



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

**ESTUDIO DE TRÁNSITO DEL PERIFÉRICO, INICIANDO EN
LA ZONA 7 Y FINALIZANDO EN LA ZONA 8 DE LA CIUDAD DE
QUETZALTENANGO, QUETZALTENANGO**

Julianne Mcdamara Anleu Hernández

Asesorado por la Msc. Damaris Noemi Monzón Méndez

Guatemala, noviembre de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE TRÁNSITO DEL PERIFÉRICO, INICIANDO EN LA
ZONA 7 Y FINALIZANDO EN LA ZONA 8 DE LA CIUDAD DE
QUETZALTENANGO, QUETZALTENANGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JULIANNE MCDAMARA ANLEU HERNÁNDEZ

ASESORADO POR EL Msc. DAMARIS NOEMI MONZÓN MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN INGENIERIA VIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic Garcia
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Dra. Inga. Mayra Virginia Castillo Montes.
EXAMINADOR	MSc. Ing. Armando Fuentes Roca.
EXAMINADOR	MSc. Ing. Francisco Vela Morales.
SECRETARIO	Inga. Lesvia Magalí Herrera López

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:

ESTUDIO DE TRÁNSITO DEL PERIFÉRICO, INICIANDO EN LA ZONA 7 Y FINALIZANDO EN LA ZONA 8 DE LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO, QUETZALTENANGO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Postgrado, con fecha 07 de junio de 2014.

JULIANNE MCDAMARA ANLEU HERNÁNDEZ



FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO


Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / Ext. 86226

Ref. APT-2015-046

El Decano 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 Postgrado, al Trabajo de Graduación de la Maestría en Ingeniería Vial titulado: **"ESTUDIO DE TRÁNSITO DEL PERIFÉRICO, INICIANDO EN LA ZONA 7 Y FINALIZANDO EN LA ZONA 8 DE LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO, QUETZALTENANGO"** presentado por la Ingeniera Civil **Julianne Mcdamara Anleu Hernández**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
DECANO

Guatemala, Noviembre de 2015.



Cc: archivo
/la



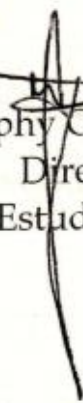
FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC
EP
ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226

APT-2015-046

El Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y dar el visto bueno del revisor y la aprobación del área de Lingüística del Trabajo de Graduación titulado **"ESTUDIO DE TRÁNSITO DEL PERIFÉRICO, INICIANDO EN LA ZONA 7 Y FINALIZANDO EN LA ZONA 8 DE LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO, QUETZALTENANGO"** presentado por la Ingeniera Civil **Julianne Mcdamara Anleu Hernández**, correspondiente al programa de Maestría en Ingeniería Vial; apruebo y autorizo el mismo.

"Id y Enseñad a Todos"


MSc. Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Director
Escuela de Estudios de Postgrado





**FACULTAD DE
INGENIERÍA - USAC**
**ESCUELA DE
ESTUDIOS DE POSTGRADO**

**Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Teléfono 2418-9142 / 24188000 Ext. 86226**

APT-2015-046

Como Coordinador de la Maestría en Ingeniería Vial y revisor del Trabajo de Graduación titulado **"ESTUDIO DE TRÁNSITO DEL PERIFÉRICO, INICIANDO EN LA ZONA 7 Y FINALIZANDO EN LA ZONA 8 DE LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO, QUETZALTENANGO"**, presentado por la Ingeniera Civil **Julianne Mcdamaña Anleu Hernández**, apruebo y recomiendo la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

MSc. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado



Guatemala, Noviembre de 2015.

Cc: archivo
/la

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por bendecirme, ser mi guía y fortaleza en cada momento de mi vida. Y por brindarme la oportunidad de luchar por mis sueños, mediante la vida que me diste.
- Mis padres** Dr. Jorge Luis Anleu de León y Emma Elizabeth Hernández Sosa de Anleu, por su amor, confianza, cuidados en cada día. Y por servirme de ejemplo y ser el motor principal que me impulsa a alcanzar cada una de mis metas y a seguir adelante.
- Mi hermano** Por tu amor incondicional y ser mi ángel guardián.
- Mis abuelos** Ángela Enma Sosa Calderón de Hernández.
Salvador Hernández Rivas
Claudia Bernarda de León Méndez
Carlos Romeo Anleu de León
Por su amor y cuidados.
- Mi familia y amigos** Por su apoyo en cada una de las metas que me he trazado.

**Universidad San Carlos
de Guatemala**

Por ser la casa de estudios que me brindó los conocimientos necesarios para alcanzar mi meta de postgrado y completar mi formación académica.

Facultad de Ingeniería

Por su labor en formar profesionales de excelencia.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser la casa de estudios que contribuyó a continuar mis estudios de postgrado y así alcanzar mis metas.

Facultad de Ingeniería

Por contar con programas académicos que cumplen con las expectativas del profesional, para alcanzar la excelencia.

Mis catedráticos

Por sus conocimientos, esfuerzo, experiencia profesional que contribuyó alcanzar este logro, en especial a Msc. Ing. Cesar Castillo, Msc. Ing. Carlos Morales, Msc. Ing. Marco Antonio Barrios, Msc. Ing. Rolando Cardona.

Mi asesor

Msc. Damaris Noemi Monzón Méndez, por la orientación, ayuda, amistad durante la realización de este trabajo de graduación.

Mis compañeros de clase

Por haber compartido conocimientos y amistad durante el transcurso de nuestros estudios de postgrado, en

especial a Inga. Brenda López e Msc. Victor Mendoza Camey.

Mis primos

Carlos Romeo Anleu y Otto Estuardo Anleu, por su asesoría técnica en informática y su apoyo durante la realización del trabajo de investigación.

Mis amigos

Srita. María Pascual, Licda. Isabel Elizondo Montoya, Ing. Carlos Vásquez y familia, Rafael Prado, Licda. Mercedes Montes y familia, Srita. Cristina Yax, Srita. Lucrecia Loarca, familia Hernández Pérez, Srita. Sara Villagrán y familia, por brindarme su amistad y su apoyo incondicional.

Mi familia

Por recordarme cada día, la importancia de luchar por mis sueños tomada de la mano de Dios, en especial a Msc. Mirna Herrera Sosa, Sra. Rosa María Tobar D.E.P, Srita. Esther Cifuentes y Srita. Magali Deyet.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	XI
OBJETIVOS.....	XVII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIX
METODOLOGÍA.....	XXVII
RESUMEN.....	XXXI
INTRODUCCIÓN.....	XXXIII

1. MARCO TEÓRICO: GENERALIDADES DE LOS CONTEOS DE TRÁNSITO

1.1. Volumen de tránsito.....	1
1.2. Tránsito promedio diario anual (TPDA)	2
1.3. Tránsito de hora pico.....	2
1.4. Flujo vehicular.....	3
1.5. Clasificación vehicular.....	3
1.5.1. Liviano: automóviles para personas, jeeps, paneles...4	
1.5.2. Buses: todos los buses que tienen eje simple doble en la parte de atrás.....4	
1.5.3. Carga liviana: pick-ups, carros acondicionados para cargas pequeñas.....4	
1.5.4. Dos ejes: incluye todos los camiones con dos ejes, (ejes simple y simple doble).....4	

1.5.5.	Tres ejes: incluye todos los camiones con tres ejes, dos ejes doble rueda en la parte de atrás y eje simple adelante.....	4
1.5.6.	Cuatro ejes o más: incluye tractocamiones (furgones), dos parejas de dos ejes con doble llanta y eje simple adelante.....	4
1.6.	Clasificación funcional de carreteras.....	8
1.7.	Capacidad y nivel de servicio.....	8
1.8.	Aforo vehicular.....	11
1.8.1.	Metodologías de aforo vehicular de tránsito.....	11
1.8.1.1.	Metodología manual.....	11
1.8.1.2.	Contadores mecánicos.....	14
1.8.1.3.	Sistema de medición WIM.....	14
1.8.2.	Clasificación de las estaciones de conteo.....	15
1.8.2.1.	Estaciones sumarias.....	16
1.8.2.2.	Estación tipo A.....	16
1.8.2.3.	Estación tipo B.....	16
1.8.2.4.	Estación tipo permanente o fronteriza.....	16
1.9.	Criterios para ubicación de estaciones de aforo.....	17
1.10.	Cambios importantes en el uso del suelo.....	17
1.11.	Conceptualización de fórmulas.....	18
1.11.1.	Volumen de tránsito.....	19
1.11.2.	Tránsito promedio diario semanal (TPDS).....	19
1.11.3.	Volumen horario de máxima demanda (VHMD).....	19
1.11.4.	Factor de hora pico.....	20
1.11.5.	Velocidad promedio de viaje.....	20
1.11.6.	Velocidad de flujo libre.....	21
1.11.7.	Densidad.....	21

1.11.8. Tasa de flujo (q).....	22
1.11.9. Flujo vehicular.....	22
1.11.10. Capacidad.....	23
1.11.11. Nivel de servicio.....	26
1.11.12. Proyecciones.....	26
2. ESTUDIO DE TRÁNSITO DEL PROYECTO EN INVESTIGACIÓN	
2.1. Localización del proyecto.....	27
2.2. Ubicación del proyecto.....	28
2.3. Descripción técnica del proyecto	29
2.4. Metodología de aforo:	34
2.4.1. Tipo de estación empleada.....	35
2.4.2. Ubicación de las estaciones de aforo.....	35
2.4.3. Bitácora de aforo vehicular.....	36
3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	
3.1. Resumen de los datos registrados en las estaciones de control.....	43
3.2. Sustitución de datos en fórmulas.....	52
3.2.1. Volumen de tránsito.....	52
3.2.2. Tránsito promedio diario semanal (TPDS).....	53
3.2.3. Volumen horario de máxima demanda (VHMD).....	56
3.2.4. Factor de hora pico.....	56
3.2.5. Velocidad promedio de viaje.....	56
3.2.6. Velocidad de flujo libre.....	57
3.2.7. Densidad.....	58
3.2.8. Tasa de flujo (q).....	58

3.2.9. Flujo vehicular	59
3.2.10. Capacidad.....	59
3.2.11. Nivel de servicio.....	61
3.2.12. Proyecciones	62
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	65
4.1. Solución a corto plazo.....	69
CONCLUSIONES.....	83
RECOMENDACIONES.....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
APÉNDICE 1.....	91
APÉNDICE 2.....	99

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Clasificación de vehículos de 2 ejes.....	5
2. Clasificación de vehículos de 3 ejes.....	5
3. Clasificación de vehículos de 4 ejes o más.....	6
4. Formato de tabulación de conteos estadísticos provenientes de aforos vehiculares de conteo manual y clasificación de vehículos. (Durante el día).....	13
5. Mapa de localización del proyecto.....	28
6. Mapa ubicación.....	29
7. Falla cuero de lagarto en bloque.....	31
8. Cunetas trapezoidales.....	32
9. Cuneta tipo L	32
10. Paso a desnivel.....	34
11. Mapa ubicación de estaciones de aforo.....	35
12. Estación A.....	39
13. Estación B.....	39
14. Estación C.....	40
15. Estación D.....	41
16. Estación C, quinto día de aforo.....	41
17. Resumen de horas promedio por estación.....	48
18. Tribuciones de la estación crítica A.....	49
19. Porcentajes de vehículos obtenidos de la tabulación por clasificación de vehículos.....	52
20. Comportamiento del tránsito según proyecciones.....	64
21. Esquema de solución a corto plazo.....	71

22. Marcas viales.....	74
23. Accidente en obra varada. Vecinos exigen señalización.....	77
24. Semáforo y tablero de información.....	80

TABLAS

I. Factor de distribución direccional “fd”.....	24
II. Información de las estaciones de aforo.....	37
III. Días y fechas de aforo vehicular.....	38
IV. Tabulación horaria, estación A.....	44
V. Tabulación horaria, estación B.....	44
VI. Tabulación horaria, estación C.....	45
VII. Tabulación horaria, estación D.....	45
VIII. Resumen de tabulación clasificación de vehículos. Estación A.....	46
IX. Tabulación por clasificación de vehículos. Estación B.....	46
X. Tabulación por clasificación de vehículos. Estación C.....	47
XI. Tabulación por clasificación de vehículos. Estación D.....	47
XII. Consolidación de datos de las cuatro estaciones.....	51
XIII. Aforo en intervalos de 15 min.....	54
XIV. Tiempos en segundos.....	55
XV. Tiempos sin demoras.....	57
XVI. Proyecciones.....	63

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials.
C-2:	Es un camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple (eje direccional) y un eje de rueda doble (eje de tracción).
C-3:	Es un camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple (eje direccional) y un eje de rueda doble o tándem (eje de tracción).
C-4:	Es un camión o autobús, consistente en un automotor con eje simple (eje direccional) y un eje triple (eje de tracción).
CIV	Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.
COVIAL	Unidad ejecutora de Conservación Vial.
HCM	Highway Capacity Manual o Manual de Capacidad de Carreteras.
km	Kilómetro: 1,000 metros.
km/h	Kilómetros por hora

m	Metro
m/s	Metros por segundo
R-2:	Es un remolque con un eje delantero simple o de rueda doble y un eje trasero simple o de rueda doble.
R-3:	Es un remolque con un eje delantero simple o de rueda doble y un eje trasero doble, (tándem).
R-4:	Es un remolque con dos ejes de rueda doble o tándem en cada uno de sus extremos.
s	Segundo
S	Velocidad o Speed.
S-1:	Es un semirremolque con un eje trasero simple de rueda doble.
S-2:	Es un semirremolque con un eje trasero doble (tándem).
S-3:	Es un semirremolque con un eje trasero triple.
SIECA	Secretaría de Integración Económica Centroamericana.
t	Tonelada métrica (2,2046 lb).

T-2:	Es un tractor o cabezal, consistente en un automotor con eje simple (eje direccional) y un eje simple de rueda doble (eje de tracción).
T-3:	Es un tractor o cabezal, consistente en un automotor con eje simple (eje direccional) y un eje doble o tándem (eje de tracción).
ton	Tonelada Inglesa (907.18 kg).
TPDA	Tránsito Promedio Diario Anual.
v	Flujo de vehículos por hora (veh/h).

GLOSARIO

Aforista:	Es el trabajador técnico cuyo trabajo consiste en realizar el aforo vehicular en la estación asignada.
Aforo:	Procedimiento mediante el cual se establece la cantidad de vehículos que transitaron por un punto de la red vial determinado (Estación de conteo), en un período establecido.
Capacidad:	Es el máximo número de vehículos que pueden circular en un punto dado durante un período específico de tiempo, bajo condiciones prevalecientes de la carretera y el tránsito.
Carretera Nacional:	Son las rutas pavimentadas de primer orden de uso internacional y de alta convergencia vial. Circula por un tramo carretero determinado durante una semana, dividido entre siete.
Combinación de vehículos:	Es un vehículo articulado con un remolque o camión con un remolque.
Conductor:	Es toda persona que maneja un vehículo automotor.

Congestionamiento: Tiempo en el cual los vehículos deben parar al no poder circular, debido a demasiado tránsito vehicular.

Eje doble (Tándem)

tipo A: Es aquel que dispone de un mecanismo que transfiere a uno de sus ejes no menos del 40% de los pesos que soporta el conjunto.

Eje doble (Tándem)

tipo B: Es aquel que no dispone de un mecanismo de transferencia.

Eje doble (Tándem): Es el conjunto de dos ejes simples de ruedas dobles, con una separación de centros comprendida entre 1.00 y 2.45 metros.

**Eje simple de
rueda doble:**

Compuesto de 4 ruedas de igual medida dos ruedas en cada extremo del eje, o una rueda de doble ancho en cada extremo del eje.

Eje simple:

Es el eje que está compuesto por dos ruedas, una en cada extremo del eje.

Eje triple tipo A:

Es aquel que dispone de un mecanismo que transfiere como mínimo del 28% del peso total del conjunto a cada uno de los ejes.

Eje triple tipo B:

Es aquel que no dispone de un mecanismo de transferencia.

Eje triple:	Es el conjunto de tres ejes simples de rueda doble con una separación de sus centros comprendida entre 1.00 y 2.45 metros.
Factor de hora pico:	La relación entre el volumen horario y la máxima razón de flujo se define como el factor de hora pico.
Método AASHTO:	Originado del AASHTO Road Test realizado en 1958, para analizar el comportamiento de diferentes estructuras de pavimento sometidas a cargas en movimiento de magnitud y frecuencia conocida.
Nivel de servicio:	Medida cualitativa para caracterizar las condiciones de operación bajo una circulación continua de tránsito, según la percepción de pilotos y pasajeros. Definido en seis niveles.
Hora pico:	Tiempo en la cual el tránsito llega a su volumen más alto. Puede ser en períodos de una hora en cuyo caso se denomina hora pico.
Remolque:	Es el vehículo que soporta la totalidad de su peso sobre sus propios ejes y que está destinado a ser halado por un vehículo automotor.
Semirremolque:	Es el vehículo que carece de eje delantero que descansa la parte frontal de su peso en un tractor o cabezal y que está destinado a ser halado.

Tándem:	Conjunto de dos ejes simples de ruedas dobles, con una separación de centros de 1.00 a 2.45 metros.
Tonelada métrica:	Peso de mil kilogramos o 2,2046 lb.
Tractor o cabezal:	Es el vehículo automotor destinado a soportar y halar un semirremolque.
Tránsito:	Es el flujo vehicular sobre una vía pública.
Tránsito promedio diario (TPD):	Se define el volumen de tránsito promedio diario, como el número total de vehículos que pasan durante un período dado (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del período.
Tránsito promedio diario anual (TPDA):	Es el volumen anual total del tránsito.
Vehículo articulado:	Es el compuesto por un tractor o cabezal y un semirremolque.
Velocidad crítica (So):	Es la velocidad que ocurre cuando la densidad es muy alta o crítica. Cuando la carretera llega a su capacidad máxima.

