T,seg,i}$:	Velocidad de viaje de los vehículos para el segmento i
$S_{T,seg}$:	Velocidad de viaje de los vehículos de paso por el segmento
T :	Duración del periodo de análisis
t_c :	Tiempo de despeje del vehículo girando a la derecha
t_{cl} :	Espacio crítico para una maniobra de giro a la izquierda
t_m :	Tiempo de espaciamiento mínimo aceptable para combinarse desde un estado de detención
t_f :	Espacio de seguimiento para una maniobra de giro a la izquierda
t_R :	Tiempo en movimiento del segmento
u_m :	Velocidad mínima del primer vehículo que es retrasado
u_{rt} :	Velocidad de giro a la derecha
v_1 :	Flujo en la pista izquierda
v_2 :	Flujo en la pista adyacente



- v_a : Flujo en la aproximación al punto de acceso
- v_c : Flujo en conflicto
- v_i : Flujo en la pista i
- v_m : Flujo de demanda en el segmento
- v_n : Flujo en la pista derecha
- W_i : Ancho de intersección semaforizada aguas arriba
- X : Razón volumen a capacidad (v/c), o también llamada grado de saturación
- X_u : Grado de saturación en intersección aguas arriba

Índice General

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	ANTECEDENTES GENERALES	1
1.2	OBJETIVOS	2
1.3	ALCANCES DEL ESTUDIO.....	2
1.4	METODOLOGÍA DE TRABAJO	3
1.5	ESTRUCTURA DE LA MEMORIA.....	4
2	PROYECTOS DE VIALIDAD URBANA NACIONAL	7
2.1	ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE TRÁNSITO.....	7
3	PARÁMETROS BÁSICOS DE FLUJO VEHICULAR.....	9
3.1	VOLUMEN Y FLUJO VEHICULAR	9
3.1.1	<i>Volumen</i>	9
3.1.2	<i>Flujo</i>	9
3.2	VELOCIDAD	9
3.2.1	<i>Velocidad promedio de viaje</i>	10
3.2.2	<i>Velocidad de flujo libre</i>	10
3.3	DEMORA.....	10
4	CONCEPTOS DE CALIDAD Y NIVEL DE SERVICIO.....	11
4.1	CALIDAD DE SERVICIO.....	11
4.2	NIVEL DE SERVICIO	12
4.2.1	<i>Definición</i>	12
4.2.2	<i>Uso</i>	13
4.3	MEDIDAS DE SERVICIO	13
4.3.1	<i>Definición y características</i>	13
5	CRITERIOS PARA EVALUAR NIVEL DE SERVICIO EN SEGMENTOS DE CALLES URBANAS.....	14
5.1	CONSIDERACIONES GENERALES.....	14

5.1.1	<i>Límites de análisis</i>	14
5.1.2	<i>Nivel de análisis</i>	15
5.1.3	<i>Período de análisis</i>	15
5.2	DEFINICIÓN DE SEGMENTO DE CALLE URBANA	16
5.2.1	<i>Puntos y segmentos</i>	16
5.2.2	<i>Consideraciones en la longitud del segmento</i>	17
5.3	ALCANCES DE LA METODOLOGÍA.....	18
5.4	LIMITACIONES DE LA METODOLOGÍA	19
5.5	NIVELES DE SERVICIO EN CALLES URBANAS	20
5.5.1	<i>Nivel de Servicio A</i>	20
5.5.2	<i>Nivel de Servicio B</i>	20
5.5.3	<i>Nivel de Servicio C</i>	20
5.5.4	<i>Nivel de Servicio D</i>	21
5.5.5	<i>Nivel de Servicio E</i>	21
5.5.6	<i>Nivel de Servicio F</i>	21
6	DATOS DE ENTRADA	22
6.1	DATOS DE ENTRADA REQUERIDOS	22
6.2	DEFINICIÓN DE DATOS DE ENTRADA	22
6.2.1	<i>Datos de características de tránsito</i>	22
6.2.1.1	Flujo de demanda	23
6.2.1.2	Flujo en puntos de acceso.....	23
6.2.1.3	Flujo en el segmento	23
6.2.2	<i>Datos de diseño geométrico</i>	24
6.2.2.1	Número de pistas en la intersección	24
6.2.2.2	Ancho de intersección aguas arriba	24
6.2.2.3	Longitud de bahía de giro.....	26
6.2.2.4	Número de pistas del segmento	26
6.2.2.5	Número de Pistas en Puntos de Acceso	26

6.2.2.6	Longitud de bahía de giro en puntos de acceso	26
6.2.2.7	Longitud de segmento	26
6.2.2.8	Longitud de mediana restrictiva	27
6.2.2.9	Proporción de segmento con solera	27
6.2.2.10	Número de Aproximaciones de Puntos de Acceso	27
6.2.3	<i>Otros datos y medidas de desempeño</i>	<i>27</i>
6.2.3.1	Duración del período de análisis	27
6.2.3.2	Velocidad límite	28
7	PASOS DE ANÁLISIS PARA EVALUAR SEGMENTOS DE CALLES URBANAS.....	29
7.1	ESTRUCTURA DE CÁLCULO.....	29
7.1.1	<i>Paso 1: Elementos de entrada</i>	<i>29</i>
7.1.2	<i>Paso 2: Determinar el Tiempo en Movimiento.....</i>	<i>30</i>
7.1.2.1	Velocidad de Flujo Libre.....	30
7.1.2.2	Factor de ajuste por proximidad entre vehículos	34
7.1.2.3	Demora debido al giro de vehículos	35
7.1.2.4	Demora debido a otras fuentes	47
7.1.2.5	Tiempo en movimiento en el segmento.....	48
7.1.3	<i>Paso 3: Determinar la demora por control</i>	<i>49</i>
7.1.3.1	Demora Uniforme	50
7.1.3.2	Demora Incremental	50
7.1.3.3	Demora inicial en cola.....	51
7.1.3.4	Tipo de llegada y relación de pelotón.....	51
7.1.3.5	Factor de ajuste por progresión	53
7.1.3.6	Grado de saturación.....	54
7.1.3.7	Factor de ajuste para demora incremental k	54
7.1.3.8	Factor de ajuste para demora incremental l	55
7.1.4	<i>Paso 4: Determinar la velocidad de viaje</i>	<i>56</i>
7.1.5	<i>Paso 5: Determinar el nivel de servicio del segmento.....</i>	<i>57</i>
7.1.6	<i>Paso 6: Determinar el nivel de servicio de la instalación</i>	<i>57</i>

7.1.6.1	Determinar la velocidad de flujo libre base de la instalación	57
7.1.6.2	Determinar la Velocidad de Viaje	58
7.1.6.3	Determinar el nivel de servicio para la instalación	58
8	APLICACIÓN	59
8.1	MEDICIONES DE TRÁNSITO	59
8.1.1	<i>Aspectos Generales.....</i>	<i>59</i>
8.1.2	<i>Mediciones periódicas de flujo vehicular</i>	<i>60</i>
8.1.2.1	Puntos de medición	60
8.1.2.2	Tipos de Vehículos.....	62
8.1.2.3	Períodos de medición	62
8.1.2.4	Flujos Vehiculares Periódicos	63
8.2	CATASTRO OPERATIVO.....	66
8.3	DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO.....	67
8.3.1	<i>Descripción de los segmentos en análisis.....</i>	<i>68</i>
8.3.1.1	Segmento 1.....	68
8.3.1.2	Segmento 2.....	70
8.3.1.3	Segmento 3.....	71
8.3.2	<i>Calculo del Nivel de Servicio para el Segmento 1.....</i>	<i>73</i>
8.3.2.1	Paso 1: Elementos de entrada.....	73
8.3.2.2	Paso 2: Determinar el tiempo en movimiento	73
8.3.2.3	Paso 3: Cálculo de la demora por control.....	81
8.3.2.4	Paso 4: Determinar la velocidad de viaje	84
8.3.2.5	Paso 5: Determinar el nivel de servicio	85
8.3.3	<i>Nivel de servicio de la instalación.....</i>	<i>85</i>
8.3.3.1	Paso 1: Elementos de Entrada	85
8.3.3.2	Paso 2: Determinar el tiempo en movimiento	86
8.3.3.3	Paso 3: Cálculo de la demora por control.....	86
8.3.3.4	Paso 4: Determinar la velocidad de viaje	87
8.3.3.5	Paso 5: Determinar el nivel de servicio	87



8.3.3.6	Paso 6: Nivel de servicio de la instalación vial	88
9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
10	REFERENCIAS.....	93
11	ANEXOS.....	94

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1-1: Segmento de análisis para calle urbana	3
Ilustración 4-1: Límites de análisis del segmento	14
Ilustración 4-2: Puntos y enlaces en un segmento	16
Ilustración 5-1: Ancho de Intersección para calle bidireccional	25
Ilustración 5-2: Ancho de Intersección para calle unidireccional	25
Ilustración 8-1: Área de Estudio del proyecto	61
Ilustración 8-2: Diagrama de movimientos en intersección Fermín Vivaceta con Zapadores	64
Ilustración 8-3: Diagrama de movimientos en intersección Fermín Vivaceta con Los Olivos	64
Ilustración 8-4: Diagrama de movimientos en intersección Fermín Vivaceta con Roma.....	65
Ilustración 8-5: Diagrama de movimientos en intersección Fermín Vivaceta con 14 de la Fama	65
Ilustración 8-6: Segmentos del Tramo en Estudio	67
Ilustración 8-7: Perfil transversal tipo del segmento 1	68
Ilustración 8-8: Intersección calle Fermín Vivaceta con calle Los Zapadores	69
Ilustración 8-9: Sección tipo del segmento 1, calle Fermín Vivaceta.....	69
Ilustración 8-10: Intersección calle Fermín Vivaceta con calle El Olivo	69
Ilustración 8-11: Perfil transversal tipo del segmento 2	70
Ilustración 8-12: Sección tipo del segmento 2, calle Fermín Vivaceta.....	70
Ilustración 8-13: Intersección calle Fermín Vivaceta con calle Roma.....	71
Ilustración 8-14: Perfil transversal tipo del segmento 3	71
Ilustración 8-15: Intersección calle Fermín Vivaceta con calle 14 de la Fama	72
Ilustración 8-16: Sección tipo del segmento 3, calle Fermín Vivaceta.....	72

Índice de Tablas

Tabla 4-1: Criterios para determinar el nivel de servicio LOS	21
Tabla 5-1: Datos de entrada.....	22
Tabla 6-1: Factor de ajuste para sección transversal	32
Tabla 6-2: Factor de ajuste para puntos de acceso.....	33
Tabla 6-3: Demora debido al giro de vehículos	47
Tabla 6-4: Relación entre tipo de llegada y relación de pelotón	53
Tabla 6-5: Valor de k para controlador tipo	55
Tabla 8-1: Tipología de vehículos	62
Tabla 8-2: Definición de períodos según perfil día laboral.....	62
Tabla 8-3: Flujos vehiculares por punto de control	63
Tabla 8-4: Segmentación del Tramo en Estudio.....	67
Tabla 8-5: Elementos de entrada del segmento 1	73
Tabla 8-6: Elementos de entrada para los segmentos 1, 2 y 3	85
Tabla 8-7: Tiempo en movimiento en los segmentos 1, 2 y 3	86
Tabla 8-8: Demora por control en los segmentos 1,2 y 3	86
Tabla 8-9: Velocidad de viaje en los segmentos 1, 2 y 3.....	87
Tabla 8-10: Nivel de servicio en los segmentos 1, 2 y 3.....	87

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES GENERALES

Para llevar a cabo un proyecto de infraestructura vial urbana en Chile, se deben seguir los lineamientos técnicos estipulados en el “Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana (MESPIVU)” para el análisis y evaluación de los proyectos, y en el “Manual de Vialidad Urbana, Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana (REDEVU)” para el diseño vial. En este contexto, el presente trabajo de memoria busca complementar las herramientas que representan el estado del arte en el ámbito de la infraestructura vial, en especial aquellas relacionadas con la capacidad y nivel de servicio de las instalaciones de transporte urbano. Para tal efecto, se realizó una revisión de bibliografía especializada en el tema, principalmente de la última publicación del Highway Capacity Manual (HCM 2010).

En concreto, el objetivo de este estudio es entregar una guía práctica que permita determinar el nivel de servicio proporcionado a los usuarios de una instalación de transporte urbano a través de la adaptación del capítulo 17 de HCM 2010 con aportes extraídos del artículo “Comparison of Urban Streets Methodologies in HCM 2000 and HCM 2010, J. Bonneson, Kittelson & Associates, Inc., Abril 2013”, aportando así, un conjunto de herramientas y criterios técnicos para el estudio de problemas relacionados con el diseño, la operación y la evaluación de proyectos de vialidad urbana nacional.

Para el logro de este objetivo, se describe una serie de procedimientos que permiten evaluar el desempeño operacional del tránsito vehicular en calles urbanas en términos de la velocidad de viaje de los vehículos. Luego, como foco de esta evaluación, se identifican dos procedimientos claves, uno de ellos se usa para estimar el tiempo de viaje a lo largo de un segmento de calle y el otro se emplea para estimar la demora incurrida por los vehículos en las intersecciones semaforizadas.

Además, como parte fundamental de la memoria, se realiza un análisis detallado con datos reales de una instalación vial urbana perteneciente a la ciudad de Santiago. Este análisis tiene como finalidad determinar el nivel de servicio de la instalación, teniendo en consideración todos los conceptos, procedimientos e interpretaciones proporcionados a lo largo del documento.

Finalmente, y a modo de conclusión, se entregan comentarios sobre los resultados obtenidos en la aplicación y sobre la estructura metodológica planteada.

1.2 OBJETIVOS

El desarrollo de esta memoria de título tiene como objetivo general proveer una guía práctica que permita determinar el nivel de servicio proporcionado a los usuarios que viajan a través de una vía urbana nacional.

Dentro de los objetivos específicos podemos señalar:

- Analizar las medidas de desempeño que permitan la determinación del nivel de servicio de una instalación vial urbana.
- Explicar los criterios para la determinación los niveles de servicio en calles urbanas.
- Evaluar el nivel de servicio de una instalación vial urbana nacional, concretamente, un tramo de 1,7 Km del eje vial Fermín Vivaceta, ubicado entre las comunas de Independencia y Conchalí en la ciudad de Santiago de Chile.
- Analizar los resultados obtenidos en la aplicación.
- Entregar recomendaciones a partir de los resultados obtenidos y de la estructura metodológica propiamente tal.

1.3 ALCANCES DEL ESTUDIO

El presente estudio se basa en la evaluación de una dirección de flujo de tránsito a lo largo de un segmento de calle urbana. Este segmento puede ser uno de varios que componen una instalación vial urbana.

Un segmento de calle se define como la porción de una instalación de calle urbana que está limitada en cada extremo por una intersección semaforizada e incluye todas las pistas de tránsito que sirven a una dirección de viaje. Este concepto se esquematiza en la Ilustración 1-1 dónde el área sombreada representa el segmento de calle que es objeto de análisis.

La metodología planteada se utiliza para analizar uno o más segmentos en una instalación vial urbana, siempre que la instalación cuente con una longitud mínima de 3,2 Km (1,6 Km en zonas céntricas de la ciudad) y una separación de semáforos menor o igual a 3,2 Km. Por último, la metodología es aplicable a calles con límites de velocidad de 40 a 80 Km/h.

Además, los procedimientos aplicados se basan en el análisis de condiciones de tránsito estables, por lo tanto, no son adecuados para la evaluación de condiciones inestables (por ejemplo en condiciones de congestión).

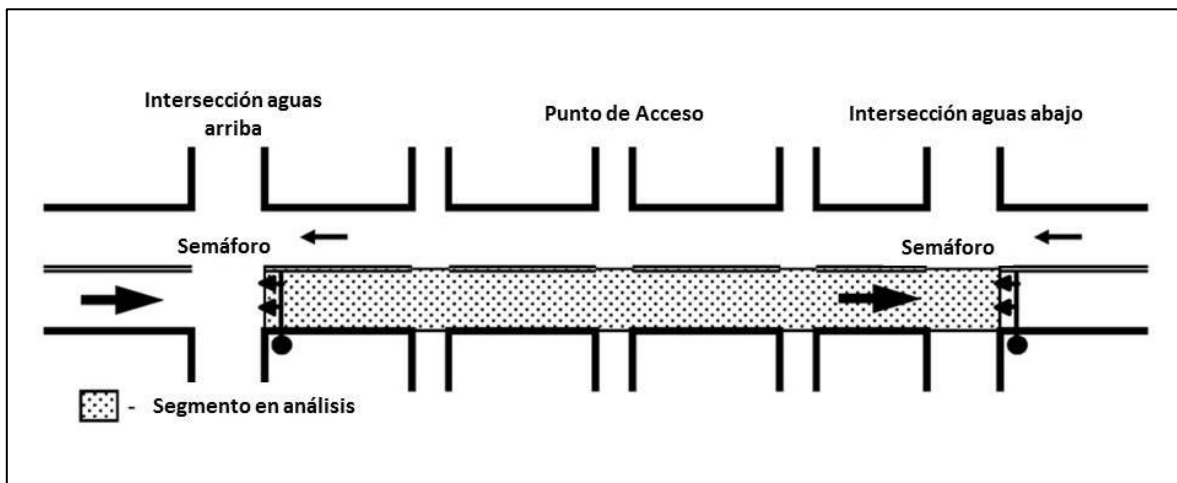


Ilustración 1-1: Segmento de análisis para calle urbana

Fuente: HCM 2010

1.4 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para poder lograr los objetivos del estudio se presenta una estructuración general que puede ser desglosada en cinco etapas, las cuales son detalladas a continuación:

Etapas 1: En esta primera etapa que consta de los capítulos 2, 3 y 4 se definen parámetros, variables y conceptos básicos necesarios para describir el flujo de tránsito vehicular en calles urbanas. Además, se describen los conceptos fundamentales del trabajo que son la calidad de servicio, nivel de servicio y medidas de servicio.

Etapas 2: Una vez definidos los conceptos básicos se comienza con la descripción de los lineamientos generales de la metodología para evaluar el nivel de servicio proporcionado a los usuarios que viajan a través de una instalación vial urbana. También se definen los datos de entrada necesarios para poder aplicar esta metodología. Esta etapa consta de los capítulos 5 y 6, respectivamente.

Etapas 3: En esta etapa se desarrolla la estructura de cálculo. En ella se identifica la secuencia de cálculos necesarios para estimar las medidas de desempeño y así poder determinar el nivel de servicio tanto de un segmento aislado como de una sucesión de segmentos. Esto se logra con la descripción de los procedimientos que conforman la metodología, además de destacar las ecuaciones importantes, conceptos e interpretaciones.

Etapas 4: Esta etapa correspondiente al capítulo 9 contiene una aplicación en la cual se ponen en práctica todos los conceptos, ecuaciones e interpretaciones desarrollados en las etapas anteriores. Esto mediante el análisis con datos reales de una instalación vial urbana perteneciente a la ciudad de Santiago, con el fin de determinar el nivel de servicio percibido por los usuarios de dicha instalación.

Etapas 5: Como etapa final, se tiene la presentación de las conclusiones, las cuales son sintetizadas a partir del análisis de los resultados obtenidos en la aplicación y del análisis de la estructura metodológica propiamente tal.

1.5 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

El presente trabajo de Memoria se encuentra estructurado mediante una serie de capítulos cuyo contenido se detalla brevemente en los siguientes párrafos:

Capítulo 2: Proyectos de vialidad urbana nacional

Para comenzar, en este capítulo se da una breve reseña sobre la normativa utilizada para evaluar los proyectos de vialidad urbana en Chile, indicando además la importancia de la estimación de parámetros de tránsito en los procesos de diseño y simulación de alternativas en anteproyectos.

Capítulo 3: Parámetros básicos de flujo vehicular

En este capítulo se definen parámetros, variables y conceptos básicos de tránsito urbano tales como volumen y flujo vehicular, velocidad de viaje y demora.

Capítulo 4: Conceptos de calidad y nivel de servicio

En este apartado se definen los conceptos fundamentales del trabajo que son la calidad de servicio, el nivel de servicio y las medidas de servicio. En ellos se destacan los principales aspectos a evaluar y sus características principales.

Capítulo 5: Criterios para evaluar el nivel de servicio en segmentos de calles urbanas

El siguiente capítulo establece las bases fundamentales para determinar el nivel de servicio en calles urbanas, para ello se comienza presentando las consideraciones generales aplicables a la metodología como son los límites de análisis, el nivel de análisis, el período de estudio y el período de análisis. Enseguida se introduce la definición de segmento de calle urbana, para luego establecer los alcances y limitaciones de la metodología. Finalmente se definen los criterios utilizados para determinar el nivel de servicio en calles urbanas.

