



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO,  
UTILIZADOS PARA EL DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL PASO A DESNIVEL,  
MADRE TERESA DE CALCUTA, LAS FLORES CAYALÁ, ZONA 16, GUATEMALA**

**Luis Audencio Guzmán Velásquez**

Asesorado por el Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría

Guatemala, febrero de 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO,  
UTILIZADOS PARA EL DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL PASO A DESNIVEL,  
MADRE TERESA DE CALCUTA, LAS FLORES CAYALÁ, ZONA 16, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LUIS AUDENCIO GUZMÁN VELÁSQUEZ**  
ASESORADO POR EL ING. WUILLIAM RICARDO YON CHAVARRÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Andy Williams Alonzo Vasquez
EXAMINADOR	Ing. Estuardo Jeréz Santos
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO,  
UTILIZADOS PARA EL DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL PASO A DESNIVEL,  
MADRE TERESA DE CALCUTA, LAS FLORES CAYALÁ, ZONA 16, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 8 de mayo de 2017.



**Luis Audencio Guzmán Velásquez**





Guatemala, 2 de octubre de 2018

Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila  
Coordinador del Área de Topografía y Transportes  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala


Respetable Ingeniero

Luego de un corto saludo, por este medio me permito informarle que en mi calidad de Asesor hago constar que he revisado el trabajo de graduación titulado **“EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO UTILIZADOS PARA EL DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL PASO A DESNIVEL MADRE TERESA DE CALCUTA, LAS FLORES, CAYALÁ, ZONA 16, GUATEMALA”**, elaborado por el estudiante universitario Luis Audencio Guzmán Velásquez, quien se identifica con carné universitario 201314436.

Considero que el trabajo de graduación ha sido desarrollado cumpliendo con las correcciones pertinentes, por lo que doy la aprobación y solicito el trámite correspondiente.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente:



Wuillian Ricardo Yon Ch.  
INGENIERO CIVIL.  
COL. No. 2029

---

Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría

Colegiado No. 2029

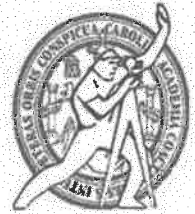




**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



Guatemala,  
 23 de noviembre de 2018

Ingeniero  
 Hugo Leonel Montenegro Franco  
 Director Escuela Ingeniería Civil  
 Facultad de Ingeniería  
 Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO, UTILIZADOS PARA EL DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL PASO A DESNIVEL, MADRE TERESA DE CALCUTA, LAS FLORES CAYALÁ, ZONA 16, GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Luis Audencio Guzmán Velásquez, con CUI 1594362651216 y No. De Registro académico 201314436 quien contó con la asesoría del Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la Facultad de Ingeniería y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila  
 Coordinador del Área de Topografía y Transportes



FACULTAD DE INGENIERIA  
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
 USAC

bbdeb.



*Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua*





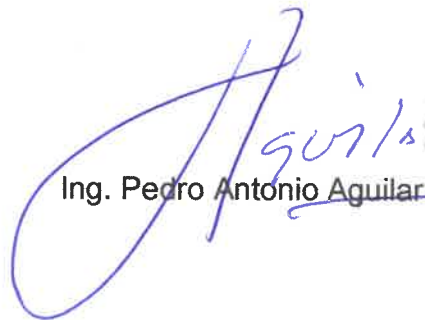
**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA


<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría y del Coordinador del Departamento de Topografía y Transportes Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila al trabajo de graduación del estudiante Luis Audencio Guzmán Velásquez **EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO, UTILIZADOS PARA EL DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL PASO A DESNIVEL, MADRE TERESA DE CALCUTA, LAS FLORES CAYALÁ, ZONA 16, GUATEMALA** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



Guatemala, febrero 2020

/mmm.

*Mas de 136 años de Trabajo y Mejora Continua*





DTG. 083.2020

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO, UTILIZADOS PARA EL DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DEL PASO A DESNIVEL, MADRE TERESA DE CALCUTA, LAS FLORES CAYALÁ, ZONA 16, GUATEMALA,** presentado por el estudiante universitario: **Luis Audencio Guzmán Velásquez,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana

Guatemala, febrero de 2020

/gdech







## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme la vida, la salud y la oportunidad de ser una persona de sabiduría.
- Mis padres** Arturo Guzmán y Floridalma de Guzmán, por su apoyo moral y por las enseñanzas que me dieron orientación en la vida.
- Mi esposa** Damaris de León, por acompañarme y apoyarme en los momentos difíciles de mi vida.
- Mis hijas** Emily Guzmán y Sofía Guzmán, por ser la motivación de mi esfuerzo diario.
- Mis hermanos** Melito Guzmán, Nuvia Guzmán, Seidy Guzmán, Beberly Guzmán, Martha Guzmán y Rosa Guzmán, por brindarme el apoyo incondicional a lo largo de mi carrera como estudiante.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por abrirme las puertas de la sabiduría y brindarme el espacio necesario y así poder lograr mis sueños.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por ser mi segunda casa, darme el espacio en sus aulas y brindarme todos los conocimientos en el campo de la ingeniería.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría, por su valioso aporte en asesorar mi tesis.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Antecedentes históricos.....	1
1.2. Problema por resolver .....	1
1.3. Descripción del área en estudio .....	3
1.4. Descripción geográfica del área en estudio.....	3
1.5. Aspectos socioeconómicos .....	4
2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES DEL TRÁNSITO VEHICULAR .....	5
2.1. Conceptos relacionados al tránsito.....	5
2.1.1. Derecho de vía .....	5
2.1.2. Licencia de conducir .....	5
2.1.3. El vehículo .....	7
2.1.3.1. Vehículos por su uso .....	8
2.1.3.2. Vehículos por su peso .....	8
2.1.3.3. Vehículo de diseño .....	9
2.1.4. El peatón .....	9
2.1.5. El conductor.....	10
2.2. Evolución del tránsito en Guatemala .....	11

2.3.	Parámetros del tránsito .....	12
2.3.1.	Tipos de parámetros de tránsito .....	12
2.3.2.	Parámetros de tránsito en Guatemala.....	13
2.3.2.1.	Volumen de tránsito .....	13
2.3.2.2.	Velocidad.....	13
2.3.2.3.	Tránsito promedio diario.....	14
2.3.3.	Parámetros internacionales de tránsito .....	14
2.3.3.1.	Velocidad de punto.....	14
2.3.3.2.	Velocidad media temporal .....	14
2.3.3.3.	La densidad.....	15
2.3.3.4.	Flujo vehicular de servicio .....	16
2.3.3.5.	Capacidad y niveles de servicios .....	16
2.3.3.6.	Método HCM para determinar nivel de servicio de una carretera multicarril de dos vías.....	21
2.3.3.7.	Determinar el nivel de servicio .....	34
2.4.	Pasos a desnivel .....	36
2.4.1.	Tipos de pasos a desnivel .....	36
2.4.2.	Tipo de intersecciones a desnivel .....	37
2.4.3.	Beneficios de un paso a desnivel en el tránsito.....	41
2.4.4.	Dimensiones de pasos a desnivel .....	42
2.5.	Rotondas.....	42
2.5.1.	Elementos básicos de una rotonda .....	42
2.5.2.	Tipos de rotondas.....	43
2.5.2.1.	Rotonda normal.....	43
2.5.2.2.	Minirrotonda .....	44
2.5.2.3.	Rotonda a desnivel.....	45
2.5.3.	Beneficio de las rotondas en el tránsito.....	46

3.	RECOLECCIÓN DE DATOS.....	49
3.1.	Tránsito promedio diario .....	49
3.1.1.	Tipos de vehículos que circulan por el sector .....	49
3.1.2.	Recolección de datos en el sector .....	49
3.2.	Datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala .....	51
3.3.	Parque vehicular, Instituto Nacional de Estadística INE .....	52
4.	ANÁLISIS DE DATOS .....	57
4.1.	Tendencias de crecimiento del tránsito .....	57
4.2.	Comparación de los datos encontrados en el aforo vehicular, con los datos utilizados en el diseño .....	58
4.3.	Modelos matemáticos.....	66
4.4.	Proyección preliminar .....	67
4.5.	Evaluación de los parámetros de tránsito.....	67
4.5.1.	Nivel de servicio que presta el tramo 1 .....	68
4.5.2.	Nivel de servicio que presta el tramo 2 y tramo 3 ...	72
5.	RESULTADOS .....	73
5.1.	Niveles de servicio que presta el paso a desnivel .....	73
5.2.	Resumen de niveles de servicios de los tramos involucrados .....	73
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	77
6.1.	Causas de la problemática .....	78
	CONCLUSIONES .....	81
	RECOMENDACIONES .....	83
	BIBLIOGRAFÍA.....	85
	APÉNDICES .....	89

ANEXOS..... 103



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Mapa que muestra el área de estudio.....	2
2.	Comparación del $V_p$ y $V$ .....	25
3.	Intersección tipo trompeta.....	38
4.	Direccional.....	38
5.	Intersección tipo trébol parcial.....	39
6.	Intersección tipo trébol.....	40
7.	Intersección tipo diamante.....	41
8.	Rotonda normal.....	44
9.	Minirrotonda.....	45
10.	Rotonda a desnivel.....	46
11.	Gráfica del comportamiento del parque vehicular en Guatemala.....	58
12.	Comparación de datos del aforo vehicular.....	58
13.	Gráficas totales, vehículos en paso a desnivel.....	59
14.	Gráfica totales vehículos de zona 16 hacia la zona 15.....	60
15.	Gráfica totales vehículos de la zona 18 hacia la zona 15.....	61
16.	Gráfica totales vehículos de la zona 15 hacia la zona 16.....	62
17.	Gráfica totales vehículos en carril reversible en un día.....	63
18.	Gráfica de comparación de aforo vehicular.....	64
19.	Puntos de aforo vehicular.....	65
20.	Croquis paso a desnivel por tramos.....	68
21.	Mapa paso a desnivel, dirección de zona 16 a zona 15.....	75
22.	Mapa del tramo en estudio.....	78

## TABLAS

I.	Condiciones generales de operación para los niveles de servicio .....	20
II.	Nivel de servicio recomendado por la AASHTO .....	21
III.	Factor de ajuste <i>fG</i> para determinar la velocidad sobre segmentos de dos vías y direccionales.....	21
IV.	Equivalente al número de vehículos por camión y vehículo recreacional para determinar la velocidad .....	23
V.	Ajuste debido al ancho de carril y al ancho del hombro <i>fLS</i> .....	27
VI.	Ajuste debido a la cantidad de puntos de acceso <i>fA</i> .....	28
VII.	Ajuste para la velocidad promedio de viaje <i>fnp</i> debido al porcentaje de zonas de no rebasar.....	29
VIII.	Ajuste para determinar el tiempo de seguir en el segmento .....	30
IX.	Equivalente al número de vehículos por camión y vehículo recreacional, para determinar el porcentaje de tiempo en seguir en el segmento .....	31
X.	Ajuste <i>fnp</i> para la velocidad promedio de viaje debido al porcentaje de zonas de no rebasar en segmento de dos direcciones.....	34
XI.	Criterio para nivel de servicio tipo I .....	35
XII.	Criterio para nivel de servicio tipo II .....	35
XIII.	Datos recabados en el aforo vehicular realizado en esta investigación .....	50
XIV.	Datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala del año 2015 .....	51
XV.	Parque vehicular, según tipo. Año 2012 .....	53
XVI.	Parque vehicular, según tipo. Año 2013 .....	53
XVII.	Parque vehicular, según tipo. Año 2014 .....	54
XVIII.	Parque vehicular, según tipo. Año 2015 .....	54

XIX.	Parque vehicular, según tipo. Año 2016.....	55
XX.	Total por año del parque vehicular en Guatemala .....	57
XXI.	Vehículos que circulan debajo del desnivel en un día.....	59
XXII.	Vehículos que circulan de la zona 16 hacia la zona 15 en un día .....	60
XXIII.	Vehículos que circulan de la zona 18 hacia la zona 15 en un día .....	61
XXIV.	Vehículos que circulan de la zona 15 hacia la zona 16 en un día .....	62
XXV.	Vehículos que circulan en el carril reversible en un día .....	63
XXVI.	Comparación de aforos vehiculares realizados en el sector .....	64
XXVII.	Resumen de nivel de servicio para el tramo 1 .....	74



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$f_{LS}$	Ajuste debido al ancho de carril y al ancho del hombro
$f_{d/np}$	Ajuste para el porcentaje de zonas de “no rebasar” en la dirección de análisis
$f_{np}$	Ajuste por porcentaje de zonas de “no rebasar”
$Pc/h$	Carro de pasajeros por hora en un período de 15 minutos pico.
$V$	Demanda del volumen para la hora pico en la dirección de análisis (veh/h)
$k$	Densidad o concentración del tráfico (veh/km)
$D$	Distancia o longitud (km)
$E_T$	Equivalente al número de vehículos por camión
$E_R$	Equivalente al número de vehículos por vehículo recreacional
$V_p$	Equivalente de vehículos para la razón de flujo en un período pico de 15 minutos en la dirección de análisis (veh/h)
$f_G$	Factor de ajuste debido a la pendiente
$f_{HV}$	Factor de ajuste debido a los vehículos pesados
$f_A$	Factor de ajuste para puntos de acceso
$m$	Metro
$N$	Número de vehículos (veh)
$f_i$	Número de vehículos en el grupo de velocidad $i$ .

<b>n</b>	Número total de vehículos observados o tamaño de la muestra.
<b>V<sub>f</sub></b>	Observación del volumen en el período en el cual se obtuvo la medición de campo (veh/h)
<b>P<sub>T</sub></b>	Proporción de camiones en el tránsito, en decimal
<b>P<sub>R</sub></b>	Proporción de vehículos recreacionales en el tránsito, en decimal
<b>V<sub>pd</sub></b>	Tasa en la dirección de análisis.
<b>v<sub>i</sub></b>	Velocidad de punto del grupo i.
<b><math>\bar{v}_t</math></b>	Velocidad media temporal
<b>S<sub>FM</sub></b>	Velocidad principal del tránsito medida en campo (km/h)

## GLOSARIO

<b><i>Access-point</i></b>	Punto de acceso a una vía.
<b><i>Adjustment Factor</i></b>	Factor de ajuste.
<b>ATS</b>	Velocidad promedio de viaje en ambas direcciones del análisis (km/h).
<b><i>Average Travel speed</i></b>	Velocidad media de viaje en una vía.
<b>BFFS</b>	Velocidad base del flujo libre (km/h).
<b>Bifurcaciones</b>	Cruces o intersecciones de carreteras.
<b>Bulevar</b>	Elemento urbano en el centro de una calle y que regularmente se encuentra arbolado.
<b>BPTSF</b>	Porcentaje base de tiempo utilizado en seguir un vehículo en la dirección de análisis.
<b>Camionetillas</b>	Vehículo automóvil menor que el camión que sirve para el transporte de mercancías.
<b>Capacidad vial</b>	Es el máximo flujo permisible en una carretera.

<b>Carretera multicarril</b>	Carretera que tiene más de un carril dirigidos en el mismo sentido.
<b>Catalizador</b>	Dispositivo conectado en el escape de los vehículos que neutraliza la contaminación y la emisión de humo.
<b>Class</b>	Define el tipo de una carretera.
<b>Conductor</b>	Persona encargada de conducir un vehículo de motor.
<b>Discapacitados</b>	Personas que tienen cualquier restricción o impedimento en la capacidad de realizar una actividad.
<b>Congestionamiento</b>	Condición cuando el flujo vehicular se ve saturado debido al exceso de demanda de las vías.
<b><i>Demand Flow Rate</i></b>	Tasa de flujo de la demanda.
<b><i>Density</i></b>	Cantidad de vehículos en un tramo determinado.
<b>Día común</b>	Día normal, cuando los vehículos circulan con normalidad.
<b><i>Directional Segment</i></b>	Segmento direccional de una carretera.
<b>Distancia lateral</b>	Distancia de hombro de una carretera.



<b>Embudo vehicular</b>	Reducción de carriles en un punto en específico.
<b>Enescopio</b>	Instrumento de alta precisión para medir la velocidad de los vehículos en un determinado punto y en tiempo real.
<b>FSS</b>	Velocidad estimada de flujo libre (km/h).
<b><i>Highway Capacity</i></b>	Capacidad de carreteras.
<b>Hora pico</b>	Hora de mayor demanda vehicular.
<b>Ingeniería de tránsito</b>	Rama de la ingeniería dedicada al estudio del tránsito.
<b><i>No-passing zones</i></b>	Zona de no rebasar.
<b>Parque vehicular</b>	Número de vehículos con permiso para circular en Guatemala.
<b>Pasarela</b>	Elemento estructural que sirve para atravesar una calle.
<b>Paso de cebra</b>	Líneas paralelas a la calle que indican el paso de peatón.
<b>Peatón</b>	Persona que camina o que lleva una silla de ruedas por una determinada calle.

<b>PF</b>	Es la distribución direccional del tránsito, en decimales.
<b>PHF</b>	Factor de hora pico.
<b>PTSF</b>	Porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo en la dirección de análisis
<b><i>Time spend following</i></b>	Tiempo que toma un vehículo en seguir en la vía.
<b><i>Passenger Car</i></b>	Carros de pasajeros.
<b>Radar Doppler</b>	Dispositivo que usa el efecto Doppler en los ecos de retorno de vehículos para medir su velocidad radial.
<b>Red vial</b>	Conjunto de carreteras que pertenece a la misma clasificación funcional.
<b><i>Rolling</i></b>	Indica que el terreno es ondulado.
<b>Rotonda</b>	Cruce circular de calles que a menudo tiene un monumento en el centro o área verde.
<b>RVs</b>	Vehículos recreacionales.
<b>Ser vivo</b>	Persona o animal que circula o cruza una calle.
<b><i>Shoulder width</i></b>	Ancho del hombro de una carretera.

<b><i>Speed</i></b>	Velocidad a la que transitan los vehículos.
<b><i>Two lane highways</i></b>	Carretera de dos carriles.
<b><i>Truck</i></b>	Se refiere a camiones o transporte pesado.
<b><i>Two way</i></b>	Indica que existen dos vías en la carretera.
<b>Vehículo automotor</b>	Aparato que se mueve sobre ruedas y que cuenta con un motor para funcionar.
<b>Vehículos especiales</b>	Vehículos autopropulsados o remolcados creados para realizar obras o servicios y que podrían variar en sus dimensiones y peso.



## RESUMEN

El trabajo de graduación se titula *Evaluación de los parámetros de ingeniería de tránsito, utilizados para el diseño y planificación del paso a desnivel, Madre Teresa de Calcuta, Las Flores Cayalá, zona 16, Guatemala.*

En el capítulo 1 se presenta una breve descripción de los antecedentes históricos del lugar de análisis.

En el capítulo 2 se definen aspectos generales relacionados con el tránsito vehicular y los niveles de servicio que se evalúan en una carretera según los procedimientos y conceptos establecidos en el Manual centroamericano para el diseño geométrico de carreteras y al HCM 2000 de los Estados Unidos de América. También se presenta una descripción de tipos de glorietas y de pasos a desnivel.

En el capítulo 3 se recolecta los datos por medio del aforo vehicular; también se obtienen datos de la Municipalidad de Guatemala y del Instituto Nacional de Estadística INE.

En el capítulo 4 se analizan los datos utilizando los procedimientos que el HCM 2000 establece, con el propósito de determinar los niveles de servicios que prestan los tramos de carreteras que implican al paso a desnivel en análisis.

En el capítulo 5 se presentan los resultados de la evaluación de los tramos que contienen al paso a desnivel.

En el capítulo 6 se analiza los resultados con base en los criterios establecidos por el Manual centroamericano para el diseño geométrico de carreteras y el HCM 2000.

Como conclusión de este trabajo se indica el nivel de servicio que están prestando los tramos en que se encuentra involucrado el paso desnivel Madre Teresa de Calcuta y se brindan recomendaciones para disminuir la problemática respecto al tránsito vehicular en el sector.

# OBJETIVOS

## General

Evaluar los parámetros de ingeniería de tránsito, utilizados para el diseño y planificación del paso a desnivel, Madre Teresa de Calcuta, Las Flores, Cayalá, zona 16, Guatemala.

## Específicos

1. Identificar el problema por resolver y los antecedentes históricos del lugar respecto al tránsito, a la geografía y en el aspecto socioeconómico.
2. Definir los parámetros de tránsito y los distintos niveles de servicios que prestan los tramos carreteros que contienen al paso a desnivel Madre Teresa de Calcuta.
3. Recolectar la información necesaria para la evaluación de los parámetros de tránsito por medio de aforo vehicular, solicitar información a la Municipalidad de Guatemala y del Instituto Nacional de Estadística (INE).
4. Analizar los datos del aforo vehicular con base en las expresiones matemáticas y conceptos establecidos por el Manual centroamericano para el diseño geométrico de carreteras y al HCM 2000, con el propósito de determinar los niveles de servicios que prestan los tramos carreteros que contienen al paso a desnivel en cuestión.