Volumen horario:

Se define como la cantidad de vehículos que circulan en un tramo durante una hora, si no se tiene el dato de la hora se hace el cálculo según el período que se tenga calculado.

OBJETIVOS

GENERAL

- Determinar mediante estudios de tránsito, la capacidad y nivel de servicio de un tramo del anillo periférico entre las estaciones: 5+000 y 8+800, de la ciudad de Quetzaltenango y proponer una solución a corto plazo.

ESPECÍFICOS

- Describir una propuesta de solución que mediante su implementación minimice el congestionamiento vehicular en el periférico.
- Registrar un estudio de tránsito, que contribuya a documentar la información del tramo y que se utilice como guía para la elaboración de otros estudios futuros de monitoreo de tráfico.
- Proveer proyecciones de tránsito a corto plazo (2017), que puedan ser utilizadas como base en futuros proyectos de tránsito.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la ciudad de Quetzaltenango el crecimiento demográfico, genera el problema de tránsito debido al incremento en el parque vehicular, lo cual provoca severos congestionamientos.

El tramo en estudio se ubica en las estaciones:5+000 y 8+800 de la ciudad de Quetzaltenango, delimitado desde la rotonda ubicada cerca de Centro Regional de Justicia en el límite de las zonas seis y siete, finalizando en la rotonda de la licorera Botrán entre las zonas ocho y nueve de la ciudad de Quetzaltenango.

Según un estudio de tasas de crecimiento del parque vehicular, realizado por la Dirección General de Caminos (DGC) en el año 2005 con proyección al año 2012, se observa que Quetzaltenango posee la tasa más alta (6.96%), comparada con las otras ciudades principales del país tales como: Escuintla (6.00%), San Marcos (4.27%), Huehuetenango (3.20%), Jutiapa (3.00%), (Ver apéndice 1, pág. 98), por lo que se puede denotar que el crecimiento vehicular es considerable.

En tal sentido, dicho crecimiento se justifica, ya que este departamento es el segundo más importante de Guatemala y ofrece diversos centros educativos con varias carreras disponibles, con diversidad de precios lo que implica un punto importante para los estudiantes, tanto de educación media como carreras técnicas y universitarias como un lugar atractivo para la superación académica, quienes en su mayoría provienen de: Huehuetenango, Quiché, Salcajá, Totonicapán, San Cristóbal, Almolóniga, San Marcos, Olintepéque, San Juan Ostuncálco.

Otro factor importante de resaltar es que debido a la ubicación, acceso y diversificación de productos agrícolas en el departamento éste se ha convertido en un punto de abastecimiento para distribución regional, lo que ha incentivado la inversión y comercialización de productos, contribuyendo esto también al aumento del transporte en el área.

El problema de tránsito lento en este tramo del anillo periférico radica en que durante todo el recorrido existen varias intersecciones que se dirigen a residenciales, bodegas, colegios entre otros, y las mismas no se encuentran señalizadas por lo que el conductor tiende a realizar diversas paradas. Aparte hay vehículos que desean ingresar al anillo periférico o bien ingresar a algunos de los lugares antes mencionados, provocando congestión y de ello se deriva incremento en tiempos de viaje y retrasos. Este fenómeno se produce comúnmente en las horas pico y resulta en pérdidas de tiempo y consumo excesivo de combustible.

Otras causas que originan el congestionamiento vehicular en el tramo en estudio se pueden mencionar la falta de señalización horizontal y vertical, se observó la inexistencia total de rótulos viales y de marcas sobre la carretera, en el tramo en estudio, lo cual provoca incerteza en el conductor respecto de cuándo y dónde debe realizar su maniobra de cruce, lo que a su vez se traduce en reducciones de velocidad.

Otro factor importante es el que se relaciona con la falta de semáforos, las intersecciones principales carecen de éstos, y por ejemplo, en una de las intersecciones específicamente la que se localiza en el estacionamiento 6+130 existen tres semáforos, que a la fecha no funcionan y se observa el deterioro de

los mismos, lo que ocasiona grandes colas en el lugar. (Ver apéndice 1. Fotografía 1, pág. 93).

Por otra parte, se tiene el problema de falta de estacionamientos adecuados, lo que ocasiona que los usuarios se parqueen en el derecho de vía, con lo que se estrecha la sección de la carretera sobre la que se circula, ocasionando problema de lento flujo vehicular pues se debe transitar con más precaución, lo que contribuye anteriormente al embotellamiento vehicular. (Ver apéndice 1. Fotografía 2, pág. 93).

Adicionalmente existe el problema de la falta de paradas de buses reguladas, pues sólo existe una parada en el tramo en estudio, la cual se localiza en el estacionamiento 5+892, pero no se encuentra señalizada y provisionalmente en horas pico la policía de tránsito verifica que los buses realicen la parada ahí, sin embargo no se cuentan con más paradas y los pilotos de los buses tienden a estacionarse sobre el derecho de vía. (Ver apéndice 1. Fotografías 3 y 4, pág. 94).

Así mismo, no se han instalado pasarelas, lo cual provoca la presencia de peatones en las áreas de circulación de los vehículos situación que también coadyuva a la reducción de velocidad y a la generación de colas de automóviles. (Ver apéndice 1. Fotografía 5, pág. 95).

Por último, se pueden mencionar otros problemas que inciden en la problemática que se trata, siendo estos: alumbrado público, pues por la noche los conductores carecen de adecuada visibilidad, debido a que en el lugar se concentra neblina propia del tipo de clima de la ciudad, lo que no favorece la

circulación vehicular ágil; además, se observa que se carece de alumbrado público en un 50% por lo que este actualmente es parcial.

Otro aspecto que debe considerarse es el relacionado con el derecho de vía, pues a lo largo del tramo en estudio puede verificarse invasión parcial del mismo. Se evidencia específicamente un punto ubicado en la estación 5+668, donde existe una construcción particular que ocupa 0.45 metros del carril; es decir, se disminuye la sección de la carretera en un 12% estrangulando la vía y obligando con ello a la disminución de velocidad del flujo de vehículos con la consiguiente propensión a que se ocasionen congestionamientos. (Ver apéndice 1. Fotografía 6, pág. 95).

Se observa también la imprudencia de los usuarios tanto de vehículos livianos como pesado, por lo que se considera la inexistencia de educación vial. (Ver apéndice. Fotografía 7, pág. 96).

Pasando a las consecuencias de la congestión vehicular en el tramo en estudio, la progresiva reducción de la velocidad se traduce en aumentos de los tiempos de viaje, de consumo de combustible, de otros costos de operación y polución atmosférica que afecta directamente a la calidad de la vida urbana.

En efecto, según Bull, (2000) el valor social del tiempo consumido en los viajes equivale aproximadamente a 3% del PIB. Se calcula que cada ocupante de automóvil generó, a precios de 2000, un costo de congestión de 0.18 dólares por kilómetro y cada ocupante de bus, de 0.02 dólares por kilómetro.

En tal sentido, parece razonable concluir que los costos de congestión son elevados. Cálculos conservadores estiman que aumentar, en promedio, las

velocidades de los viajes en auto en 1 KPH y los de transporte colectivo en 0.5 KPH implica una reducción de tiempos de viaje y de costos de operación por un valor equivalente a 0.1% del PIB. Bull, (2000).

De hecho, para limitar los efectos de la congestión, hay personas que cambian de conducta, adoptando hábitos que, idealmente, no serían de su preferencia, como salir de la casa muy temprano para adelantarse a los momentos de mayor congestión o residir en las cercanías del lugar de trabajo.

A lo señalado deben agregarse otras serias consecuencias que afectan severamente las condiciones de la vida urbana, entre las que se cuentan la incrementada contaminación del aire provocada por el consumo de combustibles en vehículos que circulan en un tránsito convulsionado a baja velocidad, los mayores niveles de ruido en el entorno de las vías principales, la irritabilidad causada por la pérdida de tiempo y el aumento del estrés por conducir inmerso en una masa vehicular excesiva. Estos resultados de la congestión pueden ser difíciles de cuantificar, pero no por ello deben ignorarse, ya que son agravantes de una situación seria según Bull, (2000). Al abordar el alcance del trabajo de investigación, se puede indicar que en cuanto al campo del conocimiento se ubica dentro de la ingeniería de Tránsito, pues con base en ésta rama de la ingeniería vial se realiza el análisis de la problemática de la congestión en el anillo periférico de la ciudad de Quetzaltenango.

En cuanto a la delimitación del problema, desde el punto de vista espacial, el proyecto inicia desde la rotonda ubicada cerca del Centro Regional de Justicia estación 5+000 en el límite de las zonas seis y siete, finalizando en la rotonda de la licorera Botrán en la estación 8+800 entre las zonas ocho y nueve de la ciudad de Quetzaltenango. Con relación al alcance temporal se puede identificar un lapso entre 2014 y 2015, pues incluye desde el inicio de los estudios hasta la conclusión de los mismos. En lo correspondiente a la delimitación de los recursos

para efectuar el presente estudio estos fueron limitados, si se contara con recursos ilimitados se podría ampliar la investigación y efectuar estudios de: análisis de intersecciones en cruz (estacionamiento 6+130), origen y destino, ruta alterna, pasos a desnivel, lo cuales son soluciones a mediano y largo plazo, pero debido a la limitante en el presupuesto sólo se realizaron soluciones para efectuar a corto plazo, se indica que únicamente se abordarán las propuestas de solución de corto plazo, porque el propósito es contribuir a la fluidez del tráfico con medidas que no impliquen inversiones grandes y que sean de pronta implementación.

El trabajo realizado indica propuestas a corto plazo, debido a que es necesario tomar medidas pertinentes a la brevedad, además se plantean dos medidas a mediano y largo plazo, pero las mismas no se desarrollarán en el presente estudio, debido a que para cada una se debe realizar una investigación más profunda y por la falta de presupuesto y tiempo, sólo se plantean.

Por otro lado, al describir la justificación del estudio se señala que de acuerdo con líneas de investigación que proporciona la Escuela de Estudios de Postgrado, específicamente el Postgrado en Ingeniería Vial, el presente trabajo de investigación se enmarca dentro de la línea de Planificación, área de Estudios de Tránsito.

Adicionalmente, en el lugar circulan en promedio 8,500 vehículos por día, lo cual representa una alta carga vehicular, razón por la cual se considera el tramo en estudio un caso importante de estudiar.

El tramo sirve de ingreso a la ciudad y a la vez es utilizado como vía de paso para usuarios que viajan a los municipios de Salcajá, Olinstepeque, San

Juan Ostuncalco y los departamentos de San Marcos y Huehuetenango, entre otros.

Y forma parte de la Ruta Nacional (RN-01), lo cual remarca la importancia de esta vía no sólo para el departamento, sino también para el país, ya que se establece como ruta paralela a las carreteras CA-01 Occ. y CA-02 Occ, que conduce a la frontera con México.

De lo anterior es necesario el planteamiento de la pregunta central, la cual es ¿Qué capacidad y nivel de servicio tiene actualmente el tramo del anillo periférico que inicia en la estación 5+000 y finaliza en la estación 8+800 de la ciudad Quetzaltenango? , (La cual fue planteada con el fin de establecer si la demanda actual supera o no la capacidad y nivel de servicio de la carretera).

Y entre las preguntas auxiliares se han considerado las siguientes, ¿Qué soluciones viables de corto plazo pueden implementarse para solucionar el problema del congestionamiento vehicular? , (Se plantea con el fin de identificar cuáles son los problemas puntuales y qué solución es la más adecuada para cada caso).

¿Existe algún registro de estudio de tránsito previo realizado en el tramo en estudio que pueda servir de apoyo? (Esta con el fin de determinar si existe dicho registro, utilizarlo y compararlo para conocer el ritmo de incremento vehicular en el tiempo y si no existe proporcionar el realizado y sirva como base para futuros proyectos).

METODOLOGÍA

En cuanto al método de investigación utilizado éste se enmarca dentro del descriptivo, que utiliza un objeto de estudio o una situación concreta, señalar sus características y propiedades. Además combinado con ciertos criterios de clasificación sirve para ordenar, agrupar o sistematizar los objetos involucrados en el estudio. Este puede servir de base para investigaciones que requieran un mayor nivel de profundidad.

Por otro lado, las técnicas de investigación utilizadas incluyen: visitas de campo, aforos vehiculares, tabulaciones, análisis de resultados. La técnica de recolección de datos utilizada fue por metodología manual por medio de aforistas que contaron con formatos diseñados para la mejor recolección de datos durante el aforo que se realizó en cuatro puntos de importancia, elegidos por su ubicación, seguridad, visibilidad, entre otros. Los aforistas observaban y anotaban el tipo, cantidad de vehículos que circulaban en las diferentes estaciones, para su posterior tabulación.

La investigación realizada tiene como enfoque el tráfico lento, que se denota por la capacidad y nivel de servicio de la carretera.

Entre las fases de investigación que abarcará dicho estudio se cuentan con las siguientes:

- FASE 1. PLANIFICACIÓN

Esta fase inicial está destinada a la lectura de los primeros artículos, recopilación bibliográfica, visionado de documentos en la red. Todo ello con la

intención de delimitar el campo de estudio y atesorar los suficientes conocimientos como para edificar la investigación sólida y fundamentada.

Por otro lado, se realizó la contratación y capacitación de aforistas, ya que los mismos serán los encargados de la recolección de datos e indicarles el proceso de llenado de los formatos, el cual indica el tipo de vehículo, número de ejes, fecha, hora, día; además de indicarles el proceso de tabulación, gráfica de resultados.

Para lo que el estudio requiere personal que cuente con conocimientos básicos sobre tipos de vehículos, ejes, obtención de TPDA, entre otros aspectos; que servirán para la obtención de datos.

- FASE 2. CAMPO:
 - Visita de campo preliminar

Consiste en ubicar e identificar las estaciones para efectuar el aforo vehicular, en donde se cumpla con criterios como seguridad, visibilidad y resguardo de trabajadores a condiciones climáticas planteados por la ingeniera a cargo del trabajo de graduación, y que la información recabada no tenga alteraciones en el momento del aforo. Además de identificar si existiese algún problema de derecho de vía que presente mención en la investigación entre otros aspectos.

- Realización del aforo

Luego de tener identificados los puntos a ubicarse se efectúa el aforo y posteriormente se realiza la tabulación de información, en donde se obtiene la gráfica de resultados.

- FASE 3. GABINETE

En gabinete se efectuará el diseño de formatos para el TPDA, con su debida revisión y reproducción. Los cuales fueron realizados con base al formato que utiliza la Dirección General de Caminos, departamento de Ingeniería de Tránsito unidad de conservación vial infraestructura y tecnología. (Previo a la realización del aforo).

- Análisis de datos

Mediante los datos estadísticos obtenidos se prosigue a interpretar, los datos y realizar cálculos necesarios para poder establecer la capacidad y nivel de servicio del periférico.

Con base a los resultados obtenidos de la tabulación de datos, se prosigue a efectuar las proyecciones de tráfico, las cuales considerarán la tasa de crecimiento para el departamento de Quetzaltenango, según la Dirección General de Caminos, para el año 2012 y los datos del TPD en la carretera.

- Análisis y discusión de resultados

Luego de haber analizado los datos obtenidos en campo se prosigue a analizar los resultados obtenidos en gabinete, con el fin de interpretarlos y determinar qué indican los mismos y con ello establecer las conclusiones finales de los mismos.

- FASE 4. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN

Propuesta de solución, con base a los resultados obtenidos. Se plantean soluciones que se puedan realizar en el tramo en estudio, a fin de mejorar las condiciones de tráfico prevalecientes de la carretera brindando seguridad al usuario. Y posteriormente se proporcionan conclusiones y recomendaciones a las que se han llegado con dicha investigación.

RESUMEN

El objetivo de la investigación es determinar ¿por qué? existe congestión vehicular en parte del anillo periférico de la ciudad de Quetzaltenango ubicado entre las estaciones 5+000 y 8+800 de la Ruta Nacional 01 (RN-01), mediante un estudio de Ingeniería de Tránsito. Entre las causas del problema se tienen: bloqueos parciales de varias intersecciones de vías, falta de señalización adecuada, etc., circunstancias que ocasionan lentitud del tránsito. Las técnicas de investigación utilizadas son inspecciones de campo para observar el origen del problema y obtener un aforo de tráfico para luego en gabinete, calcular velocidades de circulación, flujo de tránsito, nivel de servicio, etc. Como resultado, se observa que en horas pico (9:00-10:00 y 17:00-18:00), aumenta el tránsito debido las causales indicadas que provocan reducciones de velocidad que van desde 51 a 0 KPH, lo cual se categoriza con un nivel de servicio tipo D, el cual es deficiente. La solución de corto plazo propuesta consiste en señalizar las intersecciones, colocar arriate central, entre otros aspectos y así acceder a un nivel de servicio B o C, propio de velocidades de circulación de un anillo periférico, a efecto de prever que con el incremento de tráfico futuro, el tramo caiga en obsolescencia.

INTRODUCCIÓN

La ingeniería de tránsito proporciona métodos que tienden a brindar soluciones a los diferentes problemas de congestionamiento. Esto se logra mediante aforos de la vía que registran información sobre el tipo de vehículos, horarios, características de la vía, entre otros.

El presente estudio se enfoca en obtener datos estadísticos del tránsito existente por medio de aforos, en un determinado sector del anillo periférico ubicado en las estaciones: 5+000 y 8+800 de la ciudad de Quetzaltenango, delimitado desde la rotonda ubicada cerca del Centro Regional de Justicia coordenadas $14^{\circ}51'30.2''N$, $91^{\circ}30'43.2''W$, en el límite de las zonas seis y siete, finalizando en la rotonda de la licorera Botrán coordenadas $14^{\circ}51'33.9''N$, $91^{\circ}32'48''W$, entre las zonas ocho y nueve de la ciudad Quetzaltenango (Ver figura 6, pág.29).