Capítulo 6: Datos de entrada

El presente capítulo describe los datos de entrada necesarios para determinar el nivel de servicio. Estos datos son clasificados en base a categorías como características de tránsito o diseño geométrico y en base a su ubicación como intersección o segmento. Entre los diversos elementos de entrada se puede mencionar longitud de segmento, número de pistas, flujos de demanda, ancho de intersección, velocidad límite y duración del período de análisis.

Capítulo 7: Pasos de análisis para evaluar el nivel de servicio de calles urbanas

En este capítulo se desarrolla una estructura de cálculo cuya finalidad es determinar el nivel de servicio en calles urbanas. En ella se identifica una secuencia de seis pasos donde mediante procedimientos y ecuaciones se estiman las medidas de desempeño necesarias para evaluar el nivel de servicio. Entre los principales pasos se encuentra la

determinación del tiempo en movimiento, el cálculo de la demora por control y el cálculo de la velocidad de viaje.

Capítulo 8: Aplicación

Dentro de éste capítulo se determina el nivel de servicio de una instalación vial urbana nacional, específicamente una sucesión de segmentos de calle pertenecientes a la ciudad de Santiago. Para ello se presentan las mediciones de tránsito utilizadas y enseguida se desarrolla la memoria de cálculo con el fin de evaluar los segmentos de la vía tanto en forma individual como en su conjunto.

Capítulo 9: Conclusiones y Recomendaciones

Finalmente se tiene el capítulo de conclusiones en el cual se presentan las ideas, resultados e interpretaciones que son producto del análisis de la metodología y de los resultados obtenidos en la aplicación.

Capítulo 10: Referencias

En el capítulo de referencias se entrega un listado con todos los documentos utilizados en el desarrollo de la memoria.

Capítulo 11: Anexos

Finalmente se entrega en formato digital el Informe del Estudio “Mejoramiento eje Fermín Vivaceta, entre Independencia y Santa María” del cual se obtuvieron parte de las mediciones de tránsito necesarias para aplicar la metodología.

2 PROYECTOS DE VIALIDAD URBANA NACIONAL

La infraestructura vial de una ciudad se puede representar mediante una red de vías o arterias y nudos o intersecciones que proveen una cierta capacidad de transporte al flujo vehicular urbano. En un momento dado del tiempo, las características de diseño y construcción de esta red y sus elementos, conjuntamente con el nivel de utilización a que éstos se ven sometidos, determinan lo que generalmente se llama un “nivel de servicio de transporte” que puede ser representado en términos de los costos que para los distintos usuarios implica el uso del sistema.

Dichos costos, denominados “costos de transporte”, pueden ser modificados en el largo plazo a través de cambios en la infraestructura, ya sea, a través de modificaciones en la estructura de la red vial o el rediseño de sus elementos.

En Chile, la fuente de información básica para la evaluación de este tipo de proyectos, denominados “proyectos de vialidad urbana” es el Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana (MESPIVU), desarrollado por la U. de Chile en 1988 por encargo de la Comisión de Transporte Urbano (en adelante se referirá como SECTU, 1988).

El proceso de desarrollo de proyectos de vialidad urbana se divide básicamente en cuatro etapas: generación de proyectos, desarrollo y selección de anteproyectos, proyecto definitivo y ejecución y seguimiento. Las dos primeras etapas presentan fases diferentes dependiendo, principalmente del tipo de impactos y efectos que cada proyecto produzca sobre el sistema en su conjunto.

2.1 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE TRÁNSITO

La estimación de parámetros de tránsito es una de las labores más decisivas para el proceso de diseño y simulación de alternativas hacia el futuro. Sin embargo, la experiencia chilena en este sentido no es muy amplia, por lo que se requiere emplear, en muchos casos, parámetros estimados en otros países. Si se efectuara un seguimiento de los proyectos, en el sentido de que a posteriori se midieran algunos de los parámetros y magnitudes más importantes, podría obtenerse una valiosa experiencia que nos permitiría

modificar, hacia adelante, las cifras que se utilizan en la actualidad. Sin esta retroalimentación, que nace de haber estimado valores y después haber comprobado en terreno si ellos se comportan satisfactoriamente, no es posible elaborar antecedentes para la evaluación y diseño absolutamente fieles. Sin embargo, una cosa es importante de todas maneras: la coherencia entre los valores que se asumen en un estudio y los que se asuman en otro. Puede que las cifras estimadas estén subestimando algún valor, pero mientras ese error sea sistemático, al menos para efecto de realizar ranking de proyectos, no se estará llegando a decisiones absolutamente equivocadas.

Los parámetros más importantes a estimar se han subdividido en los tres grandes rubros que se mencionan a continuación:

- Capacidades en intersecciones semaforizadas
- Capacidades en intersecciones prioritarias
- Estimación de velocidades

En este contexto, el presente trabajo de memoria desarrolla dos procedimientos claves para evaluar el nivel de servicio proporcionado a los usuarios de una instalación de transporte urbano, uno de ellos se usa para estimar el tiempo de viaje a lo largo de un segmento de calle (relacionado a la estimación de velocidades) y el otro se emplea para estimar la demora incurrida por los vehículos en las intersecciones semaforizadas (relacionado a las capacidades en intersecciones semaforizadas).

3 PARÁMETROS BÁSICOS DE FLUJO VEHICULAR

En el presente capítulo se definen parámetros, variables y conceptos necesarios para describir el flujo de tránsito vehicular en calles urbanas.

3.1 VOLUMEN Y FLUJO VEHICULAR

Volumen y flujo son dos medidas que cuantifican el número de vehículos pasando sobre una sección determinada de la vía durante un intervalo de tiempo dado. Estas medidas se definen a continuación:

3.1.1 Volumen

Es el número total de vehículos que pasan sobre una sección determinada de la vía durante un intervalo de tiempo. Este intervalo de tiempo puede ser variable, pero comúnmente se expresa en términos de periodos anuales, diarios, por hora, o menores a una hora.

3.1.2 Flujo

Corresponde a la tasa equivalente por hora en la cual los vehículos pasan sobre una sección determinada de la vía durante un intervalo de tiempo menor a una hora, usualmente 15 minutos.

3.2 VELOCIDAD

Para caracterizar la velocidad que pueden lograr los usuarios en una vía se debe utilizar un valor representativo, debido a la amplia diversidad de velocidades individuales presentes en una corriente de tránsito.

Los parámetros básicos de velocidad aplicables a una corriente de tránsito en calles urbanas son los siguientes:

3.2.1 Velocidad promedio de viaje

Esta corresponde a la longitud del segmento dividida por el tiempo promedio de viaje de los vehículos que atraviesan el segmento, incluyendo los tiempos de demora debido a las detenciones.

3.2.2 Velocidad de flujo libre

Se define como la velocidad promedio de los vehículos en un segmento dado, medida en condiciones de bajo volumen, donde los conductores son libres de circular a la velocidad deseada y no se encuentran limitados debido a la presencia de otros vehículos o dispositivos de control de tránsito en la intersección aguas abajo (por ejemplo, semáforos, rotondas o señales de pare).

3.3 DEMORA

La demora es una importante medida de desempeño en elementos de un sistema de flujo interrumpido. Existen variados tipos de demora, donde la demora por control es la principal medida de servicio en el HCM para evaluar el nivel de servicio en intersecciones semaforizadas. Esta demora por control es aquella provocada por la presencia de un dispositivo de control de tránsito en la intersección e incluye la demora producto de la desaceleración de los vehículos llegando a la intersección, el tiempo empleado en la detención, el tiempo dedicado al moverse hacia adelante en la cola y el tiempo necesario para acelerar a la velocidad deseada.

Otros tipos de demora utilizados son los siguientes:

- Demora Geométrica: Es aquella demora causada por las características geométricas de la vía.
- Demora por Incidente: Tiempo adicional de viaje experimentado como resultado de un incidente.
- Demora por Tránsito: Demora causada por la interacción entre vehículos, obligando a los conductores a reducir su velocidad por debajo de la velocidad de flujo libre.
- Demora Total: Sumatoria de todas las demoras mencionadas anteriormente.

4 CONCEPTOS DE CALIDAD Y NIVEL DE SERVICIO

Existen muchas formas para medir el desempeño de una instalación de transporte y muchos puntos de vista que pueden ser considerados para decidir qué medidas deben ser usadas.

Tanto los organismos encargados de operar las instalaciones viales urbanas, como los conductores de automóviles, peatones, ciclistas, pasajeros de buses, y la comunidad en general tienen sus propios puntos de vista sobre cómo debe funcionar la instalación y lo que constituye un “buen” desempeño. En consecuencia, no existe una forma única para medir e interpretar el desempeño. En este contexto, se presentan los conceptos de calidad y nivel de servicio los cuales son utilizados por el “Highway Capacity Manual” para describir el desempeño desde el punto de vista del conductor y que a la vez están diseñados para ser utilizados por operadores viales, autoridades locales y miembros de la comunidad.

A continuación se describen los conceptos de calidad de servicio, nivel de servicio y medidas de servicio.

4.1 CALIDAD DE SERVICIO

La Calidad de Servicio describe lo bien que opera una instalación de transporte desde la perspectiva del viajero. Esta calidad de servicio puede ser evaluada de distintas formas, entre ellas están la observación directa de factores perceptibles por los viajeros (por ejemplo, velocidad y demora), encuestas a viajeros, seguimiento de quejas y elogios sobre las condiciones del camino y predicción de la satisfacción del viajero usando modelos derivados de encuestas.

Se ha encontrado que los factores que influyen en la percepción del viajero sobre la calidad de servicio incluyen:

- Tiempo de viaje, velocidad y demora
- Número de detenciones
- Fiabilidad del tiempo de viaje
- Maniobrabilidad

- Confort
- Conveniencia
- Seguridad
- Coste de uso
- Disponibilidad de instalaciones y servicios
- Estética de la instalación
- Disponibilidad de información

Los principales aspectos a evaluar en este trabajo son el tiempo de viaje, velocidad y demora.

4.2 NIVEL DE SERVICIO

4.2.1 Definición

El nivel de servicio, corresponde a una estratificación cuantitativa de una medición o medida de desempeño que represente la calidad de servicio. Estas mediciones utilizadas para determinar el LOS en los elementos de un sistemas de transporte se denominan medidas de servicio.

El HCM define seis Niveles de Servicio, que van desde la A hasta la F, para cada medida de servicio, o para el resultado de un modelo matemático basado en múltiples medidas de servicio.

En esta estratificación el LOS A representa las mejores condiciones de operación de la vía desde la perspectiva del viajero y el LOS F las peores. Cabe mencionar que ya sea por motivos de costo, impacto ambiental u otras razones, las vías no suelen diseñarse para proporcionar un LOS A durante los periodos de punta, sino más bien se busca algún LOS menor, que refleje un equilibrio entre los deseos del conductor, los deseos de la sociedad y los recursos financieros. No obstante, durante los períodos de bajo volumen del día, los elementos del sistema de transporte pueden operar en un LOS A.

4.2.2 Uso

El Nivel de Servicio es usado para traducir los resultados de complejos sistemas numéricos sobre desempeño a un sistema simple, de la A a la F, representativo de la percepción de los viajeros en cuanto a la calidad de servicio proporcionada por una instalación o servicio. Esta función tiene por objeto simplificar la toma de decisiones sobre si el desempeño de una instalación es generalmente aceptable y si un futuro cambio en su funcionamiento podrá ser percibido como significativo por el público general.

El lenguaje utilizado proporciona un conjunto común de definiciones que ingenieros en transporte y planificadores pueden usar para describir condiciones de operación; no obstante, corresponde a los legisladores locales decidir el nivel de servicio apropiado para un determinado elemento del sistema de transporte en su comunidad. Por este motivo, organismos públicos internacionales han adoptado ampliamente el concepto LOS debido a la capacidad que tiene el concepto de poder transmitir el funcionamiento de la vía a personas que no tienen los conocimientos técnicos.

4.3 MEDIDAS DE SERVICIO

4.3.1 Definición y características

Las medidas de servicio son mediciones de desempeño usadas para definir el nivel de servicio en los elementos de un sistema de transporte.

Idealmente, las medidas de servicio deben tener las siguientes características:

- Deben reflejar las percepciones de los viajeros, es decir, las medidas deben reflejar cosas que los viajeros pueden percibir durante su viaje.
- Deben ser de utilidad para los organismos operadores.
- Deben ser medibles directamente en terreno.
- Deben ser estimables dada una serie de condiciones conocidas o pronosticadas.

5 CRITERIOS PARA EVALUAR NIVEL DE SERVICIO EN SEGMENTOS DE CALLES URBANAS

5.1 CONSIDERACIONES GENERALES

El desarrollo del trabajo es aplicable a un segmento de calle urbana o suburbana, el cual puede ser parte de una calle troncal o colectora con una o dos vías de flujo de tránsito vehicular donde las intersecciones límites en el segmento deben ser semaforizadas.

5.1.1 Límites de análisis

El límite de análisis del segmento se define por la calzada del lado derecho de la calle y por el área de influencia operacional de cada intersección límite. El área de influencia de una intersección límite se extiende hacia atrás a partir de la intersección en cada calle que intersecta el segmento, donde el tamaño de esta área es específico según la calle que intersecte y comprende la mayor distancia de alguna cola relacionada con la intersección que se produzca durante el período de estudio. Por estas razones, los límites de análisis deben ser establecidos para cada intersección sobre la base de las condiciones presentes durante el período de análisis. En términos prácticos, el área de influencia debe extenderse al menos 76 [m] detrás de la línea de pare en cada calle que intersecte.

La Ilustración 5-1 esquematiza los límites de análisis mencionados.

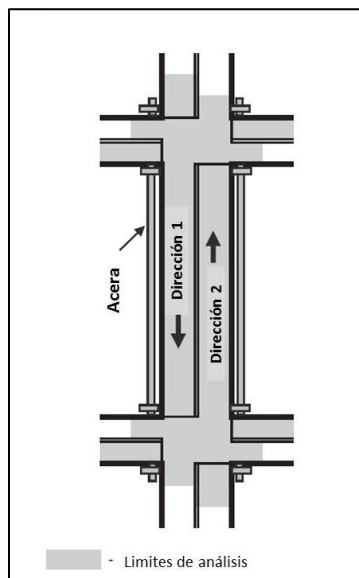


Ilustración 5-1: Límites de análisis del segmento

Fuente: HCM 2010

5.1.2 Nivel de análisis

El nivel de análisis describe el nivel de detalle utilizado en la aplicación de la metodología. Se reconocen tres niveles de análisis, que son:

- Operacional
- Diseño
- Ingeniería preliminar y planeamiento

El análisis operacional es la aplicación más detallada y requiere la mayor cantidad de información acerca del tránsito, geometría y condiciones de señalización.

El análisis en diseño también requiere información detallada acerca de las condiciones de tránsito y del nivel de servicio deseado, así como información sobre la geometría y condiciones de señalización.

El análisis en ingeniería preliminar y planeamiento requiere solamente los tipos más fundamentales de la información donde valores por defecto se utilizan como sustitutos de otros datos de entrada.

5.1.3 Período de análisis

La metodología está basada en el supuesto de que las condiciones de tránsito son estables durante el período de análisis, es decir que un cambio sistemático en el tiempo es insignificante. Por esta razón, la duración del período de análisis se encuentra en el rango de 0,25 a 1 hora. En general, el analista debe tener precaución con los períodos de análisis que excedan de 1 hora ya que las condiciones de tránsito no son generalmente estables durante períodos de tiempo largos y porque el impacto adverso de peaks en la demanda de tránsito puede no ser detectado en la evaluación.

Si el período de análisis de interés tiene un volumen de demanda que excede la capacidad, entonces el período de estudio debe incluir un período de análisis inicial sin cola al comienzo y un período de análisis final sin cola residual. Este planteamiento proporciona una estimación más precisa de la demora asociada con la congestión.

5.2 DEFINICIÓN DE SEGMENTO DE CALLE URBANA

Para efectos de análisis, la calle urbana es separada en elementos individuales que son físicamente adyacentes y operan como una sola entidad en servicio de los viajeros. Comúnmente se encuentran dos elementos en un sistema de calles urbanas, que son puntos y enlaces. Un punto representa el límite entre enlaces y es representado por una intersección. Un enlace representa una longitud de camino entre dos puntos. Un enlace y sus puntos límites se denominan como un segmento.

5.2.1 Puntos y segmentos

El enlace y sus puntos límites deben ser evaluados juntos para proporcionar una indicación precisa del desempeño general del segmento. Para una dirección dada de viaje a través del segmento, medidas de desempeño de enlace y punto se combinan para determinar el desempeño general del segmento.

Si el segmento en análisis es parte de un sistema semaforizado coordinado, entonces las siguientes reglas aplican cuando los límites del segmento se encuentran identificados:

- Una intersección semaforizada es siempre usada para definir el límite de un segmento.
- Sólo intersecciones en que los movimientos a través del segmento no son controlados (por ejemplo, intersecciones controladas por señal de PARE) pueden existir a lo largo del segmento entre los límites.

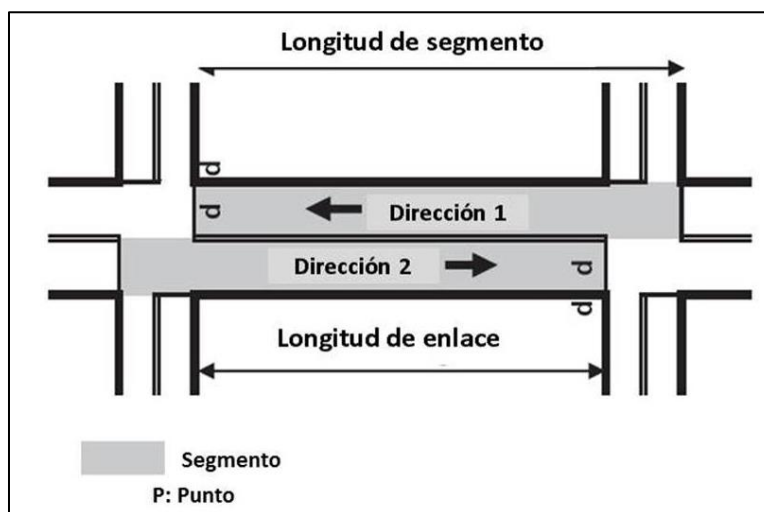


Ilustración 5-2: Puntos y enlaces en un segmento

Fuente: HCM 2010

5.2.2 Consideraciones en la longitud del segmento

Cuando un segmento tiene una longitud “corta”, la interacción entre los movimientos de tránsito y los dispositivos de control en las dos intersecciones límites es lo suficientemente compleja, por lo cual un análisis por separado de cada elemento no proporcionará una indicación precisa del desempeño de la calle urbana. Esta complicación puede ocurrir independientemente del tipo de control presente en las intersecciones límites, no obstante, es particularmente complicado cuando las dos intersecciones son semaforizadas.

Es difícil definir las condiciones bajo las cuales un segmento es considerado corto, sin embargo, se aplican dos reglas generales en la toma de esta determinación. Primero, un segmento es considerado corto si colas se extienden frecuentemente hacia atrás desde una intersección a otra intersección durante el período de análisis. Segundo, un segmento es considerado corto si la duración de la fase del semáforo en la intersección aguas abajo es mayor que la necesaria para servir a todos los vehículos que almacena el segmento más los vehículos que puedan entrar desde la intersección semaforizada aguas arriba mientras la fase aguas abajo está en verde. Esto conduce al uso ineficiente de la fase aguas abajo y la retención de los vehículos no atendidos en los accesos a la intersección aguas arriba. En general, segmentos que están delimitados por intersecciones semaforizadas y que tienen longitudes menores a 122 [m] pueden experimentar una o ambas condiciones.

Los pelotones formados en una intersección semaforizada se dispersan típicamente en el momento en que llegan a un punto cercano a los 965 [m] aguas abajo del semáforo. Esta distancia puede variar dependiendo de la cantidad de actividad en los puntos de acceso a lo largo de la calle y de la velocidad de la corriente de tránsito. En cualquier caso, es muy probable que la influencia de los pelotones en el funcionamiento de la calle urbana sea insignificante cuando la longitud del segmento es superior a 3,2 [km]. Por lo tanto, si un segmento excede los 3,2 kilómetros de longitud y sus intersecciones límites son semaforizadas, entonces el analista debe evaluar el segmento como una carretera de flujo ininterrumpido con intersecciones aisladas.