## INTRODUCCIÓN

En 2016, frente al centro comercial Cayalá ubicado en la zona 16 de la ciudad capital de Guatemala, se construyó un paso a desnivel llamado “Madre de Teresa de Calcuta Las Flores Cayalá” con el propósito de agilizar el tránsito vehicular que se genera en la rotonda construida con anterioridad. Los vecinos que viajan de la zona 16 hacia la zona 15 por el bulevar Rafael Landívar manifiestan que el paso a desnivel no debería estar diseñado en la dirección de zona 15 hacia la zona 18 capitalina sino en la orientación de la zona 16 hacia la zona 15. Los vecinos de la zona 16 indican que la inversión que realizó la municipalidad capitalina fue realizada en vano y que según ellos no les beneficia en nada y se tardan el mismo tiempo o más en llegar a sus actividades cotidianas.

Por tal motivo se realizó un análisis de los niveles de servicio que presta el paso a desnivel por medio de cálculos estadísticos y libros relacionados con ingeniería de tránsito.

Se solicitó información a la municipalidad capitalina sobre antecedentes técnicos, información sobre el tránsito antes de la construcción del paso a desnivel, basado en la ley de acceso a la información, para verificar si existe error en la orientación de la construcción de la obra civil.

Para definir los niveles de servicio actuales del paso a desnivel se hizo un conteo vehicular basado en los tipos de vehículos que circulan por el sector y la velocidad mínima en que circulan los mismos.



# **1. ANTECEDENTES**

Como parte de esta investigación es necesario conocer el área de estudio, aspectos socioeconómicos y el problema a resolver.

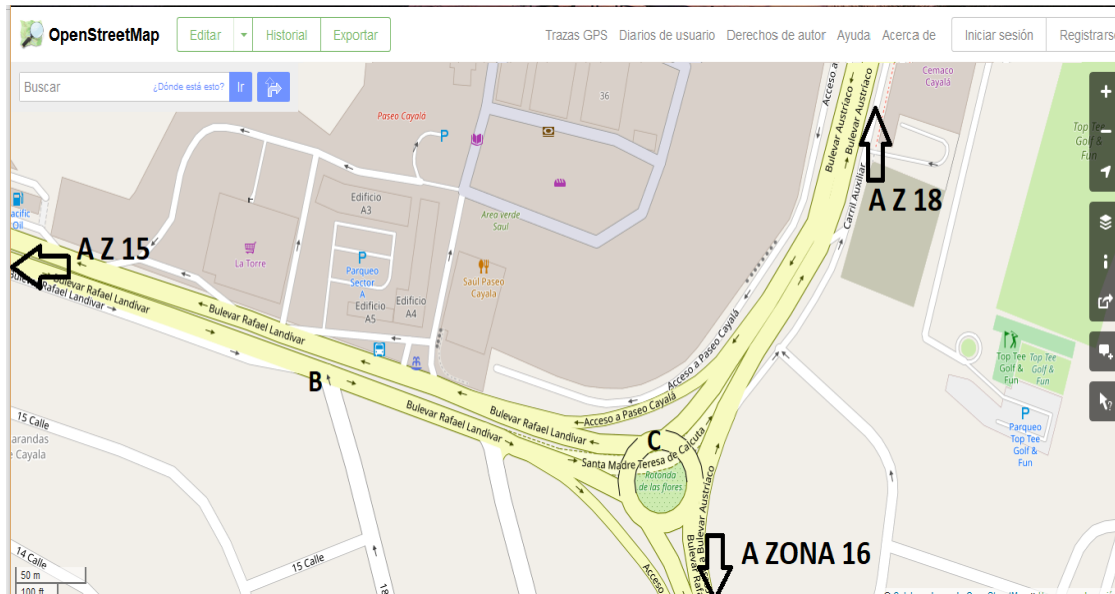
## **1.1. Antecedentes históricos**

El paso a desnivel Madre Teresa de Calcuta, inaugurado el miércoles 5 de octubre de 2016, fue llamado así en honor a la Madre Teresa de origen albanés naturalizada en India, que fundó la congregación Misioneras de la Caridad en Calcuta un estado de India. En el sector frente al Paseo Cayalá, ubicado en el bulevar Rafael Landívar, se encontraba únicamente una rotonda que tenía como función principal la intersección entre el bulevar Rafael Landívar y el bulevar Austriaco. Debido a la afluencia vehicular se construyó un paso a desnivel con el propósito de evitar congestionamiento en el tránsito.

## **1.2. Problema por resolver**

En el sector de Las Flores, Cayalá, zona 16, se encuentra ubicado el paso a desnivel Madre Teresa de Calcuta, que beneficia a vecinos aledaños que viajan por el bulevar Rafael Landívar, en dirección de la zona 15, zona 16 y también hacia la zona 18 por el bulevar Austriaco. Ver punto C en la figura 1.

Figura 1. Mapa que muestra el área de estudio



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de: [www.openstreetmap.com](http://www.openstreetmap.com)

El paso a desnivel evidentemente no es suficientemente funcional en la dirección en la que se construyó, ya que en horas de la mañana sobre el desnivel se presenta congestión vehicular para quienes viajan de la zona 16 hacia la zona 15, lo que obliga a las autoridades de tránsito colocar un carril reversible hacia la zona 15 que inicia en el punto B (ver figura 1); se anula también la rotonda y se traslada el retorno a una distancia más lejana. Por otro lado, se nota que los vehículos que viajan de zona 15 hacia zona 18 por debajo del desnivel son escasos y el flujo vehicular es libre, motivo por el cual se realiza esta investigación para constatar si en la planificación se tomaron en cuenta todos los factores de tránsito necesarios y si la edificación cuenta con las dimensiones recomendadas y con la orientación correcta.

### **1.3. Descripción del área en estudio**

El paso a desnivel Madre Teresa de Calcuta se encuentra frente al paseo Cayalá, ubicado entre el bulevar Rafael Landívar y el bulevar Austriaco; su construcción es muy reciente y beneficia a los vecinos que habitan en la zona 18 y lugares al norte de la ciudad de Guatemala, que viajan desde el bulevar Vista Hermosa ubicado en la zona 15, a la zona 18.

### **1.4. Descripción geográfica del área en estudio**

Cayalá se encuentra entre las inmediaciones del bulevar Rafael Landívar y el bulevar Austriaco perteneciente a la zona 16, en el municipio de Guatemala, del departamento de Guatemala. Las coordenadas geográficas son 14° 36' 27.70" N y 90° 29' 07.43 O" con 1516 msnm, pertenecientes al paso a desnivel mencionado.

Por el sitio transitan los vecinos de la zona 16 que viajan de colonia San Isidro, lotificación La Montaña, Concepción Las Lomas, colonia Campo Seco, Ciudad Vieja 1, Ciudad Vieja 2, todos estos lugares pertenecientes a la zona 16 de la ciudad de Guatemala; también transitan personas que viajan de la zona 15 hacia la zona 18, calzada La Paz, etc.

## **1.5. Aspectos socioeconómicos**

Cayalá es un área en donde la economía está aumentando considerablemente. Actualmente se encuentran construcciones nuevas utilizadas para uso comercial y también muchos condominios a su alrededor. La construcción del paso a desnivel contribuye a que muchos vehículos transiten por el área de Cayalá y que el comercio tenga un incremento. A sus alrededores se encuentran la Universidad del Valle de Guatemala, la Universidad Rafael Landívar, el Colegio Americano de Guatemala. Las personas que habitan en los alrededores del lugar se dedican al comercio y al trabajo asalariado.

## **2. CONCEPTOS Y DEFINICIONES DEL TRÁNSITO VEHICULAR**

En el estudio del tránsito vehicular es importante conocer conceptos y definiciones que ayudan a relacionar la ingeniería a nivel internacional.

### **2.1. Conceptos relacionados al tránsito**

Son utilizados para nombrar al movimiento de los vehículos y las personas que pasan por una calle, una carretera u otro tipo de camino. Es importante conocerlos e identificarlos al realizar un estudio de ingeniería de tránsito.

#### **2.1.1. Derecho de vía**

Las personas tienen prioridad para circular ante los vehículos en cualquier vía pública, terrestre y acuática, siempre que lo hagan en zonas seguras y bajo la estricta señalización vial en la forma y modo que normen los reglamentos de tránsito.

Existen señalizaciones y semáforos para definir cuáles vehículos llevan la vía en una carretera urbana o rural; en la ciudad de Guatemala estas señalizaciones mayormente son basadas en semáforos.

#### **2.1.2. Licencia de conducir**

En Guatemala, la licencia de conducir es el documento emitido por el Departamento de Tránsito de la Dirección General de la Policía Nacional Civil,

que autoriza a una persona para conducir un vehículo de acuerdo con la ley de tránsito, sus reglamentos y demás leyes aplicables. Habilita e identifica a su titular como conductor, quien está obligado a portar la licencia de conducir siempre que conduzca un vehículo y exhibirla a la autoridad competente cuando le sea requerida.

Existen varios tipos de licencia para conducir diferentes vehículos. Las que comúnmente se extienden en Guatemala son las siguientes:

- Licencia tipo A: los conductores que poseen esta licencia pueden conducir toda clase de vehículos de transporte de carga de más de 3,5 toneladas métricas de peso bruto mínimo, transporte escolar y transporte colectivo (urbano y extraurbano).
- Licencia tipo B: los conductores que poseen esta licencia pueden conducir toda clase de automóviles o vehículos automotores de hasta de 3,5 toneladas métricas de peso bruto máximo; pueden recibir remuneración por conducir.
- Licencia tipo C: los titulares de esta licencia pueden conducir paneles, microbuses, picops con o sin remolque y un peso bruto máximo de 3,5 toneladas métricas sin recibir remuneración.
- Licencia tipo M: esta licencia es para las personas que se conducen por medio de motocicletas.
- Licencia tipo E: es la licencia que permite a un conductor manejar maquinaria agrícola e industrial. Esta licencia no autoriza a su titular conducir cualquier otro tipo de vehículo.



### 2.1.3. El vehículo

Es cualquier medio de transporte terrestre o acuático que circula permanente u ocasionalmente por la vía pública, ya sea para el transporte de personas, de carga o bien para actividades especiales. Deben reunir los requisitos siguientes:

- Tarjeta y placa de circulación vigente o permiso vigente extendido por autoridad competente.
- Que su estado mecánico esté en perfectas condiciones de funcionamiento y que brinde la seguridad al conductor y a sus ocupantes.
- Que cuente con catalizador en buen estado y motor bien afinado para no producir humo negro y contaminante ambiental.
- Para los conductores discapacitados se debe adaptar el vehículo y equiparlos para ser conducidos según estrictas condiciones de seguridad.<sup>1</sup>

Entre los tipos de vehículos registrados en el parque vehicular de Guatemala están los automóviles, camionetas, camionetillas y paneles, autobuses, buses, microbuses, camiones de carga, tráileres, furgones, plataformas, carretas, remolques, grúas, jeeps, motos, picops.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> LÓPEZ AJANEL, Allan Luiziño. *Alternativa para mejorar el tránsito vehicular y reducir accidentes viales, Calzada Kaibil Balam*. p 19.

<sup>2</sup> SAT. *Análisis Estadístico del parque vehicular*. p 5.

### **2.1.3.1. Vehículos por su uso**

Los vehículos se clasifican por su uso en:

- Particulares
- Mercantiles y comerciales
- Oficiales
- Cuerpo diplomático, organismos, misiones y funcionarios internacionales.
- De emergencia
- De aprendizaje

### **2.1.3.2. Vehículos por su peso**

- Ligeros, hasta 3.5 toneladas métricas de peso bruto máximo
  - Motocicletas
  - Automóviles
  - Paneles
  - Picops
  - Microbuses
  - Picops con remolque
  
- Pesados, con más de 3,5 toneladas de peso bruto máximo
  - Autobuses camiones
  - Remolcadores o cabezales

- Especiales, con pesos y dimensiones de autorización especial.
  - Vehículos agrícolas
  - Vehículos especiales móviles con o sin grúa.

### **2.1.3.3. Vehículo de diseño**

El vehículo utilizado para el diseño geométrico de una carretera es el automotor que en sus dimensiones y características de operación sirve para establecer los controles del diseño geométrico. Para la selección del mismo se debe considerar una serie de aspectos importantes en función de la economía. El vehículo seleccionado no deberá ser obligadamente el más grande que circule por la carretera; esto implicaría que la vía estaría sobrediseñada la mayor parte del tiempo de vida útil. Tampoco podría ser el vehículo promedio entre los actuales vehículos de mayores dimensiones, pues la vía presentaría un servicio muy restringido la mayoría del tiempo de servicio. El vehículo de diseño debe ubicarse entre los dos extremos, entre el más grande y el promedio, y tener presente las condiciones propias en que se plantea la demanda de los usuarios de la vía en análisis.

### **2.1.4. El peatón**

Es toda persona que transita a pie o por medio de una silla de ruedas por la vía pública. Este concepto abarca las personas que manejan una bicicleta.

En Guatemala existen las señalizaciones que comúnmente se denominan pasos de cebra, que se utilizan para que los peatones crucen la calle y pasarelas que son el medio más seguro para los peatones al cruzar la carretera.

Frente al paseo Cayalá, zona 16, en la calle no existe marcado un paso de cebra que sirva como señal de tránsito para que los peatones crucen la calle; tampoco existe una estructura de pasarela. Por tal motivo, en el sector existe la necesidad de construir una pasarela; los vecinos que cruzan por la calle a pie tienen que cruzar cinco carriles corriendo; esto implica que puedan sufrir un riesgo de accidente.

Teniendo en cuenta que el peatón tiene el derecho de vía ante cualquier medio de transporte, según lo indicado en las leyes guatemaltecas, los conductores de cualquier tipo de vehículos sin importar el peso, tienen la obligación de respetar este derecho y ceder el paso al peatón.

El conductor de un vehículo automotor deberá tener precauciones ante los niños, ancianos, discapacitados, mujeres embarazadas y cualquier ser vivo que se conduzca por la vía pública.

#### **2.1.5. El conductor**

Es la persona que conduce, maneja o guía un vehículo a través de una carretera o red vial. El conductor de un vehículo tiene conocimiento del mecanismo del mismo, conoce la velocidad a la que puede circular por la vía por medio de la señalización de tránsito.

Además, debe cumplir con lo que establecen las leyes de tránsito guatemaltecas; es decir, que debe estar habilitado mediante el tipo correcto de licencia de conducir, extendida mediante la autoridad competente; encontrarse en el pleno goce de sus capacidades civiles y mentales; debe conducir un vehículo en la vía pública respetando las velocidades establecidas por las señalizaciones viales.

## **2.2. Evolución del tránsito en Guatemala**

En los últimos años, el parque vehicular en Guatemala se ha incrementado en gran manera y ha colapsado algunas vías importantes de la ciudad capital en el período donde se genera la hora pico. Las motocicletas han sido una alternativa para los guatemaltecos como medio de transporte para llegar más rápido a sus lugares de destino, pero esto conlleva al peligro que se genera al conducir el vehículo de dos ruedas.

El trabajo de la Municipalidad de Guatemala se ha evidenciado al abrir nuevas rutas al transurbano y transmetro, y proporcionar a los guatemaltecos una movilidad dentro de las vías de la ciudad, más económica, pero no así con el confort deseado. Existen otras alternativas de viajar dentro de la ciudad capital de Guatemala como los buses urbanos, buses extraurbanos que ingresan de los diferentes municipios aledaños, taxis, entre otros; pero el tráfico en horas de la mañana y la tarde es excesivo y presenta un problema de tránsito crítico.

La Municipalidad de Guatemala, a través de la policía de tránsito, crea carriles reversibles en varios puntos críticos; esto no es suficiente para solucionar el problema de tránsito, así que anulan el funcionamiento de algunos semáforos en vías importantes para brindar el servicio por medio de un agente de la policía de tránsito; este mismo ha coadyuvado a la circulación del tránsito en Guatemala al proveer movilidad cuando sea necesario.

Este problema que tiene Guatemala lo padecen muchos países del mundo con relación al tránsito, supera las obras civiles que se construyan, y las llevan al colapso total.

## **2.3. Parámetros del tránsito**

En Guatemala se encuentran diferentes parámetros de tránsito que determinan la funcionabilidad de una carretera.

Todos los parámetros de diseño deben ser tomados en cuenta antes de diseñar una carretera, para garantizar el beneficio a largo plazo en las vías de circulación vehicular. Los parámetros de ingeniería de tránsito definen el diseño geométrico, las condiciones de diseño, entre otros aspectos propios de la carretera.

### **2.3.1. Tipos de parámetros de tránsito**

El tránsito en una carretera se puede definir según varios parámetros de medición vial que son la base del funcionamiento óptimo de una carretera. Estos parámetros son dinámicos y pueden cambiar en cualquier día del mes o mes del año, considerando las actividades que realizan los guatemaltecos en vacaciones o los días laborales ordinarios de la población. Esto implica que los parámetros pueden variar en gran magnitud; para realizar un estudio de tránsito es necesario realizarlo el día más común.

El manual de capacidad de carreteras 2000 (HCM 2000, por sus siglas en inglés *Highway Capacity Manual*) divide el tránsito en dos grandes categorías:

- Flujo ininterrumpido
- Flujo interrumpido

En esta investigación se considerará el flujo ininterrumpido, debido a que no se observa en el tramo una señalización de tránsito que detenga el tránsito por un determinado tiempo.

### **2.3.2. Parámetros de tránsito en Guatemala**

Se presentan los parámetros más importantes en la medición del tránsito en Guatemala, que también son evaluados a nivel internacional.

#### **2.3.2.1. Volumen de tránsito**

El volumen de tránsito indica la cantidad de vehículos de motor que transita por una carretera en un determinado tiempo. Este parámetro se determina utilizando las unidades más comunes, vehículos por día y vehículos por hora. La capacidad de una carretera admite un volumen de tránsito máximo. Los volúmenes dependen del tipo de ruta según las actividades que prevalezcan en ellas.

#### **2.3.2.2. Velocidad**

Es la relación entre la distancia recorrida y el tiempo en que tarda un vehículo en recorrer esa distancia. La velocidad está bajo el control del conductor y debe estar acorde con la velocidad que indican las señales de tránsito. Está relacionada directamente al tipo de carretera y estado de la misma, una carretera en buen estado y libre de tránsito proporciona una mayor velocidad y esto implica en ahorro de tiempo. Hay que tomar en cuenta que los vehículos actuales requieren mejores condiciones de carretera debido a que los diseños de estos han sobrepasado los límites permitidos.

### **2.3.2.3. Tránsito promedio diario**

El volumen de tránsito promedio diario es el parámetro que sirve para medir la demanda actual en las calles y carreteras, evaluar los flujos de tránsito respecto al sistema vial en estudio y localizar áreas donde se necesite construir nuevas vialidades o mejorar las existentes.

### **2.3.3. Parámetros internacionales de tránsito**

Estos parámetros se evalúan en muchos países de América para definir el diseño de una carretera o simplemente para evaluar la capacidad vial que posee una carretera en el aspecto del tránsito.

#### **2.3.3.1. Velocidad de punto**

La velocidad de punto es conocida como velocidad instantánea. Es la velocidad de un vehículo a su paso por un punto específico de una vía. Para su medición existen diferentes tipos de dispositivos de medición electrónicos y electromecánicos que facilitan la medición, como tubos neumáticos transversales, radares Doppler, enoscopios, etc.

#### **2.3.3.2. Velocidad media temporal**

Conocida como velocidad media-tiempo, es la media aritmética de la velocidad de todos los vehículos que pasan por un punto durante un intervalo de tiempo seleccionado.

Para datos de velocidades de punto no agrupados la velocidad media temporal se define como:



$$\bar{v}_t = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde

$\bar{v}_t$  Velocidad media temporal

$v_i$  Velocidad del vehículo

$N$  Número total de vehículos observados o tamaño de la muestra.

Para datos de velocidades de punto agrupados, la velocidad media temporal se define como:

$$\bar{v}_t = \frac{\sum_{i=1}^n (f_i v_i)}{n} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde

$n$  Número de grupos en análisis.

$f_i$  Número de vehículos en el grupo de velocidad  $i$ .

$v_i$  Velocidad de punto del grupo  $i$ .