El tramo sirve de ingreso a la ciudad y a la vez es utilizado como vía de paso para usuarios que viajan a los municipios de Salcajá, Olinstepeque, San Juan Ostuncalco y los departamentos de San Marcos y Huehuetenango, entre otros.

Mediante el análisis realizado se determinó el volumen de tránsito que circula en la ruta. Con los resultados obtenidos se establece la afluencia vehicular, la capacidad y el nivel de servicio del tramo en estudio.

Los resultados del estudio indican que actualmente en el anillo periférico en promedio en las cuatro estaciones circulan aproximadamente 8,500 VPD, por lo que la vía está trabajando al 48% de su capacidad es decir, todavía podrían

circular más vehículos, pero la circulación en el tramo es lenta debido a la inexistencia de señalización horizontal y vertical, pasarelas, estacionamientos, paradas de buses, semáforos, derecho de vía, entre otros factores. La velocidad promedio de entrada es de 51KPH, pero debido a que en el tramo existen diversos puntos como intersecciones, parqueos improvisados sobre el derecho de vía, entre otros que ocasionan demoras a los usuarios teniendo que realizar paradas continuas reduciendo la velocidad a aproximadamente a 20KPH, la cual ubica este tramo en un nivel de servicio D, que significa poco margen de maniobra para que el conductor recupere la velocidad de diseño.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, se proponen medidas para disminuir el tráfico vehicular, tales como: señalización horizontal y vertical, complementar la colocación de alumbrado eléctrico, colocación de pasarelas, adquirir zonas para paradas de buses, rehabilitación de semáforos, colocación de mediana en determinados puntos, protección de talud, cabe recalcar que el orden de las soluciones antes descritas no se encuentran descritas de acuerdo a su importancia si no en cuanto a la localización de problemas, el tipo de mejoras son funcionales.

La presente investigación consta de cinco capítulos; el primero, abarca el Marco Teórico: Generalidades de los conteos de tránsito que comprenden elementos conceptuales para formular, fundamentar y desarrollar el estudio.

El segundo capítulo contiene propiamente el Estudio de Tránsito, la realización del aforo vehicular, el cual se realizó siguiendo los parámetros requeridos para la toma de datos adecuados.

El tercer capítulo incluye la presentación de resultados en donde se describen todos los resultados obtenidos en la tabulación y se realizan cálculos

los cuales en su mayoría se basan en el Manual de Estudios de Tráfico SEDESOL (1994). Otros resultados hacen referencia al Manual HCM, (2000) y SIECA, (2011), en Guatemala no existe una normativa oficial al respecto.

El capítulo cuatro incluye la Discusión de Resultados, las cuales se realizan con base a los datos obtenidos en la presentación de resultados. Y se describe la solución a corto plazo para mejorar el problema del embotellamiento vehicular y mejorar la movilidad de los vehículos.

1. MARCO TEÓRICO: GENERALIDADES DE LOS CONTEOS DE TRÁNSITO

1.1.Volumen de tránsito

Crespo, (2010), define al volumen de tránsito como el número total de vehículos que transitan por determinada sección o carretera en un determinado sentido y tiempo, los cuales pueden ser minutos, horas, días, semanas, meses, años.

Por lo anterior, Córdova, (2012) indica que se pueden establecer volúmenes de tránsito totales o absolutos, los cuales relacionan el tránsito existente con el tiempo que puede darse en días, semanas, meses, años, horas y lo describe de la siguiente manera:

- Al número total de vehículos que transitan durante el período de un año, en una ubicación específica se le denomina Tránsito Anual (TA).
- Al número total de vehículos que transitan durante el período de un mes, con ubicación específica se le denomina Tránsito Mensual (TM).
- Al número total de vehículos que transitan durante el período de una semana, con ubicación específica se le denomina Tránsito Semanal (TS).
- Al número total de vehículos que transitan durante el período correspondiente a un día, en ubicación específica se le denomina Tránsito Diario (TD).

- Al número total de vehículos que transitan durante el período correspondiente a una hora, en ubicación específica se le denomina Tránsito Horario (TH).
- Al número total de vehículos que pasan durante un período inferior a una hora $T < 1$ hora, se le denomina flujo o tasa de flujo.

1.2. Tránsito promedio diario anual (TPDA)

El Manual de SIECA, (2011, pág. 49), define el tránsito promedio diario anual, como el total de vehículos que circulan en un tramo establecido, en un período correspondiente a un año, el cual debe ser dividido entre el número de días que tiene un año.

Este valor se debe establecer para conocer la cantidad de vehículos que hará uso de la vía y posteriormente determinar por medio de proyecciones, para cuántos años se puede brindar un nivel de servicio aceptable a los usuarios, tomando en cuenta a qué hora se presentan los volúmenes vehiculares más altos.

Para el presente trabajo, se tomará como referencia el cálculo del TPDA para proyecciones.

1.3. Tránsito de hora pico

El Manual de SIECA, (2011), en el numeral 1.2 indica: “Se vuelve necesario tomar en cuenta las variaciones extremas que registra el movimiento de vehículos a lo largo de las veinticuatro horas del día, para seleccionar las horas de máxima demanda como base más apropiada para el diseño geométrico de las carreteras”.(p. 49).

Por lo anterior, el presente estudio establecerá entre otras variables el horario en que se observa mayor incremento vehicular en la carretera. Cabe mencionar que el destino y horario de los usuarios será un factor que determinará la variación del tránsito en cada estación, por lo que se deberá identificar una estación crítica con base en la mayor afluencia vehicular y se tomará la hora pico de dicha estación.

1.4. Flujo vehicular

En CORASCO, (2008, pág. 78), se describe al flujo vehicular cómo la cantidad de vehículos que circulan en determinado tramo que se desee analizar, para determinar el nivel de eficiencia. Este se basa en tres variables: flujo, velocidad y densidad. Cuando se relacionan las mismas obtenemos características del tránsito y permiten predecir opciones de operación, por ejemplo, cuando se relaciona la velocidad-densidad, establecen modelos teóricos sobre el flujo vehicular, ya que para cada valor de densidad existe un valor de velocidad, lo cual solo ocurre en esta situación, mas no en otros casos. Por otro lado, para determinar el control de tránsito en autopistas se emplea la relación flujo-densidad, ya que mediante los porcentajes obtenidos, se puede indicar la concentración de un tramo específico en tiempo determinado. Cuando se desea identificar los niveles de servicio y los niveles de flujos, se emplea la relación velocidad-flujo.

1.5. Clasificación vehicular

La Dirección General de Caminos (DGC), dependencia del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (CIV), maneja una clasificación vehicular descrita en el Acuerdo Gubernativo 379-2010. Además, establece el

Reglamento de pesos y dimensiones de vehículos automotores y sus combinaciones, aplicable para Guatemala.

1.5.1. Liviano: Automóviles para personas, jeeps, paneles.

1.5.2. Buses: Todos los buses que tienen eje simple doble en la parte de atrás.

1.5.3. Carga liviana: Pick-ups, carros acondicionados para cargas pequeñas.

1.5.4. Dos ejes: Incluye todos los camiones con dos ejes, (ejes simple y simple doble).

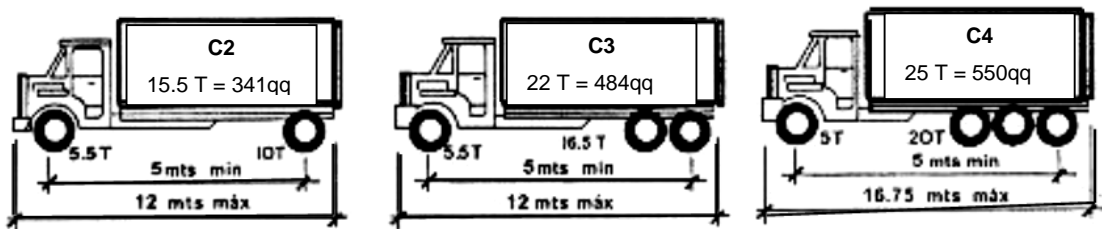
1.5.5. Tres ejes: Incluye todos los camiones con tres ejes, dos ejes doble rueda en la parte de atrás y eje simple adelante.

1.5.6. Cuatro ejes o más: Incluye tractocamiones (furgones), dos parejas de dos ejes con doble llanta y eje simple adelante.

Adicionalmente, dicho documento incorpora a los esquemas de los vehículos y sus combinaciones, lo referente a los pesos máximos permisibles y sus dimensiones. Cabe mencionar que para los numerales del 1.5.1 al 1.5.3 no se presentan esquemas.

En la figura 1, se visualizan los vehículos que se encuentran en la regulación de la (DGC), mismos que están indicados en el numeral 1.5.4, correspondientes a los vehículos de 2 ejes.

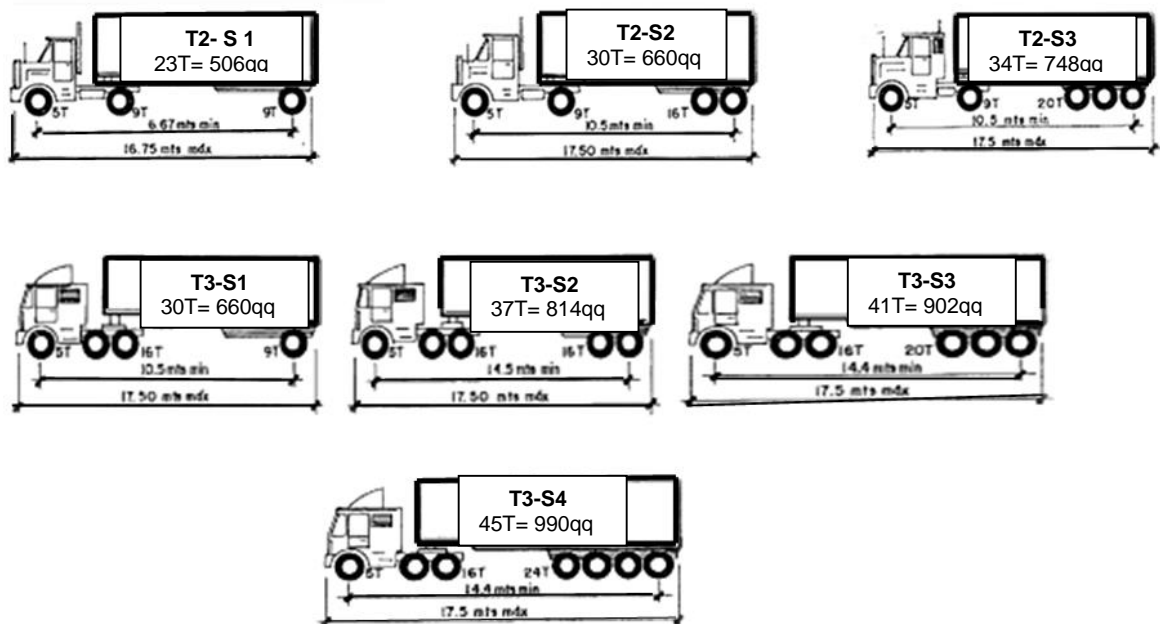
Figura 1. Clasificación vehículos de 2 ejes



Fuente: (DGC). Acuerdo Gubernativo 379-2010.

En la figura 2, se incluyen los vehículos mencionados en el numeral 1.5.5, correspondientes a la clasificación de vehículos de 3 ejes; conocidos comúnmente como vehículos articulados.

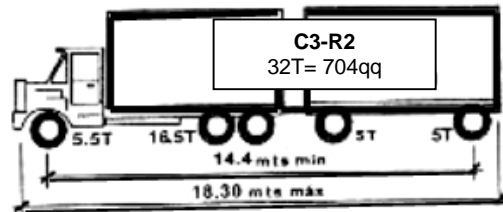
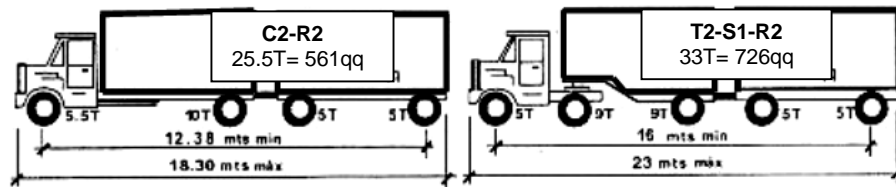
Figura 2. Clasificación vehículos de 3 ejes



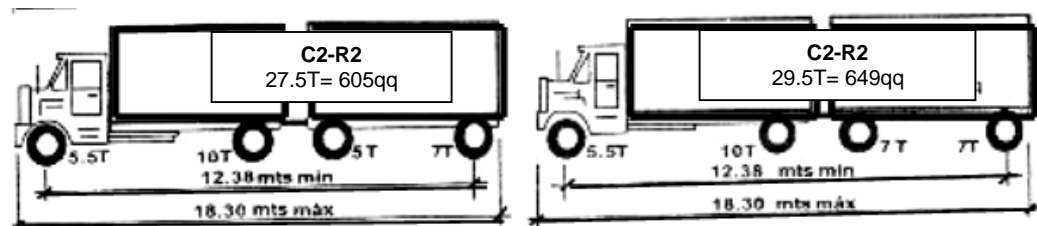
Fuente: (DGC) Acuerdo Gubernativo 379-2010.

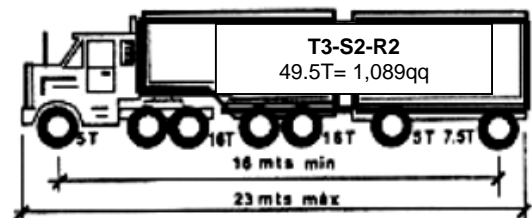
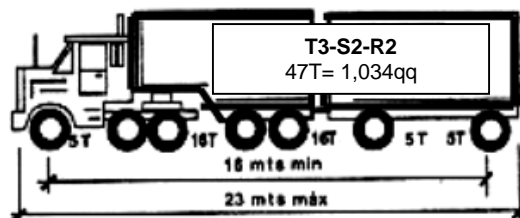
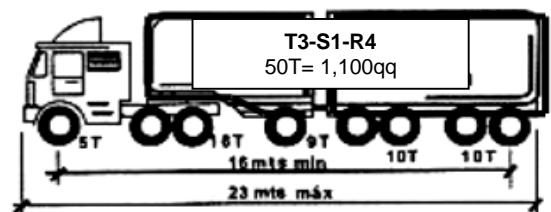
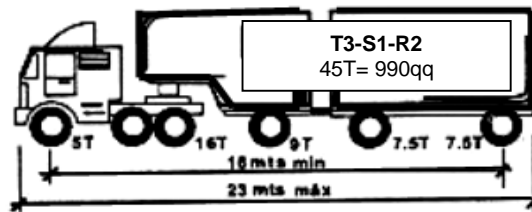
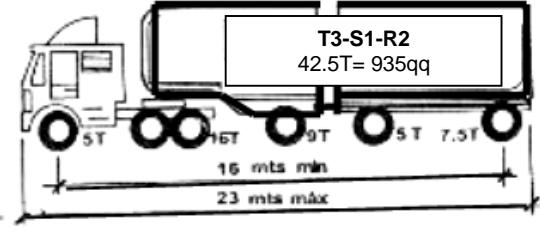
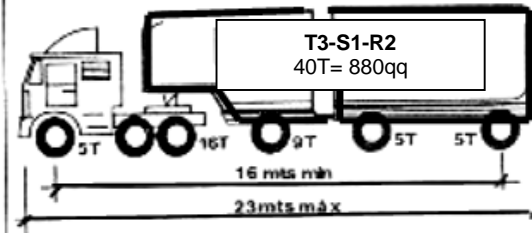
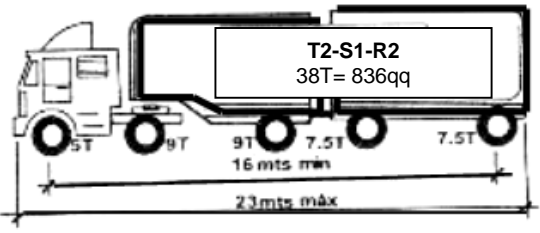
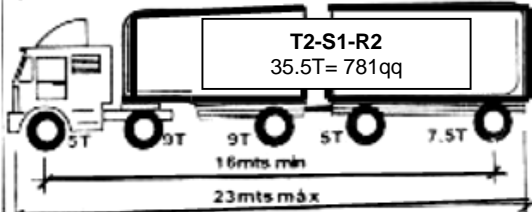
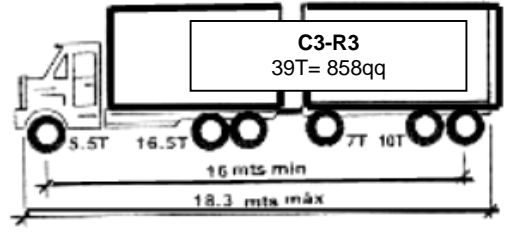
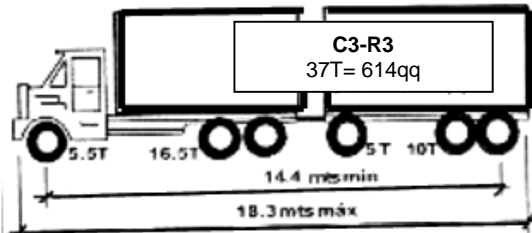
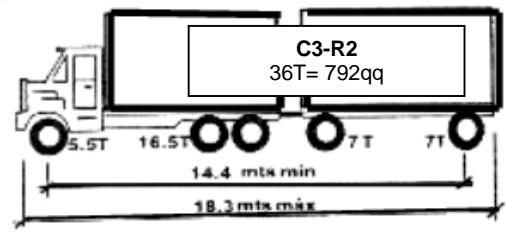
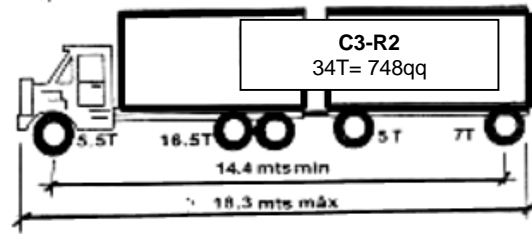
En la figura 3, se pueden observar los vehículos que se describen en el numeral 1.5.6, correspondientes a la clasificación de vehículos de 4 ejes o más.