5.3 ALCANCES DE LA METODOLOGÍA

Esta sección identifica las condiciones sobre las cuales la metodología es aplicable.

Intersecciones límites semaforizadas: la metodología puede ser usada para evaluar el desempeño de un segmento limitado por intersecciones semaforizadas.

Calles troncales y colectoras: La metodología fue desarrollada con un enfoque en calles troncales y colectoras. Luego, si la metodología es usada para evaluar una calle de servicio o local, entonces las estimaciones de desempeño deben ser cuidadosamente revisadas para la exactitud.

Condiciones de flujo estable: La metodología se basa en el análisis de condiciones de tránsito estable, y como tal, no es adecuada para la evaluación de condiciones inestables (por ejemplo en condiciones de congestión o desbordamiento)

Usuarios objetivo de la vía: La metodología fue desarrollada para estimar el nivel de servicio percibido por los conductores de automóviles, y no por otros usuarios de la vía (por ejemplo, conductores de vehículos comerciales, pasajeros de automóviles, conductores de camiones de entrega o conductores de vehículos de recreo). Sin embargo, es probable que las percepciones de estos otros usuarios estén razonablemente bien representadas por los usuarios para los que fue desarrollada la metodología.

Modos de viaje objetivo: La metodología aborda diversos modos de viaje como el automóvil, motocicleta, camión y corrientes de tránsito en las cuales el automóvil representa el mayor porcentaje de todos los vehículos.

Influencias dentro del segmento de análisis: La percepción de un usuario de la vía en cuanto a la calidad de servicio es influenciada por muchos factores que se encuentran dentro y fuera del segmento de análisis. No obstante, la metodología fue construida específicamente para excluir los factores que se encuentren fuera del segmento de análisis (por ejemplo, edificios, parques de estacionamiento o paisajismo) que podrían influir en la perspectiva del viajero. Este enfoque fue seguido debido a que los factores que se encuentran fuera del segmento de análisis no están bajo el control directo de los organismos que operan las calles.

Enfoque en la movilidad: La metodología tiene la intención de facilitar la evaluación de la movilidad. En este sentido, la accesibilidad a las propiedades adyacentes no se encuentra directamente evaluada con esta metodología. Independientemente, la accesibilidad de un segmento debe ser considerada en la evaluación de su desempeño, especialmente si el segmento está destinado a proporcionar dicho acceso. A menudo, los factores que favorecen la movilidad reflejan niveles mínimos de acceso y viceversa.

5.4 LIMITACIONES DE LA METODOLOGÍA

En general, la metodología descrita puede ser usada para evaluar el desempeño de la mayoría de los flujos de tránsito viajando a lo largo de un segmento de calle urbana. Sin embargo, la metodología no aborda todas las condiciones de tránsito o tipos de control.

La inhabilidad para replicar la influencia de una condición o tipo de control en la metodología representa una limitación. Si se cree que una o más de estas limitaciones tiene una influencia importante en el desempeño de un segmento de calle específico, entonces el analista debe considerar el uso de métodos o herramientas alternativas.

La metodología no toma en cuenta directamente el efecto de las siguientes condiciones sobre la operación de un segmento de calle:

- Actividad de estacionamiento en la calle a lo largo del segmento.
- Pendiente significativa a lo largo del segmento.
- Restricciones de capacidad entre las intersecciones (por ejemplo, puentes estrechos).
- Colas en la intersección limite aguas abajo aumentando constantemente hasta interferir con la operación de la intersección o punto de acceso aguas arriba.
- Bicicletas compartiendo una pista de tránsito con los vehículos.
- Congestión en un cruce de calle o un cruce de ferrocarril bloqueando el flujo de tránsito.

5.5 NIVELES DE SERVICIO EN CALLES URBANAS

El nivel de servicio se define según la velocidad de viaje de los vehículos de paso por el segmento, expresada como un porcentaje de la velocidad de flujo libre base. La velocidad de viaje y la velocidad de flujo libre base se detallan en el Capítulo 7 en los puntos 7.1.4 y 7.1.2.1.1 respectivamente.

Los siguientes párrafos describen cada nivel de servicio y la Tabla 5-1 detalla los límites establecidos por los criterios.

5.5.1 Nivel de Servicio A

LOS A describe una operación principalmente de flujo libre, es decir, los vehículos están completamente sin impedimentos en su capacidad para maniobrar dentro de la corriente de tránsito y la demora por control en la intersección límite es mínima.

La velocidad de viaje en este nivel excede el 85% de la velocidad de flujo libre base.

5.5.2 Nivel de Servicio B

LOS B describe una operación razonablemente sin impedimentos, es decir, la capacidad para maniobrar dentro de la corriente de tránsito está sólo ligeramente restringida y la demora por control en la intersección límite no es significativa.

La velocidad de viaje se encuentra entre 67% y 85% de la velocidad de flujo libre base.

5.5.3 Nivel de Servicio C

LOS C describe una operación estable, donde la capacidad para maniobrar y cambiar de pista en los sectores medios del segmento puede ser más restringida que en LOS B. Además, colas más largas en la intersección límite pueden contribuir a una disminución en las velocidades de viaje.

La velocidad de viaje se encuentra entre 50% y 67% de la velocidad de flujo libre base.

5.5.4 Nivel de Servicio D

LOS D indica una condición menos estable en la que pequeños aumentos en el flujo pueden causar aumentos sustanciales en la demora y disminuciones en la velocidad de viaje. Esta operación puede ser debido a progresión adversa de los semáforos, volumen alto o programación inapropiada de los semáforos en la intersección límite.

La velocidad de viaje se encuentra entre 40% y 50% de la velocidad de flujo libre base.

5.5.5 Nivel de Servicio E

LOS E se caracteriza por una operación inestable y demora significativa, las cuales pueden deberse a alguna combinación de progresión adversa, volumen alto o programación inapropiada de los semáforos en la intersección límite.

La velocidad de viaje se encuentra entre 30% y 40% de la velocidad de flujo libre base.

5.5.6 Nivel de Servicio F

LOS F se caracteriza por un flujo a muy baja velocidad. La congestión se produce probablemente en la intersección límite, según se indica por alta demora y colas extensas.

La velocidad de viaje es de 30% o menos de la velocidad de flujo libre base.

Tabla 5-1: Criterios para determinar el nivel de servicio (HCM 2010)

Velocidad de Viaje como un Porcentaje de la Velocidad de Flujo Libre Base (%)	Nivel de Servicio
> 85	A
> 67 - 85	B
> 50 - 67	C
> 40 - 50	D
> 30 - 40	E
≤ 30	F

6 DATOS DE ENTRADA

6.1 DATOS DE ENTRADA REQUERIDOS

El presente capítulo describe los datos de entrada necesarios para el desarrollo de los procedimientos que permitan estimar el nivel de servicio en calles urbanas. Los datos se presentan en la Tabla 6-1 y son identificados como “Elementos de Entrada”. Ellos deben ser especificados por separado para cada dirección de viaje en el segmento y para cada intersección límite.

Tabla 6-1: Datos de entrada (HCM 2010)

Categoría de Datos	Ubicación	Elementos de Entrada
Características de tránsito	Intersección	Flujo de demanda
	Segmento	Flujo en puntos de acceso Flujo en el segmento
Diseño geométrico	Intersección	Número de pistas Ancho de intersección aguas arriba Longitud de bahía de giro
	Segmento	Número de pistas Longitud de segmento Longitud de mediana restrictiva Proporción de segmento con solera Puntos de acceso
Otros	Segmento	Duración del periodo de análisis Velocidad límite

6.2 DEFINICIÓN DE DATOS DE ENTRADA

6.2.1 Datos de características de tránsito

En esta parte se describen los datos de las características de tránsito que figuran en la Tabla 6-1. Estos datos describen el flujo de tránsito de vehículos viajando a través de la calle durante el período de análisis.

6.2.1.1 *Flujo de demanda*

El flujo de demanda para un movimiento de tránsito en una intersección, se define como el número de vehículos llegando a la intersección durante el período de análisis, dividido por la duración del período de análisis.

6.2.1.2 *Flujo en puntos de acceso*

El flujo en puntos de acceso se define como el número de vehículos llegando a la intersección punto de acceso durante el período de análisis, dividido por la duración del período de análisis. Es necesario para todos los movimientos que intersectan en cada punto de acceso activo.

Un punto de acceso se considera activo si tiene un volumen suficiente para tener algún impacto en la operación del segmento durante el período de análisis. Como regla general, un punto de acceso se considera activo si tiene un flujo de entrada de 10 vehículos por hora (veh/h) o más durante el período de análisis.

Si el segmento tiene muchos puntos de acceso que se consideran inactivos pero que colectivamente tienen algún impacto en el flujo de tránsito, éstos se pueden combinar en un solo punto de acceso activo equivalente.

6.2.1.3 *Flujo en el segmento*

El flujo en el segmento se define como el número de vehículos viajando a lo largo del segmento durante el período de análisis, dividido por la duración del período de análisis. Este volumen se especifica por separado para cada dirección de viaje a lo largo del segmento.

Si existen uno o más puntos de acceso a lo largo del segmento, entonces el flujo en el segmento se mide en un lugar ubicado entre estos puntos de acceso (o entre un punto de acceso y la intersección límite). La ubicación elegida debe ser representativa en términos de que tenga un flujo similar a los demás lugares a lo largo del segmento. Si se cree que el flujo varía significativamente a lo largo del segmento, entonces esta debe ser medida en varias ubicaciones y generar un promedio.

6.2.2 Datos de diseño geométrico

Los datos definidos a continuación describen los elementos geométricos del segmento o las intersecciones.

6.2.2.1 *Número de pistas en la intersección*

El número de pistas en la intersección límite representa el número de pistas que son proporcionadas para cada movimiento de tránsito en la intersección.

Para un movimiento de giro, este número representa las pistas reservadas para el uso exclusivo de movimientos de giro, incluyendo pistas que se extienden hacia atrás en el segmento y pistas en una bahía de giro. Si no se proporcionan pistas exclusivas para el giro, entonces se indica que el movimiento de giro tiene 0 pistas.

Aquellas pistas que comparten dos o más movimientos se incluyen en el número pistas del segmento y se denominan pistas compartidas.

6.2.2.2 *Ancho de intersección aguas arriba*

El ancho de intersección se aplica a la intersección límite aguas arriba para una dirección dada de viaje y representa el ancho efectivo de la calle que cruza, medido a lo largo de la línea central del segmento, partiendo desde la línea del Pare (o Ceda el Paso) hasta el lado más alejado de la calle que cruza. La Ilustración 6-1 e Ilustración 6-2 esquematizan el ancho de intersección aguas arriba para calles con una y dos direcciones de tránsito vehicular, respectivamente.

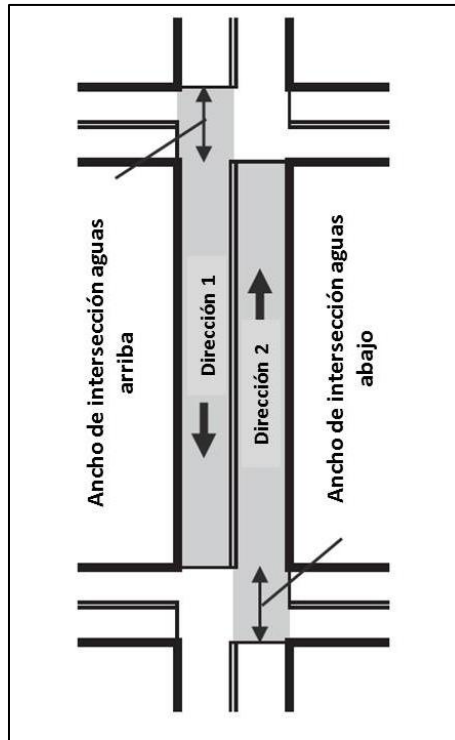


Ilustración 6-1: Ancho de Intersección para calle bidireccional

Fuente: Modificado de HCM, 2010

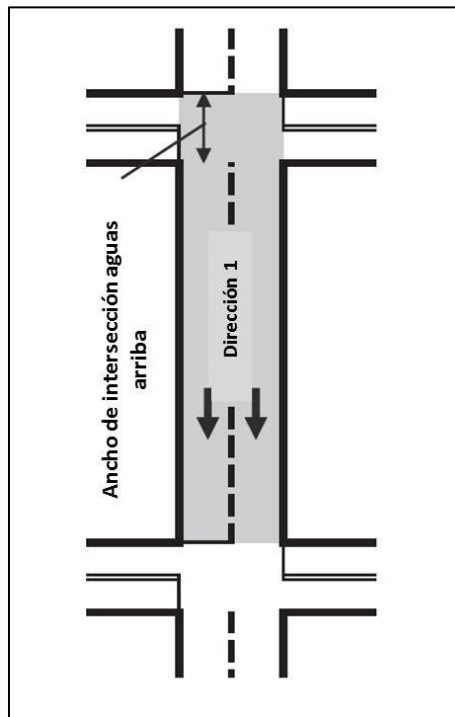


Ilustración 6-2: Ancho de Intersección para calle unidireccional

Fuente: Modificado de HCM, 2010

6.2.2.3 Longitud de bahía de giro

La longitud de bahía de giro representa la distancia de la bahía en la intersección límite en la cual la pista posee un ancho completo y donde la cola de vehículos puede ser almacenada. Esta se mide paralelamente al eje de la vía. Si existen múltiples pistas en la bahía y tienen diferentes longitudes, entonces la longitud ingresada debe ser un valor promedio.

6.2.2.4 Número de pistas del segmento

El número de pistas del segmento representa la cantidad de pistas que se extienden a lo largo del segmento y sirven al paso de vehículos. Este número es especificado separadamente para cada dirección de viaje a lo largo del segmento. Una pista proporcionada para el uso exclusivo del giro de vehículos no es incluido en esta cantidad.

6.2.2.5 Número de Pistas en Puntos de Acceso

El número de pistas en un punto de acceso representa la cantidad de pistas que son proporcionados para cada movimiento de tránsito en la intersección. Este número es determinado de igual forma que el número de pistas en una intersección límite, descrito en el punto 6.2.2.1.

6.2.2.6 Longitud de bahía de giro en puntos de acceso

La longitud de bahía de giro representa la distancia de la bahía en la aproximación al punto de acceso, en la cual la pista posee un ancho completo y donde la cola de vehículos puede ser almacenada. Esta longitud es determinada de igual forma que la longitud de bahía de giro en una intersección límite, descrito en el punto 6.2.2.3.

6.2.2.7 Longitud de segmento

La longitud de segmento representa la distancia entre las intersecciones límites que definen el segmento. El punto de medición en cada intersección es la línea de Pare, la línea de Ceda el Paso, o el equivalente funcional en la dirección dada de viaje. Esta longitud es medida a lo largo del eje de la calle. Si existe diferencia en las dos direcciones de viaje, entonces debe ocuparse una longitud promedio.

6.2.2.8 Longitud de mediana restrictiva

La longitud de mediana restrictiva representa la longitud de la calle con una mediana restrictiva (por ejemplo, solera). Esta longitud es medida de esquina a esquina de la mediana a lo largo del eje de la calle. Esta longitud no incluye la longitud de algunas aberturas de mediana en la calle.

6.2.2.9 Proporción de segmento con solera

La proporción de segmento con solera representa la porción de la longitud del enlace que tiene solera a lo largo del lado derecho del segmento. Esta proporción es calculada como la longitud de la calle con una sección transversal con solera, dividida por la longitud del enlace. La longitud es medida desde el comienzo de la sección transversal con solera hasta el fin de la sección transversal con solera. El ancho de entradas de autos no se descuenta de esta longitud. Este valor es conocido para cada dirección de viaje a lo largo del segmento.

6.2.2.10 Número de Aproximaciones de Puntos de Acceso

El número de aproximaciones de puntos de acceso a lo largo de un segmento, representa la cantidad de entradas de autos no señalizadas y calles públicas aproximándose en el segmento, independientemente de la demanda de tránsito entrando en la aproximación. Este número es calculado separadamente para cada lado del segmento y debe ser igual o superior al número de puntos de acceso activos. Si la intersección límite aguas abajo no es semaforizada, esta aproximación por el lado derecho de la calle que cruza (en la dirección de viaje) no es incluida en el conteo.

6.2.3 Otros datos y medidas de desempeño

Esta parte describe los datos mostrados en la Tabla 6-1 que se encuentran en la categoría de “otros datos” o “medidas de desempeño”.

6.2.3.1 Duración del período de análisis

El período de análisis es el intervalo de tiempo considerado para la evaluación del desempeño. Esta duración está en el rango de 15 minutos a 1 hora, con mayores

duraciones en este rango a veces usadas para análisis de planeamiento. En general, el analista debe tener precaución al interpretar los resultados para un período de análisis de 1 o más horas ya que el impacto adverso de peaks en la demanda de tránsito puede no ser detectado.

Análisis Operacional. Un período de análisis de 15 minutos debe ser usado para un análisis operacional. Esta duración capta con precisión los efectos adversos de peaks de demanda. Un período de 15 minutos de interés puede ser evaluado con la metodología, sin embargo, una evaluación completa debe siempre incluir un análisis de las condiciones durante el período de 15 minutos que experimenta la demanda de mayor tránsito durante un período de 24 horas.

6.2.3.2 *Velocidad límite*

La velocidad promedio de viaje es usada en la metodología para evaluar el desempeño del segmento. Esta se relaciona con la velocidad límite cuando la velocidad límite refleja el entorno y los factores geométricos que influyen la elección de velocidad por parte del conductor. Como tal, la velocidad límite representa una variable de entrada que puede ser usada convenientemente para estimar la velocidad de viaje limitando al mismo tiempo la necesidad de numerosos datos de entrada geométricos y del entorno del segmento.

La metodología asume que la señalización de velocidad límite es (a) consistente con las otras calles vecinas al segmento de análisis y (b) consistente con las normativas legales especificadas para velocidades límites. Si se sabe que la velocidad límite señalada no satisface estos supuestos, entonces el valor de la velocidad límite debe ser ajustado de tal forma que sea consistente con los supuestos.

7 PASOS DE ANÁLISIS PARA EVALUAR SEGMENTOS DE CALLES URBANAS

El objetivo de este capítulo es presentar el proceso de cálculo y discutir los procedimientos analíticos claves para evaluar segmentos de calles urbanas. Este objetivo es logrado con la descripción de los procedimientos que conforman la metodología además de destacar las ecuaciones importantes, conceptos e interpretaciones. Cabe mencionar que el foco de esta metodología es el segmento, donde cada dirección de desplazamiento a lo largo de éste se evalúa por separado, y todas las variables son específicas y sujetas a la dirección de viaje.

7.1 ESTRUCTURA DE CÁLCULO

A continuación se desarrolla la estructura de cálculo en la cual identifica la secuencia de cálculos necesarios para estimar las medidas de desempeño y así poder predecir la velocidad de viaje y el nivel de servicio del segmento.

7.1.1 Paso 1: Elementos de entrada

Durante este paso se deben especificar todas las variables y elementos de entrada necesarios para efectuar el análisis. Estos elementos de entrada fueron definidos en el Capítulo 5 “Datos de Entrada” y pueden ser medidos en terreno o especificados como valores por defecto.

También, durante este paso, se realiza un chequeo para detectar la aparición de desbordamiento desde una bahía de giro o desde un segmento en otro segmento. La evaluación no debe proceder si se produce desbordamiento ya que la metodología no se ocupa de esta condición.

Ocurrencia de desbordamiento

El desbordamiento en un segmento puede ser caracterizado de dos formas, cíclico y sostenido. Los desbordamientos cíclicos ocurren cuando la intersección límite aguas abajo es semaforizada y su cola traspasa la intersección aguas arriba como resultado del crecimiento de la cola durante la luz roja. Cuando la luz verde se activa, la cola se disipa y el desbordamiento ya no existe para el resto del ciclo. Este tipo de desbordamiento puede

ocurrir en segmentos cortos de calles con longitudes de ciclo de señal relativamente largos. El desbordamiento sostenido ocurre en algún momento durante el periodo de análisis, y es el resultado de una sobresaturación. La cola no se disipa al final de cada ciclo.

La discusión anterior se ha centrado en el desbordamiento del segmento; sin embargo, los conceptos son igualmente aplicables para desbordamientos en bahías de giro. En este caso, la cola de vehículos que giran excede el almacenamiento de la bahía y se derrama en el carril adyacente que es usado por otros movimientos vehiculares. La aparición de ambos desbordamientos (segmento y bahía) debe ser chequeada durante este paso.