### 2.3.3.3. La densidad

Es el número de vehículos que ocupan una longitud específica de una vía en un momento dado, por lo general se expresa en unidades de vehículos por kilómetro (veh/km). La expresión matemática que define la densidad es:

$$k = \frac{N}{d} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde

K            Densidad o concentración del tráfico (veh/km)

N            Número de vehículos (veh)

D            Distancia o longitud (km)

#### **2.3.3.4. Flujo vehicular de servicio**

El flujo vehicular de servicio para diseño es el máximo volumen de horario de tránsito que una carretera puede acomodar, sin que el grado de congestión alcance los niveles seleccionados por el diseñador. El congestiónamiento en una carretera no se refiere a la completa paralización de todo el movimiento vehicular. El congestiónamiento se inicia con la creciente interferencia o fricción entre los vehículos en la corriente del tránsito y empieza a perder su calidad de flujo libre.

#### **2.3.3.5. Capacidad y niveles de servicios**

La capacidad es el máximo número de vehículos que circula por una vía en un periodo determinado en las condiciones reales en que se encuentre la infraestructura vial; el tránsito crítico que se da en la hora pico. Refleja la habilidad de la vía para acomodar una corriente de movimiento de vehículos.

El nivel de servicio es una medida de calidad de fluidez. La capacidad y nivel de servicio estimados son necesarios para la mayoría de las decisiones y acciones en la ingeniería de tránsito.

Para evaluar el nivel de servicio de una carretera existen varios métodos, dependiendo de la situación en que se encuentre la carretera.

El Manual de Capacidad HCM 2000 presenta la metodología para evaluar la capacidad y el nivel de servicio de carreteras. Es el documento que se recomienda para realizar estudios de tránsito en un determinado sector.

El Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras indica que, para carreteras de dos vías, los valores básicos de la capacidad en condiciones ideales son descritos como sigue:

- Flujo ininterrumpido
- 3,60 m de ancho de carril
- 1,80 m de distancia mínima lateral (ancho de hombro)
- Sin vehículos pesados
- Velocidad de diseño mayor o igual 90 km/h
- Sin restricciones de la distancia de velocidad de rebase
- Sin interferencia de paso de peatones
- En ambas direcciones el tránsito se considera igual (50 %/50 %)

La clasificación de carreteras para efecto de cálculo de capacidad es la siguiente:

- Carreteras tipo I: la velocidad de circulación es el parámetro principal para evaluar capacidad. El nivel de servicio para carreteras de clase I está definido en términos del porcentaje de tiempo en seguir en la vía y el promedio de las velocidades de viaje.

Entre este tipo se incluyen:

- Vías principales
  - Tráfico de viajes al trabajo y ocio
  - Distancias largas de viaje
- 
- Carreteras tipo II: en este tipo de carretera la movilidad es menos crítica y el nivel de servicio está definido solo en términos del porcentaje del tiempo en permanecer en la vía, porque las carreteras usualmente sirven para viajes cortos con diferentes propósitos, entre este tipo se incluyen:
    - Accesos a carreteras tipo I
    - Carreteras turísticas y diferentes tipos de propósitos
    - Distancias cortas
- 
- Carreteras tipo III: el porcentaje de lograr la velocidad libre es el parámetro principal para evaluar la capacidad. Entre este tipo se incluyen:
    - Accesos a zonas en crecimiento
    - Carreteras de paso intermedio entre tipo I y tipo II
    - Distancias cortas, viajes de recreo.

El diseñador debe seleccionar el tipo de carretera que desea evaluar o diseñar acorde con su criterio.

El Manual de Capacidades de Carreteras HCM 2000 establece seis niveles de servicios. El nivel A se logra con un flujo totalmente libre, mientras que en el nivel de servicio F alcanza un flujo forzado que refleja condiciones de utilización a plena capacidad de la vía o de sus componentes esenciales, como por ejemplo las rampas y las secciones de entrecruzamientos.

El ingeniero diseñador debe elegir entre los extremos el nivel de servicio que mejor se adecua a la realidad del proyecto que desea desarrollar. El flujo vehicular de servicio para diseño debe ser mayor que el flujo de tránsito durante el período crítico de 15 minutos que genera mayor demanda durante la hora de diseño.

Tabla I. **Condiciones generales de operación para los niveles de servicio**

Nivel de servicio	Descripción
A	Flujo libre de vehículos, bajos volúmenes de tránsito y relativamente altas velocidades de operación (90 km/h o más), la demora de los conductores no es mayor del 35 % del total de tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 940 veh/h.
B	Flujo libre razonable, pero la velocidad empieza a ser restringida por las condiciones del tránsito (80 km/h). La demora de los conductores no es mayor del 50 % del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 780 veh/h.
C	Se mantiene en zona estable, pero muchos conductores empiezan a sentir restricciones en su libertad para seleccionar su propia velocidad (70 km/h). La demora de los conductores alcanza el 65 % del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 1 990 veh/h
D	Acercándose a flujo inestable, los conductores tienen poca libertad para maniobrar. La velocidad se mantiene alrededor de 60 km/h. La demora de los conductores es cercana al 80 % del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 1 830 veh/h
E	Flujo inestable, suceden pequeños embotellamientos. La velocidad cae hasta 40 km/h. La demora de los conductores es mayor al 80 % del total del tiempo de viaje.
F	Flujo forzado, condiciones de pare y siga, congestiónamiento de tránsito.

Fuente: SIECA. *Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carretera.* p

60

La AASHTO recomienda seleccionar los siguientes niveles de servicio en función de su tipología y las características del terreno.

Tabla II. **Nivel de servicio recomendado por la AASHTO**

Tipo de carretera	Tipo de Área y Nivel de Servicio Apropriado			
	Rural Plano	Rural Ondulado	Rural Montañoso	Urbano y Suburbano
Autopista	B	B	C	C
Arterial	B	B	C	C
Colectora	C	C	D	D
Locales	D	D	D	D

Fuente: AASHTO. *A Policy on Geometric Design of Rural Highways and streets*. p 85

### 2.3.3.6. Método HCM para determinar nivel de servicio de una carretera multicarril de dos vías

Procedimiento para determinar el nivel de servicio para carretera de dos carriles y dos vías.

- Paso 1. Determinar el factor de ajuste  $f_G$  debido a la pendiente para velocidad promedio de viaje.

Tabla III. **Factor de ajuste  $f_G$  para determinar la velocidad sobre segmentos de dos vías y direccionales**

EXHIBIT 20-7. GRADE ADJUSTMENT FACTOR ( $f_G$ ) TO DETERMINE SPEEDS ON TWO-WAY AND DIRECTIONAL SEGMENTS

Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
		Level	Rolling
0–600	0–300	1.00	0.71
> 600–1200	> 300–600	1.00	0.93
> 1200	> 600	1.00	0.99

Fuente: TRB. *Highway Capacity Manual HCM 2000*. p 20-7

En la tabla III se debe seleccionar el tipo de terreno, si es plano (*level*) u ondulado (*rolling*), y también seleccionar el flujo para las dos vías en vehículos por hora (*range of two-way Flow rates*) o solamente en la dirección de análisis (*range of directional Flow rates*) en vehículos por hora.

Pc/h = *Passenger car per hour* (carro de pasajero por hora)

- Paso 2. Cálculo del factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV}$  para velocidad promedio de viaje.

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

Donde

$P_T$  Proporción de camiones en el tránsito, en decimal.

$P_R$  Proporción de vehículos recreacionales en el tránsito, en decimal.

$E_T$  Equivalente al número de vehículos por camión, según la tabla IV.

$E_R$  Equivalente al número de vehículos por vehículo recreacional, según la tabla IV.

Para definir la proporción de tránsito de camiones en el tránsito ( $P_T$ ) es necesario sumar tráileres, buses y camiones.

Para definir la proporción de tránsito de vehículos recreacionales ( $P_R$ ) es necesario considerar únicamente vehículos tipo casa rodante; estos no tienen prisa de llegar a su destino y disfrutan el paisaje de las carreteras.



Tabla IV. **Equivalente al número de vehículos por camión y vehículo recreacional para determinar la velocidad**

EXHIBIT 20-9. PASSENGER-CAR EQUIVALENTS FOR TRUCKS AND RVs TO DETERMINE SPEEDS ON TWO-WAY AND DIRECTIONAL SEGMENTS

Vehicle Type	Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
			Level	Rolling
Trucks, $E_T$	0–600	0–300	1.7	2.5
	> 600–1,200	> 300–600	1.2	1.9
	> 1,200	> 600	1.1	1.5
RVs, $E_R$	0–600	0–300	1.0	1.1
	> 600–1,200	> 300–600	1.0	1.1
	> 1,200	> 600	1.0	1.1

Fuente: TRB. *Highway Capacity Manual HCM 2000*. p 20-8

Es necesario considerar el tipo de terreno, si es plano (*level*) u ondulado (*Rolling*), y se debe realizar la selección por tipo de vehículo, camiones (*truck*) y vehículos recreacionales (*RVs*). Siempre se debe revisar que se esté tomando el rango de flujo en una o las dos direcciones.

- Paso 3. Cálculo de la demanda de razón de flujo  $V_p$

$$V_p = \frac{V}{PHF * f_G * f_{HV}} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde

$V_p$       Equivalente de vehículos para la razón de flujo en un período pico de 15 minutos en la dirección de análisis, (veh/h).

$V$         Demanda del volumen para la hora pico en la dirección de análisis, (veh/h).

$PHF$  Factor de hora pico.

$f_G$  Factor de ajuste debido a la pendiente, calculado en paso 1.

$f_{HV}$  Factor de ajuste debido a los vehículos pesados según la ecuación 4.

El factor de hora pico  $PHF$  se puede calcular por medio de la expresión matemática

$$PHF = \frac{\text{Volumen horario}}{4 * (\text{Volumen 15 minutos punta})}$$

En zona urbana, generalmente el factor de hora pico; está comprendido entre 0,80 y 0,98. Los valores más bajos indican una mayor variabilidad del flujo en la hora en cuestión y los altos, una variación más atenuada. Los valores superiores a 0,95 generalmente denotan una limitación de la capacidad sobre la circulación en la hora punta.

El  $V_p$  es afectado por el factor de hora pico, gráficamente se puede demostrar que el valor de  $V_p$  es mayor que  $V$ , en la figura 2.



El HCM 2000 establece que para seguir con los demás pasos se debe comparar la tasa en la dirección de análisis con tasa en ambas direcciones de la manera siguiente:

El  $V_p$  debe ser menor que 3 200 pc/h y  $V_{pd}$  tiene que ser menor que 1700 pc/h. Si los resultados en ambos casos fueran mayores, el nivel de servicio es F.

- Paso 5. Calcular la velocidad de flujo libre FFS

$$FFS = S_{FM} + 0.0125 * \frac{V_f}{f_{HV}} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde

$FSS$  Velocidad estimada de flujo libre, (km/h).

$S_{FM}$  Velocidad principal del tránsito medida en campo, (Km/h).

$V_f$  Observación del volumen en el período en el cual se obtuvo la medición de campo, (veh/h).

$f_{HV}$  Factor de ajuste de vehículos pesados, determinando como se muestra en la ecuación 4.

$BFFS$  Velocidad base del flujo libre, (km/h).

$f_{LS}$  Ajuste debido al ancho de carril y al ancho del hombro según la tabla V.

$f_A$  Factor de ajuste para puntos de acceso, según la tabla VI.

Para determinar este valor se puede utilizar la ecuación 7 o la ecuación 8; la FFS puede estimarse indirectamente si la medida de campo no se puede realizar. Para carreteras de dos vías tiene un rango entre 70 y 110 km/h. Para estimarla el analista debe caracterizar las condiciones de operación de la carretera en términos de la velocidad base de flujo libre BFFS, que refleje el carácter del tránsito y el alineamiento de la carretera, de carreteras similares, de la velocidad de diseño de la carretera y de los límites de velocidad.

Para seleccionar el valor  $f_{LS}$  en la tabla V se considera el ancho del carril en metros (*Lane width*) y el ancho del hombro en metros (*Shoulder Width*).

Tabla V. **Ajuste debido al ancho de carril y al ancho del hombro  $f_{LS}$**

EXHIBIT 20-5. ADJUSTMENT ( $f_{LS}$ ) FOR LANE WIDTH AND SHOULDER WIDTH

Lane Width (m)	Reduction in FFS (km/h)			
	Shoulder Width (m)			
	$\geq 0.0 < 0.6$	$\geq 0.6 < 1.2$	$\geq 1.2 < 1.8$	$\geq 1.8$
2.7 < 3.0	10.3	7.7	5.6	3.5
$\geq 3.0 < 3.3$	8.5	5.9	3.8	1.7
$\geq 3.3 < 3.6$	7.5	4.9	2.8	0.7
$\geq 3.6$	6.8	4.2	2.1	0.0

Fuente: TRB. *Highway Capacity Manual HCM 2000*. p 20-6

Para seleccionar el valor  $f_A$  en la tabla VI se debe tener en cuenta la cantidad de bifurcaciones que se incorporan al tránsito en la dirección de análisis.

Tabla VI. **Ajuste debido a la cantidad de puntos de acceso  $f_A$**

EXHIBIT 20-6. ADJUSTMENT ( $f_A$ ) FOR ACCESS-POINT DENSITY

Access Points per km	Reduction in FFS (km/h)
0	0.0
6	4.0
12	8.0
18	12.0
$\geq 24$	16.0

Fuente: TRB. *Highway Capacity Manual HCM 2000*. p 20-6

- Paso 6. Cálculo de la velocidad promedio de viaje ATS.

$$ATS = FFS - 0,0125V_p - f_{np} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde

$V_p$             Equivalente de vehículos para la razón de flujo en un período pico de 15 minutos en la dirección de análisis, (pc/h).

$FFS$             Velocidad estimada de flujo libre, (km/h).

$ATS$             Velocidad promedio de viaje en ambas direcciones del análisis, (km/h).

$f_{np}$             Ajuste por porcentaje de zonas de “no rebasar”, se obtiene de la tabla VII.

El valor de la FFS es el valor calculado con las ecuaciones 7 y 8.

Con el fin de seleccionar el valor de ajuste para la velocidad promedio de viaje debido al porcentaje de zonas de no rebasar en la tabla VII, es necesario conocer el flujo vehicular en las dos direcciones (*Two-way demand Flow rate*) y el porcentaje de zonas de no rebasar (*No-Passing zones*) respecto al tramo en análisis.

Las zonas de no rebasar se identifican con la señalización de tránsito de línea continua al centro del segmento de carretera de dos vías.

Tabla VII. **Ajuste para la velocidad promedio de viaje  $f_{np}$  debido al porcentaje de zonas de no rebasar**

EXHIBIT 20-11. ADJUSTMENT ( $f_{np}$ ) FOR EFFECT OF NO-PASSING ZONES ON AVERAGE TRAVEL SPEED ON TWO-WAY SEGMENTS

Two-Way Demand Flow Rate, $v_p$ (pc/h)	Reduction in Average Travel Speed (km/h)					
	No-Passing Zones (%)					
	0	20	40	60	80	100
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
200	0.0	1.0	2.3	3.8	4.2	5.6
400	0.0	2.7	4.3	5.7	6.3	7.3
600	0.0	2.5	3.8	4.9	5.5	6.2
800	0.0	2.2	3.1	3.9	4.3	4.9
1000	0.0	1.8	2.5	3.2	3.6	4.2
1200	0.0	1.3	2.0	2.6	3.0	3.4
1400	0.0	0.9	1.4	1.9	2.3	2.7
1600	0.0	0.9	1.3	1.7	2.1	2.4
1800	0.0	0.8	1.1	1.6	1.8	2.1
2000	0.0	0.8	1.0	1.4	1.6	1.8
2200	0.0	0.8	1.0	1.4	1.5	1.7
2400	0.0	0.8	1.0	1.3	1.5	1.7
2600	0.0	0.8	1.0	1.3	1.4	1.6
2800	0.0	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4
3000	0.0	0.8	0.9	1.1	1.1	1.3
3200	0.0	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1

Fuente: TRB. *Highway Capacity Manual HCM 2000*. p 20-10

- Paso 7. Determinar el valor de ajuste por pendiente para el tiempo de seguir a la velocidad promedio de viaje  $f_G$

Tabla VIII. **Ajuste para determinar el tiempo de seguir en el segmento**

EXHIBIT 20-8. GRADE ADJUSTMENT FACTOR ( $f_G$ ) TO DETERMINE PERCENT TIME-SPENT-FOLLOWING ON TWO-WAY AND DIRECTIONAL SEGMENTS

Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
		Level	Rolling
0-600	0-300	1.00	0.77
> 600-1200	> 300-600	1.00	0.94
> 1200	> 600	1.00	1.00

Fuente: TRB. *Highway Capacity Manual HCM 2000*. p 20-7

El procedimiento para seleccionar el parámetro es el mismo que en el paso 1, solo que los valores son de la tabla VIII.

- Paso 8. Cálculo del factor de ajuste por vehículos pesados  $f_{HV}$ , para tiempo en seguir en el segmento.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(ER - 1)} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde

$P_T$  Proporción de camiones en el tránsito, en decimal.

$P_R$  Proporción de vehículos recreacionales en el tránsito, en decimal.

$E_T$  Equivalente al número de vehículos por camión, según tabla IX.



$E_R$  Equivalente al número de vehículos por vehículo recreacional, según tabla IX.

Tabla IX. **Equivalente al número de vehículos por camión y vehículo recreacional, para determinar el porcentaje de tiempo en seguir en el segmento**

EXHIBIT 20-10. PASSENGER-CAR EQUIVALENTS FOR TRUCKS AND RVs TO DETERMINE PERCENT TIME-SPENT-FOLLOWING ON TWO-WAY AND DIRECTIONAL SEGMENTS

Vehicle Type	Range of Two-Way Flow Rates (pc/h)	Range of Directional Flow Rates (pc/h)	Type of Terrain	
			Level	Rolling
Trucks, $E_T$	0-600	0-300	1.1	1.8
	> 600-1,200	> 300-600	1.1	1.5
	> 1,200	> 600	1.0	1.0
RVs, $E_R$	0-600	0-300	1.0	1.0
	> 600-1,200	> 300-600	1.0	1.0
	> 1,200	> 600	1.0	1.0

Fuente: TRB. *Highway Capacity Manual HCM 2000*. p 20-8

El procedimiento para el cálculo del factor es el mismo que en el paso 2 de este capítulo.

- Paso 9. Cálculo de la demanda de razón de flujo  $V_p$

$$V_p = \frac{v}{PHF * f_G * f_{HV}} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde

$V_p$  Equivalente de vehículos para la razón de flujo en un período pico de 15 minutos en la dirección de análisis (pc/h).

$V$	Demanda del volumen para la hora pico en la dirección de análisis (veh/h).
$PHF$	Factor de hora pico.
$f_G$	Factor de ajuste debido a la pendiente, según la tabla VIII.
$f_{HV}$	Factor de ajuste debido a los vehículos pesados según la ecuación 10.

El procedimiento es el mismo que en el paso 3, solo que con los valores de la tabla VIII.

Paso 10. Cálculo de la tasa en la dirección del análisis

$$V_{pd} = V_p * PF \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde

$V_p$	Equivalente de vehículos para la razón de flujo en un período pico de 15 minutos en la dirección de análisis (pc/h).
$V_{pd}$	Tasa en la dirección de análisis.
$PF$	Direccional del tránsito, en decimales.

El mismo procedimiento que en el paso 4, únicamente que con el resultado de la ecuación 11.

- Paso 11. Determinar el porcentaje base de tiempo utilizado en seguir en el segmento.

$$BPTSF=100(1-e^{-0.000879V_p}) \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde

*BPTSF* Porcentaje base de tiempo utilizado por un vehículo en seguir en la dirección de análisis, según ecuación 13.

*V<sub>p</sub>* Equivalente de vehículos para la razón de flujo en un período pico de 15 minutos en la dirección de análisis, pc/h.

- Paso 12 Determinar el porcentaje de tiempo en seguir un vehículo en la dirección de análisis.

$$PTSF=BPTSF+ f_{d/np} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde

*PTSF* Porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo en la dirección de análisis.

*BPTSF* Porcentaje base de tiempo utilizado en seguir un vehículo en la dirección de análisis, según ecuación 13.

*f<sub>d/np</sub>* Ajuste para el porcentaje de zonas de “no rebasar” en la dirección de análisis, se obtiene del cuadro X.