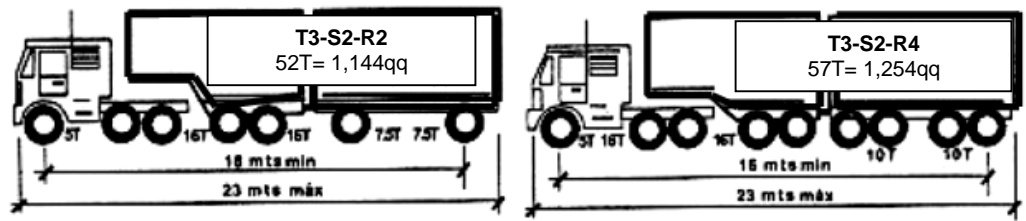
Figura 3. Clasificación vehículos de 4 ejes o más



NOMENCLATURA	
C	CAMIÓN
S	SEMIREMOLQUE
R	REMOLQUE
T	TRAILER O CABEZAL
Ancho máximo 2.60 m	
Alto máximo 4.15 m	







Fuente: (DGC), Acuerdo Gubernativo 379-2010.

1.6. Clasificación funcional de carreteras

El Manual de SIECA, (2011, pág. 25), define la clasificación de carreteras de acuerdo a los servicios que provee en la cual los divide en tres:

- Arterial: Provee el mayor nivel de servicio con mayor velocidad en distancias de viaje ininterrumpido, con un cierto control en accesos. (velocidades de 110 KPH).
- Colector: Provee un menor nivel de servicio que la arterial. Las velocidades permitidas son menores por servir de colector de tráfico de caminos locales y los conecta con las arteriales. (velocidades de 80- 100 KPH).
- Local: Lo integran todas las carreteras no definidas como arteriales o colectoras; su principal servicio es proveer acceso a la mayoría de lugares y sirve a los viajes en distancias cortas.

1.7. Capacidad y nivel de servicio

- Capacidad concepto:

Mediante el análisis de capacidad se estima el número máximo de vehículos que una carretera puede tener bajo condiciones de seguridad, durante un período

de tiempo específico. Por lo anterior, el Manual SEDESOL, (1994, pág. 59), define: “La capacidad depende de las unidades en cuestión (peatones, vehículos particulares, transporte público, etc.), el período de tiempo, y el área de la infraestructura en cuestión (carriles, ancho de calzada, etc.)”.

- Capacidad en intersecciones no semaforizadas de tres ramas concepto:

Se establece que se basa en una caracterización y una regulada interacción entre dos corrientes de tránsito conflictivas, (Depiante & Galarraga). En donde el conductor en una intersección no semaforizada debe enfrentarse: (1) decidir cuándo debe de ingresar a la intersección porque le corresponde y (2) definir en qué momento resulta seguro hacerlo. En donde se deben de establecer Modelos Estimación de Capacidad en Campo. (Ver pág.25).

Nivel de servicio:

El nivel de servicio, indica las condiciones de operación de determinado flujo vehicular, a través de esta medida cuantitativa que a su vez describe la percepción de los usuarios (conductores o pasajeros). CORASCO, (2008, pág. 78).

Debido a que el tramo vial en estudio, forma parte de la Ruta Nacional (RN-01) y por la importancia que ésta vía tiene para el departamento de Quetzaltenango, se deben de considerar normas que establezcan los mejores requerimientos técnicos para brindar al usuario seguridad y reducir la vulnerabilidad del sistema vial; por lo anterior, se empleará como fuente de referencia para el trabajo, el Manual de SIECA, (2011, págs. 59-60), el cual se basa y hace referencia al Manual HCM (2000), donde se indica que para determinar el nivel de servicio de una vía, se deben de considerar seis categorías

de servicio y las define como “Las condiciones generales de operación para los niveles de servicio”, desglosándolas así:

- Nivel de servicio 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 490 veh/hr.
- Nivel de servicio 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 al 50% del total del tiempo de viaje y la razón de flujo total para ambas direcciones es de 780 veh/hr.
- Nivel de servicio 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 1,190 veh/hr.
- Nivel de servicio 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/hr.
- Nivel de servicio E: Flujo inestable, suceden pequeños embotellamientos. La velocidad cae hasta 40 km/hr. La demora de los conductores es mayor al 80% del total del tiempo de viaje.

- Nivel de servicio F: Flujo forzado, condiciones de “pare y siga”, congestión de tránsito.

1.8. Aforo vehicular

Consiste en realizar un estudio que recaba información para determinar la cantidad y tipos de vehículos que circulan en un determinado tiempo y lugar. CORASCO, (2008, pág. 33).

1.8.1. Metodologías de aforo vehicular de tránsito

Para obtener información sobre el tránsito de un determinado tramo carretero, es necesario efectuar mediciones de volúmenes vehiculares, los cuales registran el número total de vehículos que transitan en un tiempo determinado.

Por lo que Allan, (2010, pág. 8), indica que se encuentran diferentes metodologías a utilizar para realizar la medición de volúmenes vehiculares (aforo), tales como contadores manuales, mecánicos y de acuerdo con el documento que describe “Términos de Referencia Estudio de Pesaje en Movimiento WIM (Weigh in Motion) en la Red Vial Pavimentada”, en su edición 2012 para Guatemala describe este método, a continuación se narran los mismos:


1.8.1.1. Metodología de medición manual:

Utiliza personal capacitado denominado aforadores de campo. Los aforos pueden ser realizados entre una o dos personas en cada estación; este personal, registra los datos del conteo en un formulario, que contiene datos sobre:


punto de conteo, tipo de estación, número de estación, fecha, sentido (ida/vuelta), clasificación de los vehículos y horario.

De esta cuenta incluye un espacio pertinente para observaciones y datos del Ingeniero encargado del aforo, número de colegiado y firma. Véase figura 4 página 13, del formato realizado por la (DGC), a través del Departamento de Ingeniería de Tránsito; el cual sirvió de base para la elaboración del formato que se empleará en el presente estudio.

Figura 4. Formato de tabulación de conteos estadísticos provenientes de aforos vehiculares de conteo manual y clasificación de vehículos. (Durante el día)










DIRECCION GENERAL DE CAMINOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE
TRÁNSITO UNIDAD DE CONSERVACIÓN VIAL
INFRAESTRUCTURA Y TECNOLOGÍA



CONTEO MANUAL Y CLASIFICACION DE VEHICULOS

PUNTO DE CONTEO: _____ ESTACIÓN TIPO: _____
 CODIGO RUTA: _____ TRAMO CARRETERO: _____ KM.: ESTACIÓN No.
 FECHA DEL CONTEO: SENTIDO:

CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS	RESUMEN Y HORARIO DEL CONTEO DE TRANSITO CLASIFICADO												TOTAL
	6:00 - 7:00	7:00 - 8:00	8:00 - 9:00	9:00 - 10:00	10:00 - 11:00	11:00 - 12:00	12:00 - 13:00	13:00 - 14:00	14:00 - 15:00	15:00 - 16:00	16:00 - 17:00	17:00 - 18:00	
1 	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8 OTROS:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL DE VEHÍCULOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
YL= 0	OBSERVACIONES:												
VP= 0													
YT= 0													
PORCENTAJES	% LIV.	0.00%	% PESADO	0.00%									Guatemala, 15/10/2014

1.- Vehículo liviano	5.- Microbuses
2.- Pick-up	6.- Buses
3.- C-2, C-3, C-4	7.- T3-S2, R4
4.- T3-S2, T3-S3	8.- Otros

Por este medio certifico que la información contenida en el presente formulario fue tomada en forma fidedigna y con la técnica establecida para el aforo vehicular.

Nombre Ingeniero: _____
 Delegado Residente Supervisora: _____ Numero de Colegiado: _____
 Firma u Sello Delegado Residente _____

Fuente: CIV, (2012).

1.8.1.2. Contadores mecánicos:

Se clasifican en dos: portátiles y fijos o semifijos, entre los contadores portátiles se encuentran los contadores continuos con un dial visible, el cual es activado con un control de relojería, opera durante un determinado lapso y graba todos los datos; funciona a través de un impulso derivado de un tubo neumático el cual se debe instalar perpendicularmente al paso de vehículos, el tubo generalmente es de goma flexible. La limitación es que por lo general estos dispositivos no proporcionan una clasificación por tipo de vehículos, el cual se basa por el número de ejes y peso.

Los contadores fijos o semifijos, emplean gran variedad de detectores, los cuales pueden ser: eléctricos, foto celda, radar, detector magnético, ultrasonido, tubo neumático, entre otros mecanismos.

1.8.1.3. Sistema de medición WIM, *Weigh in Motion*:

De acuerdo con el documento que describe “Términos de Referencia Estudio de Pesaje en Movimiento WIM (*Weigh in Motion*) en la Red Vial Pavimentada” en su edición 2012 en Guatemala, indica el funcionamiento y descripción del sistema de medición WIM con sus siglas en inglés, que significa pesaje en movimiento, el cual captura y graba pesos de eje; además de indicar el peso bruto vehicular sobre determinado lugar y expresarlo como unidad de vehículos. Es un sistema capaz de medir la velocidad de tránsito normal o reducido sin detener los vehículos; brindando eficiencia durante el pesaje. Cuenta con dos partes principales; la primera, es un equipo para pesaje constituido por sensores reales y cables para transmitir la información al paso de vehículos y la segunda parte lo constituye el equipo de medición formado por un hardware para energía, computación, comunicación, adquisición de datos, etc.

El sistema puede operar por medio de paneles solares o bien por corriente alterna de 120V, a través de instalación de un servidor accesible o directa de 12V.

Para su colocación cuenta con un sensor piezoeléctrico y dos lazos inductivos, por cada carril. Dichos sensores deben de ser introducidos en la rodadura de la carretera y deben ser canalizados hasta la unidad electrónica, la cual está capacitada para detectar dos carriles por cada sentido, esta unidad controla los sensores y lazos.

Para su buen funcionamiento es necesario contar con personal capacitado sobre el uso del sistema además de personal de guardianía en la estación donde se coloque el WIM. Un aspecto muy importante en el sistema es la calibración, la cual se recomienda realizarla una vez por año como mínimo, esta consiste en cargar un vehículo rígido de 2 ejes, con una carga conocida por ejes y se hace pasar por los sensores para verificar que los datos del peso y clasificación corresponden a los reales.

Pero también se están empleando simultáneamente los contadores mecánicos y cámaras de video para obtener datos más representativos del tránsito existente, este método se utiliza en pistas de más de dos carriles.

1.8.2. Clasificación de las estaciones de conteo

Según el CIV, en el Boletín de Tránsito elaborado en el año 2011 (p.22), hace referencia a que actualmente se trabajan en Guatemala con cuatro tipos de estaciones para aforo vehicular, las cuales se describen a continuación:

1.8.2.1. Estaciones sumarias:

Comprende conteos volumétricos de 1 día hábil en horario de 6:00 a 18:00 horas, se requieren de cuatro aforistas en turnos de 3 o 4 horas durante el día que tarda el conteo. Con la información obtenida en esta estación se puede calcular el TPDA y además es posible clasificar el tránsito liviano y pesado. Las cifras resultantes deben indicarse en porcentajes (%).

1.8.2.2. Estaciones tipo A:

Se elabora en un lapso de 4 días con horario de 6:00 a 18:00 horas, cada período compuesto de 2 días laborables y 2 días no laborables (sábado y domingo). Se recomienda no ubicarlas en tramos con volúmenes inferiores a 100 vehículos por día. Se debe de contar con 3 aforistas alternando turnos durante el día de 3 o 4 horas cada uno; éstas se utilizan primordialmente en salidas de los departamentos hacia sus municipios.

1.8.2.3. Estaciones tipo B:

Permite ejecutar conteos volumétricos en 2 días hábiles, con horario de 6:00 a 18:00 horas (diurno). Se necesitan de 4 aforistas en turnos de 3 o 4 horas, este conteo determina el flujo permanente diurno y se utiliza en todo el territorio nacional.

1.8.2.4. Estaciones de tipo permanente o fronteriza:

Detecta pequeñas variaciones en el tránsito en períodos repetitivos, el conteo tiene una duración de 7 días durante un período 24 horas (diurno y nocturno). Para este tipo de estación se deberá ubicar puntos específicos (principales salidas de la capital hacia el interior de país y de los departamentos de mayor convergencia vial en las rutas de primer orden). Generalmente, debe

de contar con ocho aforistas como mínimo, los cuales se deben de rotar en turnos de 3 o 4 horas cada uno, de día y noche.

1.9. Criterios para ubicación de estaciones de aforo

Para situar las estaciones de aforo se deben de tener ciertos criterios, que contribuyan a la mejor obtención de datos en el lugar. Por lo que para el presente estudio se consideró:

- **Visibilidad:** El personal debe estar ubicado de tal manera que no existan obstáculos visuales que puedan alterar la toma de datos.
- **Seguridad:** Donde exista un alto índice tránsito vehicular, se deben de ubicar las estaciones en puntos donde los aforistas no estén expuestos a accidentes de cualquier tipo.
- **Condiciones climáticas:** Se debe ubicar al personal en un lugar donde no se encuentren tan expuestos a los diferentes elementos hidrometeorológicos (sol, lluvia, vientos...), que puedan llegar a alterar el rendimiento físico del personal que efectúa el aforo.

1.10. Cambios importantes en el uso del suelo

El cambio del uso del suelo es un factor importante en un proyecto vial, pues a menor presencia de bosques, mayor escorrentía, la cual tiende a dañar las carreteras o calles. Estos pueden servir de referencia, para mejorar la planificación, diseño y construcción de un proyecto vial. Por otro lado, se establece el cambio de uso del suelo debido al crecimiento poblacional, pues genera la expansión de industrias y comercios de todo tipo.

En el presente estudio se puede observar que el cambio del uso del suelo en el entorno del proyecto es evidente, ya que en un inicio los terrenos donde se localiza el trazo del periférico eran áreas de cultivo de trigo, posteriormente la ciudad empezó a presentar crecimiento poblacional, por lo que se orientó ese espacio a la creación de zonas habitacionales, lo que trajo consigo necesidades básicas poblacionales como educación, comercios, entre otros; generando así expansión en el área, lo cual a su vez introdujo más volumen de tránsito y más necesidades de mantenimiento vial.

Actualmente en el lugar se ubica un número importante de proyectos residenciales, colegios, escuelas y en su mayoría, bodegas de materiales de construcción, factor importante que justifica la cantidad de vehículos que transitan en la vía actualmente.

1.11. Conceptualización de fórmulas

A fin de proporcionar los elementos a considerar en las propuestas de la problemática vial del tramo en estudio, se deben determinar diversos elementos de la ingeniería de tránsito fundamentales para una evaluación del comportamiento vial y mejoras físicas, mediante el uso de fórmulas las que en su mayoría fueron extraídas del Manual SEDESOL, (1994), debido a que este manual describe los cálculos necesarios en estudios de ingeniería de tránsito y establece que para obtener los valores correspondientes a la densidad, velocidad, tasa de flujo y flujo vehículos, se debe realizar un aforo vehicular en la estación más crítica en los horarios de máxima demanda en intervalos de 15 minutos. Utilizando también otras referencias bibliográficas como las de los Manuales HCM (2000) y SIECA (2011). Las cuales se describen a continuación.

1.11.1. Volumen de tránsito

$$Q = \frac{N}{T} = \frac{\text{Vehículos}}{\text{Período}} \quad \text{Fórmula (1)}$$

Q= Vehículos que pasan por unidad de tiempo. (Vehículos/período).

N= Número total de vehículos.

T= Período de tiempo determinado. (Horas, minutos, segundos)

Fuente: (SEDESOL, 1994)

1.11.2. Tránsito promedio diario semanal (TPDS)

$$\text{TPDS} = \frac{N}{D} = \frac{\text{Veh.}}{\text{Día}} \quad \text{Fórmula (2)}$$

N= Número total de vehículos (1)

D= Período tiempo en días de aforo.

Fuente: (SEDESOL, 1994)

1.11.3. Volumen horario de máxima demanda (VHMD)

El dato representativo de máxima demanda se observa en la estación considerada como crítica, durante el período de aforo.

$$\text{VHMD} = \text{Vehículos hora pico} \quad \text{Fórmula (3)}$$

Fuente: (SEDESOL, 1994)

1.11.4. Factor de hora pico

Con base al dato obtenido sobre el volumen horario de máxima demanda, se obtiene el factor de hora pico:

$$FHP = \frac{VHMD}{N * q_{\max}} \quad \text{Fórmula (4)}$$

FHP= Factor hora pico.

N= Número de períodos durante la hora de máxima demanda; donde para períodos de 15 minutos se toma el número 4.

qmáx. = Flujo máximo (número de vehículos en intervalos de 15 minutos).

Fuente: (SEDESOL, 1994)

1.11.5. Velocidad promedio de viaje

El aforo realizado en intervalo de 15 minutos en la estación crítica genera el tiempo promedio de velocidades, estableciendo la velocidad promedio de viaje como la longitud del tramo dividido entre el tiempo promedio de viaje de los vehículos que transitan.

$$S = \frac{L}{t_a} = \text{km/h} \quad \text{Fórmula (5)}$$

S= Velocidad promedio de viaje (km/h).

L= Longitud del tramo de carretera (km).