7.1.2 Paso 2: Determinar el Tiempo en Movimiento

Un procedimiento para determinar el tiempo en movimiento en el segmento es descrito en este paso. Este procedimiento incluye el cálculo de la velocidad de flujo libre, un factor de ajuste para la proximidad entre vehículos, y el tiempo en movimiento adicional debido a fuentes de demora. Cada cálculo se explica en los apartados siguientes, que culmina con el cálculo del tiempo en movimiento en el segmento.

7.1.2.1 *Velocidad de Flujo Libre*

La velocidad de flujo libre representa la velocidad promedio de los vehículos que viajan a través de un segmento en condiciones de bajo volumen y sin demora debido dispositivos de control de tránsito u otros vehículos. Esta refleja el efecto del entorno de la calle en la elección de la velocidad por parte del conductor. Elementos del entorno que influyen en esta elección bajo condiciones de flujo libre incluyen el límite de velocidad, densidad de puntos de acceso, tipo de mediana, presencia de solera y longitud del segmento.

La determinación de la velocidad de flujo libre está basada en el cálculo de la velocidad de flujo libre base y un factor de ajuste para el espaciamiento entre señales.

7.1.2.1.1 *Velocidad de Flujo Libre Base*

La velocidad de flujo libre base se define como la velocidad de flujo libre en segmentos largos. Esta incluye la influencia de la velocidad límite, densidad de puntos de acceso, tipo de mediana, presencia de solera y se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$S_{fo} = S_0 + f_{CS} + f_A \quad (\text{Ec. 7-1})$$

Dónde:

S_{fo} : Velocidad de flujo libre base (mi/h)

S_0 : Velocidad constante (mi/h)

f_{CS} : Factor de ajuste para sección transversal (mi/h)

f_A : Factor de ajuste para puntos de acceso (mi/h)

Las ecuaciones propuestas a continuación son utilizadas para determinar la velocidad constante y los factores de ajuste. Luego se proponen tablas con valores estándar para poder determinar la velocidad de flujo libre base.

$$S_0 = 25,6 + 0,47 \cdot S_{pl} \quad (\text{Ec. 7-2})$$

Donde:

S_{pl} : Límite de velocidad (mi/h)

$$f_{CS} = 1,5 \cdot p_m - 0,47 \cdot p_{curb} - 3,7 \cdot p_{curb} \cdot p_m \quad (\text{Ec. 7-3})$$

Donde:

p_m : Proporción del segmento con mediana restrictiva (decimal)

p_{curb} : Proporción del segmento con solera del lado derecho (decimal)

$$f_A = -0,078 \cdot D_a / N_{th} \quad (\text{Ec. 7-4})$$

Con
$$D_a = 5280 \cdot (N_{ap,s} + N_{ap,o}) / (L - W_i) \quad (\text{Ec. 7-5})$$

Donde:

D_a : Densidad de puntos de acceso en el segmento (puntos/mi)

N_{th} : Número de pistas del segmento en la dirección de viaje

$N_{ap,s}$: Número de puntos de acceso por el lado derecho en la dirección de viaje

$N_{ap,o}$: Número de puntos de acceso por el lado derecho en la dirección opuesta de viaje

W_i : Ancho de intersección semaforizada aguas arriba (ft)

Tabla 7-1: Factor de ajuste para sección transversal

Tipo de Mediana	Porcentaje con Mediana Restrictiva (%)	Ajuste para Sección Transversal, f_{cs} (mi/h)	
		Sin Solera	Con Solera
Restrictiva	20	0,3	-0,9
	40	0,6	-1,4
	60	0,9	-1,8
	80	1,2	-2,2
	100	1,5	-2,7
No restrictiva	No aplica	0	-0,5
Sin Mediana	No aplica	0	-0,5

Fuente: HCM 2010

Tabla 7-2: Factor de ajuste para puntos de acceso

Densidad de puntos de acceso, D_a (puntos/mi)	Ajuste para Puntos de Acceso por Pista, f_A (mi/h)			
	1 Pista	2 Pistas	3 Pistas	4 Pistas
0	0	0	0	0
2	-0,2	-0,1	-0,1	0
4	-0,3	-0,2	-0,1	-0,1
10	-0,8	-0,4	-0,3	-0,2
20	-1,6	-0,8	-0,5	-0,4
40	-3,1	-1,6	-1	-0,8
60	-4,7	-2,3	-1,6	-1,2

Fuente: HCM 2010

7.1.2.1.2 Ajuste por espaciamiento de señales

La evidencia empírica sugiere que un segmento de corta longitud (cuando se define por las intersecciones semaforizadas límites) tiende a influir en la elección del conductor de la velocidad de flujo libre. Se ha encontrado que los segmentos más cortos tienen una baja velocidad de flujo libre cuando todos los otros factores se mantienen iguales. La siguiente ecuación es usada para calcular el valor de un factor de ajuste que considera esta influencia.

$$f_L = 1,02 - 4,7 \cdot \frac{S_{f0} - 19,5}{\max(L_S, 400)} \leq 1,0 \quad (\text{Ec. 7-6})$$

Donde:

f_L : Factor de ajuste por espaciamiento de señales (adimensional)

S_{f0} : Velocidad de flujo libre base (mi/h)

L_S : Distancia entre intersecciones semaforizadas adyacentes (ft)

7.1.2.1.3 Velocidad de flujo libre

La velocidad de flujo libre es calculada basándose en las estimaciones de la velocidad de flujo libre y el factor de ajuste por espaciamiento de señales. Alternativamente, puede ser ingresada directamente por el analista, su ecuación es la siguiente:

$$S_f = S_{f0} \cdot f_L \quad (\text{Ec. 7-7})$$

Donde S_f corresponde a la velocidad de flujo libre (mi/h) y las otras variables son definidas previamente.

7.1.2.2 Factor de ajuste por proximidad entre vehículos

El factor de ajuste por proximidad ajusta el tiempo en movimiento en flujo libre para tener en cuenta el efecto de la densidad de tránsito. Los ajustes resultan en un incremento del tiempo en movimiento (y la correspondiente reducción en la velocidad) con un aumento del volumen. La reducción de la velocidad es un resultado de intervalos cortos de separación entre vehículos, asociados con el alto volumen y la predisposición de los conductores a ser más precavidos cuando los intervalos son cortos. La siguiente ecuación es usada para calcular el factor de ajuste por proximidad.

$$f_v = \frac{2}{1 + \left(1 - \frac{v_m}{52,8 \cdot N_{th} \cdot S_f}\right)^{0,21}} \quad (\text{Ec. 7-8})$$

Dónde:

- f_v : Factor de ajuste por proximidad
- v_m : Razón de flujo de demanda en el segmento (veh/h)
- N_{th} : Número de pistas del segmento en la dirección de viaje
- S_f : Velocidad de flujo libre (mi/h)

7.1.2.3 Demora debido al giro de vehículos

En este punto se describe un procedimiento para cuantificar la demora producida por vehículos girando desde la calle principal a un punto de acceso no señalizado. Esta demora es incurrida por los vehículos que están siguiendo a los vehículos que giran pero que no giran en el punto de acceso. Comúnmente la demora relacionada al giro en un punto de acceso es pequeña en relación a la producida en una intersección señalizada, sin embargo, esta demora puede aumentar a niveles considerables cuando un segmento de calle tiene puntos de acceso frecuentes y un número significativo de vehículos girando.

Para vehículos girando a la derecha la demora se produce cuando los vehículos que los anteceden reducen su velocidad para acomodarse al movimiento de giro. Para vehículos girando a la izquierda la demora resulta cuando los vehículos que los siguen deben esperar en cola mientras que un vehículo por delante ejecuta la maniobra de giro, esta demora ocurre principalmente en calles no divididas; sin embargo, también puede ocurrir en calles divididas cuando la cola de giro a la izquierda excede el almacenamiento disponible en la bahía y se derrama en la pista adyacente.

Procedimientos para estimar estas dos demoras se describen en los siguientes puntos.

7.1.2.3.1 Demora debido a giros a la derecha

Un vehículo girando a la derecha desde la calle principal al punto de acceso provoca a menudo un retraso a los vehículos que le siguen, los cuales deben reducir su velocidad para evitar colisionar con el vehículo que va delante. Esta demora puede ser de varios segundos de duración para los primeros vehículos pero siempre disminuirá a valores despreciables para los vehículos subsecuentes así como disminuye la necesidad de reducir la velocidad. Para los propósitos de cálculo del tiempo en movimiento en el segmento, esta demora debe ser promediada sobre todos los vehículos viajando en la dirección de análisis. La demora media resultante se calcula como:

$$d_{ap,r} = 0,67 \cdot d_{t/r} \cdot \frac{P_{RT}}{1 - P_{LT} - P_{RT}} \quad (\text{Ec. 7-9})$$

Dónde:

$d_{ap,r}$: Demora media vehicular debido a giros a la derecha, s/veh

$d_{t/r}$: Demora vehicular por maniobra de giro a la derecha, s/veh

P_{RT} : Proporción de vehículos girando a la derecha en la corriente de tránsito

P_{LT} : Proporción de vehículos girando a la izquierda en la corriente de tránsito

La (Ec. 7-9) también puede ser utilizada para estimar la demora debido a vehículos girando a la izquierda en una calle de un solo sentido. En este caso, las variables asociadas con el movimiento de giro a la derecha se redefinen como aplicables al movimiento de giro a la izquierda, y viceversa.

La siguiente secuencia de cálculos debe ser usada para determinar los valores que permitan estimar la demora mencionada:

7.1.2.3.1.1 Calcular la velocidad mínima para el primer vehículo en seguimiento, u_m :

$$u_m = 1,47 \cdot S_f - r_d \cdot (H_1 - h_{\Delta < h < H_1}) \geq u_{rt} \quad (\text{Ec. 7-10})$$

Con:

$$h_{\Delta < h < H_1} = \frac{1}{\lambda} + \frac{\Delta - H_1 \cdot e^{-\lambda(H_1 - \Delta)}}{1 - e^{-\lambda(H_1 - \Delta)}} \quad (\text{Ec. 7-11})$$

$$H_1 = \frac{1,47 \cdot S_f - u_{rt}}{r_d} + t_c + \frac{L_v}{1,47 \cdot S_f} > \Delta \quad (\text{Ec. 7-12})$$

$$\lambda = \frac{1}{\frac{1}{q_n} - \Delta} \quad (\text{Ec. 7-13})$$

$$q_n = \frac{v_a}{3600 \cdot n} \quad (\text{Ec. 7-14})$$

Donde:

u_m : Velocidad mínima del primer vehículo que es retrasado, ft/s

u_{rt} : Velocidad de giro a la derecha, ft/s

$h_{\Delta < h < H_1}$: Tiempo de espaciamiento medio de los intervalos entre Δ y H_1 , s/veh

Δ : Tiempo de espaciamiento mínimo vehicular (usar 1,5 s), s/veh

H_1 : Tiempo de espaciamiento máximo que puede tener el primer vehículo en seguimiento y aún incurrir en demora, s/veh

r_d : Razón de desaceleración (usar $6,7 \text{ ft/s}^2$), ft/s^2

t_c : Tiempo de despeje del vehículo girando a la derecha (usar 0,6 s, según HCM, 2010), s

L_v : Espaciamiento vehicular medio en una cola de detención (usar $25 \frac{\text{ft}}{\text{veh}}$, según HCM, 2010), $\frac{\text{ft}}{\text{veh}}$

λ : Parámetro de velocidad de flujo, veh/s

q_n : Flujo de pista exterior, veh/s

v_a : Flujo en la aproximación al punto de acceso, veh/h

n : Número de pistas en la aproximación al punto de acceso

La velocidad de giro a la derecha u_{rt} puede ser sensible a la geometría del punto de acceso, esta puede variar de 15 a 25 ft/s para radios de giro que varían de 20 a 60 ft respectivamente.

Una velocidad de giro de 20 ft/s se puede utilizar cuando no se dispone de información para hacer una estimación más precisa.

7.1.2.3.1.2 Calcular la demora del primer vehículo en seguimiento, d_1 :

$$d_1 = \frac{(1,47 \cdot S_f - u_m)^2}{2(1,47 \cdot S_f)} \cdot \left(\frac{1}{r_d} + \frac{1}{r_a} \right) \quad (\text{Ec. 7-15})$$

Donde:

d_1 : Demora condicional del primer vehículo en seguimiento, s

r_a : Razón de aceleración (usar $3,5 \text{ ft/s}^2$), ft/s^2

7.1.2.3.1.3 Calcular la demora del segundo vehículo en seguimiento, d_2 :

$$d_2 = d_1 - (h_{\Delta < h < H_2} - \Delta) \quad (\text{Ec. 7-16})$$

Con:

$$h_{\Delta < h < H_2} = \frac{1}{\lambda} + \frac{\Delta - H_2 \cdot e^{-\lambda(H_2 - \Delta)}}{1 - e^{-\lambda(H_2 - \Delta)}} \quad (\text{Ec. 7-17})$$

$$H_2 = d_1 + \Delta \quad (\text{Ec. 7-18})$$

Donde:

d_2 : Demora condicional del segundo vehículo en seguimiento, s

7.1.2.3.1.4 Calcular la demora del tercer y los subsiguientes vehículos, $d_i (i = 3, 4, \dots)$.

$$d_i = d_{i-1} - (h_{\Delta < h < H_i} - \Delta) \quad (\text{Ec. 7-19})$$

Con:

$$h_{\Delta < h < H_i} = \frac{1}{\lambda} + \frac{\Delta - H_i \cdot e^{-\lambda(H_i - \Delta)}}{1 - e^{-\lambda(H_i - \Delta)}} \quad (\text{Ec. 7-20})$$

$$H_i = d_{i-1} + \Delta \quad (\text{Ec. 7-21})$$

Donde:

d_i : Demora condicional del i -ésimo vehículo en seguimiento ($i=2,3,4,\dots$), s

El punto 7.1.2.3.1.4 se debe repetir para el tercero y los subsiguientes vehículos hasta que la demora calculada para el vehículo i sea inferior a 0,1 segundos. En general, este criterio de demora se cumple para los primeros dos o tres vehículos.

7.1.2.3.1.5 *Calcular la proporción de vehículos girando a la derecha en la pista derecha*
 P_R .

$$P_R = P_{RT} \cdot n \leq 1,0 \quad (\text{Ec. 7-22})$$

Donde:

P_R : Proporción de vehículos girando a la derecha en la pista derecha

7.1.2.3.1.6 *Calcular la demora vehicular por maniobra de giro a la derecha, $d_{t/r}$.*

La demora vehicular para los primeros dos vehículos se determina utilizando la (Ec. 7-23):

$$d_{t/r} = d_1(1 - e^{-\lambda(H_1 - \Delta)})(1 - P_R) + d_2(1 - e^{-\lambda(H_1 - \Delta)})(1 - e^{-\lambda(H_2 - \Delta)})(1 - P_R)^2 \quad (\text{Ec. 7-23})$$

Si tres o más vehículos son retrasados, entonces se debe agregar un término adicional a la (Ec. 7-23) para cada vehículo subsecuente, en esta situación, la (Ec. 7-24) se aplica a todos los vehículos retrasados:

$$d_{t/r} = \sum_{i=1}^{\infty} \left[d_i \times \prod_{j=1}^i (1 - e^{-\lambda(H_j - \Delta)}) \times (1 - P_R)^i \right] \quad (\text{Ec. 7-24})$$

7.1.2.3.1.7 *Calcular la demora media vehicular debido a giros a la derecha $d_{ap,r}$ utilizando la (Ec. 7-9).*

7.1.2.3.2 *Demora debido a giros a la izquierda*

La demora debido a giros a la izquierda se determina según la siguiente expresión:

$$d_{ap,l} = P_{ov} \cdot d_{t,1} \left(\frac{1}{P_L} - 1 \right) \frac{P_{LT}}{1 - P_{LT} - P_{RT}} \quad (\text{Ec. 7-25})$$

Donde:

$d_{ap,l}$: Demora media vehicular debido a giros a la izquierda, s/veh

P_{ov} : Probabilidad de que la bahía de giro a la izquierda se desborde

$d_{t,1}$: Demora media de los vehículos en la pista 1 (pista izquierda)

P_L : Proporción de vehículos girando a la izquierda en la pista izquierda

Como lo indica la ecuación (Ec. 7-25), la demora debido a giros a la izquierda se basa en el valor de múltiples variables. La siguiente secuencia de cálculos debe ser usada para estimar estos valores.

7.1.2.3.2.1 Calcular la probabilidad de un cambio de pista, P_{lc} .

$$P_{lc} = 1 - \left(2 \frac{v_a}{n \cdot s_{lc}} \right)^2 \quad (\text{Ec. 7-26})$$

Donde:

P_{lc} : Probabilidad de un cambio de pista

s_{lc} : Máximo flujo que permita algún cambio de pista ($=3600/h_{lc}$), veh/h/ln

h_{lc} : Tiempo de espaciamiento mínimo para un cambio de pista (usar 3,7 s), s

Si la razón $\frac{v_a}{n \cdot s_{lc}}$ en la ecuación (Ec. 7-26) es mayor que 1, entonces debe ser ajustada a 1.

7.1.2.3.2.2 Calcular un vehículo equivalente para un giro de vehículo a la izquierda

$$E_L = \frac{s_t}{c_l} \quad (\text{Ec. 7-27})$$

Con:

$$c_l = v_c \frac{e^{-v_c \cdot t_c / 3600}}{1 - e^{-v_c \cdot t_f / 3600}} \quad (\text{Ec. 7-28})$$

Donde:

E_L : Vehículo equivalente para un giro vehicular a la izquierda

s_t : Flujo de saturación para una corriente de tránsito (utilizar 1800 veh/h/ln)

c_l : Capacidad de giro a la izquierda, veh/h/ln

v_c : Flujo en conflicto, veh/h

t_{cl} : Espacio crítico para una maniobra de giro a la izquierda (utilizar 4.1 s), s

t_f : Espacio de seguimiento para una maniobra de giro a la izquierda (utilizar 2.2 s), s

La ecuación (Ec. 7-28) estima la capacidad del movimiento de giro a la izquierda.

7.1.2.3.2.3 Calcular factores modificados de equivalencia de vehículos, E_L^* y E_R^*

$$E_L^* = (E_L - 1)P_{lc} + 1 \quad (\text{Ec. 7-29})$$

$$E_R^* = (E_R - 1)P_{lc} + 1 \quad (\text{Ec. 7-30})$$

Donde:

E_L^* : Vehículo equivalente modificado para un giro vehicular a la izquierda

E_R^* : Vehículo equivalente modificado para un giro vehicular a la derecha

E_R : Vehículo equivalente para un giro vehicular a la derecha (utilizar 2,2)

P_{lc} : Probabilidad de un cambio de pista

7.1.2.3.2.4 Calcular la proporción de vehículos girando a la izquierda en la pista izquierda

P_L

$$P_L = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot R \cdot c}}{2R} \leq 1,0 \quad (\text{Ec. 7-31})$$

Con:

$$b = R - P_{LT}[1 + (n - 1)(2E_R^* - 1)] \quad (\text{Ec. 7-32})$$

$$c = -P_{LT} \cdot n \quad (\text{Ec. 7-33})$$

$$R = 1 + P_{RT}(E_R^* - 1) \quad (\text{Ec. 7-34})$$

Donde:

R, b, c : Variables de cálculo intermedias

Si el número de pistas en la intersección n es igual a 1, entonces $P_L = P_{LT}$

7.1.2.3.2.5 Calcular la proporción de vehículos girando a la derecha en la pista derecha

P_R

$$P_R = P_{RT} \frac{\frac{S_1}{S_t} + n - 1}{1 - P_{RT} \left(\frac{S_1}{S_t} + n - 2 \right) (E_R^* - 1)} \leq 1 \quad (\text{Ec. 7-35})$$

Con

$$s_1 = \frac{s_t(1 + P_L)}{1 + P_L(E_L^* - 1) + (P_L E_L^*)} \quad (\text{Ec. 7-36})$$

Donde:

s_1 : Flujo de saturación para la pista izquierda, veh/h/ln

Si el número de pistas en la intersección n es igual a 1, entonces $P_R = P_{RT}$. Además, si se proporciona una pista exclusiva para el giro de vehículos a la derecha, entonces P_{RT} es igual a 0,0 en la ecuación (Ec. 7-35) y en todas las ecuaciones subsiguientes.