Tabla X. **Ajuste  $f_{np}$  para la velocidad promedio de viaje debido al porcentaje de zonas de no rebasar en segmento de dos direcciones**

EXHIBIT 20-11. ADJUSTMENT ( $f_{np}$ ) FOR EFFECT OF NO-PASSING ZONES ON AVERAGE TRAVEL SPEED ON TWO-WAY SEGMENTS

Two-Way Demand Flow Rate, $v_p$ (pc/h)	Reduction in Average Travel Speed (km/h)					
	No-Passing Zones (%)					
	0	20	40	60	80	100
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
200	0.0	1.0	2.3	3.8	4.2	5.6
400	0.0	2.7	4.3	5.7	6.3	7.3
600	0.0	2.5	3.8	4.9	5.5	6.2
800	0.0	2.2	3.1	3.9	4.3	4.9
1000	0.0	1.8	2.5	3.2	3.6	4.2
1200	0.0	1.3	2.0	2.6	3.0	3.4
1400	0.0	0.9	1.4	1.9	2.3	2.7
1600	0.0	0.9	1.3	1.7	2.1	2.4
1800	0.0	0.8	1.1	1.6	1.8	2.1
2000	0.0	0.8	1.0	1.4	1.6	1.8
2200	0.0	0.8	1.0	1.4	1.5	1.7
2400	0.0	0.8	1.0	1.3	1.5	1.7
2600	0.0	0.8	1.0	1.3	1.4	1.6
2800	0.0	0.8	1.0	1.2	1.3	1.4
3000	0.0	0.8	0.9	1.1	1.1	1.3
3200	0.0	0.8	0.9	1.0	1.0	1.1

Fuente: TRB. *Highway Capacity Manual HCM 2000*. p 20-10

Para seleccionar los valores de la tabla X se debe tomar en cuenta el porcentaje de zonas de no rebasar (*No-passing zones*) y la tasa de demanda en dos vías (*Two-way Demand Flow Rate*).

### 2.3.3.7. Determinar el nivel de servicio

Para determinar el nivel de servicio primero se debe definir el tipo de carretera que se evaluará.

Para carreteras de tipo I el Manual de Capacidad HCM 2000 propone los siguientes criterios por tomar en cuenta.

Tabla XI. **Criterio para nivel de servicio tipo I**

EXHIBIT 20-2. LOS CRITERIA FOR TWO-LANE HIGHWAYS IN CLASS I

LOS	Percent Time-Spent-Following	Average Travel Speed (km/h)
A	≤ 35	> 90
B	> 35–50	> 80–90
C	> 50–65	> 70–80
D	> 65–80	> 60–70
E	> 80	≤ 60

Note:  
LOS F applies whenever the flow rate exceeds the segment capacity.

Fuente: TRB. *Highway Capacity Manual HCM 2000*. p 20-3

Para definir el nivel de servicio de una carretera tipo I, es necesario calcular el porcentaje de tiempo que un vehículo permanece en el segmento (*Percent Time-Spent-Following, BTSF*) y la velocidad promedio de viaje (*Average Travel Speed, ATS*). El nivel de servicio F aplica cuando el flujo vehicular excede la capacidad del segmento.

Para evaluar carreteras tipo II, el HCM propone los siguientes criterios:

Tabla XII. **Criterio para nivel de servicio tipo II**

EXHIBIT 20-4. LOS CRITERIA FOR TWO-LANE HIGHWAYS IN CLASS II

LOS	Percent Time-Spent-Following
A	≤ 40
B	> 40–55
C	> 55–70
D	> 70–85
E	> 85

Note:  
LOS F applies whenever the flow rate exceeds the segment capacity.

Fuente: TRB. *Highway Capacity Manual HCM 2000*. p 20-4

Para este tipo de carretera se evalúa solo con el valor del porcentaje de tiempo en seguir en el segmento (*Percent Time-Spent-Following, BTSF*)

El nivel de servicio F se alcanza cuando el flujo de tránsito excede la capacidad de la carretera.

## **2.4. Pasos a desnivel**

En las carreteras existe la necesidad de permitir el cruzamiento de los diferentes medios de transporte por diferentes necesidades. Dependiendo de la ubicación de los cruzamientos se requiere de un estudio que considere las características particulares de cada caso, con el objetivo de definir el tipo de obra conveniente y controlar la intersección de manera que se obtengan condiciones de seguridad, tanto para el usuario que lleva la vía como también para el que lo cruza.

El paso a desnivel es el cruzamiento a diferente elevación de una carretera, que tiene por objeto permitir el tránsito simultáneo sin detenerse el tránsito en ninguna vía, lo que se logra por medio de estructuras viales.

### **2.4.1. Tipos de pasos a desnivel**

Los pasos a desnivel pueden ser de dos tipos:

- Pasos superiores, son aquellos en que el camino pasa arriba de otra vía de comunicación terrestre.
- Pasos inferiores, que son aquellos en que el camino pasa debajo de otra vía de comunicación terrestre.

La estructura de separación de niveles debe adaptarse a los lineamientos horizontal y vertical del diseño de una carretera, así como a la sección transversal de las vías que se cruzan, puesto que la estructura debe adaptarse al camino y no el camino a la estructura vial.

En la consideración de un paso a desnivel se debe tomar en cuenta la topografía dado a que es predominante y el proyecto debe adaptarse a ella. Los alineamientos vertical y horizontal son lo suficiente importantes para no subordinarlos y elegir una topografía adecuada.

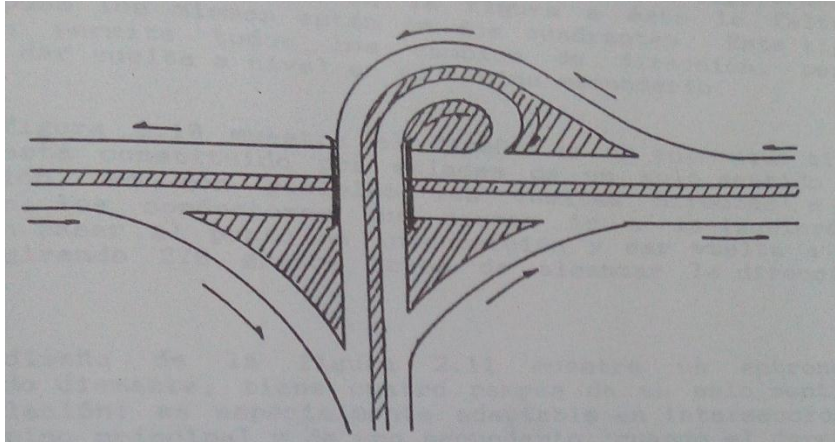
#### **2.4.2. Tipo de intersecciones a desnivel**

El tipo de una intersección a desnivel está determinado principalmente por el número de ramas que se involucran y los volúmenes probables del tránsito directo.

Las intersecciones se designan de acuerdo con la forma que adoptan.

La figura 3 muestra un diseño de un entronque de tres ramas y cuatro enlaces adaptables a intersecciones en "T"; por la forma que presenta se acostumbra llamarlo trompeta.

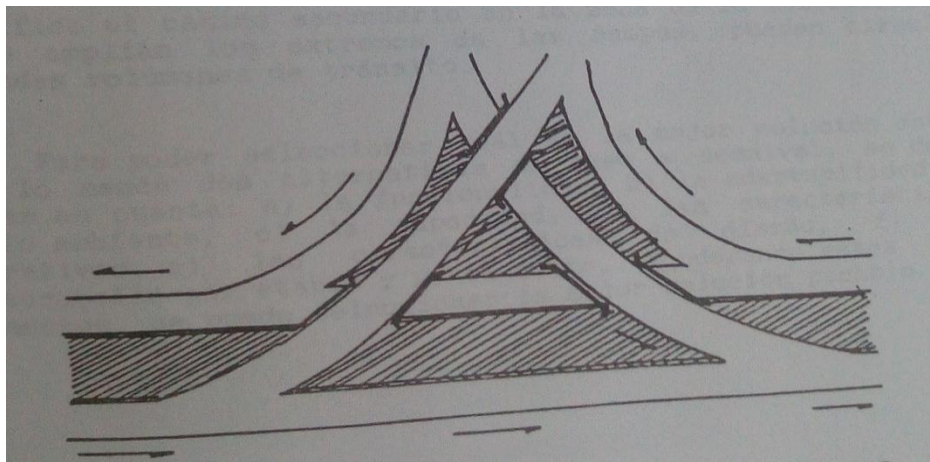
Figura 3. **Intersección tipo trompeta**



Fuente: DUBÓN, Jorge. *Tesis paso a desnivel intersección CA. 1 OCC R-N. 14.* p 10.

En la figura 3 se puede apreciar un diseño de un entronque adaptable a una intersección en "Y". Se le llama direccional, debido a que su forma permite que los tránsitos principales efectúen sus movimientos en forma directa.

Figura 4. **Direccional**

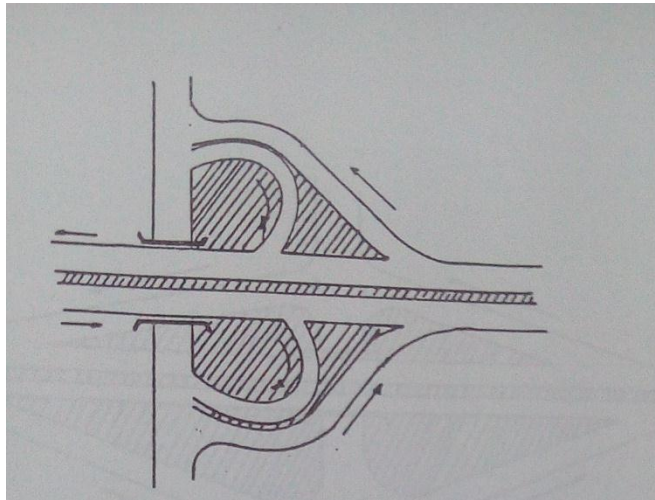


Fuente: DUBON, Jorge. *Tesis paso a desnivel intersección CA. 1 OCC R-N. 14.* p 10.



En la figura 5 se muestra un entronque tipo trébol parcial; le faltan enlaces pues están en dos cuadrantes. Este tipo de diseño permite todos los cambios de dirección, pero necesita dar vuelta a nivel en el camino secundario.

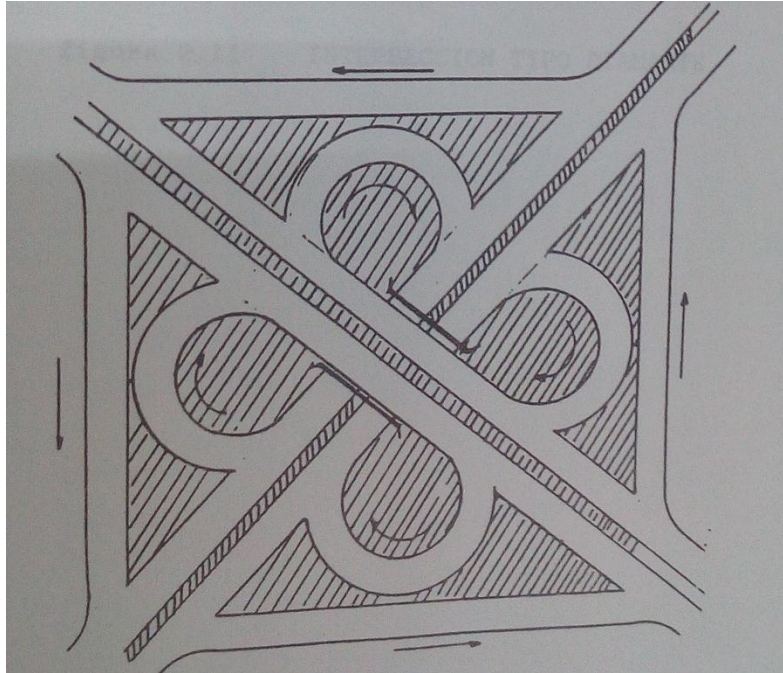
Figura 5. **Intersección tipo trébol parcial.**



Fuente: DUBÓN, Jorge. *Tesis paso a desnivel intersección CA. 1 OCC R-N. 14.* p 11.

En la figura 6 se modela un entronque tipo trébol, pero en este caso son cuatro las curvas, está constituido por enlaces de un solo sentido de circulación. No se puede dar vueltas directas a la izquierda; los conductores que deben ir a la izquierda necesitan pasar al punto de intersección y dar vuelta hacia la derecha y girar 270 grados antes de alcanzar la dirección deseada.

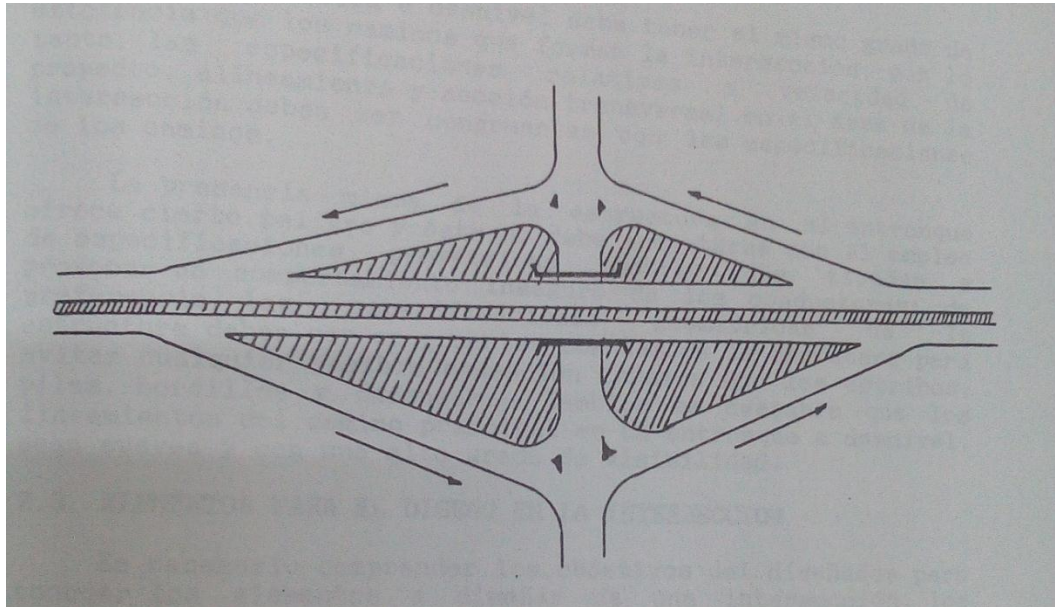
Figura 6. **Intersección tipo trébol**



Fuente: DUBÓN, Jorge. *Tesis paso a desnivel intersección CA. 1 OCC R-N. 14.* p 11.

El entronque tipo diamante tiene cuatro rampas de un solo sentido de circulación. Es especialmente adaptable en intersecciones de un camino principal y de uno secundario cuando el derecho de vía está restringido. Las rampas generales están alargadas en el sentido del camino principal. Los extremos de las rampas en el sentido secundario forman un entronque a nivel en “Y” o en “T”.

Figura 7. **Intersección tipo diamante**



Fuente: DUBÓN, Jorge. *Tesis paso a desnivel intersección CA. 1 OCC R-N. 14.* p 12.

### **2.4.3. Beneficios de un paso a desnivel en el tránsito**

Una obra vial a desnivel es importante para permitir el paso ininterrumpido de una o varias vías con necesidad de cruzarse entre sí. Uno de los mayores beneficios es el tiempo para viajar, el ahorro de combustibles; la seguridad vial también se ve afectada de manera positiva.

A diferencia de los semáforos y otras señalizaciones viales de intersección, los pasos a desnivel son obras que requieren de mucho recurso económico para su construcción, pero el alcance positivo que puede tener es significativo en relación al tránsito.

#### **2.4.4. Dimensiones de pasos a desnivel**

Las dimensiones de un paso a desnivel pueden variar dependiendo del tipo de intersección que se desee diseñar. Existen muchos factores que no permiten estandarizar las dimensiones de un paso a desnivel, como el tránsito vehicular por beneficiar en todos los sentidos, la cantidad de vías que se cruzará en el punto de su construcción, las orientaciones en que se encuentren actualmente las vías, como también la disposición del área para realizar la obra civil. La topografía es un factor importante al momento de definir las dimensiones del paso a desnivel.

Es difícil establecer dimensiones de pasos a desnivel porque las mismas obedecen a muchos factores; lo que en Guatemala se hace es diseñar con base en el diseño geométrico de una carretera.

#### **2.5. Rotondas**

Son estructuras de una carretera construidas con el objetivo principal de ordenar el tránsito vehicular en una intersección. Existen tipos de rotondas para satisfacer diferentes requerimientos de intersecciones, los cuales son relativamente económicos comparados con la construcción de un paso a desnivel.

##### **2.5.1. Elementos básicos de una rotonda**

La rotonda cuenta con los siguientes elementos básicos:

- Una isleta central, cuyo radio debe corresponder a una velocidad de diseño; por ejemplo, para una velocidad de proyecto de 60 kilómetros por hora se requiere un radio mínimo de 113 metros que describe la orilla interior de la calzada.
- La calzada de la rotonda, que tiene un solo sentido de circulación alrededor de la glorieta central.
- Las entradas y salidas de la rotonda, que para operar con eficiencia y seguridad deben alcanzar velocidades equiparables a las de la propia rotonda.
- Las islas canalizadoras, que dividen los accesos para formar las entradas y salidas a los mismos.

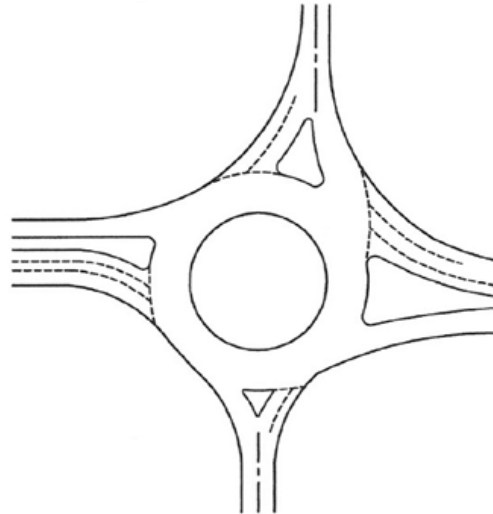
## **2.5.2. Tipos de rotondas**

Existen diferentes tipos de rotondas que satisfacen diferentes necesidades para lo cual se clasifican en:

### **2.5.2.1. Rotonda normal**

Compuesta de cuatro accesos con entradas ensanchadas, para permitir que entren como máximo tres vehículos al mismo tiempo, con una franja asfáltica alrededor de una isla central circular de diferente diámetro, en concordancia con los volúmenes de tránsito.

Figura 8. **Rotonda normal**



Fuente: SIECA. *Manual centroamericano de normas para el diseño geométricos de carretera.* p 216

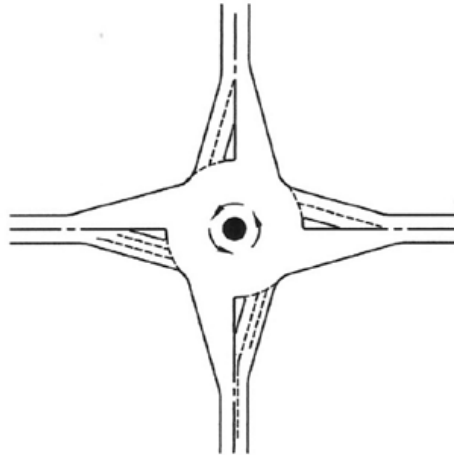
### 2.5.2.2. **Minirrotonda**

Tiene ensanchamiento en los accesos y una pequeña isleta al centro. En algunos países del mundo con alto nivel de educación vial ha dado buenos resultados, al permitir un volumen total de tránsito en la intersección de unos 7 000 vehículos por hora.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> SIECA. *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras.* p 216

Figura 9. **Minirrotonda**



Fuente: SIECA. *Manual centroamericano de normas para el diseño geométricos de carretera.* p

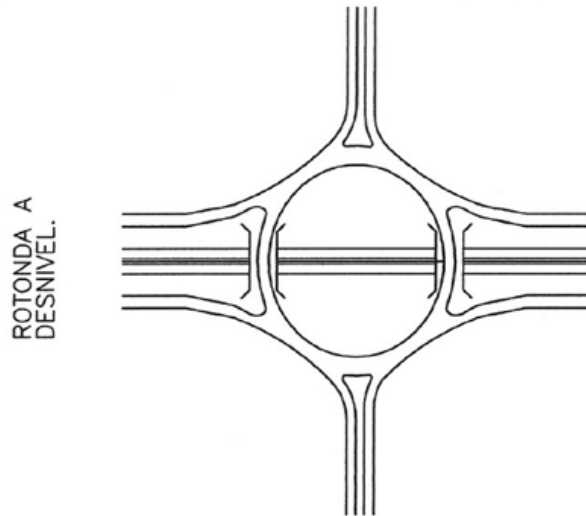
216

### **2.5.2.3. Rotonda a desnivel**

Tiene dos puentes que permiten el tránsito ininterrumpido de los vehículos en maniobras de cruce de la corriente principal, mientras que en la parte superior se mueven también elevados volúmenes de tránsito correspondientes al balance de tránsito total. Operan bajo el régimen de circulación en el sentido opuesto a las manecillas del reloj, típico de las rotondas.