Ta= Tiempo promedio de viaje en el tramo (h).

Fuente: (SEDESOL, 1994)

1.11.6. Velocidad de flujo libre

Corresponde a una medición de flujo libre sin tráfico, horas de bajo tránsito, de donde se deben de extraer los horarios en los que se observa la movilidad de vehículos sin demoras, con velocidades altas.

$$V = \frac{L}{t_a} = \text{km/h} \quad \text{Fórmula (6)}$$

V= Velocidad de flujo libre (km/h).

L= Longitud del tramo de carretera (km).

Ta= Tiempo promedio de viaje en el tramo (h).

Fuente: (SEDESOL, 1994)

1.11.7. Densidad

Se define como densidad al número de vehículos que transita en una longitud establecida de una carretera, se expresa como vehículos por kilómetro (veh/km), e influye en la habilidad que tiene el conductor para maniobrar y cambiar carriles de circulación.

$$D = \frac{v}{S} = \frac{\text{veh}}{\text{km}} / \text{carril} \quad \text{Fórmula (7)}$$

D = Densidad (veh p/km/carril).

v =Razón de flujo (veh p/h), de la estación critica en horario pico.

S =Velocidad promedio de viaje (km/h).

Fuente: (SEDESOL, 1994)

1.11.8. Tasa de flujo (q)

La tasa de flujo se expresa como, el número de vehículos N , que transitan durante un intervalo de tiempo específico, T , inferior a una hora, tiempo que puede expresarse vehículos por minuto (veh/min) o vehículos por segundo (veh/s).

$$q = \frac{N}{T} = \text{Veh.}/\text{min.} \quad \text{Fórmula (8)}$$

N = Máximo número de vehículos.

T =Tiempo (intervalo de 15 minutos.)

Fuente: (SEDESOL, 1994)

1.11.9. Flujo vehicular

De acuerdo al concepto descrito en el numeral 1.4, se analiza que la relación más fácil para poder determinar el flujo vehicular la que relaciona la velocidad promedio del tramo con la densidad.

$$q = u * k = \frac{\text{veh}/\text{h}}{\text{carril}} \quad \text{Fórmula (9)}$$

q = Flujo vehicular

u = Velocidad promedio del tramo

k = Densidad

Fuente: (SEDESOL, 1994)

1.11.10. Capacidad

Para el cálculo de la capacidad de carreteras, el manual HCM, (2000), en el que se indica establecer la *capacidad* de acuerdo al tipo de carretera el cual lo determina por la cantidad de carriles, por lo que para este estudio se estableció que el tramo cuenta con 4 carriles, dos en cada sentido, determinando que la misma se cataloga en carreta de cuatro o seis carriles denominada “*Multicarriles*”, por lo que el manual plantea realizar una estimación de capacidad sobre la condición media de operación, la cual establece determinar la capacidad horaria y diaria del tramo en estudio así:

La capacidad horaria se obtendrá dividiendo el volumen horario de máxima demanda por el factor direccional (D) y multiplicado por el factor de hora pico.

$$\text{Capacidad horaria (CH)} = \frac{\text{VHMD}}{fd} \times \text{FHP} \quad \text{Fórmula (10)}$$

Para obtener el factor direccional se representa mediante la ecuación de una recta de la siguiente forma:

$$fd = 1.00 - 5.71 \times 10^{-3} (DD - 50) \quad \text{Fórmula (11)}$$

Tabla I. **Factor de Distribución Direccional “fd”**

Dist. Direc.	f
50/50	1
60/40	0.94
70/30	0.89
20/20	0.83
90/10	0.75
100/0	0.71

Fuente: HCM (2000).

En donde la elección del factor direccional a criterio del Ingeniero que realiza el cálculo y el mismo se establece de acuerdo al comportamiento observado en campo en ambos sentidos.

Para obtener la capacidad diaria se dividirá la capacidad horaria por el factor de concentración horaria o también llamado densidad (K) (de acuerdo al valor obtenido se escoge dentro de los factores entre 0.05 y 0.10 dependiendo de los volúmenes de tránsito y la localización de la carretera).

$$CD = \frac{CH}{K} \quad \text{Fórmula (12)}$$

Donde:

CD= Capacidad diaria

CH= Capacidad horaria

K= Densidad. (Entre 0.05 y 0.10)

- Modelos estimación de capacidad en campo en intersecciones no semaforizadas de tres ramas:

En caso que exista cola continua en una calle secundaria la tasa de descarga es indefectiblemente la capacidad del movimiento.

En la mayoría de las intersecciones la situación de cola continua en un tiempo relativamente largo no ocurre, por lo que se debe dividir la información en intervalos de tiempo más pequeños, por ejemplo, 1 minuto, ya que si se considerarán intervalos de tiempo de 15 minutos es poco probable que se encuentre el estado de cola continua. (Kyte, y otros, 1996), entonces como no se presentan en forma continua se utiliza la ecuación para estimar la capacidad en condiciones no saturadas así:

$$c_m = \frac{3600}{t_s + t_{mv}} \quad (13)$$

Donde:

c_m = Capacidad de campo para la calle secundaria

t_s = Demora prom. de servicio de los veh. una vez que
llegan a la línea de parada.

t_{mv} = Tiempo prom. de movimiento desde la segunda posición
hasta la línea de parada.

Fuente: (Kyte, y otros, 1996)

En donde la demora de servicio se mide para un período específico y se establece un promedio para todos los vehículos de la calle secundaria que pasaron por la intersección durante ese período, corresponde a la duración desde que llega el vehículo hasta la primera posición y se retira de la misma. La medición de la demora no requiere una cola continua. El tiempo de movimiento

es el lapso entre que el vehículo anterior en la cola se va de la línea de parada y el momento en que el siguiente llega a la primera posición y para este cálculo se requiere que en la cola existan al menos dos vehículos en la cola.

La sumatoria del tiempo de servicio y el tiempo de movimiento es una variable que refleja el tiempo promedio que cada vehículo ocupa en la línea de parada. Con base al concepto de teoría de colas, la capacidad es inversa a la suma del tiempo de servicio más el movimiento.

1.11.11. Nivel de servicio

Con base a los parámetros indicados en el numeral 1.7, sobre condiciones generales para operación, se debe determinar el nivel de servicio del tramo con base a la velocidad promedio de viaje, descrita en el numeral 1.11.5.

1.11.12. Proyecciones

Para obtener porcentajes de crecimiento para 1, 2, 3, 4, 5 y años, con base a la fórmula:

$$\% \text{ de proyección} = \frac{\text{TPD}^n}{365} \quad (14)$$

Donde:

TPD= Tránsito promedio diario (estación crítica).

365= Días del año a proyectar.

n= Número de años a proyectar (1,2, 3, 4 y 5)

Fuente: (SEDESOL, 1994)

2. ESTUDIO DE TRÁNSITO DEL PROYECTO EN INVESTIGACIÓN

2.1. Localización del proyecto

Según la página virtual oficial de la municipalidad de Quetzaltenango, la localización del departamento se describe así:

Guatemala es un país situado en América Central, se encuentra dividido en 22 departamentos. Quetzaltenango pertenece a la Región Sur-Occidente o Región VI, se sitúa en una latitud norte de 14° 50' 40" y a una longitud oeste de 91° 30' 05", limita al norte con el departamento de Huehuetenango; al sur con los departamentos de Retalhuleu y Suchitepéquez; al este con los departamentos de Totonicapán y Sololá; y al oeste con el departamento de San Marcos.

Se considera a Quetzaltenango, la segunda ciudad más importante de Guatemala.

Quetzaltenango se encuentra dividido políticamente en 24 municipios, el proyecto se localiza dentro del municipio que comprende el casco urbano de la ciudad. En la figura 5, se observa el mapa de Guatemala, donde se extrae el departamento de Quetzaltenango.

Figura 5. **Mapa de localización del proyecto**



Fuentes: (Mapa de Guatemala), *Mapa de Guatemala*. (s.f.). Consultado el 12 de agosto del 2014: <http://www.zonu.com/fullsize1/2011-11-23-14996/Mapa-de-Guatemala.html>. (Mapa del departamento de Quetzaltenango), *Mapa del departamento de Quetzaltenango*. (s.f.). Consultado el 12 de agosto del 2014: <http://www.zonu.com/detail/2009-09-17-4995/Mapa-del-departamento-de-Quetzaltenango.html>.

2.2. Ubicación del proyecto

El proyecto denominado “Periférico”, se encuentra delimitado desde la rotonda ubicada cerca del Centro Regional de Justicia estación 5+000 y coordenadas 14°51'30.2"N, 91°30'43.2"W, en el límite de las zonas seis y siete, finalizando en la rotonda de la licorera Botrán en la estación 8+800 y coordenadas 14°51'33.9"N, 91°32'48.0"W, entre las zonas ocho y nueve de la ciudad de Quetzaltenango, como se observa en la figura 6, el mismo forma parte de la Ruta Nacional (RN-01), lo cual remarca la importancia de esta vía no sólo para el departamento, sino también para el país, pues forma una ruta paralela a las carreteras CA-01 Occ. y CA-02 Occ, que conduce a la frontera con México,

pudiendo en caso de emergencia ser utilizadas como rutas alternas de salida del país.

Figura 6. Mapa ubicación



Fuente: Ubicación de las estaciones, elaboración propia.
Mapa: Google earth. (s.f.). Coordenadas 14 51 30.2N, 91 30 43.2W: Consultado el 12 de agosto del 2,014

2.3. Descripción técnica del proyecto

- Localización:

El proyecto en su totalidad cuenta con 8.8 kilómetros, el cual se dividió para su construcción en dos fases la primera inicia en el kilómetro 193.5, estación 0+000 y finaliza en el kilómetro 198.5, estación 5+000 con una totalidad de 5 kilómetros, la segunda fase incluye la ampliación de la vía con una longitud de 3.8 kilómetros de 4 carriles, dos carriles por sentido inicia en la estación 5+000 y finaliza en la estación 8+800. El presente trabajo de graduación considerará en

estudio la segunda fase debido a que actualmente se realizó la ampliación en esta parte del proyecto y se desea verificar la capacidad, nivel del servicio en el tramo.

- Sección típica:

La sección típica de la carretera es de tipo A modificada según la DGC, ya que la sección típica A, cuenta con arriate central de 1.50 metros, ancho de calzada 7.20 metros, hombros de 3.20 metros (Ver apéndice 1. Figura 1, pág. 97), y la del proyecto se encuentra formada por un arriate central de 0.70 centímetros (en lugares donde existe arriate, en su mayoría el proyecto no cuenta con arriate central), cuatro carriles con ancho de carril de 3.6 metros, el proyecto en estudio no cuenta con hombros por lo anterior se cataloga como una sección típica A modificada. La carpeta de rodadura de la estructura del pavimento es concreto asfáltico flexible.

El estado físico de la carretera, según inspección visual es aceptable en un 70%; sin embargo, un tramo todavía presenta falla tipo cuero de lagarto en bloque.

A continuación en la figura 7, se observa el último tramo de la carretera que presenta falla de cuero de lagarto en bloque.

Figura 7. **Falla cuero de lagarto en bloque.**



Fuente: elaboración propia.

El proyecto en su totalidad no cuenta con hombros en ambos lados de la vía, lo que provoca que los vehículos no tengan espacio para maniobrar con más libertad.

La construcción de cunetas existentes son geoméricamente variadas; entre los que se destacan las de tipo L y trapezoidales, según figuras 8 y 9. Las más predominantes en el tramo son tipo L.

Figura 8. **Cunetas trapezoidales**



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Cuneta tipo L**



Fuente: elaboración propia.

- Clasificación funcional:

De acuerdo a la clasificación funcional descrita en el numeral 1.6 con base al Manual de SIECA (2011, pág. 25), se determinó que el tramo en estudio en un

inicio se clasificaba como *Arterial* debido a que las velocidades de circulación eran mayores y no existían interrupciones durante el recorrido, ya que en los alrededores de la carretera se situaban terrenos de cultivo de trigo, posteriormente la ciudad empezó a presentar un crecimiento poblacional por lo que cambió el uso del suelo, el cual fue muy marcado, por lo que se orientó ese espacio a la creación de zonas habitacionales, lo que trajo consigo a necesidades básicas como educación, comercios, entre otros. Lo cual hizo que el área se expandiera, lo que originó aumento en el parque vehicular en el tramo en estudio.

Debido al cambio de uso del suelo la clasificación funcional cambió, ya que las velocidades de circulación en el tramo son menores, en el año 2014 se puede clasificar como *Colector*, ya que la misma debe de tener un balance entre movilidad y accesos.

Para el cálculo de la capacidad de carreteras, el manual HCM, (2000), indica establecer la *capacidad* de acuerdo al tipo de carretera el cual se determina por la cantidad de carriles, por lo que para este estudio se estableció que el tramo cuenta con 4 carriles dos en cada sentido, determinando que la misma se cataloga en carreta de cuatro o seis carriles denominada "*Multicarriles*".

- Intersecciones:

A lo largo del proyecto en estudio se observa que se tienen alrededor de 15 intersecciones, ocasionando paradas continuas a los conductores que circulan sobre la vía generando demoras y posibles accidentes debido a la salida rápida de los vehículos o bien obstaculizando carriles. (Ver apéndice 2, área de Mapas: Mapa del problema de intersecciones).

- Paso a desnivel:

En el proyecto se construyó un paso a desnivel que se construyó en el año 2013 que inicia en el estacionamiento 7+169 y finaliza en el estacionamiento 7+452, el cual no cuenta con protección del talud, lo que provoca en tiempo de lluvia que el material se deposite en la carpeta provocando derrapes, disminución de velocidad de conductores. El mismo carece de señalización y protección lo que ha provocado accidentes en el lugar, según se observa en la figura 10.

Figura 10. **Paso a desnivel.**



Fuente: elaboración propia.

2.4. Metodología de aforo

Para la medición del volumen vehicular se utilizará la metodología manual, explicada en el numeral 1.8.1.1, utilizando el formulario indicado en la figura 4, principalmente porque es necesario establecer la clasificación de los diferentes tipos de vehículos que circulan por esa vía.

2.4.1. Tipo de estación empleada

Se utilizó la estación tipo A, descrita en el numeral 1.8.2.2 de 3 días laborales y 2 días no laborales.

2.4.2. Ubicación de las estaciones de aforo

Se ubicaron los puntos de aforo así:

Las cuatro estaciones de control, se ubicaron dos al inicio del proyecto y dos al final del proyecto. En todos los casos, se cumplió con lo descrito en el numeral 1.9 de este documento.

Figura 11. Mapa ubicación de estaciones de aforo



Fuente: Ubicación de las estaciones de conteo, elaboración propia.
Mapa: *Google Earth*. (s.f.). Coordenadas 14 51 30.2N, 91 30 43.2W: Consultado el 12 de agosto del 2014.

2.4.3. Bitácora de aforo vehicular

A continuación se describen las diferentes actividades que se realizaron en el tramo en estudio.

- **Formato de formularios:** Se realizaron los formatos para el conteo manual y clasificación de vehículos, con base al formato utilizado por la DGC.
- **Revisión de formatos:** El asesor revisó los formatos realizados e indicó modificaciones al mismo.
- **Modificación de formato:** Los cambios se efectuaron en gabinete.
- **Revisión de formato final:** El asesor revisó los formatos con las modificaciones indicadas y luego aprobó los mismos para su impresión.
- **Impresión e identificación de formularios:** En gabinete se realizaron las impresiones y luego se identificó con folder la estación a la que pertenecían los formatos.
- **Visita de campo:** Se realizó una visita preliminar al área donde se ubica el proyecto, para analizar el tramo y establecer la ubicación de las estaciones de aforo, tomando en consideración los criterios indicados en el numeral 1.10. Por lo que se determinó, ubicar las estaciones en sitios estratégicos del proyecto, colocando en cada una de ellas aforistas que realizarán el conteo vehicular, tomando en cuenta ambos sentidos de la vía.

- **Contratación de aforistas:** Se contrató al personal que cumpliera con parámetros como: puntualidad, responsabilidad, leer y escribir.
- **Capacitación aforistas:** Se citó al personal y se les explicó en qué consistía el conteo vehicular, el horario que comprendía; cuáles son los tipos de vehículos de acuerdo a su clasificación. Forma de estructuración del formato, para anotar adecuadamente la información de los vehículos que circulaban en la estación donde se les ubicaría.
- **Calibración de aforistas:** Se indicó al personal presentarse el día 19 de junio a las 8:00 am en el monumento a Tecún Umán estación 6+982, para luego ubicarlos en un tramo del proyecto y realizar la calibración del personal con duración de dos horas, tiempo que le llevó al personal para comprender el procedimiento adecuado de la toma de datos para evitar errores durante los días de aforo. Además se les indicó el lugar de la estación y la simbología de la misma.

Tabla II. **Información de las estaciones de aforo**

AFORISTA	ESTACIÓN
Reyna Ramírez	A
Mishel Castillo	B
Carlos Gracias	C
Otto Gracias	D

Fuente: elaboración propia.

Realización del aforo: El aforo vehicular se realizó durante 5 días. En la siguiente tabla se describen en detalle.

Tabla III. **Días y fechas de aforo vehicular**

DÍA DE AFORO	FECHAS DE AFORO
SÁBADO	21 DE JUNIO DEL 2014
DOMINGO	22 DE JUNIO DEL 2014
MIÉRCOLES	25 DE JUNIO DEL 2014
JUEVES	26 DE JUNIO DEL 2014
VIERNES	27 DE JUNIO DEL 2014

Fuente: elaboración propia.

Durante el día uno, se pidió a los aforistas presentarse a las 5:45 am en el monumento de Tecún Umán estación 6+982, para ser ubicados en la estación correspondiente por la Ingeniera a cargo del presente trabajo de graduación; la cual les proporcionó casco, chaleco reflectivo, identificación, formulario, agua pura, refacción. Los días siguientes el personal debía estar ubicado en cada estación con cada uno los materiales anteriormente descritos.