7.1.2.3.2.6 Calcular los flujos en la pista izquierda v_1 y la pista derecha v_n

$$v_1 = v_a \frac{P_{LT}}{P_L} \quad (\text{Ec. 7-37})$$

$$v_n = \begin{cases} v_a \frac{P_{RT}}{P_R}, & \text{si } P_R > 0 \\ \frac{v_a - v_1}{n - 1}, & \text{si } P_R = 0 \end{cases} \quad (\text{Ec. 7-38})$$

Donde:

v_1 : Flujo en la pista izquierda, veh/h

v_n : Flujo en la pista derecha, veh/h

7.1.2.3.2.7 Calcular los flujos en las pistas intermedias $v_2, v_3 \dots v_{n-1}$.

Si existen más de dos pistas en la aproximación a la intersección, entonces se debe utilizar la siguiente ecuación para estimar el flujo en las pistas intermedias.

$$v_i = \frac{v_a - v_1 - v_n}{n - 2} \quad (\text{Ec. 7-39})$$

Donde:

v_i : Flujo en la pista i , veh/h ($i = 2, 3, \dots, n - 1$)

7.1.2.3.2.8 Calcular la capacidad disponible para combinarse, c_m , de los vehículos que esperan en la pista izquierda.

$$c_m = v_2 \frac{e^{-v_2 t_m / 3600}}{1 - e^{-v_2 t_m / 3600}} \quad (\text{Ec. 7-40})$$

Donde:

c_m : Capacidad para combinación, veh/h

v_2 : Flujo en la pista adyacente (por ejemplo, pista 2), veh/h

t_m : Tiempo de espaciamiento mínimo aceptable para combinarse desde un estado de detención (Utilizar 3,7 s), s

El flujo en la pista adyacente es igual a v_n si la calle tiene sólo 2 pistas.

7.1.2.3.2.9 Calcular la demora para los vehículos que se combinan d_m

$$d_m = 3600 \left(\frac{1}{c_m} - \frac{1}{s_t} \right) + 900T \left[\frac{v_m}{c_m} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_m}{c_m} - 1 \right)^2 + \frac{8v_m}{c_m^2 \cdot T}} \right] \quad (\text{Ec. 7-41})$$

Con

$$v_m = v_1 - P_{LT} v_a \geq 0,0 \quad (\text{Ec. 7-42})$$

Donde:

d_m : Demora por combinación, s/veh

v_m : Flujo de combinación (por ejemplo, el flujo en la pista izquierda), veh/h

T : Período de análisis, h

Esta demora d_m es incurrida por los vehículos que se detienen en la pista izquierda y que finalmente se combinan a la pista adyacente.

7.1.2.3.2.10 Calcular la capacidad de la pista izquierda c_{nm} para los vehículos que no se combinan

$$c_{nm} = \frac{s_t(1 + P_L)}{1 + P_L(E_L - 1) + (P_L \cdot E_L)} \quad (\text{Ec. 7-43})$$

Donde:

c_{nm} : Capacidad de no-combinación, veh/h

7.1.2.3.2.11 Calcular la demora para los vehículos que no se combinan, d_{nm}

$$d_{nm} = 3600 \left(\frac{1}{c_{nm}} - \frac{1}{s_t} \right) + 900T \left[\frac{v_1}{c_{nm}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_1}{c_{nm}} - 1 \right)^2 + \frac{8v_1}{c_{nm}^2 \cdot T}} \right] \quad (\text{Ec. 7-44})$$

Donde:

d_{nm} : Demora de vehículos que no se combinan, s/veh

Esta demora d_{nm} es incurrida por los vehículos que se detienen en la pista izquierda y esperan a que la cola se despeje.

7.1.2.3.2.12 Calcular la demora para los vehículos en la pista izquierda $d_{t,1}$.

Esta demora se estima como la más pequeña de las demoras relacionadas a cada maniobra y se calcula como:

$$d_{t,1} = \text{MIN}[d_{nm}; d_m] \quad (\text{Ec. 7-45})$$

7.1.2.3.2.13 Calcular la probabilidad de que la bahía de giro a la izquierda se desborde,
 P_{ov}

$$P_{ov} = \left(\frac{v_a P_{LT}}{c_l} \right)^{N_v+1} \quad (\text{Ec. 7-46})$$

Donde:

N_v : Número de vehículos girando a la izquierda que puede almacenar la bahía de giro antes de desbordarse en la pista adyacente, veh

Para una sección transversal no dividida, el número de vehículos almacenables N_v es igual a 0,0.

7.1.2.3.2.14 Determinar la demora vehicular debido a giros a la izquierda $d_{ap,l}$ utilizando la ecuación (Ec. 7-25)

$$d_{ap,l} = P_{ov} \cdot d_{t,1} \left(\frac{1}{P_L} - 1 \right) \frac{P_{LT}}{1 - P_{LT} - P_{RT}} \quad (\text{Ec. 7-47})$$

7.1.2.3.3 Estimación rápida de demora debido al giro de vehículos

Para la planificación y análisis preliminares de ingeniería, la Tabla 7-3 puede ser usada para estimar la demora debido al giro de vehículos en un punto de acceso representativo mediante el uso de un volumen de segmento que sea común para todos los puntos de acceso. Los valores en la Tabla 7-3 representan la demora de los vehículos debido a giros a la izquierda y derecha en un punto de acceso. El valor seleccionado es multiplicado por el número de puntos de acceso en el segmento para obtener la demora debido a giros a la izquierda y derecha.

Tabla 7-3: Demora debido al giro de vehículos

Volumen en el Segmento (veh/h/ln)	Demora según número de pistas (s/veh/pt)		
	1 Pista	2 Pistas	3 Pistas
200	0,04	0,04	0,05
300	0,08	0,08	0,09
400	0,12	0,15	0,15
500	0,18	0,25	0,15
600	0,27	0,41	0,15
700	0,39	0,72	0,15

Fuente: HCM 2010

Los valores mostrados en la Tabla 7-3 representan el 10% de giros a la izquierda y 10% de giros a la derecha desde el segmento al punto de acceso. Si los porcentajes de giro están bajo el 10% entonces los porcentajes pueden ser reducidos proporcionalmente. Por ejemplo, si el punto de acceso tiene 5% de giros a la izquierda y 5% de giros a la derecha, entonces los valores mostrados deben ser multiplicados por 0,5. Además, si una bahía de giro de longitud adecuada es provista para un movimiento de giro pero no para el otro, entonces los valores de la Tabla deben ser multiplicados por 0,5. Si ambos movimientos de giro están provistos por una bahía de longitud adecuada, entonces la demora debido a los giros puede ser asumido igual a 0,0 segundos por vehículo por punto de acceso (s/veh/pt).

7.1.2.4 Demora debido a otras fuentes

Muchos otros factores pueden causar que el conductor reduzca su velocidad o presente demoras mientras viaja a lo largo de un segmento. Por ejemplo, un vehículo que está completando una maniobra de estacionamiento puede provocar a los vehículos que lo anteceden a incurrir en una cierta demora. Asimismo, vehículos que ceden el paso a peatones en un cruce peatonal pueden incurrir en demora. Por último, ciclistas que circulan por una línea de tránsito o una ciclo vía adyacente pueden directa o indirectamente causar una reducción de la velocidad en el tránsito vehicular.

De las numerosas fuentes de demora para el segmento, la metodología sólo incluye procedimientos para estimar la demora debido al giro de vehículos. Sin embargo, si la demora debido a otras fuentes es conocida o estimada mediante otros medios, entonces se puede incluir en la ecuación para calcular el tiempo en movimiento.

7.1.2.5 Tiempo en movimiento en el segmento

La siguiente ecuación es usada para calcular el tiempo en movimiento en el segmento, la cual considera el control de movimiento en las intersecciones límites, la velocidad de flujo libre, proximidad entre vehículos, y variadas fuentes de demora en el segmento.

$$t_R = \frac{6,0 - l_1}{0,0025L} f_x + \frac{3600L}{5280S_f} f_v + \sum_{i=1}^{N_{ap}} d_{ap,i} + d_{other} \quad (\text{Ec. 7-48})$$

Con:

$$f_x = \begin{cases} 1,00 & (\text{movimiento controlado por semáforos o señales PARE}) \\ 0,00 & (\text{movimiento no controlado}) \\ \min\left[\frac{v_{th}}{c_{th}}, 1,00\right] & (\text{movimiento controlado por ceda el paso}) \end{cases}$$

Donde:

t_R : Tiempo en movimiento en el segmento, (s).

l_1 : Pérdida de tiempo en la partida = 2,0 si es semaforizado, y 2,5 si es PARE o Ceda el Paso, (s).

L : Longitud del segmento, (ft).

f_x : Factor de ajuste por tipo de control.

v_{th} : Razón de flujo de demanda a través del segmento (veh/h).

c_{th} : Capacidad del movimiento a través del segmento (veh/h).

$d_{ap,i}$: Demora debido a giros a la izquierda y derecha desde la calle hacia el punto de acceso i , (s/veh).

N_{ap} : Número de puntos de acceso influyentes que se aproximan a lo largo del segmento = $N_{ap,s} + p_{ap,lt}N_{ap,o}$, (puntos).

$N_{ap,s}$: Número de puntos de acceso próximos en el lado derecho de la dirección de viaje, (puntos).

$N_{ap,o}$: Número de puntos de acceso en el lado derecho opuesto a la dirección de viaje, (puntos).

$p_{ap,lt}$: Proporción de $N_{ap,o}$ que se puede acceder por un giro a la izquierda desde la dirección de viaje.

d_{other} : Demora debido a otras fuentes a lo largo del segmento, (s/veh).

Las demás variables son definidas previamente. Las variables l_1 , f_x , v_{th} y c_{th} usadas en el primer término de la ecuación se aplican al movimiento que sale del segmento en la intersección límite.

7.1.3 Paso 3: Determinar la demora por control

La demora por control es la porción de la demora total para un vehículo aproximándose y entrando a una intersección semaforizada. Esta demora por control incluye el retraso producto de la desaceleración de los vehículos llegando a la intersección, el tiempo empleado en la detención, el tiempo dedicado al moverse hacia adelante en la cola y el tiempo necesario para acelerar a la velocidad deseada.

Las siguientes ecuaciones son usadas para determinar la demora por control:

$$d_c = d_{c1} \cdot (PF) + d_{c2} + d_{c3} \quad (\text{Ec. 7-49})$$

$$d_{c1} = \frac{0,5 \cdot C \cdot (1 - g/C)^2}{1 - [\min(1; X) \cdot g/C]} \quad (\text{Ec. 7-50})$$

$$d_{c2} = 900 \cdot T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8 \cdot k \cdot l \cdot X}{c \cdot T}} \right] \quad (\text{Ec. 7-51})$$

Donde:

d_c : Demora por control (s/veh)

d_{c1} : Demora uniforme (s/veh)

d_{c2} : Demora incremental (s/veh)

d_{c3} : Demora inicial en cola (s/veh)

PF : Factor de ajuste por progresión

X : Razón volumen a capacidad (v/c), o también llamada grado de saturación

C : Longitud de ciclo (s)

c : Capacidad de la pista (veh/h)

g : Tiempo de verde efectivo (s)

T : Duración del periodo de análisis (h)

k : Factor de ajuste para demora incremental por tipo de controlador

l : Factor de ajuste para demora incremental por llegadas filtradas

7.1.3.1 Demora Uniforme

La ecuación (Ec. 7-50) da una estimación de la demora por control suponiendo llegadas perfectamente uniformes y un flujo estable. Está basada en el primer término de la fórmula de demora de Webster y es aceptada como una descripción precisa de la demora en el caso ideal de llegadas uniformes.

7.1.3.2 Demora Incremental

La ecuación (Ec. 7-51) estima la demora incremental debido a llegadas no uniformes y fallas individuales del ciclo, así como demora causada por periodos sostenidos de sobresaturación. La ecuación interrelaciona el grado de saturación de la pista (X), la duración del análisis (T), la capacidad de la pista (c) y el control de señal (k). Además la

ecuación supone que todo el flujo de demanda ha sido atendido en el periodo de análisis anterior, es decir, no hay cola inicial.

7.1.3.3 *Demora inicial en cola*

Cuando una cola del periodo anterior está presente en el inicio del análisis, los vehículos recién llegados experimentan una demora inicial en cola. Esta demora resulta del tiempo adicional requerido para despejar la cola inicial y su magnitud depende del tamaño de la cola inicial, de la longitud del periodo de análisis y del grado de saturación para aquel periodo.

Los procedimientos aplicados en este trabajo se basan en el análisis de condiciones de tránsito estables, por lo cual no se entra mayormente en detalle con este tipo de demora.

7.1.3.4 *Tipo de llegada y relación de pelotón*

Una característica que debe ser cuantificada para el análisis de una calle urbana o intersección semaforizada es la calidad de la progresión. El parámetro que describe esta característica es el tipo de llegada en cada pista. Este parámetro aproxima la calidad de progresión mediante la definición de seis tipos de flujos de llegada predominantes, los cuales se detallan a continuación.

Llegada tipo 1: Se caracteriza por un pelotón denso de más de 80 por ciento del volumen de la pista llegando al comienzo de la fase roja. Este tipo de llegada representa segmentos que experimentan una tasa de progresión deficiente debido a varias condiciones, incluyendo falta de coordinación en los semáforos.

Llegada tipo 2: Se caracteriza por un pelotón moderadamente denso llegando en la mitad de la fase roja o por un pelotón disperso de 40 a 80 por ciento del volumen de la pista llegando a lo largo de la fase roja. Este tipo de llegada representa una progresión desfavorable a lo largo de la calle urbana.

Llegada tipo 3: consta de llegadas aleatorias en las que el pelotón principal contiene menos del 40 por ciento del volumen de la pista. Este tipo de llegada representa operaciones en intersecciones semaforizadas con pelotones muy dispersos.

Llegada tipo 4: Consta de un pelotón moderadamente denso llegando en la mitad de la fase verde o de un pelotón disperso de 40 a 80 por ciento del volumen de la pista llegando a lo largo de la fase verde. Este tipo de llegada representa una progresión favorable a lo largo de la calle urbana.

Llegada tipo 5: Se caracteriza por un pelotón moderadamente denso de más de 80 por ciento del volumen de la pista llegando a lo largo de la fase verde. Este tipo de llegada representa una progresión altamente favorable, que puede ocurrir en calles con un bajo o moderado número de entradas de calles laterales y que tengan una prioridad alta en la sincronización de los semáforos.

Llegada tipo 6: Se reserva para una calidad de progresión excepcional en calles con características cercanas a lo ideal. Esta representa pelotones densos progresando sobre varias intersecciones con mínimas entradas de calles laterales.

El tipo de llegada se observa mejor en terreno pero puede ser aproximado mediante la examinación de diagramas espacio - tiempo de la calle. Además, debe ser determinado con la mayor precisión posible ya que este tiene un impacto significativo en la estimación de la demora y la determinación del nivel de servicio.

Aunque no existen parámetros definitivos para cuantificar el tipo de llegada, la relación definida a continuación resulta útil.

$$R_p = P \cdot \left(\frac{C}{g} \right) \quad (\text{Ec. 7-52})$$

Dónde:

R_p : Relación de pelotón

P : Proporción de vehículos llegando durante el verde

C : Duración del ciclo (s)

g : Tiempo de verde efectivo para el movimiento (s)

El valor de P puede ser estimado u observado en terreno y no debe ser mayor que 1, mientras que C y g se determinan en el Paso 1: Los rangos aproximados de R_p se relacionan con el tipo de llegada como se muestra en la Tabla 7-4, que también sugiere valores por defecto para su uso en cálculos posteriores:

Tabla 7-4: Relación entre tipo de llegada y relación de pelotón

Tipo de Llegada	Rango de Relación de Pelotón (R_p)	Valor por Defecto	Calidad de Progresión
1	$\leq 0,50$	0,333	Muy Pobre
2	$> 0,5 - 0,85$	0,667	Desfavorable
3	$> 0,85 - 1,15$	1	Llegadas Aleatorias
4	$> 1,15 - 1,50$	1,333	Favorable
5	$> 1,50 - 2,00$	1,667	Altamente Favorable
6	$> 2,00$	2	Excepcional

Fuente: HCM 2010

7.1.3.5 Factor de ajuste por progresión

El cálculo de la demora por control incluye un factor de ajuste para considerar la calidad de progresión. Esta progresión afecta principalmente la demora uniforme, por esta razón, el ajuste se aplica solo a d_{c1} .

El valor de PF se determina a través de la siguiente ecuación:

$$PF = \frac{(1 - P)}{\left(1 - \frac{g}{C}\right)} \quad (\text{Ec. 7-53})$$

Donde:

PF : Factor de ajuste por progresión

P : Proporción de vehículos llegando durante el verde

$\frac{g}{C}$: Razón de verde efectivo

7.1.3.6 Grado de saturación

El grado de saturación se encuentra dado por la razón volumen sobre capacidad y se determina según la ecuación (Ec. 7-54).

$$X = v/c \quad (\text{Ec. 7-54})$$

Donde:

X : Grado de saturación

v : Flujo de demanda en la intersección (veh/h)

c : Capacidad de la intersección (veh/h)

Luego, la capacidad para un movimiento de tránsito en la intersección se define según la ecuación

$$c = n \cdot s \cdot \frac{g}{C} \quad (\text{Ec. 7-55})$$

Donde:

s : Flujo de saturación (veh/h/ln)

Se puede utilizar un valor por defecto de 1800 vehículos por hora por pista para el flujo de saturación en calles urbanas.

7.1.3.7 Factor de ajuste para demora incremental k

En la (Ec. 7-51) el término k incorpora el efecto del controlador en la demora.

Para semáforos programados se utiliza un valor de k igual a 0,5 basado en una formación de cola con llegadas aleatorias y un servicio uniforme equivalente a la capacidad de la pista.

En el caso de semáforos accionados, el tiempo de verde puede ser adaptado a la demanda de aquel momento, reduciendo así la demora incremental. Esta reducción en la

demora depende en parte de la extensión de unidad del controlador y del grado de saturación.

Investigaciones han indicado que bajas extensiones de unidad resultan en valores bajos de k y d_2 , sin embargo, cuando el grado de saturación es cercano a 1 semáforos accionados actuarán como semáforos programados produciendo valores de k iguales a 0,5.

La Tabla 7-5 muestra los valores de k recomendados para semáforos accionados con diferentes extensiones de unidad y grados de saturación.

Tabla 7-5: Valor de k para controlador tipo

Extensión de Unidad (s)	Grado de Saturación (X)					
	$\leq 0,50$	0,60	0,70	0,80	0,90	$\geq 1,0$
$\leq 2,0$	0,04	0,13	0,22	0,32	0,41	0,50
2,5	0,08	0,16	0,25	0,33	0,42	0,50
3,0	0,11	0,19	0,27	0,34	0,42	0,50
3,5	0,13	0,2	0,28	0,35	0,43	0,50
4,0	0,15	0,22	0,29	0,36	0,43	0,50
4,5	0,19	0,25	0,31	0,38	0,44	0,50
5,0	0,23	0,28	0,34	0,39	0,45	0,50
Movimiento Programado	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Fuente: HCM 2010

7.1.3.8 Factor de ajuste para demora incremental l

El factor de ajuste l en la (Ec. 7-51) da cuenta del efecto de llegadas filtradas desde semáforos aguas arriba.

Un valor de 1,0 es usado para una intersección aislada (por ejemplo, una que se encuentre a 1,6 km o más de la intersección semaforizada aguas arriba). Este valor se

basa en un número aleatorio de vehículos llegando por ciclo, tal que la variación de las llegadas sea igual al promedio.

Un valor menor a 1,0 es usado para intersecciones no aisladas. Este valor refleja la forma en que los semáforos aguas arriba disminuyen la variación en el número de llegadas por ciclo en la intersección analizada aguas abajo. Como resultado, la demora debido a llegadas aleatorias disminuye.

La siguiente ecuación es utilizada para intersecciones no aisladas.

$$l = 1,0 - X_u^{2,68} \quad (\text{Ec. 7-56})$$

Donde:

X_u : Grado de saturación en intersección aguas arriba

7.1.4 Paso 4: Determinar la velocidad de viaje

La siguiente ecuación es usada para calcular la velocidad de viaje para una dirección dada a lo largo del segmento.

$$S_{T,seg} = \frac{3600L}{5280(t_R + d_c)} \quad (\text{Ec. 7-57})$$

Donde:

$S_{T,seg}$: Velocidad de viaje de los vehículos de paso por el segmento (mi/h)

L : Longitud del segmento (ft)

t_R : Tiempo en movimiento del segmento (s)

d_c : Demora por control (s/veh)

7.1.5 Paso 5: Determinar el nivel de servicio del segmento

El nivel de servicio se determina para ambas direcciones de viaje a lo largo del segmento. La Tabla 5-1 presenta los límites establecidos para este propósito. Como lo indica la Tabla, el nivel de servicio se define según la velocidad de viaje para los vehículos de paso por el segmento expresada como un porcentaje de la velocidad base en flujo libre.