Estas rotondas permiten también segregar físicamente el tránsito que realiza maniobras de giro a la derecha en los accesos, para incrementar la capacidad en la solución opuesta.

Figura 10. **Rotonda a desnivel**



Fuente: SIECA. *Manual centroamericano de normas para el diseño geométricos de carreteras.*

p 216

### **2.5.3. Beneficio de las rotondas en el tránsito**

Sirven para la transición entre distintos tipos de flujos vehiculares urbanos e interurbanos, al conseguir la reducción de velocidad en la entrada y salida del tránsito en los diferentes accesos.

Los vehículos deben transitar a una velocidad uniforme para incorporarse, entrecruzarse y salir de la corriente de tránsito sin serios conflictos.



Son aplicables cuando los volúmenes de tránsito que llegan a la intersección alcanzan unos 60000 vehículos por día o 6000 por hora en la hora pico, tomando en cuenta siempre que la proporción de tránsito en las entradas sea equilibrada. El volumen total de las ramas no norma el diseño; su capacidad se rige más bien por el tránsito principal y por el que se entrecruza en el sitio crítico de confluencia de la rotonda.<sup>4</sup>

Las rotondas funcionan mejor en sitios con tránsito peatonal escaso.

Desde el punto de vista de su localización, ofrece ventajas de visibilidad a los conductores, cuando estas garantizan una visión segura en sus aproximaciones y dentro de la isleta central.

---

<sup>4</sup> SIECA. *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras*. p 216.



### **3. RECOLECCIÓN DE DATOS**

Los datos son obtenidos por medio de aforo vehicular y a través de la municipalidad de Guatemala.

#### **3.1. Tránsito promedio diario**

Sirve para determinar la cantidad y cualidad de los vehículos que circulan en una carretera. Para conocerlo es necesario realizar un aforo vehicular en el punto de estudio.

##### **3.1.1. Tipos de vehículos que circulan por el sector**

En el sector de Cayalá transitan diferentes medios de transporte. En horarios de la mañana no está permitida la circulación del transporte pesado por ser una vía que conduce al centro de la ciudad. La Municipalidad de Guatemala prohíbe la circulación del transporte pesado en horas de la mañana y en horas de la tarde, con base en el acuerdo COM 005-07 en su artículo 5, el cual indica que se restringe la circulación de vehículos pesados y especiales de lunes a viernes en horario de 5:30 a 9:00 am. Se define como vehículo pesado el que tiene más de 3,5 toneladas métricas de peso bruto máximo.

##### **3.1.2. Recolección de datos en el sector**

Los datos recopilados en el aforo vehicular realizado en enero y febrero de 2018 son los siguientes.

Tabla XIII. **Datos recabados en el aforo vehicular realizado en esta investigación**

Aforo vehicular realizado en esta investigación por tipo de vehículo						
Horario	Livianos	Camiones	Motocicletas	Buses	Tráileres	Totales de conteo propio
6:00 a 7:00	3 920	6	400	77	0	4 403
7:00 a 8:00	3 874	12	476	38	0	4 400
8:00 a 9:00	3 888	42	536	15	0	4 481
9:00 a 10:00	3 464	124	450	10	32	4 080
10:00 a 11:00	3 701	140	519	17	18	4 395
11:00 a 12:00	3 557	110	542	15	14	4 238
12:00 a 13:00	3 941	101	532	21	11	4 606
13:00 a 14:00	4 451	81	466	38	13	5 049
14:00 a 15:00	5 260	109	532	137	17	6 055
15:00 a 16:00	5 226	60	578	56	15	5 935
16:00 a 17:00	4 995	56	711	38	4	5 804
17:00 a 18:00	5 033	12	948	31	0	6 024

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala

Estos datos fueron proporcionados por la Municipalidad de Guatemala. Muestran cómo era el tránsito vehicular en el punto de estudio antes de la construcción del paso a desnivel Madre Teresa de Calcuta.

Tabla XIV. **Datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala del año 2015**

Hora	Livianos	Bus	Camiones	Tráileres	Motos	Total
6:00 a 7:00	3 487	59	47	0	387	3 980
7:00 a 8:00	2 416	34	14	1	419	2 884
8:00 a 9:00	3 103	29	61	0	297	3 490
9:00 a 10:00	2 394	4	117	23	222	2 760
10:00 a 11:00	2 286	8	124	20	228	2 666
11:00 a 12:00	2 290	5	122	10	243	2 670
Total, mañana	15 976	139	485	54	1 786	18 450
12:00 a 13:00	3 093	35	90	20	227	3 465
13:00 a 14:00	2 979	33	77	10	10	153
14:00 a 15:00	2 981	66	106	16	230	3 399
Total, hora valle	9 053	134	273	46	610	10 116

Continuación tabla XIV.

15:00 a 16:00	3 206	24	116	16	214	3 576
16:00 a 17:00	3 778	44	64	8	303	4 197
17:00 a 18:00	3 765	14	21	0	436	4 236
18:00 a 19:00	3 548	7	29	0	365	3 949
19:00 a 20:00	3 601	4	28	0	366	3 999
Total, tarde	17 989	93	258	24	1 684	19 957
Total, todo el día	42 927	366	1 016	124	4 090	485 23

Fuente: datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala Resolución No. UDI 2618-201.

### 3.3. Parque vehicular, Instituto Nacional de Estadística (INE)

Indica la cantidad y tipo de vehículos inscritos anualmente en la SAT que cuentan con permiso para transitar en todo el territorio de Guatemala.

Tabla XV. **Parque vehicular, según tipo. Año 2012**

Tipo	Cantidad de vehículos
Autobuses, buses y microbuses	99 579
Automóviles	576 821
Camiones, cabezales y transportes de carga	131 738
Camionetas, camionetillas y paneles	261 836
Carretas, carretones, remolques, etc.	6 411
Furgones y plataformas	20 144
Grúas	712
Jeep	20 700
Motocicletas	756 438
Otros	8 289
Picops	505 576
Tractores y microtractores	996

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

Tabla XVI. **Parque vehicular, según tipo. Año 2013**

Tipo	Cantidad de vehículos
Autobuses, buses y microbuses	101 623
Automóviles	601 343
Camiones, cabezales y transportes de carga	135 843
Camionetas, camionetillas y paneles	277 340
Carretas, carretones, remolques, etc.	7 459
Furgones y plataformas	22 309
Grúas	775
Jeep	20 817
Motocicletas	863 991
Otros	8 828
Picops	521 603
Tractores y microtractores	994

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

**Tabla XVII. Parque vehicular, según tipo. Año 2014**

Tipo	Cantidad de vehículos
Autobuses, buses y microbuses	103 914
Automóviles	632 425
Camiones, cabezales y transportes de carga	139 665
Camionetas, camionetillas y paneles	299 347
Carretas, carretones, remolques, etc.	8 369
Furgones y plataformas	23 538
Grúas	842
Jeep	20 987
Motocicletas	963 859
Otros	9 457
Picops	535 511
Tractores y microtractores	1 011

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

**Tabla XVIII. Parque vehicular, según tipo. Año 2015**

Tipo	Cantidad de vehículos
Autobuses, buses y microbuses	107 931
Automóviles	675 615
Camiones, cabezales y transportes de carga	145 681
Camionetas, camionetillas y paneles	332 441
Carretas, carretones, remolques, etc.	9 084
Furgones y plataformas	24 480
Grúas	907
Jeep	21 129
Motocicletas	1 087 834
Otros	10 202
Picops	554 351
Tractores y microtractores	1 023

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).



Tabla XIX. **Parque vehicular, según tipo. Año 2016**

<b>Tipo</b>	<b>Cantidad de vehículos</b>
Autobuses, buses y microbuses	113 448
Automóviles	727 291
Camiones, cabezales y transportes de carga	153 443
Camionetas, camionetillas y paneles	378 302
Carretas, carretones, remolques, etc.	9 615
Furgones y plataformas	26 649
Grúas	1 030
Jeep	21 283
Motocicletas	1 227 879
Otros	10 846
Picops	579 399
Tractores y microtractores	1 009

Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).



## 4. ANÁLISIS DE DATOS

Los resultados son analizados basados en los criterios del HCM.

### 4.1. Tendencias de crecimiento del tránsito

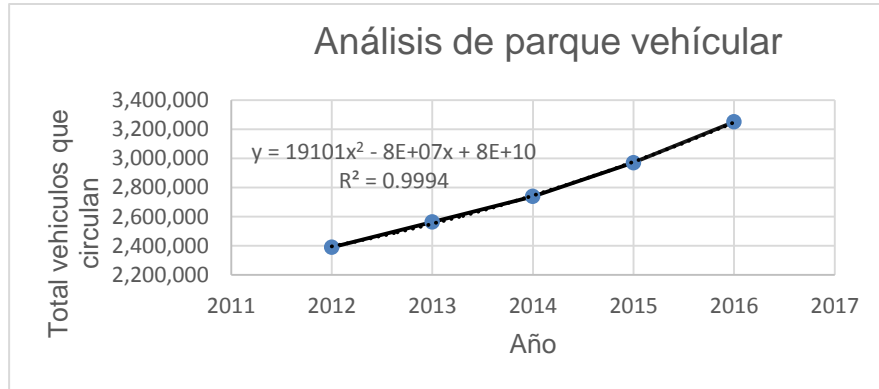
Los datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística (INE) proporcionan información de cómo se ha incrementado el tránsito en Guatemala.

Tabla XX. **Total por año del parque vehicular en Guatemala**

Año	Totales
2012	2 389 240
2013	2 562 925
2014	2 738 925
2015	2 970 678
2016	3 250 194

Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Gráfica del comportamiento del parque vehicular en Guatemala**

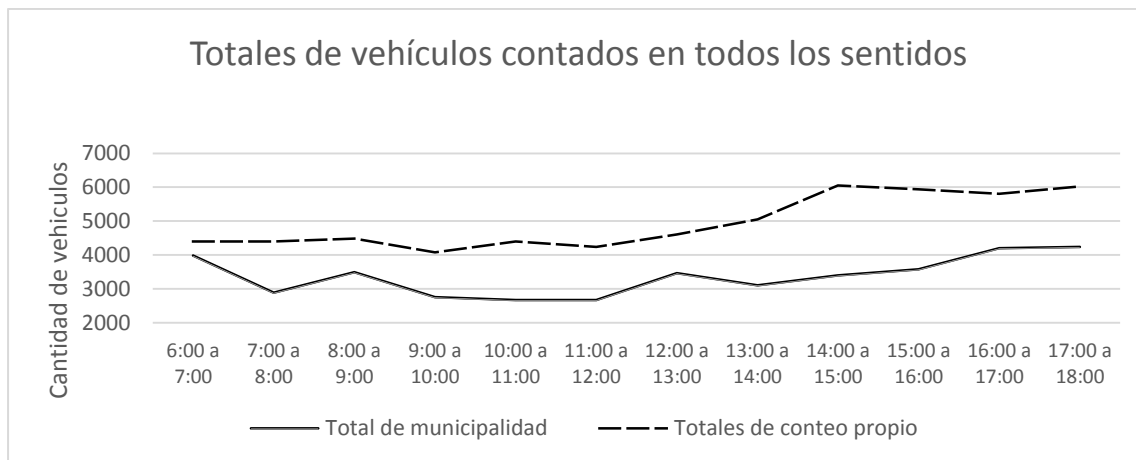


Fuente: elaboración propia.

#### 4.2. Comparación de los datos encontrados en el aforo vehicular, con los datos utilizados en el diseño

La figura 12 muestra datos de aforo municipal y de conteo propio.

Figura 12. **Comparación de datos del aforo vehicular**



Fuente: elaboración propia.

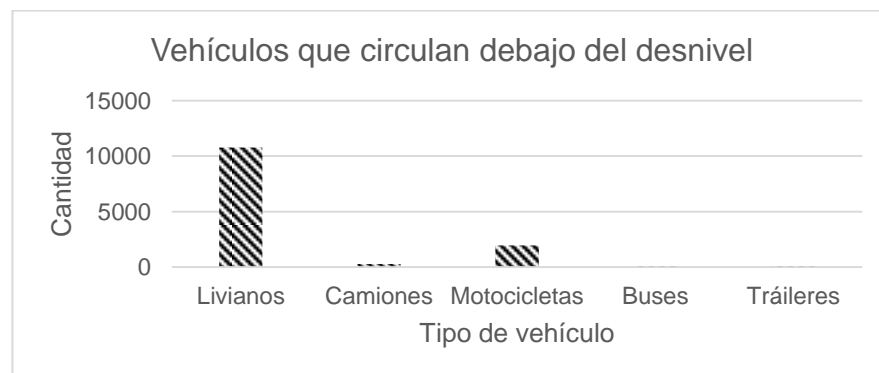
Al comparar los datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala con los encontrados en el aforo que se realizó en el sector en los meses de enero y febrero de 2018, cuando iniciaban las clases en las escuelas y colegios de la ciudad capital de Guatemala, se puede diferenciar el crecimiento vehicular que ha sufrido el parque vehicular.

Tabla XXI. **Vehículos que circulan debajo del desnivel en un día**

Cantidad de vehículos que circulan debajo del desnivel	
Tipo	Cantidad
Livianos	10 783
Camiones	304
Motocicletas	1954
Buses	104
Tráileres	80
Total	13 225

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Gráficas totales, vehículos en paso a desnivel**



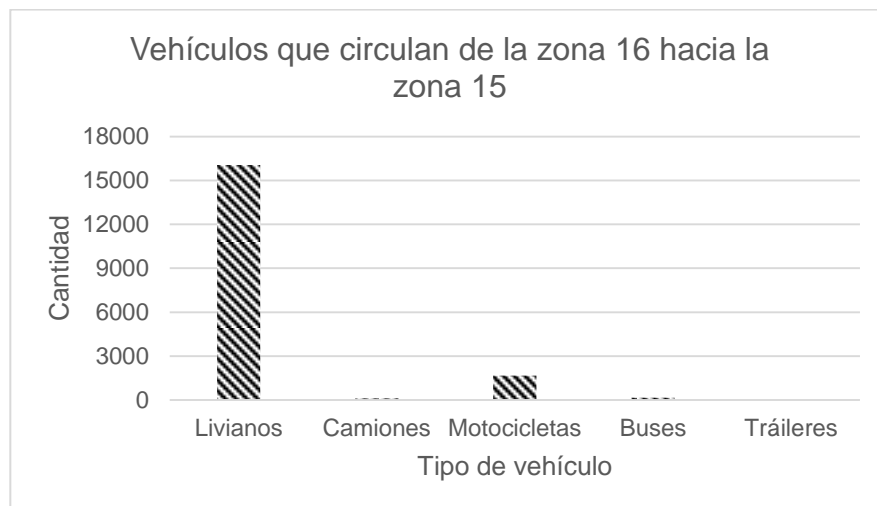
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Vehículos que circulan de la zona 16 hacia la zona 15 en un día**

Cantidad de vehículos que circulan de la zona 16 hacia la zona 15	
Tipo	Cantidad
Livianos	16 051
Camiones	121
Motocicletas	1 671
Buses	150
Tráileres	10
<b>Total</b>	<b>18 003</b>

Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Gráfica totales vehículos de zona 16 hacia la zona 15**



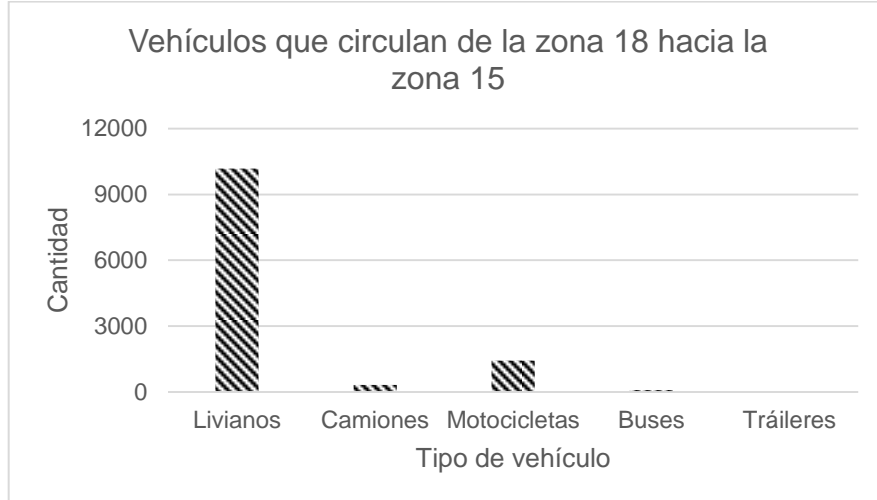
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. **Vehículos que circulan de la zona 18 hacia la zona 15 en un día**

Cantidad de vehículos que circulan de la zona 18 hacia la zona 15	
Tipo	Cantidad
Livianos	10 180
Camiones	317
Motocicletas	1 435
Buses	88
Tráileres	22
Total	12 042

Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Gráfica totales vehículos de la zona 18 hacia la zona 15**



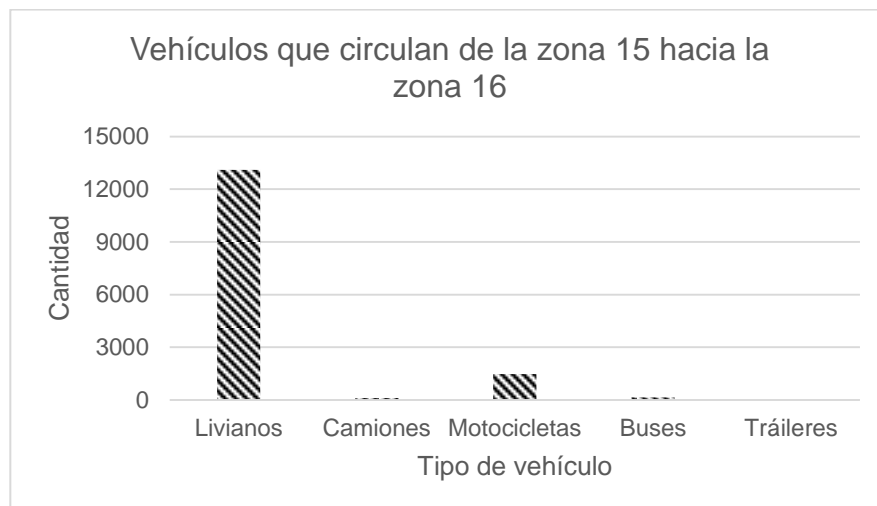
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Vehículos que circulan de la zona 15 hacia la zona 16 en un día**

Cantidad de vehículos que circulan de la zona 15 hacia la zona 16	
Tipo	Cantidad
Livianos	13 098
Camiones	111
Motocicletas	1 484
Buses	150
Tráileres	12
<b>Total</b>	<b>14 855</b>

Fuente: elaboración propia.

Figura 16. **Gráfica totales vehículos de la zona 15 hacia la zona 16**



Fuente: elaboración propia.

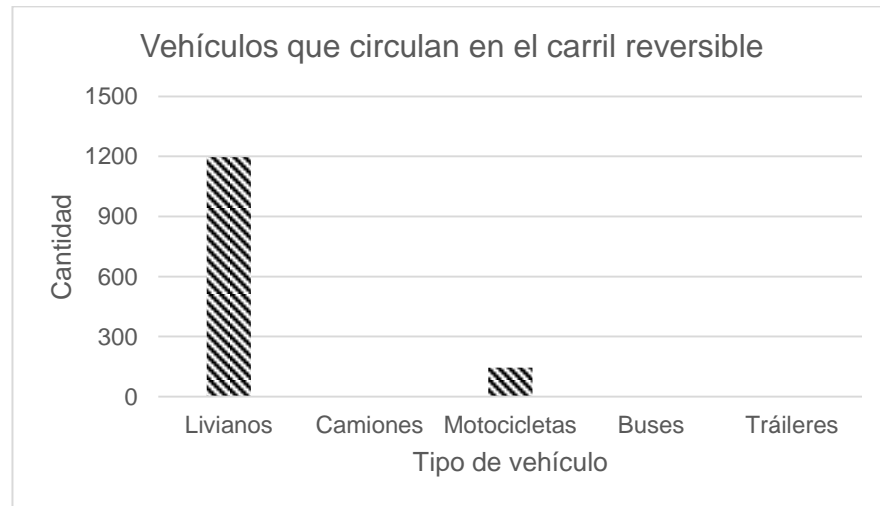


Tabla XXV. **Vehículos que circulan en el carril reversible en un día**

Cantidad de vehículos que circulan en el carril reversible	
Tipo	Cantidad
Livianos	1 198
Camiones	0
Motocicletas	146
Buses	1
Tráileres	0
Total	1 345

Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Gráfica totales vehículos en carril reversible en un día**



Fuente: elaboración propia.