La ingeniera a cargo del trabajo de graduación, realizó supervisión en cada estación, en diferentes horarios cada día para mejorar la obtención y calidad de información por parte de los trabajadores.

A continuación se observa la figura 12, en la que se observa a la aforista Reyna Ramírez, tomando datos durante el primer día.

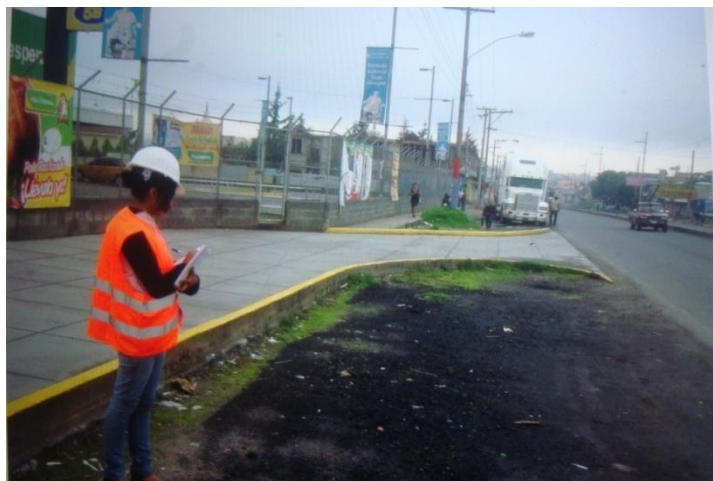
Figura 12. **Estación A**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 13, se observa la estación B, donde la Señorita Mishel Castillo, anota los datos durante el segundo día del aforo.

Figura 13 **Estación B**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 14, se observa la estación C, donde el aforista Carlos Gracias, anota los datos durante el tercer día del aforo.

Figura 14 **Estación C**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 15, se observa la estación D, donde el aforista Otto Gracias, anota los datos durante el cuarto día del aforo.

Figura 15 Estación D



Fuente: elaboración propia.

La figura 16 correspondiente al quinto día de aforo.

Figura 16 Estación C, quinto día de aforo



Fuente: elaboración propia.

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Resumen de los datos registrados en las estaciones de control:

A continuación se presenta el resumen de los resultados el cual se dividirá en dos partes, la primera indica la tabulación horaria, por estación. Y la segunda se presenta la tabulación por clasificación vehicular, por estación. (VER PÁGINA SIGUIENTE).

PRIMERA PARTE

TABULACIÓN HORARIA

ESTACIÓN	A												Tabla IV. Tabulación horaria, estación A
RESUMEN													
DÍA	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	TOTAL x día
SÁBADO	318	976	864	660	558	557	683	969	1,714	1,486	634	849	10,268
DOMINGO	366	759	1,237	1,680	1,721	2,078	1,060	759	577	1,347	1,329	1,068	13,981
MIÉRCOLES	1,112	674	1,378	1,657	1,581	1,405	838	969	948	1,768	1,313	1,037	14,680
JUEVES	408	634	966	1,554	1,229	972	1,283	957	984	1,064	1,186	1,669	12,906
VIERNES	742	1,337	1,572	1,662	1,624	1,480	1,630	1,587	1,546	1,454	1,322	1,233	17,189
Total hrs.	2946	4380	6017	7213	6713	6492	5494	5241	5769	7119	5784	5856	69,024
promedio	589.2	876	1203	1443	1343	1298	1098.8	1048.2	1153.8	1423.8	1156.8	1171.2	

Fuente: elaboración propia

ESTACION	B												Tabla V. Tabulación horaria, estación B
RESUMEN													
DÍA	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	TOTAL x día
SÁBADO	350	817	651	746	601	613	673	847	774	843	731	540	8,186
DOMINGO	339	619	1,019	1,237	868	899	543	618	424	291	248	689	7,794
MIÉRCOLES	406	596	818	1,077	586	749	433	668	615	635	725	879	8,187
JUEVES	608	816	818	799	1,056	933	666	676	621	438	645	708	8,784
VIERNES	1,071	1,484	1,424	1,402	1,205	1,250	526	637	806	680	596	722	11,803
Total hrs.	2774	4332	4730	5261	4316	4444	2841	3446	3240	2887	2945	3538	44,754
promedio	555	866	946	1052	863	889	568	689	648	577	589	708	

Fuente: elaboración propia.

PRIMERA PARTE

ESTACIÓN		Tabla VI. Tabulación horaria, estación C											
C		RESUMEN											
DÍA	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	TOTAL x día
SÁBADO	389	498	536	533	443	417	542	550	611	465	494	506	5,984
DOMINGO	1,024	1,006	744	1,120	1,003	1,024	724	653	566	587	547	938	9,936
MIÉRCOLES	654	445	748	791	559	555	1,030	849	878	940	851	1,041	9,341
JUEVES	530	593	612	557	599	552	538	496	492	537	601	571	6,678
VIERNES	454	532	506	524	546	509	614	648	707	675	672	909	7,296
Total hrs.	3051	3074	3146	3525	3150	3057	3448	3196	3254	3204	3165	3965	39,235
promedio	610	615	629	705	630	611	690	639	651	641	633	793	

Fuente: elaboración propia.

ESTACIÓN		Tabla VII. Tabulación horaria, estación D											
D		RESUMEN											
DÍA	6:00-7:00	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	12:00-13:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00	16:00-17:00	17:00-18:00	TOTAL x día
SABADO	609	666	634	601	483	549	423	411	360	414	589	552	6,291
DOMINGO	525	560	552	635	416	483	631	483	452	544	555	646	6,482
MIÉRCOLES	465	538	606	503	510	356	466	324	557	588	614	988	6,515
JUEVES	574	1,113	815	577	496	487	681	494	729	497	685	688	7,836
VIERNES	770	688	699	537	553	872	754	776	527	450	792	1,015	8,433
Total hrs.	2943	3565	3306	2853	2458	2747	2955	2488	2625	2493	3235	3889	35,557
promedio	589	713	661	571	492	549	591	498	525	499	647	778	

Fuente: elaboración propia.

SEGUNDA PARTE

RESUMEN DE TABULACIÓN POR CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS

Tabla VIII. Resumen de tabulación por clasificación de vehículos.
Estación A

ESTACIÓN	A					
	SÁBADO	DOMINGO	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	TOTAL x tipo
Carro pequeño	4,100	6,337	6,462	6,062	8,056	31,017
Pick-up	2,884	5,266	5,705	4,175	6,180	24,210
C-2, C-3, C-4	1,298	920	994	972	1,027	5,211
5 y 6 ejes	132	144	191	242	281	990
Microbuses	1,097	599	567	594	854	3,711
Buses	757	715	761	861	791	3885
TOTAL	10,268	13,981	14,680	12,906	17,189	69,024

Fuente: elaboración propia

Tabla IX. Resumen de tabulación por clasificación de vehículos.
Estación B

ESTACIÓN	B					
	SÁBADO	DOMINGO	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	TOTAL x tipo
Carro pequeño	3,056	3,184	4,553	4,504	4,570	19,867
Pick-up	1,912	2,031	1,870	2,298	2,795	10,906
C-2, C-3, C-4	1,298	962	781	846	2,077	5,964
5 y 6 ejes	550	203	175	145	1,060	2133
Microbuses	847	720	333	405	602	2,907
Buses	523	694	475	586	699	2977
TOTAL	8,186	7,794	8,187	8,784	11,803	

Fuente: elaboración propia

Tabla X. **Resumen de tabulación por clasificación de vehículos.
Estación C**

ESTACIÓN	C					
	SÁBADO	DOMINGO	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	TOTAL x tipo
Carro pequeño	2,153	3,939	3,089	2,568	3,038	14,787
Pick-up	1,435	2,779	2,595	2,218	2,168	11,195
C-2, C-3, C-4	1,082	859	1,268	473	553	4,235
5 y 6 ejes	102	209	184	155	216	866
Microbuses	898	1,345	1,358	992	1,040	5,633
Buses	314	805	847	272	281	2519
TOTAL	5,984	9,936	9,341	6,678	7,296	

Fuente: elaboración propia

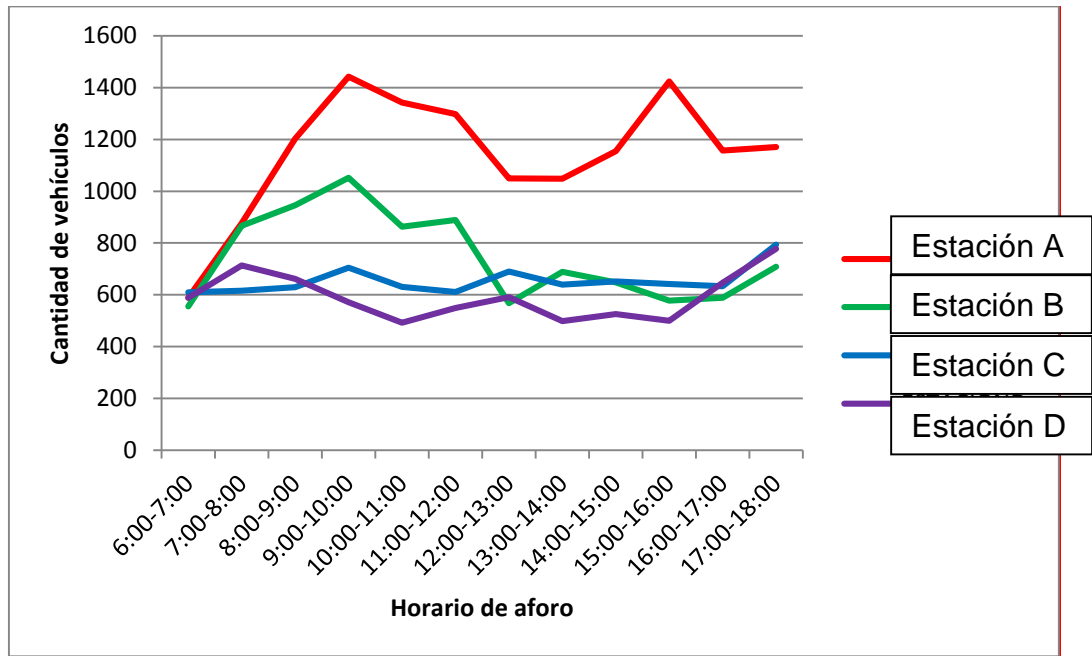
Tabla XI. **Resumen de tabulación por clasificación de vehículos.
Estación D**

ESTACIÓN	D					
	SÁBADO	DOMINGO	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	TOTAL x tipo
Carro pequeño	2,422	2,396	2,386	2,786	3,098	13,088
Pick-up	1,555	1,768	1,822	2,157	2,323	9,625
C-2, C-3, C-4	581	705	822	1,104	1,403	4,615
5 y 6 ejes	197	231	161	191	155	935
Microbuses	1,080	988	1,018	1,131	1,087	5,304
Buses	456	394	306	467	367	1990
TOTAL	6,291	6,482	6,515	7,836	8,433	

Fuente: elaboración propia

Las Tablas IV, V, VI y VII indican datos del promedio de vehículos que circulan en diferentes horarios los cuales dan origen a la figura 17, en la cual se observan las fluctuaciones sobre la cantidad de vehículos que circulan en los puntos donde se ubicaron las estaciones de control. Se establece que la estación A, es la crítica debido a que registra el más alto índice de volumen de tránsito.

Figura 17. Resumen de horas promedio por estación



Fuente: elaboración propia

Para identificar apropiadamente la ubicación y sentido de las estaciones que se observan en la gráfica, se aclara: la estación A, se ubica en sentido Sur - Oeste, la estación B, se ubica en sentido Sur - Este, la estación C, se ubica en sentido Sur - Oeste y la estación D, en sentido Sur - Este. (Ver figura 11. Mapa de ubicación de estaciones de aforo, pág.35).

La gráfica anterior indica lo siguiente:

- La curva que muestra el movimiento vehicular en la estación A, indica el incremento de casi 900 vehículos durante los 5 días de aforo, en comparación con los datos obtenidos de las demás estaciones, representando el 64% de la cantidad total de vehículos evaluados. El

incremento se debe a la ubicación de la estación, sobre la misma ingresan vehículos provenientes de Cuatro Caminos, Olinstepeque, Costa Sur, Salcajá y del casco urbano, como se observa en la figura No. 18.

Figura 18. **Tributaciones de la estación crítica A**



Fuente: Colocación de la estación crítica y sus aportaciones de acuerdo a destino, elaboración propia y Mapa: Google Earth. (s.f.). Coordenadas 14 51 30.2N, 91 30 43.2W: Consultado el 12 de agosto del 2014 en Google Earth.

- El comportamiento de la curva en la estación B, indica un aumento de vehículos en horario matutino, el cual es debido a que dicha estación recibe aportación vehicular del tránsito que sale de la ciudad y de industrias que cuentan con garajes ubicados en el tramo del periférico y en el transcurso de la tarde se observa una disminución de tránsito.
- En la curva generada con los datos obtenidos en la estación C, se observa un comportamiento continuo de vehículos durante los días de aforo, no presenta picos representativos lo que indica que en esa estación el flujo vehicular es constante en cantidad de vehículos, esto se justifica debido a

que los vehículos que pasan por la estación A, en su mayoría ingresan al centro de la ciudad de Quetzaltenango y otra parte se distribuye a los residenciales, colegios e industrias en el lugar, lo cual explica la disminución de vehículos en la estación C.

- En la curva de la estación D, se observa que esta decrece en comparación con las otras curvas de las estaciones, dicho comportamiento se da ya, que el tránsito en esa estación es poco, la mayoría de vehículos que provienen de la licorera Botrán, ingresan a la ciudad de Quetzaltenango por el Hospital Nacional Regional y no necesariamente por el periférico. Las aportaciones que recibe esta estación se dan en su mayoría por vehículos que se dirigen a los residenciales, colegios, industrias en el lugar o bien que sólo utilizan el periférico para dirigirse a otro municipio o departamento.

Las tablas VIII, IX, X y XI, muestran información sobre el total de vehículos por tipo que circulan en las 4 estaciones; generando datos que se agrupan como sigue:

- Vehículos livianos: Carro pequeño, pick-up, microbuses.
- Transporte pesado: C-2, C-3, C-4, 5 y 6 ejes, buses y azucareros.

Como se muestra en la siguiente tabla:

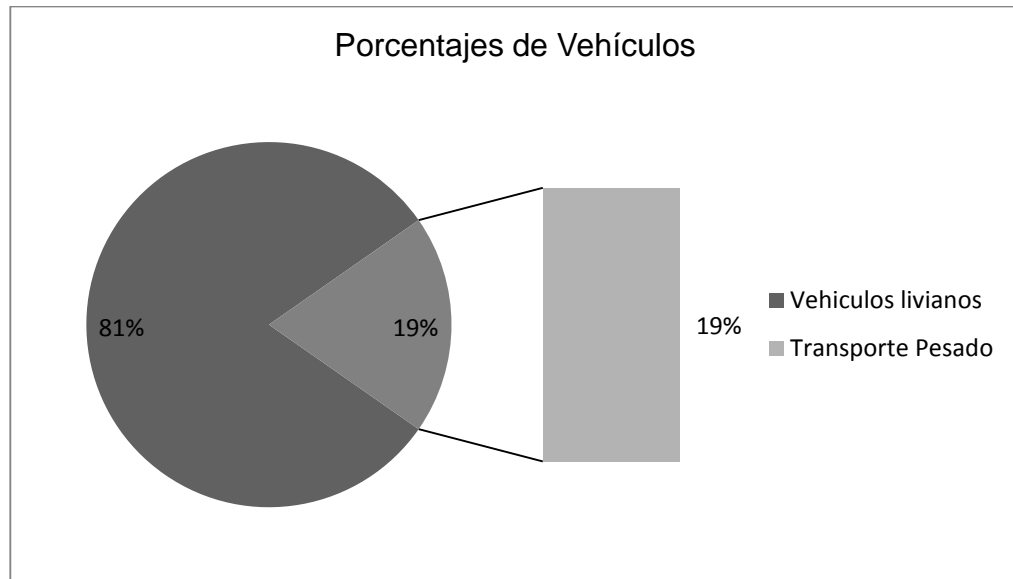
Tabla XII. **Consolidación de datos de las cuatro estaciones.**

ESTACIÓN A	CANTIDAD
Vehículos livianos	28,017
Transporte pesado	6,740
ESTACIÓN B	CANTIDAD
Vehículos livianos	28,017
Transporte pesado	6,740
ESTACIÓN C	CANTIDAD
Vehículos livianos	31,615
Transporte pesado	7,620
ESTACIÓN D	CANTIDAD
Vehículos livianos	28,017
Transporte pesado	6,740

Fuente: elaboración propia.

Por lo que con los datos que componen la Tabla XI, y por medio de la inspección visual en campo, se determinó que en tramo en estudio la mayor cantidad de vehículos que circulan en el tramo corresponde a vehículos livianos (VL). Por regla de tres, se estableció el total de vehículos livianos de las cuatro estaciones como un 100% lo que en porcentajes desglosa que el 81% de vehículos que transitan en el periférico lo constituyen vehículos livianos (VL) y el 19% restante lo constituye el transporte pesado (TP), dando origen a los porcentajes de vehículos obtenidos en la tabulación por clasificación de vehículos que se observan en la figura 19.

Figura 19. **Porcentajes de vehículos obtenidos de la tabulación por clasificación de vehículos.**



Fuente: elaboración propia.

Tanto los datos generados en las tablas anteriores, como el establecimiento de la estación crítica y el fundamento teórico considerado en el capítulo uno, proporcionan parámetros para la determinación de los factores requeridos en la presente investigación, para determinar la capacidad de la carretera y el nivel de servicio.