El LOS es probablemente más significativo como un indicador del comportamiento del tránsito a lo largo de una instalación vial en lugar de un sólo segmento de calle, por lo tanto se presenta un siguiente paso donde se determina el nivel de servicio de una instalación vial urbana.

7.1.6 Paso 6: Determinar el nivel de servicio de la instalación

7.1.6.1 Determinar la velocidad de flujo libre base de la instalación

La velocidad de flujo libre base para la instalación es la base para determinar el LOS. Esta es determinada para cada segmento mediante el procedimiento descrito en el punto 7.1.2.1.1. La velocidad de flujo libre base para la instalación es calculada usando la ecuación (Ec. 7-58).

$$S_{f0,F} = \frac{\sum_{i=1}^m L_i}{\sum_{i=1}^m \frac{L_i}{S_{f0,i}}} \quad (\text{Ec. 7-58})$$

Dónde:

$S_{f0,F}$: Velocidad de flujo libre para la vía (mi/h)

L_i : Longitud del segmento i (ft)

m : Número de segmentos en la vía

$S_{f0,i}$: Velocidad de flujo libre para el segmento i (mi/h)

7.1.6.2 Determinar la Velocidad de Viaje

La velocidad de viaje para la vía es la razón entre la longitud y el tiempo de viaje en la vía. Esta representa una velocidad promedio equivalente para el flujo de tránsito, considerando la velocidad a lo largo de la calle y las demoras que pueden ocurrir en las intersecciones. La velocidad de viaje de los vehículos es determinada para cada segmento usando el procedimiento descrito en el Paso 4: Determinar la velocidad de viaje del Capítulo 6. La velocidad de viaje para la vía es calculada usando la ecuación (Ec. 7-59):

$$S_{T,F} = \frac{\sum_{i=1}^m L_i}{\sum_{i=1}^m \frac{L_i}{S_{T,seg,i}}} \quad (\text{Ec. 7-59})$$

Donde $S_{T,F}$ es la velocidad de viaje para la instalación (mi/h), $S_{T,seg,i}$ es la velocidad de viaje de los vehículos para el segmento i (mi/h), las otras variables están previamente definidas.

7.1.6.3 Determinar el nivel de servicio para la instalación

El LOS es determinado para ambas direcciones de viaje a lo largo de la Instalación. La Tabla 5-1 establece los criterios establecidos para este propósito. Como se indica en la Tabla 5-1, el LOS es definido por la velocidad de viaje, expresada como un porcentaje de la velocidad de flujo libre base. La velocidad de flujo libre base es calculada en el Paso 6: Determinar 2 y la velocidad de viaje es calculada en el Determinar la Velocidad de Viaje4.

8 APLICACIÓN

En el presente capítulo se determina el Nivel de Servicio de una instalación vial urbana nacional, específicamente una sucesión de segmentos de calle pertenecientes a la ciudad de Santiago. Para tal efecto se requiere de mediciones de tránsito que permitan realizar el diagnóstico de la vía en estudio. Tales mediciones de tránsito fueron realizadas de acuerdo a las consideraciones metodológicas del “Manual de Diseño y Evaluación Social de Proyectos de Vialidad Urbana”, SECTRA 1988 (MESPIVU) y son detalladas a continuación.

8.1 MEDICIONES DE TRÁNSITO

8.1.1 Aspectos Generales

Las mediciones de tránsito utilizadas corresponden al estudio denominado “Mejoramiento eje Fermín Vivaceta, entre Independencia y Santa María”, contratado por la Subsecretaría de Transportes, a través de su Programa de Vialidad y Transporte Urbano: SECTRA al consorcio ARISTO-LÍMITE. Para complementar dichas mediciones se realizó una visita a terreno con el objetivo de obtener la totalidad de datos de entrada requeridos por la metodología planteada. Específicamente, se midieron anchos de intersecciones y de pistas, se realizó conteo de todos los accesos presentes en la instalación y se registraron los tiempos de las fases de los semáforos para los distintos periodos de medición. Además, se generó un registro fotográfico para evidenciar el panorama de la vía de estudio.

El eje Fermín Vivaceta se desarrolla a través de las comunas de Independencia (en el sector al sur de Av. 14 de la Fama - Cañete) y Conchalí (al norte de Av. 14 de la Fama – Cañete) en la ciudad de Santiago. Tiene una extensión aproximada de 5,3 km y posee una calzada simple bidireccional al sur de Av. Dorsal y unidireccional (norte – sur) al norte de ese eje.

Dentro de la información recopilada se reportan los resultados de las siguientes mediciones:

- Flujos Vehiculares Continuos
- Flujos Vehiculares Periódicos

Para efectos de análisis, en la determinación del nivel de servicio se utilizarán los datos correspondientes a las mediciones periódicas de los flujos vehiculares, que son presentados a continuación.

8.1.2 Mediciones periódicas de flujo vehicular

8.1.2.1 *Puntos de medición*

Se contempló la realización de mediciones periódicas de flujo vehicular en una serie de puntos ubicados al interior del Área de Estudio del proyecto, la cual se muestra en la Ilustración 8-1.

Estas mediciones se realizaron durante 1,5 horas en tres períodos de día laboral, en 70 intersecciones del área de estudio. Los puntos de medición y las fechas en que se desarrolló la toma de datos son entregados en Anexo 1.



Ilustración 8-1: Área de Estudio del proyecto

(Ref. Informe final "Mejoramiento Eje Fermin Vivaceta, entre Independencia y Santa María")

8.1.2.2 Tipos de Vehículos

Los tipos de vehículos medidos fueron los establecidos en las bases de licitación del estudio y se presentan en la Tabla 8-1.

Tabla 8-1: Tipología de vehículos

Tipos de vehículos
Vehículo liviano (automóviles, camionetas y similares)
Taxi básico
Taxi colectivo
Bus articulado
Bus estándar Transantiago, microbús
Bus normal (ex amarillos)
Taxibus
Bus interurbano
Camión de dos ejes
Camión de más de dos ejes
Biciclos
Motos
Furgón escolar

Fuente: Informe final "Mejoramiento Eje Fermín Vivaceta, entre Independencia y Santa María"

8.1.2.3 Períodos de medición

En la Tabla 8-2 se presenta la definición de los períodos de medición correspondientes a la punta mañana, fuera de punta y punta tarde, definidos según perfil de día laboral.

Tabla 8-2: Definición de períodos según perfil día laboral

Períodos	Horario de Medición
Punta Mañana	07:30 - 09:00
Fuera Punta	09:30 - 11:00
Punta Tarde	18:30 - 19:30

Fuente: Informe Final "Análisis Conexiones Viales Sector Norte de la RM", MIDEPLAN-SECTRA, (2010)

Para efectuar el análisis de la instalación vial se utilizarán los datos correspondientes al período de punta mañana, ya que es en aquel período donde se registran los mayores flujos de tránsito vehicular.

8.1.2.4 Flujos Vehiculares Periódicos

En la Tabla 8-3 se entrega un resumen de los flujos medidos por movimiento en cada punto de control que será utilizado en el análisis, expresados en vehículos por hora y a continuación se muestran los diagramas de movimientos por punto de control.

Tabla 8-3: Flujos vehiculares por punto de control

Punto de Control	Intersección	Movimiento	Flujo Total (Veh/hora)		
			Período 1	Período 2	Período 3
11	Fermín Vivaceta - Los zapadores	10 N-P	335	188	303
		11 N-S	1709	1193	1446
		12 N-O	41	22	44
		21 O-P	151	85	117
		22 O-S	2	16	5
		40 P-S	100	137	108
		41 P-O	481	388	701
10	Fermín Vivaceta - El Olivo	10 N-P	15	13	29
		11 N-S	716	423	442
		12 N-O	65	23	25
		21 O-P	59	83	116
		22 O-S	30	16	31
		40 P-S	19	20	15
		41 P-O	114	83	183
8	Fermín Vivaceta - Roma	10 N-P	89	92	117
		11 N-S	1043	537	789
		21 O-P	515	328	554
		22 O-S	272	217	320
7	Fermín Vivaceta - 14 de La Fama	11 N-S	1153	499	911
		12 N-O	137	153	239
		30 S-O	159	125	131
		40 P-S	156	133	156
		41 P-O	776	489	870

Fuente: Informe final "Mejoramiento Eje Fermín Vivaceta, entre Independencia y Santa María"

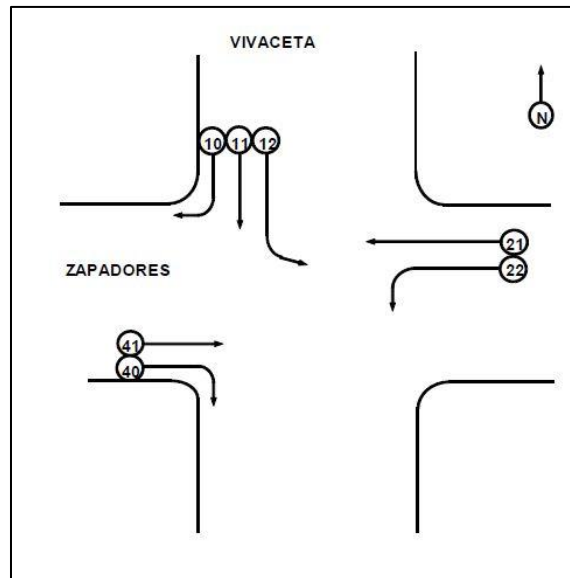


Ilustración 8-2: Diagrama de movimientos en intersección Fermín Vivaceta con Zapadores

Fuente: Informe final "Mejoramiento Eje Fermín Vivaceta, entre Independencia y Santa María"

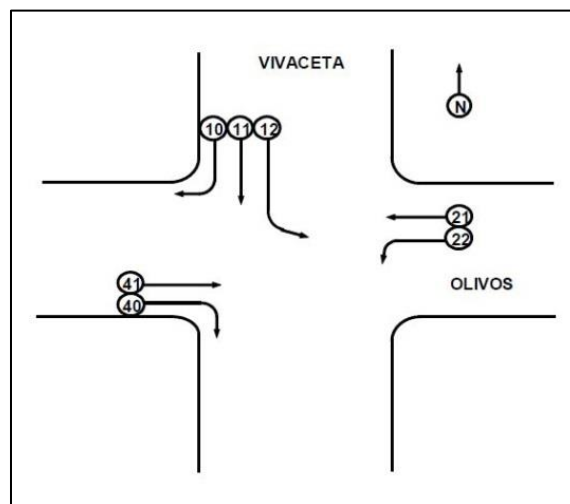


Ilustración 8-3: Diagrama de movimientos en intersección Fermín Vivaceta con Los Olivos

Fuente: Informe final "Mejoramiento Eje Fermín Vivaceta, entre Independencia y Santa María"

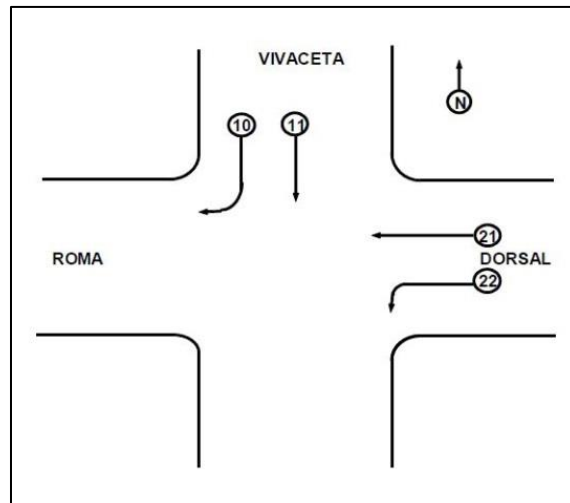


Ilustración 8-4: Diagrama de movimientos en intersección Fermín Vivaceta con Roma

Fuente: Informe final "Mejoramiento Eje Fermín Vivaceta, entre Independencia y Santa María"

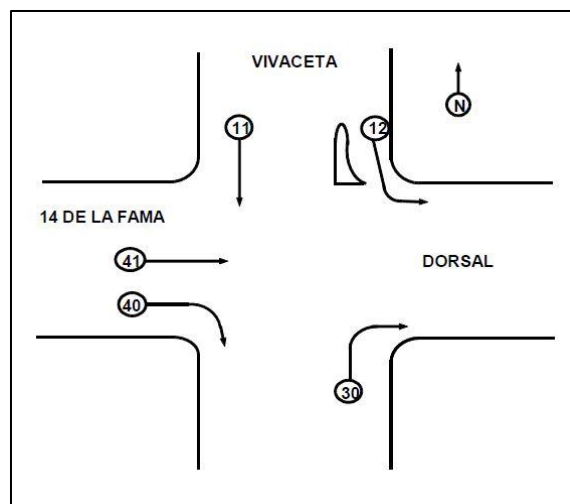


Ilustración 8-5: Diagrama de movimientos en intersección Fermín Vivaceta con 14 de la Fama

Fuente: Informe final "Mejoramiento Eje Fermín Vivaceta, entre Independencia y Santa María"

8.2 CATASTRO OPERATIVO

Además de las mediciones de tránsito expuestas en los puntos anteriores se requiere de información básica en lo relativo al Catastro Operativo, que dice relación con el registro de las características de la señalización, demarcación y semaforización que regulan la operación de las vías e intersecciones que conforman la Instalación Vial que se quiere analizar. A ello se suma el registro de la información asociado al uso de pistas y de áreas de estacionamientos y los paraderos de locomoción colectiva existentes en dichas vías.

Dicho registro reporta la siguiente información:

- Uso de las pistas, indicando la cantidad de ellas y sus sentidos de tránsito, ya sea bidireccionales o unidireccionales.
- Intersecciones y sus elementos de regulación existentes en terreno (semáforos, señales de prioridad y/o demarcación).
- Ubicación de estacionamiento sobre las calzadas.
- Ubicación de paraderos de locomoción colectiva.

La información mencionada se encuentra detallada en el Informe Final “Mejoramiento Eje Fermín Vivaceta, entre Independencia y Santa María” el cual se entrega en Anexo Digital en adición a lo verificado y catastrado en visita a terreno.

8.3 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO

Una vez recopilada la información necesaria se realiza un análisis a nivel operacional de la vía en estudio para poder determinar el Nivel de Servicio percibido por los usuarios.

El tramo seleccionado para el análisis se desarrolla a través del eje vial Fermín Vivaceta y va en dirección norte – sur desde la intersección Av. Los Zapadores hasta la intersección Catorce de la Fama. A la vez, este tramo se subdivide en tres segmentos delimitados por intersecciones semaforizadas que son detallados en la Tabla 8-4:

Tabla 8-4: Segmentación del Tramo en Estudio

Segmento	Desde	Hasta	Longitud [m]
1	Av. Los Zapadores	El Olivo	685
2	El Olivo	Roma	916
3	Roma	14 de La Fama	97

Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración 8-6 se observa la división definida para el análisis:

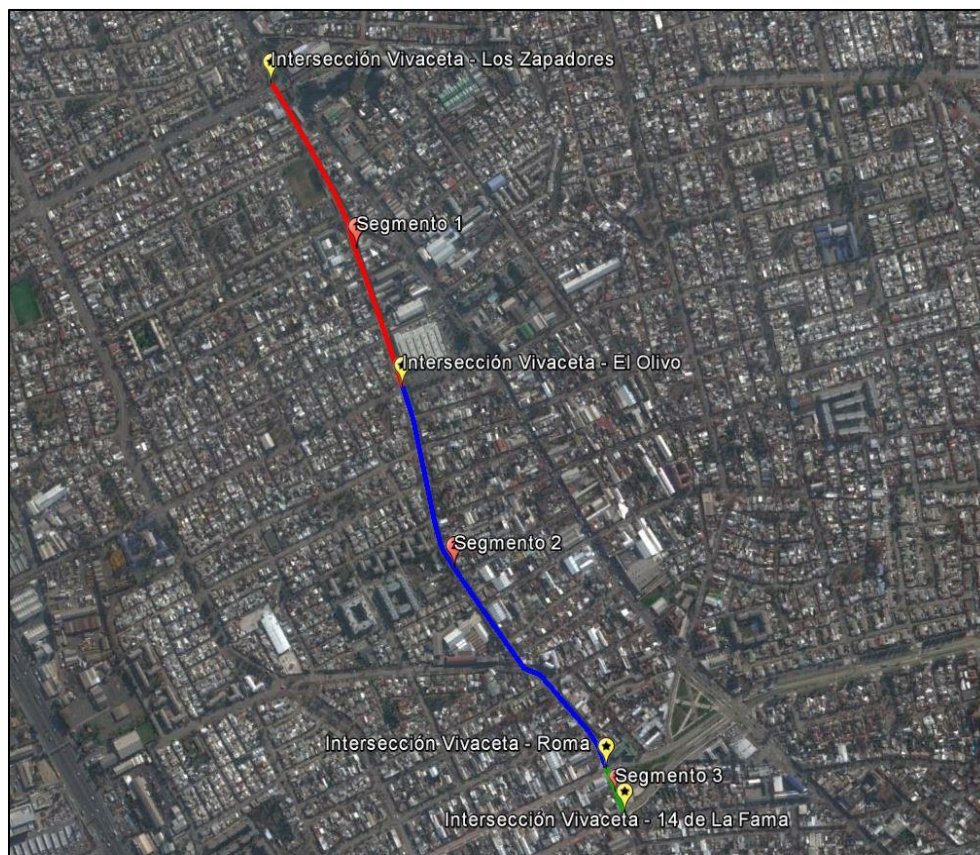


Ilustración 8-6: Segmentos del Tramo en Estudio

Fuente: Elaboración propia: Google Earth

Para comenzar el análisis se realiza una breve descripción de los segmentos en estudio, luego se desarrollan paso a paso los procedimientos de cálculo para estimar el Nivel de Servicio en el Segmento 1. Enseguida se detallan en tablas de resumen los resultados obtenidos mediante la misma secuencia de cálculos para los segmentos 2 y 3, respectivamente. Finalmente, se estima el nivel de servicio para todo el tramo seleccionado del eje vial Fermín Vivaceta.

8.3.1 Descripción de los segmentos en análisis

8.3.1.1 Segmento 1

El Segmento 1 es unidireccional de norte a sur, cuenta con una calzada de asfalto de 2 pistas en toda su longitud y se encuentra delimitado por las intersecciones semaforizadas Avenida Los Zapadores y El Olivo. Las aceras tienen un ancho variable de 4 a 12,6 metros. El sector donde la acera se reduce a 4 metros corresponde al borde oriente del eje, entre Zapadores y Módulo Lunar.

En la Ilustración 8-7 se muestra un Perfil Tipo con orientación Sur - Norte perteneciente al Segmento 1.

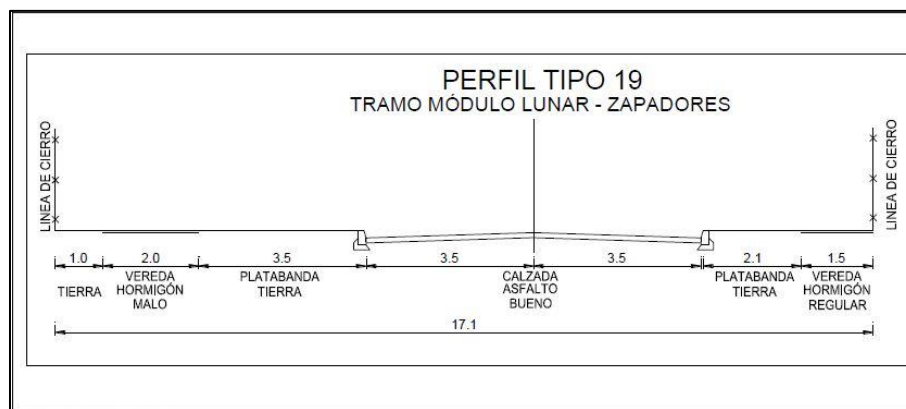


Ilustración 8-7: Perfil transversal tipo del segmento 1

Fuente: Informe final "Mejoramiento Eje Fermín Vivaceta, entre Independencia y Santa María"



Ilustración 8-8: Intersección calle Fermín Vivaceta con calle Los Zapadores



Ilustración 8-9: Sección tipo del segmento 1, calle Fermín Vivaceta



Ilustración 8-10: Intersección calle Fermín Vivaceta con calle El Olivo

8.3.1.2 Segmento 2

El segmento 2 es undireccional de norte a sur y se encuentra delimitado por las intersecciones El Olivo y Roma. Cuenta con una calzada de asfalto de 2 pistas de 3,5 metros de ancho cada una y tiene una longitud de 686 metros. Las aceras tienen un ancho variable de 2,8 a 11,4 metros. El sector donde la acera se reduce a menos de 3 metros corresponde al borde oriente del eje, entre Santa Inés y Tte. Bello.