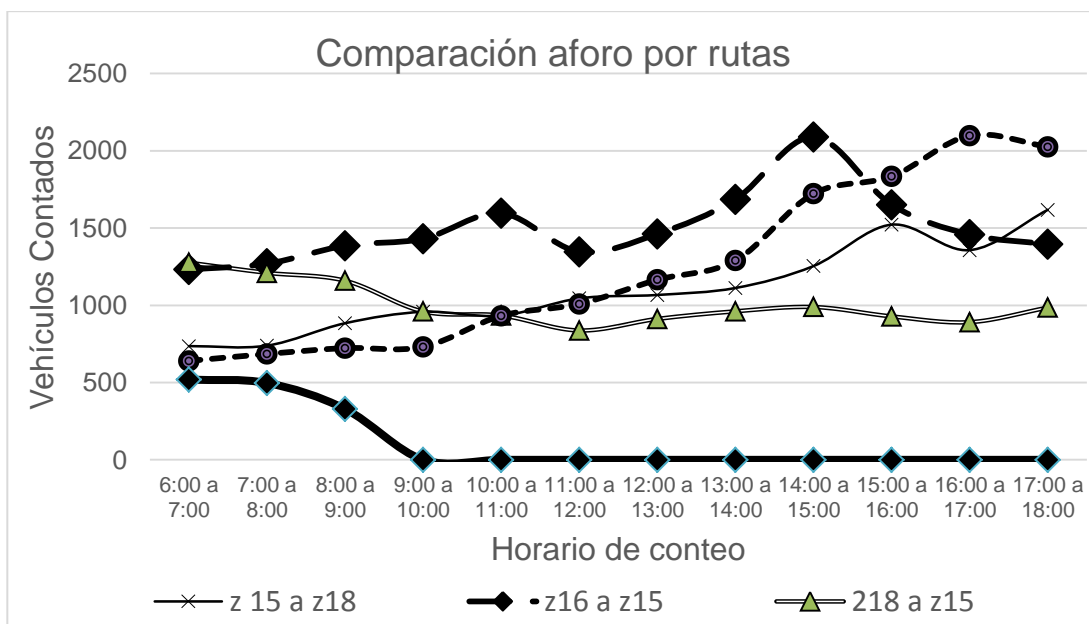
Debido al problema del tránsito que se da en horas de la mañana, se habilita un carril reversible de 6:00 a 9:00 hrs, con el fin de agilizar el tránsito hacia la zona 15. Este carril se habilita frente al centro comercial Cayalá y se incorpora al Colegio Americano de Guatemala.

Tabla XXVI. Comparación de aforos vehiculares realizados en el sector

Comparación aforos de rutas						
Horario	z 15 a z18	z16 a z15	z18 a z15	z15 a z16	Reversible	Totales
6:00 a 7:00	736	1232	1276	640	519	4 403
7:00 a 8:00	739	1 269	1 210	685	497	4 400
8:00 a 9:00	884	1 386	1 159	723	329	4 481
9:00 a 10:00	958	1 431	960	731	0	4 080
10:00 a 11:00	933	1 596	934	932	0	4 395
11:00 a 12:00	1 045	1 347	837	1 009	0	4 238
12:00 a 13:00	1 067	1 462	912	1 165	0	4 606
13:00 a 14:00	1 112	1 686	961	1 290	0	5 049
14:00 a 15:00	1 254	2 090	989	1 722	0	6 055
15:00 a 16:00	1 522	1 651	928	1 834	0	5 935
16:00 a 17:00	1 357	1 458	891	2 098	0	5 804
17:00 a 18:00	1 618	1 395	985	2 026	0	6 024

Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Gráfica de comparación de aforo vehicular



Fuente: elaboración propia.

En la tabla XXVI se muestra el total de vehículos por cada ruta en que se realizó el conteo vehicular para determinar el nivel de servicio.

En la figura 18 se muestra el comportamiento del tránsito de los puntos en estudio. Se nota que de la zona 15 a la 16 se genera mayor afluencia vehicular, pero no genera congestión. Se observa también que en el paso a desnivel circulan mayor cantidad de vehículos en la tarde, principalmente de 17:00 a 18:00 horas, y se determinan velocidades alrededor de 40 a 50 km/h.

Figura 19. Puntos de aforo vehicular



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)

En la figura 19 se observa los puntos de conteo vehicular; en el punto “z”, se cuentan los vehículos que circulan de la zona 15 hacia la zona 16; en el punto “x” se cuentan los vehículos que van de la zona 15 y se dirigen a la zona 18 y pasan debajo del desnivel; en el punto “y” se cuentan los vehículos que circulan de la zona 16 hacia la zona 15 que pasan sobre del desnivel por medio de la rotonda; en el punto “w” se cuentan los vehículos que circulan de la zona 18 hacia la zona 15 (fotografías en anexo 3).

### **4.3. Modelos matemáticos**

Los modelos matemáticos son basados en el HCM 2000 que describen la capacidad vial y el nivel de servicio que una carretera es capaz de proveer al tránsito.

Para definir los modelos matemáticos por utilizar se analizaron las carreteras involucradas con el paso a desnivel y se optó por tomar las expresiones matemáticas que mejor se acoplen al análisis.

Las expresiones matemáticas que se utilizan para analizar carreteras urbanas no se tomaron en cuenta debido a que el Manual HCM 2000 indica que las características que solicita un estudio de área urbana se definen por semáforos, señalización de altos, tramos cortos, etc. La carretera se analiza siguiendo las metodologías de carretera de tránsito ininterrumpido, más apegado al análisis rural. La clasificación de la carretera es de tipo II, por las características que tiene el tramo; por ende, las expresiones matemáticas son utilizadas según el manual de evaluación de nivel de servicio HCM 2000.

#### **4.4. Proyección preliminar**

El análisis preliminar hecho a simple inspección sobre la carretera que se dirige de la zona 16 a la zona 15 indica que el problema de tránsito es bastante pronunciado en horas pico. Regularmente se origina por las mañanas; se piensa que el congestionamiento vial lo ha causado la construcción del paso a desnivel y que la obra civil debería estar construida en la dirección de la zona 16 a la zona 15; esto, aparentemente, proporcionaría un mayor nivel de servicio a esa carretera. (Ver figura 20)

#### **4.5. Evaluación de los parámetros de tránsito**

En el paso a desnivel Madre Teresa de Calcuta en Cayalá, zona 16, construido recientemente, se desea conocer los niveles de servicio que presta en concepto del tránsito. Para evaluar el nivel de servicio se utiliza el método que ofrece el HCM 2000.

La evaluación se realiza con la situación actual del paso a desnivel; para este caso, debemos conocer los aspectos de tránsito actuales del proyecto en estudio.

El paso a desnivel es la intersección de tres tramos principales, los cuales se evalúan independientemente en la hora de mayor demanda, como se muestra en la figura 20.

Figura 20. Croquis paso a desnivel por tramos



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD

#### 4.5.1. Nivel de servicio que presta el tramo 1

El tramo 1 se considera de tramo corto y la velocidad no es el parámetro fundamental por evaluar en el nivel de servicio. Además, es el tramo de carretera en donde se encuentra implicado el paso a desnivel Madre Teresa de Calcuta; por esta razón se evaluará como una carretera de tipo II, de dos carriles.

Un vehículo tarda alrededor de 8 a 15 segundos en cruzar el desnivel en hora de mayor demanda vehicular; por medio de una cinta métrica graduada en centímetros se determina la longitud aproximada del tramo y se obtiene una medición de 260 m; con estos parámetros se obtiene la velocidad base, que

oscila alrededor de 62 Km/h. Para este tipo de carreteras la velocidad no es un parámetro fundamental por evaluar.

Datos obtenidos en la investigación:

- Volumen de tránsito en la hora pico: 2 603 veh/h se genera de 17:00 a 18:00 horas, en las dos vías: esta información proviene del aforo realizado en esta investigación (ver tabla XXVI).
- Composición del tránsito: 0,036 camiones y buses; el resto, liviano ( $P_T$ )
- Factor de la hora pico: 0,95
- Tipo de terreno: ondulado
- Ancho de hombro: 0 m
- Porcentaje de zonas de no rebasar: 100 % (no se puede rebasar por el otro carril en todo el trayecto).
- Distribución direccional del tránsito: 63/37 (relación de tránsito ambas direcciones)
- Vehículos recreacionales RVs: 0 %
- Velocidad base: 62 km/h, es la velocidad a la que circulan regularmente todos los vehículos en la hora pico.
- Ancho de un carril: 3,00 m
- Longitud del tramo: 2,47 km aproximadamente
- Cantidad de accesos al tramo ( $ER$ ): 1/km

Se utiliza el mismo orden de los pasos, tablas y ecuaciones para calcular el nivel de servicio de una carretera en el capítulo 2.

Paso 1. Se determina el factor de ajuste FG debido a la pendiente, según la tabla III, considerada como una carretera ondulada y con el flujo en las dos direcciones. Según los datos obtenidos en el aforo vehicular realizado en esta investigación, el flujo es de 2 603 veh/h en la hora crítica, 17:00 a 18:00 hrs. El factor seleccionado es 0,99.

Paso 2. Calcular el factor ajuste por vehículos pesados  $f_{HV}$ , con la ecuación 4, teniendo en cuenta los valores  $E_T$  y  $E_R$  provenientes de la tabla IV,

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(E_R - 1)} = f_{HV} = \frac{1}{1 + 0,036(1,5 - 1) + 0(1,1 - 1)} = 0,982$$

Paso 3. Calcular la demanda de relación del flujo  $v_p$ , se utiliza la ecuación 5.

$$V_p = \frac{V}{PHF * f_G * f_{HV}} = V_p = \frac{2\ 603}{0,95 * 0,99 * 0,982} = 2\ 818\ \text{pc/h}$$

Paso 4. La tasa en la dirección de análisis ( $v_{pd}$ ) es representada por un PF de 0,63. Con la ecuación 6 se realiza el siguiente cálculo.

$$V_{pd} = V_p * PF \quad V_{pd} = 2\ 818 * 0,63 = 1\ 776\ \text{pc/h}$$

El valor de  $V_p$  es menor que 3 200 pc/h; esto indica que se puede seguir con el cálculo.

Paso 5. Velocidad de flujo libre. Para este cálculo se utiliza la ecuación 8, se elige el valor  $f_{LS}$  de la tabla V y el valor  $f_A$  de la tabla VI.

$$FFS = BFFS - f_{LS} - f_A \quad FFS = 62 - 8,5 - 0 = 53,5$$



Paso 6. Cálculo de la ATS. Se utiliza la ecuación 9, el valor de  $f_{np}$  se determina en la tabla VII, para lograrlo se utiliza la tasa en las dos direcciones de análisis, que es representado por 2 818 pc/h

Entonces se procede a calcular:

$$ATS = FFS - 0,0125V_p - f_{np} \quad ATS = 53,5 - 0,0125 * 2\,818 - 1,4$$

$$ATS = 16,9 \text{ Km/h}$$

Este valor de ATS, por ser una carretera tipo II, no determina el nivel de servicio del tramo 1.

Paso 7. Factor de ajuste FG para el tiempo promedio de viaje. Se establece en la tabla VIII con un valor de 1.

Paso 8. Se calcula el  $f_{HV}$  para el tiempo en seguir en el segmento con base en la ecuación 10.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1) + P_R(ER - 1)} \quad f_{HV} = \frac{1}{1 + 0,036 * (1 - 1) + 0 * (1 - 1)} = 1$$

Paso 9. Demanda de la razon de flujo  $V_p$ , se utiliza la ecuación 11

$$V_p = \frac{V}{PHF * f_G * f_{HV}} \quad V_p = \frac{2\,603}{0,95 * 1 * 1} = 2\,740$$

Paso 10. Tasa en la dirección de análisis. Se considera lo mismo que se tomó en el paso 4 de este capítulo.

Paso 11. Porcentaje base de tiempo utilizado en seguir un vehículo en el segmento.

Para este cálculo se utiliza la ecuación 13.

$$BPTSF=100(1-e^{-0.000879V_p}) \quad BPTSF = 100 * (1 - e^{-0.000879*2740})$$

$$BPTSF = 91.0$$

Paso 12. Porcentaje de tiempo utilizado en seguir un vehículo en el segmento de estudio. Para este cálculo se utiliza la ecuación 14. El valor de  $f_{np}$  es seleccionado en la tabla X.

$$PTSF=BPTSF+ f_{d/np} \quad PTSF = 91 + 1,4 = 92,4$$

Como el tramo 1 se seleccionó para carreteras tipo II de dos carriles, entonces podemos seleccionar el nivel de servicio en la tabla XII. El nivel de servicio seleccionado con un valor PTSF de 92,4 es el nivel de servicio E.

#### **4.5.2. Nivel de servicio que presta el tramo 2 y tramo 3**

El nivel de servicio que presta el tramo 2 y tramo 3 por las condiciones observadas de pare y siga, el congestionamiento excesivo y la cantidad de vehículos que circulan por los mismos, por el HCM 2000 es calificado como un nivel de servicio tipo F.

## **5. RESULTADOS**

Los resultados son basados en cálculos de ingeniería según los lineamientos del HCM.

### **5.1. Niveles de servicio que presta el paso a desnivel**

El paso a desnivel en análisis se encuentra involucrado en el tramo 1 y este presenta un nivel de servicio E.

Si el paso a desnivel se hubiese construido en la orientación de la zona 16 hacia la zona 15, el nivel de servicio que prestaría sería el F esto implicaría que el paso a desnivel no fuera de utilidad.

### **5.2. Resumen de niveles de servicios de los tramos involucrados**

Los niveles de servicios que presta el paso a desnivel Madre Teresa de Calcuta, Las Flores, Cayalá, con las características propias del tránsito en el sector, son las siguientes:

Tabla XXVII. **Resumen de nivel de servicio para el tramo 1**

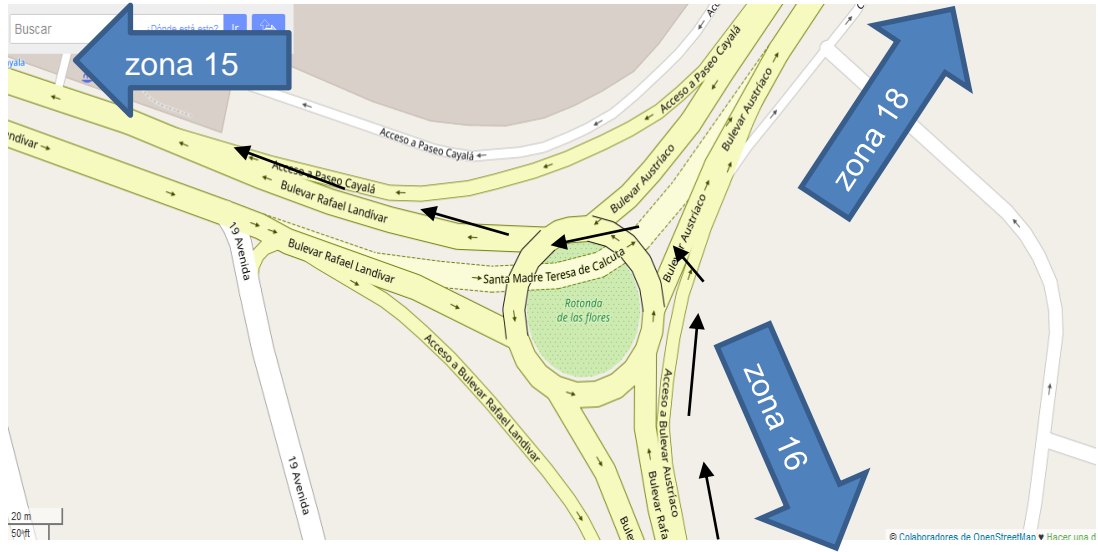
Sobre el paso a desnivel	
FG (para velocidad promedio)	0,99
FHV (para velocidad promedio)	0,982
Vp	2 818
FFS	53,5
ATS	16.9
FG (para el tiempo de seguir en la vía)	1
FHV (para el tiempo de seguir en la vía)	1
Vp	2 740
BPTSF	91,0
PTSF	92,4
Nivel de servicio LOS	E

Fuente: elaboración propia.

El nivel de servicio para la carretera que conduce de la zona 16 a la zona 15 (ver figura 21) se determina mediante simple inspección. El manual de capacidad de carreteras (HCM) permite seleccionar el nivel de servicio cuando el tránsito ha superado la capacidad vial de diseño; según la tabla I, se puede definir el nivel de servicio F cuando el flujo vehicular es forzado, mantiene condiciones de pare y siga, congestionamiento de tránsito.

Se determina nivel de servicio F en los tramos 2 y 3 que contienen la carretera que va de la zona 16 a la zona 15, debido a que presenta congestionamiento excesivo en la hora pico.

Figura 21. Mapa paso a desnivel, dirección de zona 16 a zona 15



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org).



## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El nivel de servicio que presta el paso a desnivel a los usuarios corresponde al nivel de servicio E; esto según el Manual de diseño geométrico de carreteras de centroamérica indica que el flujo es inestable; suceden pequeños embotellamientos, la velocidad cae hasta 40 km/h. La demora de los conductores es mayor al 80 % del total del tiempo de viaje.

Esto implica que el tránsito de la zona 15 hacia la zona 18 es más fluido comparado con el tránsito de zona 16 a la zona 15.

En la dirección de la zona 18 a zona 15 se presenta el nivel de servicio E, por que en el análisis del tramo 1 se consideran las dos vías.

Por otro lado, los vehículos que se dirigen de la zona 16 a la zona 15 se encuentran con un nivel de servicio F; esto implica que en esa ruta existe congestionamiento vial en horas de la mañana, teniendo en cuenta que en esa ruta la hora pico es de 14:00 a 15:00 hrs (ver figura 18).

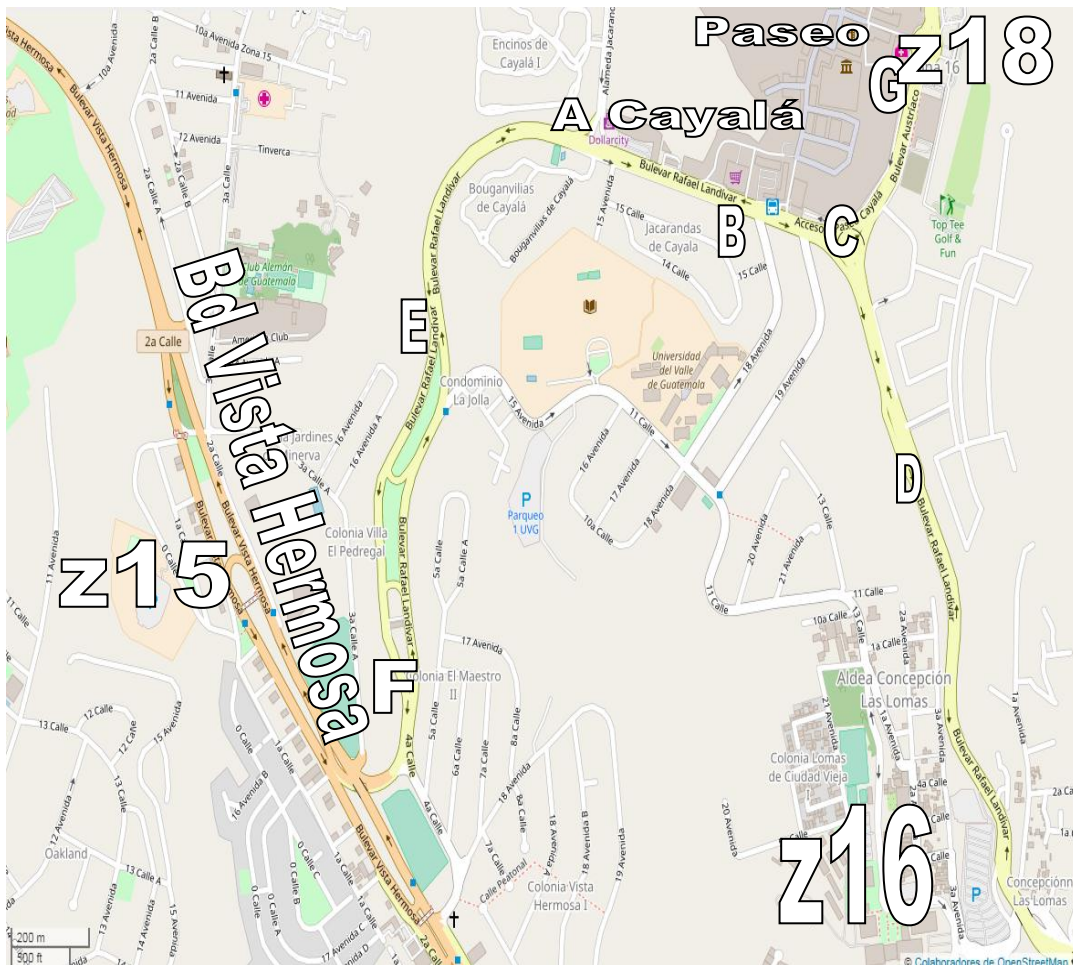
Básicamente, el problema no es por la construcción del paso a desnivel; simplemente, el problema es originado en embotellamientos causados en otro punto de la carretera.