3.2. Sustitución de datos en fórmulas

3.2.1. Volumen de tránsito

$$Q = \frac{N}{T} = \frac{69,024}{60} = 1,150 \text{ Vehículos/período} \quad (1)$$

Q= Vehículos que pasan por unidad de tiempo. (Vehículos/período).

N= Número total de vehículos que pasan por la estación crítica.

T= Período determinado. (60 horas, tiempo que abarca los 5 días que duró el estudio).

3.2.2. Tránsito promedio diario semanal (TPDS)

$$TPDS = \frac{N}{D} = \frac{69,024}{5} = 13,805 \text{ veh./día} \quad (2)$$

N= Número total de vehículos que pasan por la estación crítica.

D= Período determinado, durante los 5 días que duró el estudio.

Para obtener los valores correspondientes a la densidad, velocidad, tasa de flujo y flujo vehículos, se realizó un aforo vehicular en la estación más crítica en los horarios de máxima demanda, los cuales se observan en la tabla IV; estableciendo el primer horario durante la mañana 09:00 – 11:00 am y el segundo horario durante la tarde 15:00 – 17:00; en intervalos de 15 minutos. Obteniendo información detallada en la tablas XIII.

Tabla XIII. **Aforo en intervalos de 15 minutos**

AFORO VEHÍCULAR EN INTERVALOS DE TIEMPO (SEDESOL, 1994)	
--	--

DISTANCIA EN KMS.	380 metros
INTERVALO DE TIEMPO	15 minutos
DÍA	Jueves 26 de junio del 2014

HORARIO	TOTAL DE VEHÍCULOS
09:00 - 09:15	258
09:15 - 09:30	270
09:30 - 09:45	201
09:45 - 10:00	282
10:00 - 10:15	280
10:15 - 10:30	222
10:30 - 10:45	162
10:45 - 11:00	172
15:00 - 15:15	179
15:15 - 15:30	200
15:30 - 15:45	205
15:45 - 16:00	191
16:00 - 16:15	271
16:15 - 16:30	190
16:30 - 16:45	280
16:45 - 17:00	240

Fuente: elaboración propia.

Se necesitaba establecer el promedio de velocidades de vehículos en la estación crítica, por lo que con base al dato obtenido en la Fórmula (2) se consideró una muestra de 100 vehículos equivalente al 0.72% del total de vehículos que transitan por el lugar.

Tabla XIV. **Tiempos en segundos**

TIEMPOS DE VEHÍCULOS			
Hora de muestreo: 9:00 - 10:00 am Día: 26-06-2014			
Tamaño de Muestra:	100 vehículos	Distancia	380m
Tiempo en Segundos			

TIEMPO			
0.28	0.22	0.25	0.25
0.30	0.48	0.22	0.39
0.32	0.21	0.23	0.25
0.18	0.27	0.53	0.26
0.26	0.29	0.32	0.25
0.14	0.22	0.34	0.27
0.27	0.25	0.30	0.33
0.32	0.24	0.16	0.28
0.30	0.15	0.30	0.21
0.24	0.22	0.32	0.25
0.29	0.24	0.27	0.34
0.28	0.22	0.29	0.26
0.25	0.21	0.24	0.30
0.32	0.26	0.34	0.23
0.22	0.21	0.26	0.29
0.28	0.27	0.25	0.24
0.24	0.21	0.24	0.35
0.23	0.27	0.31	0.46
0.22	0.29	0.21	0.34
0.21	0.28	0.30	0.25
0.22	0.29	0.21	0.29
0.21	0.24	0.28	0.31
0.29	0.23	0.40	0.35
0.22	0.28	0.24	0.27
0.29	0.26	0.23	0.43

TIEMPO PROMEDIO	0.2718	Segundos
-----------------	--------	----------

Fuente: elaboración propia.

3.2.3. Volumen horario de máxima demanda (VHMD)

El dato representativo de máxima demanda se observa en la estación considerada como crítica, en horario de 09:00 – 10:00 am (hora pico), estableciendo que en el lugar circulan 1,443 vehículos por día (Ver tabla IV. Tabulación horaria, estación A).

$$\text{VHMD} = 1,443 \text{ Vehículos por día. (3)}$$

3.2.4. Factor de hora pico

$$\text{FHP} = \frac{\text{VHMD}}{N * q_{\max}} = \frac{1443}{4 * 282} = 1.27 \quad (4)$$

FHP= Factor hora pico.

N= Número de períodos durante la hora de máxima demanda; donde para períodos de 15 minutos se toma el número 4.

q_{máx.} = Flujo máximo (número de vehículos en intervalos de 15 minutos). Este valor se obtuvo con base a la Tabla XIII, que indica el valor máximo.

3.2.5. Velocidad promedio de viaje

El aforo realizado en intervalo de 15 minutos en la estación crítica generó el tiempo promedio de velocidades descrito en la tabla XIV.

$$S = \frac{L}{t_a} = \frac{0.38}{7.5 * 10^{-3}} = 50.67 \sim 51 \text{ km/h} \quad (5)$$

S= Velocidad promedio de viaje (km/h).

L= Longitud del tramo de carretera (km).

Ta= Tiempo promedio de viaje en el tramo (h).

3.2.6. Velocidad de flujo libre

Corresponde a una medición de flujo libre sin tráfico, horas de bajo tránsito.

De la tabla XIV, se extrajeron los horarios en los que se observó movilidad sin demoras, los cuales componen la tabla siguiente:

Tabla XV. **Tiempos sin demoras**

TIEMPOS SIN DEMORAS				
Tiempo en Segundos	Distancia			0.38Km.
TIEMPO				
18	22	22	16	
14	21	22	21	
22	21	21	21	
22	22	21	21	
21	15	22		
TIEMPO PROMEDIO	20 Segundos			

Fuente: elaboración propia.

Considerando como velocidad de flujo libre a la velocidad promedio de los vehículos en un tramo específico, estableciendo condiciones de volumen bajo sin restricciones de demoras, con velocidades altas.

$$V = \frac{L}{t_a} = \frac{0.38}{5.55 * 10^{-3}} = 68.4 \sim 68 \text{ km/h} \quad (6)$$

V= Velocidad de flujo libre (km/h).

L= Longitud del tramo de carretera (km).

Ta= Tiempo promedio de viaje en el tramo (h).

3.2.7. Densidad

$$D = \frac{v}{S} = \frac{282}{51} = 5.53 = 5 \text{ veh./km/carril} \quad (7)$$

D = Densidad (veh p/km/carril).

v =Razón de flujo (veh p/h), de la estación critica en horario pico, aforo en intervalos de 15 minutos, tabla XIII.

S =Velocidad promedio de viaje (km/h). (5)

Dato que indica que por cada carril en el periférico circulan 5 vehículos en un período de tiempo de 27 segundos.

3.2.8. Tasa de flujo (q)

La tasa de flujo se expresa como, el número de vehículos N , que transitan durante un intervalo de tiempo específico, T , inferior a una hora, tiempo que puede expresarse vehículos por minuto (veh/min) o vehículos por segundo (veh/s).

$$q = \frac{N}{T} = \frac{282}{15} = 18.8 \sim 19 \text{ Veh./min.} \quad (8)$$

N= Máximo número de vehículos en la estación crítica, en intervalo de tiempo de 15 minutos. Tabla XIII.

T=Tiempo (intervalo de 15 minutos.)

3.2.9. Flujo vehicular

$$q = u * k = 51 \text{ km/h} * 5 \text{ veh/km/carril} = 255 \text{ veh/h/carril} \quad (9)$$

q= Flujo vehicular.

u= Velocidad promedio de viaje (5).

k= Densidad (7).

3.2.10. Capacidad

Sustituyendo el dato de la fórmula 11 obtenemos el resultado del factor direccional:

$$fd = 1.00 - 5.71 \times 10^{-3} (0.94 - 50) = 1.28 \quad (11)$$

Obtenido este dato proseguimos a sustituir las variables de la fórmula 10 para obtener la capacidad horaria del tramo en estudio.

$$CH = \frac{1443}{1.28} \times 1.27 = 1,432 \text{ vehiculos/hora} \quad (10)$$

Donde:

CH= Capacidad horaria.

VHMD: Volumen horario de máxima demanda (4).

fd: Factor direccional (11).

FHP: Factor de hora pico (3)

Para obtener la capacidad diaria se dividirá la capacidad horaria por el factor de concentración horaria o también llamado densidad (K) (de acuerdo al valor obtenido se escoge dentro de los factores entre 0.05 y 0.10 dependiendo de los volúmenes de tránsito y la localización de la carretera, para este caso como el volumen es 5 se considera el factor de 0.05).

$$CD = \frac{1432}{0.05} = 28,634 \text{ Vehiculos/día} \quad (12)$$

Donde:

CD= Capacidad diaria.

CH=Capacidad horaria (11).

K= Densidad en porcentaje (7).

Modelos estimación de capacidad en campo:

En el periférico ubicado entre las estaciones 5+000 y 8+800 se identificó el estacionamiento 6+130 en donde existe una intersección en conflicto, ya que sólo se cuenta con estructura metálica de semáforos, mismos no están en funcionamiento por lo cual es necesario realizar una estimación de capacidad en campo para una calle secundaria que presente mayor conflicto.

Debido a que se identificó la calle secundaria en conflicto: proveniente de la salida principal de la “Colonia Trigales” de la 29 avenida de la zona 7 y se observó cola continua durante en hora pico en este punto en específico el cual fue de 1:00 – 3:00 pm. Que los vehículos tardaban esperando alrededor de 3 minutos y lograban salir aproximadamente 3 a 5 vehículos en un lapso de 0.35 segundos.

Sustituyendo datos en fórmula:

$$c_m = \frac{3600}{t_s + t_{mv}} = \frac{3600}{3 \text{ min} + 0.35 \text{ seg}} = 1,075 \text{ (vph)} \quad (13)$$

Donde:

c_m = Capacidad de campo para la calle secundaria (vph)

t_s = Demora prom. de servicio de los veh. una vez que
llegan a la línea de parada. (3 minutos)

t_{mv} = Tiempo prom. de movimiento desde la segunda posición
hasta la línea de parada. (0.35 segundos)

Fuente: (Kyte, y otros, 1996)

Por lo que estableciendo que la capacidad en campo para una calle secundaria con mayor carga vehicular fue de 1,075 VPH.

3.2.11. Nivel de servicio

Con base a los parámetros indicados en el numeral 1.7 sobre condiciones generales, se determinó que el anillo periférico ubicado en las estaciones 5+000 y 8+800, tiene una velocidad promedio de viaje en la estación crítica de 51KPH, por lo que comparando este dato con las velocidades descritas en el numeral citado cataloga al tramo en estudio con un nivel de servicio tipo D, presentando un flujo inestable porque los conductores tienen poca libertad para maniobrar.

3.2.12. Proyecciones

De acuerdo a la información proporcionada por la DGC que realizó una proyección en el año 2005 - 2012 en la cual se observan las tasas de crecimiento del parque vehicular de todo el país (Ver apéndice 1. Tabla I, pág. 98), en donde se observa que el departamento de Quetzaltenango tiene la tasa más elevada en comparación con otras ciudades importantes que es de 6.96% en un lapso de 7 años, por lo que se considera que la tasa de crecimiento anual sería de 0.99% anual. Parámetro que sirvió para realizar proyecciones del lugar teniendo como año base al año 2014, año en que se realizó el presente estudio y el TPDA.

Dicha información que sirvió para obtener porcentajes de crecimiento para 1, 2, 3, 4, 5 y años, con base a la fórmula:

$$\% \text{ de proyección} = \frac{\text{TPD}^n}{365} \quad (14)$$

Donde

TPD= Tránsito promedio diario (estación crítica).

365= Días del año a proyectar.

n= Número de años a proyectar (1,2, 3, 4 y 5)

Tabla XVI. **Proyecciones**

Porcentaje de tasa de crecimiento del parque vehicular			Tránsito promedio diario semanal (TPDS)		Cantidad de vehículos por año
	0.99%	Año Actual	2014	13,805	vehículos/día
	1 Año	2015	14,766	vehículos/día	5,389,590
	2 Años	2016	15,794	vehículos/día	5,764,810
	3 Años	2017	16,893	vehículos/día	6,165,945
	4 Años	2018	18,069	vehículos/día	6,595,185
	5 Años	2019	19,327	vehículos/día	7,054,355
	10 Años	2024	27,057	vehículos/día	9,875,805

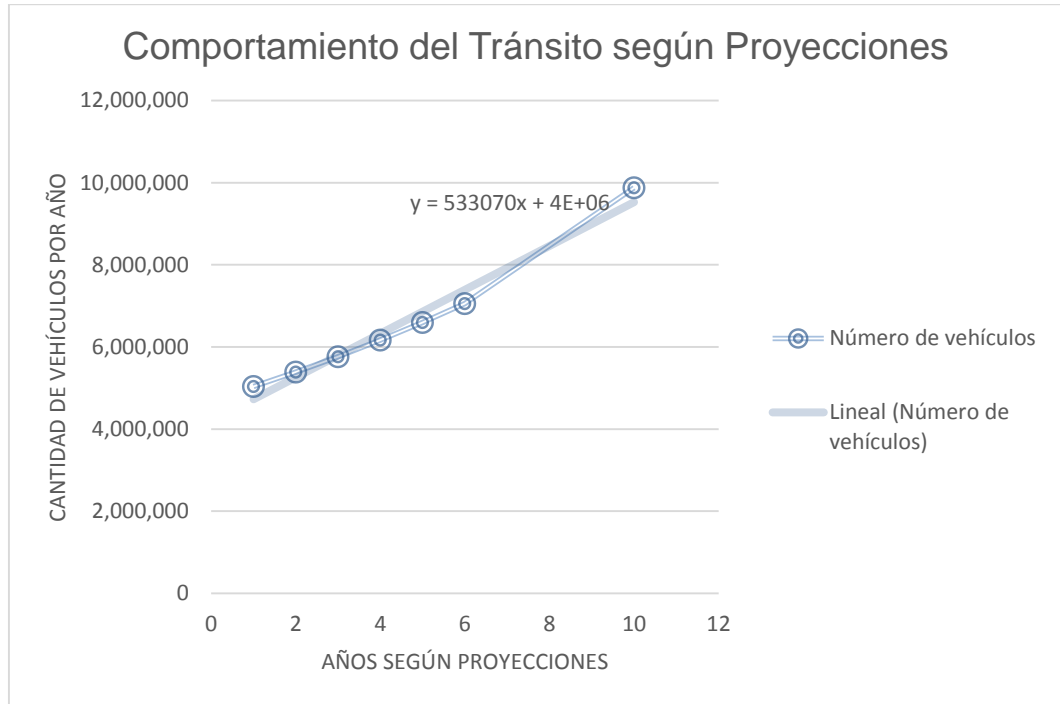
Fuente: elaboración propia.

En la tabla XVI, se observa la demanda de vehículos por día, obtenida del tránsito promedio diario semanal y la cantidad total de vehículos que se tendrían considerando la tasa de crecimiento anual de 0.99% que establece la Dirección General de Caminos (DGC).

Además se observa que en el transcurso de 10 años el parque vehicular se habrá duplicado, por lo que se deben de efectuar mejoras a corto plazo al tramo en estudio, para evitar congestionamientos.

Lo que se hace más evidente mediante la realización de la figura 20, sobre el comportamiento del tránsito según proyecciones, la cual compara los años utilizados para proyectar, los cuales fueron el año de realización de aforo (2014) y número de años a proyectar (1,2,3,4,5,10), con respecto a la cantidad de vehículos por año.

Figura 20. **Comportamiento del tránsito según proyecciones**



Fuente: elaboración propia.

En donde se puede observar un comportamiento de crecimiento lineal y esto es porque se utilizó para todos los años a proyectar el crecimiento anual de 0.99% con base a los datos de la tabla I, del apéndice de la Dirección General de Caminos (DGC), el cual no es significativo motivo por el cual sirvió para establecer un análisis en corto tiempo abarcando 1, 2, 3, 4 y 5 años para hacerlo representativo como se observa en la figura 20, identificando también el modelo lineal de la forma: $y = 533070x + 4 * 10^6$, en el crecimiento vehicular. Además se tuvo un margen de error de 5% y un nivel de confianza del 95%.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con los datos obtenidos en la tabulación, se extrajo la siguiente información que se describe a continuación:

La capacidad horaria es de $1,432 \text{ veh/hora}$ y la capacidad diaria es de $28,434 \text{ veh/día}$, por lo que el dato de la capacidad horaria se comparó con el del tránsito promedio diario semanal (TPDS) que fue de $13,805 \text{ veh/día}$ y se pudo establecer que el anillo periférico trabaja al 48% de su capacidad diaria, en el año 2014.

Se determinó que el anillo periférico ubicado en las estaciones 5+000 y 8+800, tiene una velocidad promedio de viaje en la estación crítica de 51KPH, por lo que comparando este dato con las velocidades descritas en el numeral 1.7 catalogando al tramo en estudio con un nivel de servicio tipo D, presentando un flujo inestable porque los conductores tienen poca libertad para maniobrar.

Con base a la identificación de las diferentes causas que originan el congestionamiento vehicular como: falta de señalización horizontal y vertical, falta de pasarelas, falta de paradas de buses, entre otras. Las cuales fueron descritas en el planteamiento del problema, se estableció que el tramo en estudio no cuenta con el equipamiento adecuado para el óptimo desplazamiento vehicular, lo que provoca que los vehículos reduzcan la velocidad promedio de viaje de 51KPH hasta 20KPH y algunas veces hasta 0KPH, provocando congestionamiento lo cual genera aumento en tiempos de viaje, uso excesivo de

combustible y aumenta los costos de operación además de aumento de contaminación atmosférica.