En la Ilustración 8-11 se muestra un Perfil Tipo con orientación Sur – Norte perteneciente al Segmento 2.

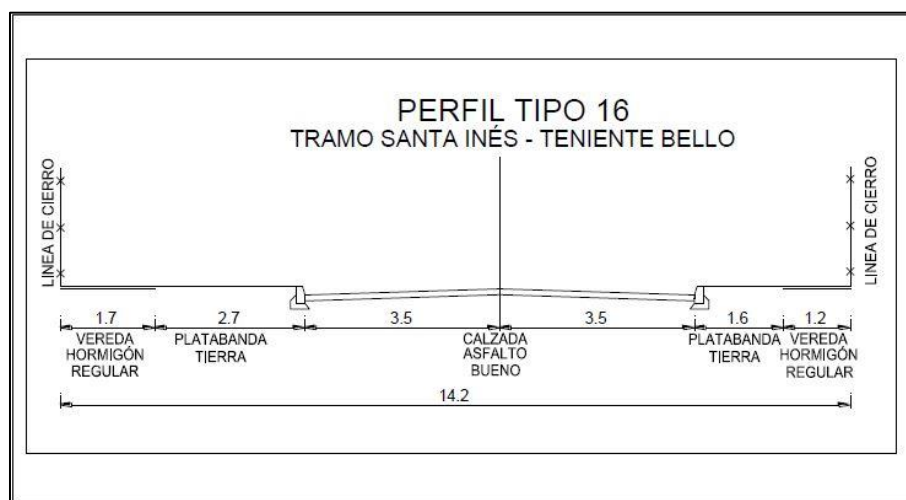


Ilustración 8-11: Perfil transversal tipo del segmento 2

(Ref. Informe final "Mejoramiento Eje Fermín Vivaceta, entre Independencia y Santa María")

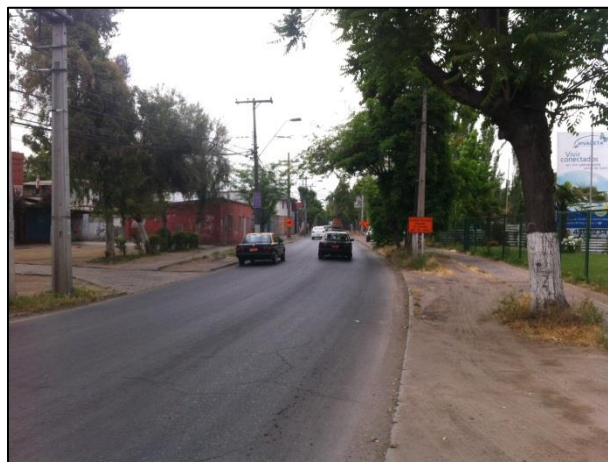


Ilustración 8-12: Sección tipo del segmento 2, calle Fermín Vivaceta

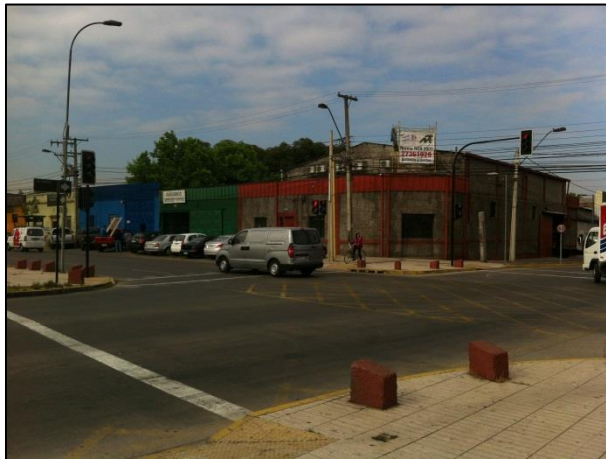


Ilustración 8-13: Intersección calle Fermín Vivaceta con calle Roma

8.3.1.3 Segmento 3

El Segmento 3 es undireccional de norte a sur, cuenta con una calzada de asfalto de 3 pistas con una longitud de 97 metros y se encuentra delimitado por las intersecciones Roma y 14 de La Fama. La pista del lado izquierdo es de uso exclusivo para el giro de vehículos al oriente.

En la Ilustración 8-14 se muestra un Perfil Tipo con orientación Sur – Norte perteneciente al Segmento 3.

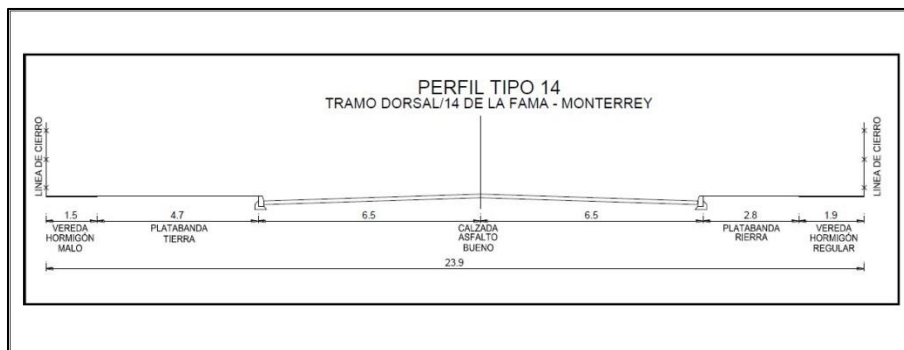


Ilustración 8-14: Perfil transversal tipo del segmento 3

(Ref. Informe final "Mejoramiento Eje Fermín Vivaceta, entre Independencia y Santa María")



Ilustración 8-15: Intersección calle Fermín Vivaceta con calle 14 de la Fama



Ilustración 8-16: Sección tipo del segmento 3, calle Fermín Vivaceta

8.3.2 Cálculo del Nivel de Servicio para el Segmento 1

8.3.2.1 Paso 1: Elementos de entrada

En la Tabla 8-5 se detallan los elementos de entrada utilizados para la evaluación del segmento 1.

Tabla 8-5: Elementos de entrada del segmento 1

Categoría de Datos	Parámetros de Entrada	Segmento 1
Características de tránsito	Flujo de demanda en intersección límite aguas arriba, (veh/h)	1709
	Flujo de demanda en intersección límite aguas abajo, (veh/h)	716
	Flujo de demanda en mitad del segmento, v_m (veh/h)	1811
Diseño geométrico	Número de pistas del segmento en la dirección de viaje, N_{th}	2
	Longitud del segmento, L (ft)	2247
	Ancho de intersección límite aguas arriba, W (ft)	72
	Número de puntos de acceso por el lado derecho, $N_{ap,s}$	7
	Número de puntos de acceso por el lado izquierdo, $N_{ap,o}$	1
	Proporción de segmento con mediana restrictiva, (decimal)	0
	Proporción de segmento con solera del lado derecho, (decimal)	1
Otros	Límite de velocidad, Spl (mi/h)	31
	Longitud de ciclo, C (s)	105
	Verde efectivo, g (s)	80
	Duración del período de análisis, T (h)	1,5

Fuente: Elaboración Propia

8.3.2.2 Paso 2: Determinar el tiempo en movimiento

El procedimiento para determinar el tiempo en movimiento incluye el cálculo de la velocidad de flujo libre, un factor de ajuste por proximidad entre vehículos, y un tiempo adicional debido a fuentes de demora en la medianía del segmento.

La velocidad de flujo libre se determina a partir de la velocidad de flujo libre base y un factor de ajuste por espaciamiento de las señales.

Velocidad de flujo libre base

La velocidad de flujo libre base se determina con la ecuación (Ec. 7-1).

$$S_{fo} = S_0 + f_{CS} + f_A \quad (\text{Ec. 7-1})$$

Donde:

$$S_0 = 25,6 + 0,47 \cdot S_{pl} \quad (\text{Ec. 7-2})$$

El límite de velocidad S_{pl} para el segmento 1 es de 50 (km/h) que equivale a 31 (mi/h), por lo tanto:

$$S_0 = 25.6 + 0.47 \cdot 31$$

$$S_0 = 40.2 \text{ (mi/h)}$$

Dado que no existe mediana en el segmento, el factor de ajuste para sección transversal se obtiene de la Tabla 7-1:

$$f_{cs} = -0.5 \text{ (mi/h)}$$

El factor de ajuste para puntos de acceso se obtiene a partir de las siguientes ecuaciones:

$$f_A = -0,078 \cdot D_a / N_{th} \quad (\text{Ec. 7-4})$$

$$D_a = 5280 \cdot (N_{ap,s} + N_{ap,o}) / (L - W_i) \quad (\text{Ec. 7-5})$$

$$D_a = 5280 \cdot (7 + 1) / (247 - 72)$$

$$D_a = 19,4 \text{ (puntos/mi)}$$

$$f_A = -0,078 \cdot 19,4 / 2$$

$$f_A = -0,76 \text{ (mi/h)}$$

Con esto, se tiene que la velocidad de flujo libre base es:

$$S_{fo} = S_0 + f_{CS} + f_A \quad (\text{Ec. 7-1})$$

$$S_{fo} = 40,2 - 0,5 - 0,76$$

$$S_{fo} = 38.9 \text{ (mi/h)}$$

Ajuste por espaciamiento de señales

La siguiente ecuación es utilizada para considerar el espaciamiento de las intersecciones límites.

$$f_L = 1,02 - 4,7 \cdot \frac{S_{fo} - 19,5}{\max(L_s, 400)} \leq 1,0 \quad (\text{Ec. 7-5})$$

La distancia entre intersecciones semaforizadas es $L_s = 2247 \text{ (ft)}$, luego:

$$f_L = 1,02 - 4,7 \cdot \frac{38,9 - 19,5}{2247}$$

$$f_L = 0.98$$

Velocidad de Flujo Libre

La velocidad de flujo libre es calculada basándose en las estimaciones de la velocidad de flujo libre base y el factor de ajuste por espaciamiento de señales:

$$S_f = S_{fo} \cdot f_L \quad (\text{Ec. 7-7})$$

$$S_f = 38,9 \cdot 0,98$$

$$S_f = 38.1 \text{ (mi/h)}$$

Factor de ajuste por proximidad

El factor de ajuste por proximidad ajusta el tiempo en movimiento en flujo libre para tener en cuenta el efecto de la densidad de tránsito.

$$f_v = \frac{2}{1 + \left(1 - \frac{v_m}{52,8 \cdot N_{th} \cdot S_f}\right)^{0,21}} \quad (\text{Ec. 7-8})$$

$$f_v = \frac{2}{1 + \left(1 - \frac{1811}{52,8 \cdot 2 \cdot 38,1}\right)^{0,21}}$$

$$f_v = 1,06$$

Demora debido al giro de vehículos

A continuación se determina la demora producida por vehículos girando desde la calle en estudio a un punto de acceso activo no señalizado. Para ello se utiliza el procedimiento descrito en el Punto 7.1.2.3.1, el cual estima la demora debido al giro de vehículos a la derecha.

Debido a que la calle Fermín Vivaceta en el tramo de estudio posee un solo sentido, se puede utilizar el mismo procedimiento del Punto 7.1.2.3.1 para determinar la demora debido a giros a la izquierda, en cuyo caso se deben redefinir las variables asociadas con el movimiento de giro a la derecha como aplicables al movimiento de giro a la derecha, y viceversa.

Demora debido a giros a la derecha

Para estimar la demora debido a giros a la derecha se efectúa la siguiente secuencia de cálculos:

Calcular la velocidad mínima para el primer vehículo en seguimiento, u_m :

$$q_n = \frac{v_a}{3600 \cdot n} \quad (\text{Ec. 7-14})$$

$$q_n = \frac{1811}{3600 \cdot 2} = 0,25 \text{ (veh/s)}$$

$$\lambda = \frac{1}{\frac{1}{q_n} - \Delta} \quad (\text{Ec. 7-13})$$

$$\lambda = \frac{1}{\frac{1}{0,25} - 1,5} = 0,4$$

$$H_1 = \frac{1,47 \cdot S_f - u_{rt}}{r_d} + t_c + \frac{L_v}{1,47 \cdot S_f} > \Delta \quad (\text{Ec. 7-12})$$

$$H_1 = \frac{1,47 \cdot 38,1 - 15}{6,7} + 0,6 + \frac{25}{1,47 \cdot 38,1} > 1,5$$

$$H_1 = 7,2 \text{ (s/veh)}$$

$$h_{\Delta < h < H_1} = \frac{1}{\lambda} + \frac{\Delta - H_1 \cdot e^{-\lambda(H_1 - \Delta)}}{1 - e^{-\lambda(H_1 - \Delta)}} \quad (\text{Ec. 7-11})$$

$$h_{\Delta < h < H_1} = \frac{1}{0,4} + \frac{0,4 - 7,2 \cdot e^{-0,4(7,2 - 1,5)}}{1 - e^{-0,4(7,2 - 1,5)}}$$

$$h_{\Delta < h < H_1} = 3,3 \text{ (s/veh)}$$

Con esto se tiene que la velocidad mínima del primer vehículo que es retrasado es:

$$u_m = 1,47 \cdot S_f - r_d \cdot (H_1 - h_{\Delta < h < H_1}) \geq u_{rt} \quad (\text{Ec. 7-10})$$

$$u_m = 1,47 \cdot 38,1 - 6,7 \cdot (7,18 - 3,34) \geq 15$$

$$u_m = 30,4 \text{ (ft/s)}$$

Calcular la demora del primer vehículo en seguimiento, d_1 :

$$d_1 = \frac{(1,47 \cdot S_f - u_m)^2}{2(1,47 \cdot S_f)} \cdot \left(\frac{1}{r_d} + \frac{1}{r_a} \right) \quad (\text{Ec. 7-15})$$

$$d_1 = \frac{(1,47 \cdot 38,1 - 30,4)^2}{2(1,47 \cdot 38,1)} \cdot \left(\frac{1}{6,7} + \frac{1}{3,5} \right)$$

$$d_1 = 2,6 \text{ (s)}$$

Calcular la demora del segundo vehículo en seguimiento, d_2 :

$$H_2 = d_1 + \Delta \quad (\text{Ec. 7-18})$$

$$H_2 = 2,6 + 1,5 = 4,1 \text{ (s/veh)}$$

$$h_{\Delta < h < H_2} = \frac{1}{\lambda} + \frac{\Delta - H_2 \cdot e^{-\lambda(H_2 - \Delta)}}{1 - e^{-\lambda(H_2 - \Delta)}} \quad (\text{Ec. 7-17})$$

$$h_{\Delta < h < H_2} = \frac{1}{0,4} + \frac{1,5 - 4,1 \cdot e^{-0,4(4,1 - 1,5)}}{1 - e^{-0,4(4,1 - 1,5)}} = 2,6$$

$$d_2 = d_1 - (h_{\Delta < h < H_2} - \Delta) \quad (\text{Ec. 7-16})$$

$$d_2 = 2,6 - (2,6 - 1,5) = 1,5$$

Calcular la demora del tercer y los subsiguientes vehículos, d_i ($i = 3, 4, \dots$):

Se utilizan las ecuaciones (Ec. 7-19), (Ec. 7-20) y (Ec. 7-21) hasta que la demora calculada para el vehículo i sea inferior a 0,1 segundos.

$$H_i = d_{i-1} + \Delta \quad (\text{Ec. 7-21})$$

$$h_{\Delta < h < H_i} = \frac{1}{\lambda} + \frac{\Delta - H_i \cdot e^{-\lambda(H_i - \Delta)}}{1 - e^{-\lambda(H_i - \Delta)}} \quad (\text{Ec. 7-20})$$

$$d_i = d_{i-1} - (h_{\Delta < h < H_i} - \Delta) \quad (\text{Ec. 7-19})$$

$$H_3 = 3,0 \text{ (s/veh)}$$

$$h_{\Delta < h < H_3} = 2,2 \text{ (s/veh)}$$

$$d_3 = 0,8 \text{ (s)}$$

$$H_4 = 2,3 \text{ (s/veh)}$$

$$h_{\Delta < h < H_4} = 1,9 \text{ (s/veh)}$$

$$d_4 = 0,4 \text{ (s)}$$

$$H_5 = 1,9 \text{ (s/veh)}$$

$$h_{\Delta < h < H_5} = 1,7 \text{ (s/veh)}$$

$$d_5 = 0,2 \text{ (s)}$$

$$H_6 = 1,7 \text{ (s/veh)}$$

$$h_{\Delta < h < H_6} = 1,6 \text{ (s/veh)}$$

$$d_6 = 0,1 \text{ (s)}$$

Calcular la proporción de vehículos girando a la derecha en la pista derecha P_R .

$$P_R = 0,2 \cdot 2 \leq 1,0 \quad (\text{Ec. 7-22})$$

$$P_R = 0,4$$

Calcular la demora vehicular por maniobra de giro a la derecha, $d_{t/r}$.

$$d_{t/r} = \sum_{i=1}^{\infty} \left[d_i \times \prod_{j=1}^i (1 - e^{-\lambda(H_j - \Delta)}) \times (1 - P_R)^i \right] \quad (\text{Ec. 7-24})$$

$$\begin{aligned} d_{t/r} = & 2,6(1 - e^{-0,4(7,2-1,5)})(1 - 0,4) + 1,5(1 - e^{-0,4(7,2-1,5)})(1 - e^{-0,4(4,1-1,5)})(1 - 0,4)^2 + \\ & 0,8(1 - e^{-0,4(7,2-1,5)})(1 - e^{-0,4(4,1-1,5)})(1 - e^{-0,4(3,0-1,5)})(1 - 0,4)^3 + 0,4(1 - e^{-0,4(7,2-1,5)}) \\ & (1 - e^{-0,4(4,1-1,5)})(1 - e^{-0,4(3,0-1,5)})(1 - e^{-0,4(2,3-1,5)})(1 - 0,4)^4 + 0,2(1 - e^{-0,4(7,2-1,5)}) \\ & (1 - e^{-0,4(4,1-1,5)})(1 - e^{-0,4(3,0-1,5)})(1 - e^{-0,4(2,3-1,5)})(1 - e^{-0,4(1,9-1,5)})(1 - 0,4)^5 + 0,1 \cdot \\ & (1 - e^{-0,4(7,2-1,5)})(1 - e^{-0,4(4,1-1,5)})(1 - e^{-0,4(3,0-1,5)})(1 - e^{-0,4(2,3-1,5)})(1 - e^{-0,4(1,9-1,5)}) \\ & (1 - e^{-0,4(1,7-1,5)})(1 - 0,4)^6 \end{aligned}$$

$$d_{t/r} = 1,7 \text{ (s/veh)}$$

Calcular la demora media vehicular debido a giros a la derecha $d_{ap,r}$ utilizando la (Ec. 7-9)

$$d_{ap,r} = 0,67 \cdot d_{t/r} \cdot \frac{P_{RT}}{1 - P_{LT} - P_{RT}} \quad (\text{Ec. 7-9})$$

$$d_{ap,r} = 0,67 \cdot 1,7 \cdot \frac{0,2}{1 - 0,4 - 0,2}$$

$$d_{ap,r} = 0,59 \text{ (s/veh)}$$

Demora debido a giros a la izquierda

En este caso, las variables asociadas con el movimiento de giro a la derecha se redefinen como aplicables al movimiento de giro a la izquierda, y viceversa.

Luego, aplicando el procedimiento para estimar la demora debido a giros a la derecha, se tiene que la demora media vehicular debido al giro de vehículos a la izquierda tiene un valor de:

$$d_{ap,l} = 1,17 \text{ (s/veh)}$$

Demora debido al giro de vehículos

Para determinar la demora total debido al giro vehículos a la derecha y a la izquierda se deben sumar las contribuciones a la demora en cada punto de acceso activo.

$$d_{ap} = d_{ap,r} \cdot N_{ap,s} + d_{ap,l} \cdot N_{ap,o}$$

$$d_{ap} = 0,59 \cdot 7 + 1,17 \cdot 1 = 5,3$$

Demora debido a otras fuentes

Se adiciona una demora de 2 segundos para tener en consideración el reductor de velocidad (lomo de toro) ubicado entre las intersecciones el Comendador y Módulo Lunar.