Los resultados obtenidos en los cálculos de esta investigación fueron computados con datos reales obtenidos del conteo y observación en el lugar.

## 6.1. Causas de la problemática

Se analizó la problemática por puntos de intersección con base en toda la investigación realizada y se definieron varios puntos críticos, como se muestra en la figura 22.

Figura 22. Mapa del tramo en estudio



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos de [www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org).



En el punto C se encuentra el desnivel en estudio.

En la figura 22, el análisis visual de la problemática muestra que en el tramo D-C existen dos carriles que, en horas de la mañana, las personas de la zona 16 recorren en vehículo a sus lugares de trabajo ubicados al centro de la ciudad.

Del tramo G-C, hay dos carriles que van de la zona 18 a la zona 15 y se unen con los carriles del tramo D-C, para un total de 4 carriles unidos en la rotonda. Es en ese punto en donde se inicia el congestionamiento vial, considerando que la unión en el punto C es amplia pero aún se da congestionamiento pronunciado.

En el tramo C-A la carretera solo cuenta con tres carriles que absorben los 4 carriles anteriores, lo cual genera el primer embudo vehicular hacia la zona 15.

En horas de la mañana se abre un carril reversible que beneficia a los usuarios de vehículos que viajan de Concepción Las Lomas, Ciudad Vieja I y II, Universidad Landívar y Universidad del Valle de Guatemala; inician en el tramo B y se une al tramo principal en el punto E.

En el punto A se unen los vecinos de Alamedas de Jacaranda.

Del tramo A-E solo existen 2 carriles, los cuales sirven para conducir a los 2 carriles del tramo G-C, dos carriles del tramo D-C y a los vecinos de Alamedas de Jacaranda. En este punto es donde se genera un embudo vehicular pronunciado en horas de la mañana, debido a que existen 5 vías y se convierten en 2 vías en el tramo A-E.

En el tramo E-F se une el carril reversible a los 5 carriles anteriores del tramo A-E, para un total de 6 carriles unidos en dos, que posteriormente se unen al bulevar Vista Hermosa de zona 15.

## CONCLUSIONES

1. El nivel de servicio actual (2018) es tipo E; este nivel es aceptable para la cantidad de vehículos que circulan de la zona 15 hacia la zona 18 y viceversa, ya que puede ofrecer velocidades alrededor de 40 km/h en la mayor parte del tiempo de funcionamiento. Para los vehículos que circulan con dirección de zona 16 a zona 15, se determinó visualmente un nivel de servicio tipo F que indica congestión excesiva, condiciones de paro y sigla. Se constató que el problema de congestión vehicular no radica en el paso a desnivel.
2. El paso a desnivel está construido en forma correcta y con las dimensiones adecuadas para el tránsito en el sector, según el Manual de capacidades de carretera HCM 2000. En horas de la mañana coadyuva a evacuar el tránsito que se genera en los sectores de la zona 15; si se hubiera construido en el otro sentido (de zona 16 a zona 15) de igual manera se vería afectado por el congestión vehicular que se genera en esa carretera y no conllevaría gran beneficio.

3. La información proporcionada por la Municipalidad de Guatemala contiene el aforo vehicular en la rotonda antes de la construcción del paso a desnivel, pero no tiene información de los aforos después que se construyó el paso a desnivel; por tal razón se realizó en esta investigación el aforo vehicular para evaluar el nivel de servicio actual.
  
4. El congestionamiento vehicular que se genera de la zona 16 hacia la zona 15 se debe a la reducción de carriles; dos carriles que vienen de la zona 18 y dos carriles de la zona 16 se unen en la rotonda y además se unen al tránsito los vehículos de Alamedas de Jacaranda y el carril reversible que proviene de Concepción Las Lomas, zona 16. Todos los carriles al final del tramo forman únicamente dos carriles, lo cual provocan provocando el congestionamiento vehicular; esto indica que el paso a desnivel no es el responsable del congestionamiento vehicular.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio para proponer alternativas a los peatones que cruzan la calle frente al Paseo Cayalá, zona 16; cuando los peatones cruzan la calle atraviesan 5 carriles; esto provoca que los vehículos bajen la velocidad y se aumente el congestionamiento vial. Además, los peatones corren el riesgo de estar involucrados en un accidente vial.
2. Ampliar la calle un carril más en el tramo de carretera desde la entrada de Alamedas de Jacaranda con dirección al entronque con el bulevar Vista Hermosa, zona 15. Esto para que no se embotelle en tránsito en la hora de mayor demanda vehicular, que es en horas de la mañana, cuando los vehículos se dirigen al centro de la ciudad. También se observa que en el tramo donde se propone ampliación se encuentra sin construcciones civiles.



## BIBLIOGRAFÍA

1. BONILLA ORDOÑEZ, Edgar Rubén. *Evaluación de la alternativa para resolver pasos a desnivel en áreas urbanas*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1989. 72 p.
2. Congreso de la República de Guatemala. *Acuerdo Gubernativo 273-98 Reglamento de Tránsito*. Guatemala: 1998. 12 p.
3. Congreso de la República de Guatemala. *Decreto número 132-96 Ley de Tránsito*. Guatemala: 1996. 12 p.
4. DUBON XITUMUL, Jorge Aroldo. *Paso a desnivel intersección CA. 1 occ-RN.-14*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1996. 70 p.
5. HERNÁNDEZ MONTENEGRO, Mario. *Propuesta metodológica para el diseño de distribuidores de tránsito*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1988. 69 p.
6. LIMA ESPINOZA, Luis Rodolfo. *Propuesta de paso a desnivel en la avenida Elena 8 y 9 calle, de la zona 1 y 3*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1990. 68 p.

7. LÓPEZ AJANEL, Allan Luiziño. *Alternativas para mejorar tránsito vehicular y reducir accidentes viales, calzada Kaibil Balam, Huehuetenango, República de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2016. 86 p.
8. MARTÍNEZ QUIROA, Rodolfo. *Propuesta para un paso a desnivel en el crucero de la 13 calle y calzada Raúl Aguilar Batres de la zona 11 a la zona 12*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1996. 61 p.
9. Municipalidad de Guatemala. *Acuerdo COM-005-07*. Guatemala: 2017. 15 p.
10. —————. *Informe sobre conteos vehiculares del año 2015*. Departamento de Planificación y Diseño, 2017. 9 p.
11. ORDOÑEZ MOSS, Guillermo Augusto. *Aplicación del manual de capacidad de carreteras (HCM) versión 2000, para la evaluación del nivel de servicio de carreteras multicarriles*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2009. 52 p.
12. Secretaría de Integración Económica Centroamericana. *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras*. SIECA. 426 p.



13. TAPIA IRANDIA, Juan Gabriel, VEIZAGA BALTA, Romel Daniel. *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de ingeniería de tráfico*. Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón, Bolivia, 2006. 449 p.
14. TRB (*Transportation Research Board*). *Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2000*. 1207 p.



## APÉNDICES

En las presentes tablas se proporciona información tabulada en los conteos vehiculares que se hicieron en el área de estudio.

**Apéndice 1.      Conteo de vehículos que pasan debajo del desnivel,  
cada 10 minutos de las 6:00 a 18:00 horas**

Conteo de vehículos que circulan debajo del desnivel					
Horario	Livianos	Camiones	Motocicletas	Buses	Tráileres
6:00 a 6:10	96	0	12	7	0
6:10 a 6:20	101	1	17	6	0
6:20 a 6:30	73	0	14	8	0
6:30 a 6:40	98	0	16	2	0
6:40 a 6:50	137	0	18	9	0
6:50 a 7:00	102	2	13	4	0
7:00 a 7:10	98	2	12	2	0
7:10 a 7:20	107	0	16	1	0
7:20 a 7:30	95	2	17	0	0
7:30 a 7:40	112	1	17	0	0
7:40 a 7:50	109	1	25	1	0
7:50 a 8:00	95	2	23	1	0
8:00 a 8:10	96	1	19	1	0
8:10 a 8:20	109	7	26	0	0
8:20 a 8:30	136	1	25	1	0
8:30 a 8:40	128	1	11	1	0
8:40 a 8:50	148	6	25	0	0
8:50 a 9:00	114	4	24	0	0
9:00 a 9:10	103	6	10	0	0

Continuación del apéndice 1.

9:10 a 9:20	112	6	15	0	5
9:20 a 9:30	117	5	17	0	6
9:30 a 9:40	107	7	16	1	5
9:40 a 9:50	110	6	18	0	3
9:50 a 10:00	112	8	19	0	2
10:00 a 10:10	127	7	25	0	1
10:10 a 10:20	113	7	23	1	1
10:20 a 10:30	121	6	24	0	1
10:30 a 10:40	126	7	15	0	1
10:40 a 10:50	120	15	20	0	1
10:50 a 11:00	134	10	23	0	4
11:00 a 11:10	149	4	19	0	3
11:10 a 11:20	125	6	22	0	0
11:20 a 11:30	144	11	26	0	5
11:30 a 11:40	134	10	29	0	1
11:40 a 11:50	132	8	29	0	0
11:50 a 12:00	157	5	24	0	2
12:00 a 12:10	148	5	26	1	2
12:10 a 12:20	137	7	26	0	0
12:20 a 12:30	155	6	24	0	1
12:30 a 12:40	140	7	27	0	1
12:40 a 12:50	157	5	22	0	0
12:50 a 13:00	139	3	25	1	2
13:00 a 13:10	160	2	23	2	2
13:10 a 13:20	163	3	23	2	1
13:20 a 13:30	152	2	24	0	2
13:30 a 13:40	187	3	14	1	2
13:40 a 13:50	163	4	15	2	1
13:50 a 14:00	135	5	16	1	2
14:00 a 14:10	138	7	18	0	1
14:10 a 14:20	160	3	27	1	1
14:20 a 14:30	98	7	27	0	2
14:30 a 14:40	157	3	26	6	1
14:40 a 14:50	253	6	22	4	1

Continuación del apéndice 1.

14:50 a 15:00	236	9	33	5	2
15:00 a 15:10	227	8	28	5	2
15:10 a 15:20	233	7	29	4	1
15:20 a 15:30	192	5	34	3	2
15:30 a 15:40	205	5	31	5	0
15:40 a 15:50	212	3	30	3	3
15:50 a 16:00	201	3	35	2	4
16:00 a 16:10	209	2	32	2	2
16:10 a 16:20	149	2	29	0	1
16:20 a 16:30	177	1	44	2	0
16:30 a 16:40	236	6	72	0	0
16:40 a 16:50	124	0	37	1	0
16:50 a 17:00	193	0	35	1	0
17:00 a 17:10	142	2	32	1	0
17:10 a 17:20	164	2	42	1	0
17:20 a 17:30	182	0	61	0	0
17:30 a 17:40	159	0	66	0	0
17:40 a 17:50	183	1	68	1	0
17:50 a 18:00	213	1	68	0	0

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2.

**Conteo de vehículos que circulan de la zona 16 a la zona 15, cada 10 minutos de las 6:00 a 18:00 horas**

Conteo de vehículos que p de la zona 16 hacia la zona 15					
Horario	Livianos	Camiones	Motocicletas	Buses	Tráileres
6:00 a 6:10	160	0	12	0	0
6:10 a 6:20	168	0	9	1	0
6:20 a 6:30	164	0	16	3	0
6:30 a 6:40	239	2	35	2	0
6:40 a 6:50	236	0	14	4	0
6:50 a 7:00	148	0	18	1	0
7:00 a 7:10	170	0	22	2	0
7:10 a 7:20	166	0	25	3	0
7:20 a 7:30	187	0	23	2	0
7:30 a 7:40	200	0	24	0	0
7:40 a 7:50	185	0	27	1	0
7:50 a 8:00	210	0	22	0	0
8:00 a 8:10	219	0	24	1	0
8:10 a 8:20	188	0	14	0	0
8:20 a 8:30	215	0	14	1	0
8:30 a 8:40	207	2	20	1	0
8:40 a 8:50	220	1	16	0	0
8:50 a 9:00	226	2	15	0	0
9:00 a 9:10	248	0	15	0	0
9:10 a 9:20	228	0	19	0	0
9:20 a 9:30	188	2	13	0	0
9:30 a 9:40	209	3	16	1	1
9:40 a 9:50	230	2	18	0	1
9:50 a 10:00	216	4	16	1	0
10:00 a 10:10	226	3	22	0	0
10:10 a 10:20	237	3	24	0	0
10:20 a 10:30	205	4	23	1	0
10:30 a 10:40	243	5	26	0	0

Continuación del apéndice 2.

10:40 a 10:50	254	4	26	1	0
10:50 a 11:00	260	4	25	0	0
11:00 a 11:10	180	5	22	0	0
11:10 a 11:20	200	2	30	1	0
11:20 a 11:30	180	3	22	0	1
11:30 a 11:40	210	5	32	0	0
11:40 a 11:50	200	2	21	0	0
11:50 a 12:00	200	2	28	1	0
12:00 a 12:10	210	2	27	0	1
12:10 a 12:20	205	1	29	0	0
12:20 a 12:30	196	2	22	0	0
12:30 a 12:40	213	2	25	0	0
12:40 a 12:50	235	1	24	1	0
12:50 a 13:00	238	0	27	0	1
13:00 a 13:10	258	0	22	0	0
13:10 a 13:20	238	1	25	2	0
13:20 a 13:30	240	2	23	0	0
13:30 a 13:40	254	2	26	0	0
13:40 a 13:50	260	2	25	1	0
13:50 a 14:00	286	1	18	0	0
14:00 a 14:10	320	3	27	8	0
14:10 a 14:20	316	9	27	24	0
14:20 a 14:30	360	2	21	2	0
14:30 a 14:40	308	2	29	24	1
14:40 a 14:50	274	2	27	4	1
14:50 a 15:00	275	3	20	0	1
15:00 a 15:10	269	3	25	3	0
15:10 a 15:20	272	2	24	3	0
15:20 a 15:30	250	1	26	6	0
15:30 a 15:40	236	1	28	5	0
15:40 a 15:50	223	0	26	2	1
15:50 a 16:00	216	2	24	3	0
16:00 a 16:10	224	3	19	4	0
16:10 a 16:20	210	3	22	2	0

Continuación del apéndice 2.

16:20 a 16:30	205	2	21	4	1
16:30 a 16:40	209	2	19	9	0
16:40 a 16:50	219	2	42	3	0
16:50 a 17:00	210	2	21	0	0
17:00 a 17:10	222	0	32	5	0
17:10 a 17:20	220	1	28	2	0
17:20 a 17:30	200	0	34	1	0
17:30 a 17:40	220	0	33	4	0
17:40 a 17:50	160	0	26	0	0
17:50 a 18:00	178	0	29	0	0

Fuente: elaboración propia.



Apéndice 3. **Conteo de vehículos que circulan de la zona 18 hacia la zona 15, cada 10 minutos de las 6:00 a 18:00 horas**

Vehículos que circulan de la zona 18 hacia la zona 15					
Horario	Livianos	Camiones	Motocicletas	Buses	Tráileres
6:00 a 6:10	200	0	19	3	0
6:10 a 6:20	210	0	18	3	0
6:20 a 6:30	195	0	12	3	0
6:30 a 6:40	200	0	19	1	0
6:40 a 6:50	190	0	11	3	0
6:50 a 7:00	178	1	9	1	0
7:00 a 7:10	180	0	10	2	0
7:10 a 7:20	190	0	16	2	0
7:20 a 7:30	182	1	15	3	0
7:30 a 7:40	186	2	17	1	0
7:40 a 7:50	192	0	15	2	0
7:50 a 8:00	175	1	16	2	0
8:00 a 8:10	176	0	19	3	0
8:10 a 8:20	174	2	25	2	0
8:20 a 8:30	179	0	27	2	0
8:30 a 8:40	170	0	26	1	0
8:40 a 8:50	150	0	36	0	0
8:50 a 9:00	132	7	28	0	0
9:00 a 9:10	128	8	23	0	1
9:10 a 9:20	140	7	30	0	1
9:20 a 9:30	120	10	21	0	1
9:30 a 9:40	125	9	22	2	0
9:40 a 9:50	123	10	18	1	1
9:50 a 10:00	126	11	19	2	1
10:00 a 10:10	122	9	15	3	0
10:10 a 10:20	120	8	13	0	1
10:20 a 10:30	120	11	29	2	1
10:30 a 10:40	128	6	20	2	0
10:40 a 10:50	128	8	19	1	1
10:50 a 11:00	134	8	23	1	1

Continuación del apéndice 3.

11:00 a 11:10	110	9	14	1	0
11:10 a 11:20	109	6	11	1	1
11:20 a 11:30	130	4	23	0	0
11:30 a 11:40	116	4	30	2	0
11:40 a 11:50	100	6	17	1	0
11:50 a 12:00	120	6	15	1	0
12:00 a 12:10	123	7	16	1	1
12:10 a 12:20	124	6	16	2	0
12:20 a 12:30	127	5	14	1	0
12:30 a 12:40	132	6	16	2	0
12:40 a 12:50	135	5	18	0	0
12:50 a 13:00	130	7	17	0	1
13:00 a 13:10	141	8	20	1	1
13:10 a 13:20	126	6	16	0	0
13:20 a 13:30	130	7	14	0	0
13:30 a 13:40	136	8	15	1	1
13:40 a 13:50	141	8	17	1	0
13:50 a 14:00	136	9	18	0	0
14:00 a 14:10	140	9	19	1	1
14:10 a 14:20	128	4	15	1	2
14:20 a 14:30	150	9	22	3	1
14:30 a 14:40	131	9	17	1	2
14:40 a 14:50	135	3	32	2	0
14:50 a 15:00	120	5	25	2	0
15:00 a 15:10	136	4	26	1	0
15:10 a 15:20	136	4	25	2	1
15:20 a 15:30	130	3	22	0	1
15:30 a 15:40	130	3	14	2	0
15:40 a 15:50	125	2	16	1	0
15:50 a 16:00	125	3	14	2	0
16:00 a 16:10	122	3	16	2	0
16:10 a 16:20	120	2	19	1	0
16:20 a 16:30	119	4	22	1	0
16:30 a 16:40	115	4	25	0	0
16:40 a 16:50	117	5	14	0	0

Continuación del apéndice 3.

16:50 a 17:00	146	3	30	1	0
17:00 a 17:10	140	0	30	0	0
17:10 a 17:20	160	1	35	1	0
17:20 a 17:30	135	1	34	0	0
17:30 a 17:40	129	0	31	0	0
17:40 a 17:50	135	0	12	1	0
17:50 a 18:00	117	0	23	0	0

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Conteo de vehículos que circulan de la zona 15 hacia la zona 16, cada 10 minutos de las 6:00 a 18:00 horas**

Vehículos que circulan de la zona 15 hacia la zona 16					
Horario	Livianos	Camiones	Motocicletas	Buses	Tráileres
6:00 a 6:10	95	0	10	2	0
6:10 a 6:20	95	0	11	2	0
6:20 a 6:30	85	0	14	3	0
6:30 a 6:40	94	0	22	4	0
6:40 a 6:50	91	0	11	3	0
6:50 a 7:00	85	0	12	1	0
7:00 a 7:10	101	0	13	2	0
7:10 a 7:20	96	0	12	3	0
7:20 a 7:30	98	0	14	3	0
7:30 a 7:40	105	0	13	2	0
7:40 a 7:50	95	0	15	1	0
7:50 a 8:00	98	0	12	2	0
8:00 a 8:10	104	0	16	0	0
8:10 a 8:20	107	0	12	0	0
8:20 a 8:30	105	2	14	0	0
8:30 a 8:40	111	3	15	1	0
8:40 a 8:50	98	1	17	0	0

Continuación del apéndice 4.

8:50 a 9:00	100	2	15	0	0
9:00 a 9:10	86	1	11	0	0
9:10 a 9:20	105	4	22	1	0
9:20 a 9:30	100	3	17	1	0
9:30 a 9:40	107	3	15	0	0
9:40 a 9:50	108	2	20	0	2
9:50 a 10:00	102	3	16	0	2
10:00 a 10:10	110	4	27	1	3
10:10 a 10:20	125	4	19	2	2
10:20 a 10:30	128	3	18	1	0
10:30 a 10:40	135	2	20	0	0
10:40 a 10:50	140	0	23	0	0
10:50 a 11:00	145	2	17	1	0
11:00 a 11:10	144	1	18	2	0
11:10 a 11:20	146	2	18	2	0
11:20 a 11:30	138	4	28	0	0
11:30 a 11:40	135	2	25	2	0
11:40 a 11:50	158	2	17	1	0
11:50 a 12:00	140	1	22	0	1
12:00 a 12:10	167	5	24	2	0
12:10 a 12:20	155	5	22	0	0
12:20 a 12:30	160	4	25	2	0
12:30 a 12:40	160	4	25	2	1
12:40 a 12:50	175	3	18	4	0
12:50 a 13:00	180	3	17	2	0
13:00 a 13:10	170	2	19	2	0
13:10 a 13:20	180	3	18	3	0
13:20 a 13:30	190	2	22	4	1
13:30 a 13:40	195	1	18	5	0
13:40 a 13:50	200	0	19	5	0
13:50 a 14:00	210	0	16	5	0
14:00 a 14:10	250	3	15	9	0
14:10 a 14:20	237	7	22	24	0
14:20 a 14:30	240	3	15	7	0
14:30 a 14:40	271	1	17	4	0

Continuación del apéndice 4.

14:40 a 14:50	285	0	12	4	0
14:50 a 15:00	278	0	17	1	0
15:00 a 15:10	285	0	16	1	0
15:10 a 15:20	284	0	16	2	0
15:20 a 15:30	280	0	19	0	0
15:30 a 15:40	285	1	21	0	0
15:40 a 15:50	284	0	27	0	0
15:50 a 16:00	290	0	22	1	0
16:00 a 16:10	300	0	31	0	0
16:10 a 16:20	312	2	28	0	0
16:20 a 16:30	315	1	32	1	0
16:30 a 16:40	325	1	35	1	0
16:40 a 16:50	330	3	40	2	0
16:50 a 17:00	309	3	26	1	0
17:00 a 17:10	310	0	26	6	0
17:10 a 17:20	211	2	38	1	0
17:20 a 17:30	305	0	47	1	0
17:30 a 17:40	322	1	45	2	0
17:40 a 17:50	328	0	42	1	0
17:50 a 18:00	305	0	31	2	0

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Conteo de vehículos que circulan en el carril reversible hacia la zona 15 cada 10 minutos de las 6:00 a 9:00 horas**

Carril reversible hacia la zona 15					
Horario	Liviano	Camiones	Motocicletas	Buses	Tráileres
6:00 a 6:10	85	0	5	0	0
6:10 a 6:20	88	0	6	0	0
6:20 a 6:30	90	0	6	1	0
6:30 a 6:40	78	0	7	0	0
6:40 a 6:50	77	0	11	0	0
6:50 a 7:00	62	0	3	0	0
7:00 a 7:10	80	0	6	0	0
7:10 a 7:20	79	0	10	0	0
7:20 a 7:30	85	0	14	0	0
7:30 a 7:40	73	0	10	0	0
7:40 a 7:50	62	0	6	0	0
7:50 a 8:00	63	0	9	0	0
8:00 a 8:10	56	0	8	0	0
8:10 a 8:20	58	0	12	0	0
8:20 a 8:30	44	0	9	0	0
8:30 a 8:40	40	0	11	0	0
8:40 a 8:50	43	0	7	0	0
8:50 a 9:00	35	0	6	0	0

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Modelo utilizado para aforo vehicular**

TRANSITO PROMEDIO DIARIO (TPD)						
Ruta:				Fecha:		
Sentido:						
Observaciones:						
Horario	Livianos	Camiones	Motocicletas	Buses	Tráileres	Recreacionales


Fuente: elaboración propia.





# ANEXOS

## Anexo 1. Datos proporcionados por la Municipalidad de Guatemala

 **Muni Guate** | Unidad De Información  
Municipalidad de Guatemala

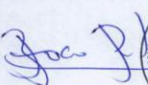

Guatemala, 15 de diciembre de 2017

Expediente No. 1090-2017

**ASUNTO:** **LUIS AUDENCIO GUZMÁN VELÁSQUEZ**, presentó solicitud de información identificada con el expediente número 1090-2017.

**RESOLUCIÓN No. UDI-2618-2017**

La Unidad de Información de la Municipalidad de Guatemala, tiene a la vista la solicitud de información presentada con fecha 5 de diciembre de 2017, por **LUIS AUDENCIO GUZMÁN VELÁSQUEZ**, dentro del expediente número 1090-2017, quien solicita conteos vehiculares del año 2015, correspondientes al área que actualmente ocupa el paso a desnivel de Cayalá, anteriormente existía un redondel. **CONSIDERANDO:** Que para atender la solicitud de información planteada dentro del presente expediente, se recibió informe de la Dirección de Obras de la Municipalidad de Guatemala, por medio del cual se da respuesta a la solicitud planteada. **CONSIDERANDO:** Que de conformidad con el artículo 15 de la Ley de Acceso a la Información Pública, los interesados tendrán responsabilidad, penal y civil por el uso, manejo o difusión de la información pública a la que tengan acceso, de conformidad con esta ley y demás leyes aplicables. **CONSIDERANDO:** Que de conformidad con el artículo 42 de la Ley de Acceso a la Información Pública, presentada y admitida la solicitud, la Unidad de Información deberá emitir dentro de diez días siguientes, la resolución en cualquiera de los términos que expresa el artículo citado, razón por la cual es procedente se dicte la resolución que en derecho corresponde. **CONSIDERANDO:** Que de conformidad con el Artículo 45 de la Ley de Acceso a la Información Pública, la información se proporcionará en el estado en que se encuentre en posesión de los sujetos obligados. La obligación no comprenderá el procesamiento de la misma, ni el presentarla conforme al interés del solicitante, razón por la cual es procedente se dicte la resolución que en derecho corresponde. **POR TANTO:** Con base en lo considerado y en lo que para el efecto preceptúan los artículos: 16, 41 y 42 de la Ley de Acceso a la Información Pública, Decreto número 57-2008 del Congreso de la República, 1 y 3 de la Ley de lo Contencioso Administrativo, Decreto número 119-96 del Congreso de la República, al **RESOLVER se declara:** Se tiene por entregado a **LUIS AUDENCIO GUZMÁN VELÁSQUEZ**, copia simple del informe, contenido en ocho (8) folios útiles en un solo lado, tal como fue remitido por la Dirección de Obras de la Municipalidad de Guatemala. En virtud que el interesado señaló para recibir notificaciones un correo electrónico, se remite por esa vía. **III.** Notifíquese la presente resolución por medio del correo electrónico siguiente: [luisao2015@gmail.com](mailto:luisao2015@gmail.com) y déjese constancia dentro del expediente respectivo. **IV.** Firme la presente resolución trasládese al Archivo respectivo.

[muniguate.com](http://muniguate.com)  
T. 1551  
f t i

21 calle 6-77, zona 1 Centro Cívico,  
Primer Nivel.  
Teléfono: 2285-8219

Continuación anexo 1.

	<b>Muni Guate</b>	Dirección de Obras DEPARTAMENTO DE PLANIFICACIÓN Y DISEÑO
---	-------------------	--

<b>O-DPD-DOC-16333-2017</b>	<b>DPD-Caso-187-2017</b>
-----------------------------	--------------------------

<b>No. de Expediente:</b>	<b>1090-2017</b>
<b>Solicitante:</b>	<b>LUIS AUDENCIO GUZMAN VELASQUEZ</b>
<b>Fecha:</b>	<b>5 de diciembre de 2017</b>

I. En respuesta a la solicitud de información sobre:

- a) **Solicitud de conteos vehiculares del año 2015, correspondientes al área que actualmente ocupa el paso a desnivel de Cayalá. Anteriormente existía un redondel.**

II. Al respecto:

- a) Al respecto se le informa que se adjunta la información con la que se cuenta relativa a conteos vehiculares en la intersección tipo glorieta de Bulevar Rafael Landívar y Bulevar Austriaco, zona 16, frente a Cayalá. Se adjunta 7 folios con la información.

Atentamente,

Guatemala, 7 de diciembre de 2017

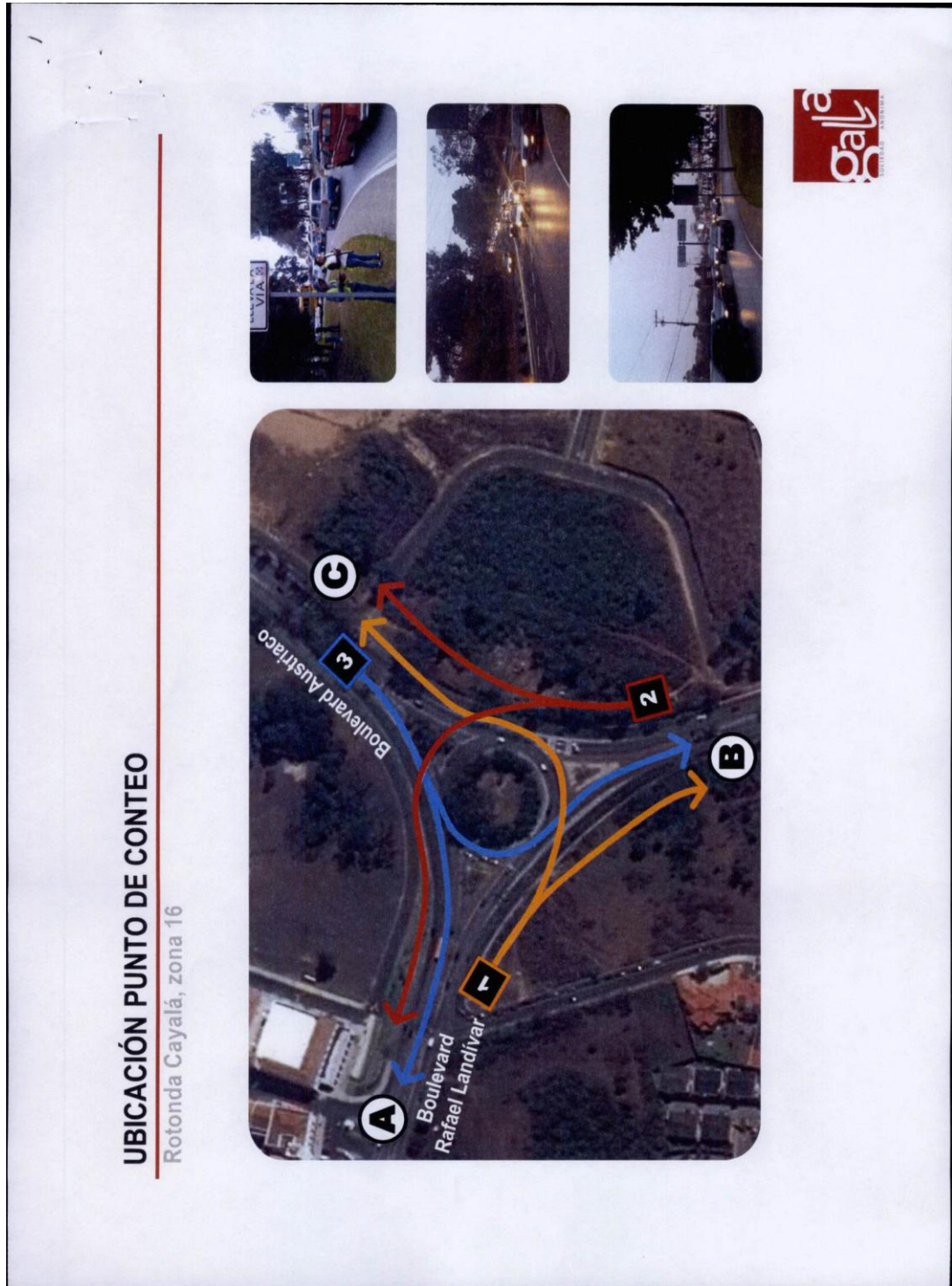
  
\_\_\_\_\_  
**ALVARO HUGO RODAS MARTINI**  
DIRECTOR



<a href="http://muniguate.com">muniguate.com</a> T. 1551 f t i	21 calle 6-77 zona 1 - Edificio Municipal - Centro Cívico Teléfono: 2285-8141
--	---

Continuación anexo 1.



**GRÁFICAS DEL VOLUMEN DEL TRÁNSITO – TODO EL DÍA**  
ROTONDA CAYALÁ, ZONA 16




Total de vehículos que realizaron estos movimientos durante el conteo  
De 6:00 a 20:00 horas:  
**48,523 vehículos**



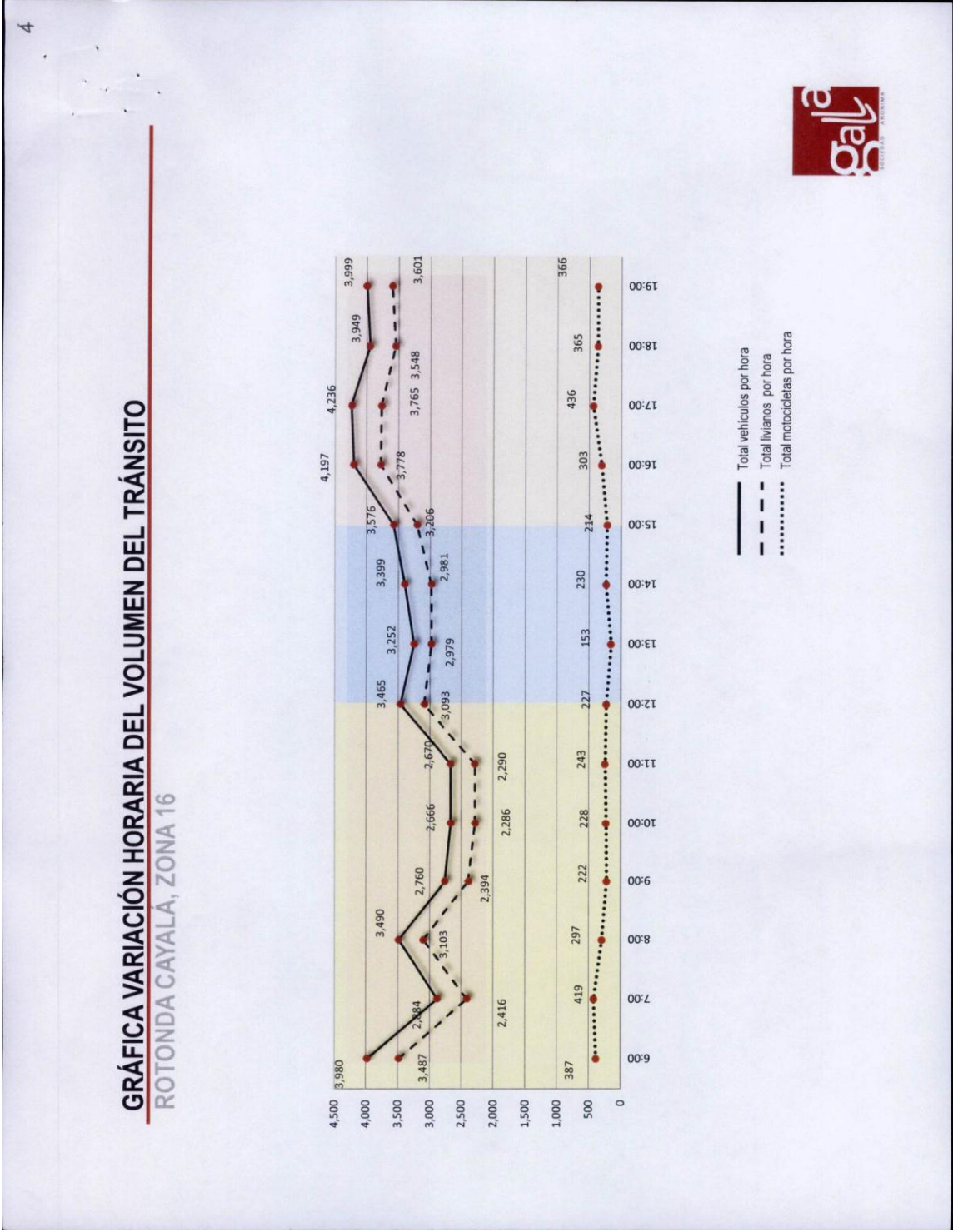
**TABLA COMPOSICIÓN VEHICULAR – (6:00 – 20:00 horas)**  
 ROTONDA CAYALA, ZONA 16

**TOTAL DE SENTIDOS** **A+B+C**

Hora	Modo de Transporte				Total
	Livianos	Bus	Camiones	Trailers	
6:00 a	3,487	59	47	0	3,980
7:00 a	2,416	34	14	1	2,884
8:00 a	3,103	29	61	0	3,490
9:00 a	2,394	4	117	23	2,760
10:00 a	2,286	8	124	20	2,666
11:00 a	2,290	5	122	10	2,670
<b>Total mañana</b>	<b>15,976</b>	<b>139</b>	<b>485</b>	<b>54</b>	<b>18,450</b>
12:00 a	3,093	35	90	20	3,465
13:00 a	2,979	33	77	10	3,252
14:00 a	2,981	66	106	16	3,399
<b>Total hora valle</b>	<b>9,053</b>	<b>134</b>	<b>273</b>	<b>46</b>	<b>10,116</b>
15:00 a	3,206	24	116	16	3,576
16:00 a	3,778	44	64	8	4,197
17:00 a	3,765	14	21	0	4,236
18:00 a	3,548	7	29	0	3,949
19:00 a	3,601	4	28	0	3,999
<b>Total tarde</b>	<b>17,898</b>	<b>93</b>	<b>258</b>	<b>24</b>	<b>19,957</b>
<b>Total todo el día</b>	<b>42,927</b>	<b>366</b>	<b>1,016</b>	<b>124</b>	<b>48,523</b>

 INDICA HORA PICO (MAÑANA, VALLE Y TARDE)



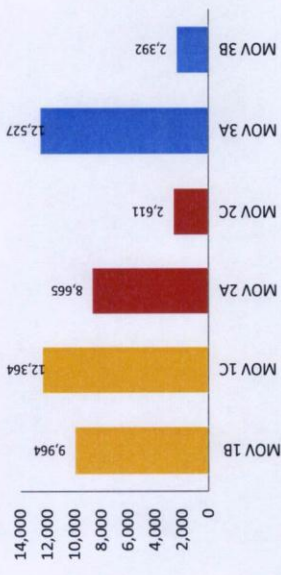


Continuación anexo 1.

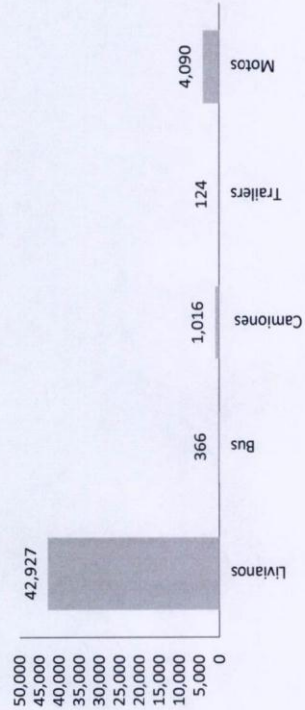
### GRÁFICAS

#### ROTONDA CAYALÁ, ZONA 16

GRÁFICA DE VOLUMEN VEHICULAR POR TIPO DE MOVIMIENTO



GRÁFICA DE COMPOSICIÓN VEHICULAR POR TIPO DE TRANSPORTE



Continuación anexo 1.





Continuación anexo 1.



Fuente: Departamento de Planificación y Diseño. Municipalidad de Guatemala.

Anexo 2. **Fotografías tomadas en la realización del aforo vehicular en el paso a desnivel Madre Teresa de Calcuta, Cayalá**

1. Método de conteo vehicular en el sector



Fuente: Cayalá, zona 16, Guatemala.

Continuación anexo 2.

2. Figura que muestra el flujo vehicular de la zona 18 hacia la zona 15.



Fuente: Cayalá, zona 16, Guatemala

3. Flujo vehicular de la zona 15 hacia la zona 18.



Fuente: Cayalá, zona 16, Guatemala.

Continuación anexo 2.

4. Flujo vehicular y habilitación del carril reversible por medio de un agente de la Policía de Transito



Fuente: Cayalá, zona 16, Guatemala.

5. Atasco vial frente al Paseo Cayalá y poco movimiento vehicular hacia el paso a desnivel.



Fuente: Cayalá, zona 16, Guatemala.

Continuación anexo 2

6. Funcionamiento del paso a desnivel en horas de la mañana.



Fuente: Cayalá, zona 16, Guatemala.