Tiempo en movimiento en el segmento

Finalmente el tiempo de viaje en el segmento se estima con la siguiente expresión:

$$t_R = \frac{6,0 - l_1}{0,0025L} f_x + \frac{3600L}{5280S_f} f_v + \sum_{i=1}^{N_{ap}} d_{ap,i} + d_{other} \quad (\text{Ec. 7-48})$$

$$t_R = \frac{6,0 - 2}{0,0025 \cdot 2247} \cdot 1 + \frac{3600 \cdot 2247}{5280 \cdot 38,1} \cdot 1,06 + 5,3 + 2$$

$$t_R = 50,7 \text{ (seg)}$$

8.3.2.3 Paso 3: Cálculo de la demora por control

La demora por control es la porción de la demora total para un vehículo aproximándose y entrando a una intersección semaforizada. La ecuación (Ec. 7-26) es usada para determinar esta demora:

$$d_c = d_{c1} \cdot (PF) + d_{c2} + d_{c3} \quad (\text{Ec. 7-49})$$

Factor de ajuste por progresión

El factor de ajuste por progresión es:

$$PF = \frac{(1 - P)}{\left(1 - \frac{g}{C}\right)} \quad (\text{Ec. 7-53})$$

Donde la proporción de vehículos llegando durante el verde P puede ser observada en terreno o estimada según la siguiente relación:

$$P = R_p \cdot \left(\frac{g}{C}\right) \quad (\text{Ec. 7-52})$$

Considerando una calidad de progresión con llegadas aleatorias y en base a la Tabla 7-4 se tiene:

$$P = 1 \cdot \left(\frac{80}{105}\right)$$

$$P = 0,76$$

En consecuencia:

$$PF = \frac{(1 - 0,76)}{\left(1 - \frac{80}{105}\right)}$$

$$PF = 1$$

Grado de saturación

El grado de saturación se determina según la ecuación (Ec. 7-54).

$$X = v/c \quad (\text{Ec. 7-54})$$

Luego, la capacidad se define según la ecuación (Ec. 7-55)

$$c = n \cdot s \cdot \frac{g}{C} \quad (\text{Ec. 7-55})$$

$$c = 2 \cdot 1800 \cdot \frac{80}{105}$$

$$c = 2743 \text{ (veh/h)}$$

$$\therefore X = \frac{716}{2743} = 0,26$$

Factores de ajuste para demora incremental

El factor k para semáforos programados es de 0,5 y el factor l se determina según la ecuación (Ec. 7-31).

$$l = 1,0 - X_u^{2,68} \quad (\text{Ec. 7-56})$$

$$l = 1,0 - (1709/2743)^{2,68}$$

$$l = 0,72$$

Demora uniforme

La demora uniforme d_{c1} se determina según la ecuación (Ec. 7-27):

$$d_{c1} = \frac{0,5 \cdot C \cdot (1 - g/C)^2}{1 - [\min(1; X) \cdot g/C]} \quad (\text{Ec. 7-50})$$

$$d_{c1} = \frac{0,5 \cdot 105 \cdot (1 - 80/105)^2}{1 - [\min(1; 0,26) \cdot 80/105]}$$

$$d_{c1} = 3,7 \text{ (s)}$$

Demora incremental

La demora incremental se obtiene a partir de la ecuación (Ec. 7-28):

$$d_{c2} = 900 \cdot T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8 \cdot k \cdot l \cdot X}{c \cdot T}} \right] \quad (\text{Ec. 7-51})$$

Luego:

$$d_{c2} = 900 \cdot 1,5 \left[(0,26 - 1) + \sqrt{(0,26 - 1)^2 + \frac{8 \cdot 0,5 \cdot 0,72 \cdot 0,26}{2743 \cdot 1,5}} \right]$$
$$d_{c2} = 0,17$$

Demora inicial en cola

La demora inicial en cola es nula debido a que no se consideran colas de periodos anteriores en el inicio del análisis.

Demora por control

$$d_c = d_{c1} \cdot (PF) + d_{c2} + d_{c3} \quad (\text{Ec. 7-49})$$

$$d_c = 3,7 \cdot (1) + 0,17 + 0$$

$$d_c = 3,9$$

8.3.2.4 Paso 4: Determinar la velocidad de viaje

La ecuación (Ec. 7-32) es usada para calcular la velocidad de viaje:

$$S_{T,seg} = \frac{3600L}{5280(t_R + d_c)} \quad (\text{Ec. 7-57})$$

$$S_{T,seg} = \frac{3600 \cdot 2247}{5280(50,7 + 3,9)}$$

$$S_{T,seg} = 28,1 \text{ (mi/h)}$$

8.3.2.5 Paso 5: Determinar el nivel de servicio

En este último paso se determina la velocidad de viaje como un porcentaje de la velocidad de flujo libre base. La velocidad de viaje fue determinada en el Paso 4 con un valor de 28,1 (mi/h) y la velocidad de flujo libre base en el Paso 2 con un valor de 38,9 (mi/h). La proporción es la siguiente:

$$\frac{S_{T,seg}}{S_{f0}} = \frac{28,1(mi/h)}{38,9(mi/h)} = 72,1 \%$$

Ingresando con este porcentaje en la Tabla 5-1 de criterios LOS se determina que el nivel de servicio para el segmento 1 es LOS B.

8.3.3 Nivel de servicio de la instalación

Para determinar el nivel de servicio de la instalación vial completa es necesario obtener el LOS para cada uno de los segmentos que la conforman, lo cual se detalla a continuación.

8.3.3.1 Paso 1: Elementos de Entrada

La Tabla 8-6 muestra los elementos de entrada utilizados para la evaluación de los segmentos 1, 2 y 3 respectivamente.

Tabla 8-6: Elementos de entrada para los segmentos 1, 2 y 3

Categoría de Datos	Parámetros de Entrada	Segmento 1	Segmento 2	Segmento 3
Tránsito	Flujo de demanda en intersección límite aguas arriba, (veh/h)	1709	716	1043
	Flujo de demanda en intersección límite aguas abajo, (veh/h)	716	1043	1153
	Flujo de demanda en mitad del segmento, vm (veh/h)	1811	900	1153
Diseño geométrico	Número de pistas del segmento en la dirección de viaje, Nth	2	2	2
	Longitud del segmento, L (ft)	2247	3004	318
	Ancho de intersección límite aguas arriba, W (ft)	72	23	23
	Número de puntos de acceso por el lado derecho, Nap,s	7	8	0
	Número de puntos de acceso por el lado izquierdo, Nap,o	1	4	0
	Proporción de segmento con mediana restrictiva, (decimal)	0	0	0
	Proporción de segmento con solera del lado derecho, (decimal)	1	1	1
Otros	Límite de velocidad, Spl (mi/h)	31	31	31
	Longitud de ciclo, C (s)	105	105	105
	Verde efectivo, g (s)	80	50	50
	Duración del período de análisis, T (h)	1,5	1,5	1,5

Fuente: Elaboración Propia

8.3.3.2 Paso 2: Determinar el tiempo en movimiento

La Tabla 8-7 muestra los pasos de análisis y los valores que fueron estimados para poder determinar el tiempo en movimiento a los largo de los segmentos 1, 2 y 3.

Tabla 8-7: Tiempo en movimiento en los segmentos 1, 2 y 3

Pasos de análisis	Valores estimados	Segmento 1	Segmento 2	Segmento 3
A) Determinar velocidad de flujo libre	Velocidad constante, S_0 (mi/h)	40,2	40,2	40,2
	Factor de ajuste para sección transversal, f_{cs} (mi/h)	-0,5	-0,5	-0,5
	Factor de ajuste por puntos de acceso, f_a (mi/h)	-0,76	-0,83	0,00
	Velocidad de flujo libre base, S_{f0} (mi/h)	38,9	38,9	39,7
	Factor de ajuste por espaciamiento de semáforos, f_l	0,98	0,99	0,78
	Velocidad de flujo libre, S_f (mi/h)	38,1	38,5	31,1
B) Calcular ajuste por proximidad entre vehículos	Factor de ajuste por proximidad entre vehículos, f_v	1,06	1,03	1,05
C) Calcular demora debido al giro de vehículos	Demora debido al giro de vehículos, d_{ap}	5,3	1,0	0,0
D) Estimar demora debido a otras fuentes	Demora debido a otras fuentes, d_o	2	4	0
E) Calcular tiempo en movimiento en el segmento	Tiempo en movimiento, t_r (s)	50,7	60,2	12,3

Fuente: Elaboración Propia

8.3.3.3 Paso 3: Cálculo de la demora por control

La Tabla 8-8 presenta los valores estimados para determinar la demora por control en los segmentos 1, 2 y 3.

Tabla 8-8: Demora por control en los segmentos 1,2 y 3

Demoras	Segmento 1	Segmento 2	Segmento 3
Demora uniforme, d_{c1}	3,7	20,3	21,2
Demora incremental, d_{c2}	0,17	1,47	1,58
Demora inicial en cola, d_{c3}	0	0	0
Factor de ajuste por progresión, P_F	1	1	1
Demora por control, d_c (s/veh)	3,9	21,8	22,8

Fuente: Elaboración Propia

8.3.3.4 Paso 4: Determinar la velocidad de viaje

La Tabla 8-9 muestra las velocidades promedio de viaje estimadas para los segmentos 1, 2 y 3.

Tabla 8-9: Velocidad de viaje en los segmentos 1, 2 y 3

Velocidad de viaje	Segmento 1	Segmento 2	Segmento 3
Velocidad de viaje, St (mi/h)	28,1	25,0	6,2

Fuente: Elaboración Propia

8.3.3.5 Paso 5: Determinar el nivel de servicio

Finalmente se determinó el nivel de servicio para los segmentos 1, 2 y 3 a través de la relación entre la velocidad de viaje y la velocidad de flujo libre base, y en base a los criterios de la Tabla 5-1: Criterios para determinar el nivel de servicio”.

Tabla 8-10: Nivel de servicio en los segmentos 1, 2 y 3

Nivel de servicio	Segmento 1	Segmento 2	Segmento 3
Velocidad de viaje, St (mi/h)	28,1	25,0	6,2
Velocidad de flujo libre base, Sf0 (mi/h)	38,9	38,9	39,7
St/Sf0, %	72,1	64,3	15,6
LOS	B	C	F

Fuente: Elaboración Propia

8.3.3.6 Paso 6: Nivel de servicio de la instalación vial

8.3.3.6.1 Determinar la velocidad de flujo libre base

La velocidad de flujo libre base para la instalación vial se determina utilizando la ecuación (Ec. 7-58). Las longitudes y velocidades de flujo libre base para cada segmento fueron determinados previamente.

$$S_{f0,F} = \frac{\sum_{i=1}^m L_i}{\sum_{i=1}^m \frac{L_i}{S_{f0,i}}} \quad (\text{Ec. 7-58})$$

$$S_{f0,F} = \frac{2247 + 3004 + 318}{\frac{2247}{38,9} + \frac{3004}{38,9} + \frac{318}{39,7}}$$

$$S_{f0,F} = 39,0 \text{ (mi/h)}$$

8.3.3.6.2 Determinar la velocidad de viaje

La velocidad de viaje para la instalación vial se determina utilizando la ecuación (Ec. 7-59).

$$S_{T,F} = \frac{\sum_{i=1}^m L_i}{\sum_{i=1}^m \frac{L_i}{S_{T,seg,i}}} \quad (\text{Ec. 7-59})$$

$$S_{T,F} = \frac{2247 + 3004 + 318}{\frac{2247}{28,1} + \frac{3004}{25,0} + \frac{318}{6,2}}$$

$$S_{T,F} = 22,1 \text{ (mi/h)}$$

8.3.3.6.3 Determinar el nivel de servicio para la instalación

En este último paso se determina la velocidad de viaje como un porcentaje de la velocidad de flujo libre base. La velocidad de viaje fue determinada en el Paso 2 con un valor de

22,1 (mi/h) y la velocidad de flujo libre base en el Paso 1 con un valor de 39,0 (mi/h). La proporción es la siguiente:

$$\frac{S_{T,F}}{S_{f0,F}} = \frac{22,1(mi/h)}{39,0(mi/h)} = 56,8 \%$$

Ingresando con este porcentaje en la Tabla 5-1 de criterios LOS se determina que el nivel de servicio para la instalación vial en estudio es LOS C.

9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a un análisis general del trabajo, se puede establecer que es posible evaluar el nivel de servicio proporcionado a los usuarios que se trasladan a través de una instalación vial urbana nacional aplicando procedimientos y técnicas basados en medidas de desempeño como son la velocidad de viaje de los vehículos y la demora en intersecciones semaforizadas.

En base a los resultados obtenidos en la determinación del nivel de servicio para el eje vial Fermín Vivaceta se puede concluir lo siguiente:

- El segmento 1 tiene un nivel de servicio B, lo cual indica que los usuarios que se trasladan a través del segmento 1, durante el período de punta mañana, pueden maniobrar prácticamente sin impedimentos, dentro de la corriente de tránsito y no tienen demoras significativas en la intersección límite aguas abajo. Este resultado, se debe en gran medida al alto valor de tiempo de verde efectivo que tiene la intersección límite aguas abajo, en conjunto con el bajo volumen de tránsito en dicha intersección. Este bajo volumen en la intersección aguas abajo, se debe a que un 40% del flujo de demanda que pasa por la intersección aguas arriba, sale del segmento en análisis a través de sus puntos de acceso, principalmente, hacia el sector oriente para conectarse con la avenida Independencia.
- El segmento 2 tiene un nivel de servicio C, indicando una operación estable, donde la capacidad para maniobrar y cambiar de pista en los sectores medios del segmento es algo más restringida que en el segmento 1, presentando colas más extensas en la intersección límite aguas abajo, que generan una disminución en las velocidades de viaje. Esta disminución en el nivel de servicio respecto al segmento 1, se debe principalmente, a la disminución de la fase de verde del semáforo en la intersección límite aguas abajo, que disminuye de 80 a 50 segundos. Además, se aumenta el tiempo de viaje a lo largo del segmento, debido a la presencia de dos reductores de velocidad (lomos de toro) y un paso de cebra.
- El segmento 3 arrojó como resultado un nivel de servicio F, indicando un flujo de tránsito a muy baja velocidad promedio, lo cual es provocado por la alta demora y colas extensas en la intersección límite aguas abajo. Este nivel de servicio, es inducido por la

corta longitud que tiene el segmento, el cual no alcanza a servir a todos los vehículos que llegan a la intersección límite aguas abajo, mientras su fase se encuentra en verde. En base a este resultado, se concluye que en este segmento existen problemas de congestión y desbordamientos hacia la intersección aguas arriba, lo cual fue corroborado en visitas a terreno.

- El nivel de servicio de los tres segmentos analizados en conjunto, es decir, como una instalación vial, da como resultado un nivel de servicio C, describiendo un funcionamiento estable de la vía. Este nivel de servicio sugiere una operación estable del tramo analizado, sin embargo, el análisis individual del segmento 3 da cuenta de la existencia de un tramo operando en condiciones de servicio inaceptables. Este hecho, pone de manifiesto la existencia de una inadecuada planificación vial, que podría ser mejorada evaluando cambios en la progresión semafórica, la coordinación de los ciclos de los semáforos o el diseño geométrico de la vía, entre otros.

Por lo tanto, mediante la secuencia de 6 pasos desarrollados en el capítulo 7, se puede determinar el nivel de servicio percibido por los usuarios que viajan a través de una instalación vial. Estos pasos de análisis conforman la guía práctica desarrollada en este trabajo, siguiendo los criterios planteados por HCM y sus investigaciones complementarias.

Los pasos de análisis de la guía planteada consisten principalmente en; paso 1 definición de los datos de entrada, paso 2 determinar el tiempo en movimiento a través de un segmento, paso 3 determinar la demora por control que se produce en la intersección límite aguas abajo, paso 4 determinar la velocidad de viaje a través del segmento, paso 5 determinar el nivel de servicio de un segmento y paso 6 determinar el nivel de servicio de la instalación vial. Entonces, siguiendo esta estructura de cálculo, es posible obtener el nivel de servicio percibido por los usuarios, clasificándolo en un rango que va desde las mejores condiciones de operación de la vía a las peores. Esta escala de apreciación es aplicable tanto al análisis de un segmento individual como al de una instalación vial. Sin embargo, este valor debe ser interpretado con cautela, puesto que, un análisis en conjunto de todos los segmentos puede sugerir una operación aceptable de la instalación, cuando en realidad, en el análisis individual ciertos segmentos pueden estar operando en un nivel de servicio inaceptable.

Esta memoria aporta teóricamente conceptos poco utilizados a nivel nacional en cuanto a la calidad y nivel de servicio de calles urbanas. Y que si se realizara el análisis de estos, se podría generar un diagnóstico sobre si las instalaciones están dando cobertura a las necesidades de la población, según percepción de los viajeros. Tal análisis, puede realizarse con las mismas mediciones que se utilizan para estudios de ingeniería de tránsito, con lo cual sería posible cuantificar de forma rápida y práctica, el nivel de servicio, a través de un lenguaje no técnico manejable tanto por especialistas como por personas no especialistas, pero que influyen de una u otra manera en el amplio concepto de urbanización (juntas de vecinos, políticos, ejecutivos, inversionistas, etc). El lenguaje utilizado proporciona un conjunto común de definiciones que ingenieros en transporte y planificadores pueden usar para describir condiciones de operación; no obstante, corresponde a los legisladores locales decidir el nivel de servicio apropiado para un determinado elemento del sistema de transporte en su comunidad. Por este motivo, organismos públicos internacionales han adoptado ampliamente el concepto LOS debido a la capacidad que tiene éste, de poder transmitir el funcionamiento de la vía a personas que no tienen los conocimientos técnicos.

A modo de recomendación, se puede decir que los procedimientos, ecuaciones e interpretaciones utilizados en este trabajo pueden servir como complemento al desarrollo de proyectos de vialidad urbana y a la toma de decisiones sobre si el desempeño de una instalación vial es aceptable y si un futuro cambio en su funcionamiento podrá ser percibido como significativo por los usuarios. Además se deja abierta la discusión en cuanto a los múltiples factores que pueden incidir en la determinación del nivel de servicio en calles urbanas, ya que es un tema que puede ser abordado desde distintas perspectivas y que puede servir de ayuda a los crecientes problemas de análisis de redes viales urbanas.

Por último, se plantea una nueva discusión en torno a la escala que se emplea para clasificar el nivel de servicio (de la A a la F), ya que, se requeriría una que se adapte a la realidad nacional, puesto que los sistemas de valoración que predominan en nuestro país están asociado a términos numéricos en forma ascendente, es decir, mientras mayor sea el valor de la clasificación, mejor indicador de desempeño. Planteamiento que facilitaría la unificación del lenguaje, cuando distintos actores se refieran a un mismo sistema de medida, en este caso, al clasificar el nivel de servicio en calles urbanas.

10 REFERENCIAS

- 1 TRANSPORTATION Research Board of the National Academy of Sciences. Highway Capacity Manual 2010. 5ª ed. Washington, D.C., 2010. 3 v.
- 2 TRANSPORTATION Research Board of the National Academy of Sciences. Highway Capacity Manual 2000. Washington, D.C., 2000.
- 3 SECRETARÍA Ejecutiva de Comisión de Transporte Urbano (SECTU). Manual de diseño y evaluación social de proyectos de vialidad urbana (MESPIVU). Santiago, 1988.
- 4 BONNISON James A., PRATT Michael P., VANDEHEY Mark A. Predicting the performance of automobile traffic on urban street. Washington, D.C., 2000.
- 5 BONNISON James A., KITTELSON & Associates, Inc. Comparison of urban streets methodologies in HCM 2000 and HCM 2010. Washington, D.C., 2013.
- 6 ARISTO Límite Consultores. Estudio "Mejoramiento eje Fermín Vivaceta, entre Independencia y Santa María". Santiago, 2014.
- 7 MINISTERIO de Vivienda y Urbanismo. Recomendaciones para el diseño de elementos de infraestructura vial urbana (REDEVU). Santiago, 2009.



11 ANEXOS

Informe Final “MEJORAMIENTO EJE FERMÍN VIVACETA, ENTRE INDEPENDENCIA Y SANTA MARÍA, Santiago, Marzo de 2014”

Se anexa este informe en formato digital dada su extensión.