Se determinó que en la estación crítica circulan alrededor de 13,805 veh./día mediante el cálculo de tránsito promedio diario semanal (TPDS), dato importante que se utilizó para realizar proyecciones a 1,2,3,4 y 5 años que sirvió para denotar el crecimiento del parque vehicular en la ciudad, el cual según Figura 20, presenta un comportamiento de crecimiento lineal esto es porque se utilizó para todos los años a proyectar el 0.99% de la tasa de crecimiento anual, según la Dirección General de Caminos (DGC):

Mediante los cálculos realizados se determinó que la cantidad de vehículos que circulan en promedio en las cuatro estaciones es de 8,500 Veh./día .

Se identificó la estación crítica con base a los datos obtenidos en la tabulación horaria.

A la estación A, se le denominó como crítica, ya que la misma tiene un incremento de casi 900 vehículos, durante los 5 días de aforo en comparación con las demás estaciones debido a que la misma recibe aportación de tránsito de vehículos provenientes de Cuatro Caminos, Olinstepeque, Costa Sur, Salcajá y del casco urbano. (Ver tabla IV, pág. 44 y figura 18, pág.49).

La estación B, presentó un incremento de vehículos durante la mañana, dicho aumento se da porque recibe aportación vehicular del tránsito que sale de la ciudad y de vehículos provenientes de industrias que cuentan con garajes o bodegas situadas en los alrededores del tramo en estudio. (Ver figura 17, pág.48)

Durante los días de aforo se observó que la cantidad de vehículos que circulaban en la estación C, era muy similar en los diferentes horarios y días, lo cual se justifica, ya que los vehículos que pasaban sobre la estación A, en su mayoría ingresan al centro de la ciudad de Quetzaltenango y otra parte se distribuye a cualquiera de las intersecciones existentes, por lo no necesariamente pasan por la estación C, lo que conlleva a la disminución de vehículos en esta estación. (Ver figura 17, pág.48).

En la estación D, decrece la cantidad de vehículos debido a que la mayoría del tránsito proviene del tramo que pasa por la Licorera Botrán, otros ingresan a la ciudad de Quetzaltenango por la carretera que se dirige al Hospital Regional de Occidente y no necesariamente ingresan por el periférico. Las aportaciones que recibe esta estación se dan por vehículos que se dirigen a residenciales, colegios, industrias, bodegas, existentes en el lugar o bien que sólo utilizan el periférico para dirigirse a otro municipio o departamento. (Ver figura 17, pág.48).

Por regla de tres se estableció el total de vehículos livianos en las cuatro estaciones como un 100% lo que en porcentajes indicó que el 81% lo constituyen vehículos livianos (VL) y el 19% el transporte pesado (TP)

Se identificaron horas pico teniendo como base los horarios de la estación crítica los cuales fueron: 09:00 – 10:00 am y 17:00- 18:00 pm. (Ver tabla IV, pág. 44).

El volumen horario de máxima demanda (VHMD) fue de 1,443 vehículos por día.

En horas de bajo tránsito sin restricciones de demoras con velocidades altas se obtuvo la velocidad de flujo libre de 68KPM.

La densidad vehicular en el tramo indicó que circulan $5 \frac{\text{veh}}{\text{km}} / \text{carril}$.

La tasa de flujo obtenida en un intervalo de tiempo de 15 minutos en la estación crítica fue de 19 vehículos por minuto.

Por medio de los conceptos empleados en los modelos de estimación de capacidad en campo para una intersección no semaforizada, se determinó que la calle secundaria en conflicto es la que proviene de la salida principal de la “Colonia Trigales” de la 29 avenida de la zona 7, observándose cola continua por lo que los vehículos tardan esperando alrededor de 3 minutos y logran salir de esta intersección aproximadamente 3 a 5 vehículos notándose que las colas se originan cuando los vehículos se dirigen al centro de la ciudad (cruce a la izquierda), estableciendo que en el lugar existen colas de hasta 2 horas por la poca descarga vehicular en el tramo.

Entre los impactos de los resultados obtenidos se pueden describir los siguientes:

- Sociales: El impacto social que se da de acuerdo a los resultados obtenidos es positivo, ya que con la implementación de la solución se logra minimizar los tiempos de viaje y mejora las condiciones prevalecientes de la carretera brindando seguridad tanto al conductor como al peatón.

Una percepción negativa que se podría tener mediante la implementación de la solución es el que incluye la colocación de mediana, ya que las personas que residen en el lugar ya no podrían ingresar a sus destinos por cualquiera de las intersecciones si no que deben de ingresar por la rotonda

de la Licorera Botrán o por la rotonda de Tecún Umán, pero esto con su implementación mejorará las velocidades de desplazamiento en el tramo.

- **Económicos:** Con base a la referencia bibliográfica de Bull, (2000) en donde se calcula que cada ocupante de automóvil genera un costo de congestión de 0.18 dólares por kilómetro y cada ocupante de bus de 0.02 dólares por kilómetro, el valor social del tiempo consumido equivale aproximadamente al 3% del PIB. Lo que establece que los costos de congestión son sumamente altos. Por lo que si se estima aumentar en promedio las velocidades de los viajes en automóvil en 1KMP y los de transporte urbano en 0.5KPH implica una reducción de tiempos de viaje y de costos de operación por un valor equivalente a 0.1% del PIB, por lo cual estos con base a esta información se establece que para el tramo en estudio se logrará disminuir los tiempos de viaje y los costos de operación a los usuarios.
- **Técnicos:** Se equipará al tramo en estudio con: señalización horizontal y vertical, alumbrado eléctrico, pasarelas, paradas de buses, semáforos, mediana, entre otros elementos que minimizarán tiempos de viaje, costos de operación y mejorarán la movilidad vehicular.
- **Ambientales:** Se espera disminuir la polución atmosférica que se concentra debido al congestionamiento existente y con ello mejorar las condiciones de la vida urbana.

4.1. Solución a corto plazo

A continuación se presentan las propuestas de solución a corto plazo para mejorar el nivel de servicio de la carretera.

Las cuales fueron planteadas con base a la Clasificación Funcional de Carreteras descritas por el Manual SIECA (2001), descritas en el capítulo 1.6 de este documento y en el capítulo 2 numeral 2.3 en “Descripción Técnica del Proyecto”, se hace la aclaración del cambio de clasificación funcional que tuvo este tramo en estudio debido al cambio del uso del suelo por lo que actualmente se clasifica como *Colector* el cual maneja velocidades entre 80-100KPH y comparando estas velocidades con las obtenidas en campo de 51KPH, es necesario mejorar las mismas, ya que se identificaron las causas que reducen la velocidad en el tramo por lo que se plantean las soluciones que a continuación se describen para mejorar las mismas. El nivel de servicio al que se deberá acceder está entre el tipo B, con velocidades de 80KPH o bien un nivel de servicio tipo C, con velocidades de 70KPH, por lo que luego de implementar las soluciones a corto plazo, se deberá realizar un análisis de las velocidades con las mejoras y con ello establecer el nivel de servicio al que se ha logrado acceder.

Cabe mencionar que el orden de las soluciones que serán descritas no es de acuerdo con su importancia si no que mediante la implementación de las mismas de forma integral mejoran las condiciones de circulación y el nivel de servicio aumenta. Además, se hace la aclaración que las mejoras propuestas a corto plazo no involucran cambios a la geometría del tramo en estudio sino que el tipo de mejoras a implementar son funcionales, de las cuales se realizó el siguiente figura para esquematizarlas.

Figura 21. Esquema de solución a corto plazo



Fuente: elaboración propia.

Por lo cual a continuación se describen cada una de las implementaciones a realizar en el tramo en estudio:

- Señalización horizontal y vertical:

En la totalidad del proyecto se debe establecer la colocación de señalización horizontal y vertical, tanto para separar los sentidos de circulación, delimitar los carriles, así como para alertar al conductor sobre precauciones que debe tomar en el tramo.

Con base al documento de: “Especificaciones Especiales” de COVIAL, (2015), en la división 600 que trata propiamente de señalización horizontal, señalización vertical se plantean los siguientes requerimientos que se deben cumplir con base a especificaciones que se describen a continuación:

- Señalización horizontal:

Consiste en pintar las líneas central y lateral de guía visual para que los conductores puedan desplazarse de forma segura y los trabajos incluyen (Numerales del 601.02 – 601.04):

Limpieza y remarca de la superficie de rodadura: La limpieza se debe efectuar por medio de barredoras, sopletes u otros, dejando la superficie libre de polvo, grasa, aceite y sustancias que impidan la adherencia apropiada de la pintura a la superficie. Y se deben de premarcar las líneas en donde las líneas del pavimento no sean visibles.

Aplicación de pintura en líneas central y laterales del pavimento: Deberá utilizarse equipo auto propulzado y que sea capaz de mantener uniformidad tanto en ancho como en espesor de la película húmeda como en el alineamiento.

Protección de líneas pintadas y seguridad vial: Se deberá proteger las líneas pintadas durante el período de secado para evitar el paso de vehículos sobre las mismas, el personal deberá vestir con chalecos de seguridad vial y se deberá hacer uso de dispositivos mecánicos que adviertan anticipadamente a los vehículos de la presencia de los trabajos viales esto de acuerdo con la División 800 de COVIAL, (2015), y el “Manual de Seguridad Vial e Imagen Institucional en Zonas de Trabajo”.

Entre las características de la pintura para este proyecto se propone: Pintura en frío para tráfico a base de agua de secado rápido (Numeral 601.05.02), la cual debe de ser tipo genérico: Polímero 100% acrílicas tipo HD21A (La parte no volátil de la resina es 100% acrílica determinado por análisis del espectro de los rayos infrarrojos), las cuales cumplen con la Norma TTP 1952 E tipo I, tipo II y tipo III. Debido a que entre sus características se destacan durabilidad en carreteras de concreto y asfalto, durabilidad de 2 años en promedio, secado rápido, mejoras en visibilidad nocturna por sus propiedades de retención de esferas de vidrio y resistente a lluvias tempranas. Y dado a que en este tramo se necesita mejorar la visibilidad por las condiciones climáticas se considera la aplicación de pintura con esta especificación, la cual debe de tener un 10% máximo de brillo y deberá aplicarse en colores blanco, amarillo y rojo. (Ver numerales 605.05.02.b – 601.05.03)

Además es necesario incluir en la totalidad del proyecto la colocación de marcadores reflectivos de pavimento (ojos de gato) en la línea central y lateral para auxiliar a los conductores en su desplazamiento nocturno. Con tamaño de

10 x 10 x 2 cm, con pantalla reflectiva usando pegamento bituminoso de alta adherencia.

En el tramo se establecieron tres puntos importantes los cuales tienen afluencia de vehículos en donde es necesario implementar marcas viales de carril auxiliar central tipo isla separadora con viraje a la izquierda en los estacionamientos: A) 5+568-5+638 (70 metros), B) 5+768-5+868 (100 metros), C) 6+660-6+710 (50 metros). (Ver Apéndice 2, área de Mapas: Mapa de solución 1). Debido a que en lugar existen condominios que necesitan ingreso y con ello se eviten embotellamientos, similar al que se observa en la figura 22.

Figura 22. **Marcas viales**



Fuente: C.,C.(s.f.). Guatemala: Consultado el 20 de septiembre de 2014.

- Señalización vertical:

Consiste en instalación de señales verticales nuevas, con el objetivo de informar al conductor. (Numeral 602.01). Las cuales deben de ser fabricadas en

lámina galvanizada calibre 16 (1.52mm), tipo charola troquelada, con doblez perimetral a 90 grados de 2.5 cm. (1"). Y el material reflectivo deberá cumplir con las características y especificaciones siguientes: grado alta intensidad, lámina reflectiva tipo IV, según norma ASTM D4956-09.

- Señales de información de destino (SID), en los estacionamientos 5+000 sentido SE (tres tableros de 0.40 x 2.40mts) que indique el ingreso a la Ciudad, cruce a Olintepéque y Periférico, 5+030 sentido SO (un tablero de 0.40 x 2.40mts) que indique el ingreso al periférico, 5+910 sentido SO (dos tableros de 0.40 x 2.40mts) que indique el ingreso al centro de la ciudad y el recorrido para San Marcos y San Juan Ostuncalco, 6+040 sentido SE (un tablero de 0.40 x 2.40mts) que indique el ingreso al centro de la ciudad, 8+066 sentido SE (un tablero de 0.40 x 2.40mts) que indique el cruce para el Hospital Regional de Occidente, 8+700 sentido SO (tres tableros de 0.40 x 2.40mts) que indique la finalización del periférico, el cruce a San Marcos y San Juan Ostuncalco, retorno a la Ciudad y 8+750 sentido SE (un tablero de 0.40 x 2.40mts) que indique el ingreso al periférico, todos a una altura de 1.50mts el fondo de película reflejante de grado diamante color verde y leyendas en reflejante alta intensidad prismática. (Ver apéndice 2, en el área de Mapas: Mapa de solución 1).
- Señales de información general (SIG) de un tablero (0.40 x 2.40mts.), en los estacionamientos 5+075, 5+782, 6+160 y 8+700, que indique la aproximación a las rotondas en cuestión, el fondo de película reflejante de grado diamante cubo e impresión de símbolo en reflejante alta intensidad prismática. (Ver apéndice 2, área de Mapas: Mapa de solución 1).
- Señales de prevención A, (0.914 x 0.914mts.), en los estacionamientos 6+718, 7+069, 7+437, 7+986, 8+350, las señales deben tener leyendas de

“precaución” de color negro sobre fondo color amarillo, para con ello moderar la velocidad para evitar accidentes en el tramo. (Ver apéndice 2 en área de Mapas: Mapa de solución 1).

- Señales de información general (SIG) de un tablero (0.40 x 2.40mts.), en los estacionamientos 5+818, 5+892, 7+916, 7+936 que indique la aproximación a las rotondas en cuestión, el fondo de película reflejante de grado diamante cubo e impresión de símbolos en reflejante alta intensidad prismática. (Ver apéndice 2 en área de Mapas: Mapa de solución 1).

- Señales de información general (SIG) de un tablero (0.40 x 2.40mts.), en los estacionamientos 5+818, 5+892, 7+916 y 7+936 que indique paradas de buses, el fondo de película reflejante de grado diamante cubo e impresión de símbolos en reflejante alta intensidad prismática. (Ver apéndice 2 en área de Mapas: Mapa de solución 1).

- Separador tipo New Jersey:

En la estación 7+169 en donde se localiza el ingreso al paso a desnivel, se han registrado varios accidentes por falta de iluminación y señalización que indiquen al conductor precaución por la existencia de paso a desnivel. En la figura 22, se observa un vehículo accidentado.

Figura 23. **Accidente en obra varada. Vecinos exigen señalización**



Fuente: Rodas L. *“El Quezalteco”* (2014). Quetzaltenango, Guatemala. Consultado el 11 de septiembre de 2014.

Por lo cual una solución preventiva a dichos accidentes es la colocación de un separador tipo New Jersey y dispositivos reflectivos tipo vialetas o similar, para ayudar a que los vehículos continúen en el carril de la carretera y que estos elementos complementen las barreras de metal existentes a fin de brindar seguridad al automovilista en todo el tramo que comprende del estacionamiento 7+169 -7+435. (Ver apéndice 2 en área de Mapas: Mapa de solución 2).

- Alumbrado eléctrico:

Es necesaria la colocación de postes de alumbrado eléctrico a ambos lados de la carretera, ya que actualmente sólo se cuenta con el 50% del mismo y es necesario mejorar las condiciones de visibilidad, ya que por la noche en el lugar se produce neblina y esto es un problema para los conductores por la carencia de visibilidad y esto es un factor que provoca accidentes. Y le brindan mayor seguridad al conductor al desplazarse por la carretera, los cuales deben

de colocarse a cada 50 metros entre cada uno. (Ver apéndice 2 en área de Mapas: Mapa de solución 3).

- Pasarelas:

Debido a que en los 3.8 km del anillo periférico no existen pasarelas, se propone la colocación de tres pasarelas peatonales en los estacionamientos: uno estacionamiento 5+706, dos estacionamiento 6+750, tres estacionamiento 7+976, dado que en dichas estaciones se sitúan en lugares donde existen comercios, escuelas, lotificaciones. (Ver apéndice en área de Mapas: Mapa de solución 4).

- Paradas de buses:

Durante la investigación se pudo observar que los buses se parqueaban sobre la vía y que no existe un lugar destinado para estacionarse, por lo cual se analizó incorporar 4 paradas de buses en el tramo, para evitar congestionamiento por la obstrucción de la vía. La parada uno se localiza en el estacionamiento 5+818, dos en estacionamiento 5+892, tres en estacionamiento 7+916 y cuatro en estacionamiento 7+936. Cabe mencionar que las personas que realicen dichas mejoras tendrán adquirir y negociar los terrenos en donde se pretenden ubicar las paradas y obtener con ello paradas seguras sin interrupción del flujo vehicular. (Ver apéndice 2 en área de Mapas: Mapa de solución 5).

- Semáforos:

En el estacionamiento 6+130 existe una intersección no semaforizada en la calle secundaria de la salida principal de “Colonia los Trigales” en la 29 avenida

de la zona 7, por lo que para efectos de esta investigación se realizó en campo una estimación con base al concepto de capacidad en intersecciones no semaforizadas de tres ramas indicando que la misma cuenta con una capacidad para 1,075 VPH y se puede observar que los vehículos hacen colas de hasta 2 horas y esperan alrededor de 3 minutos para poder salir alrededor de 3 a 5 vehículos en un lapso de 0.35 segundos.

Por lo que se considera necesario rehabilitar el sistema de semáforos y programar adecuadamente los tiempos establecidos para brindar movilidad durante la salida a los vehículos, para ello deberá de realizarse un análisis de las intersecciones en cruz con base al manual HCM (2000), para obtener datos puntuales sobre el comportamiento del tránsito en el lugar y establecer con ello los tiempos de los semáforos y la capacidad de cada intersección, pero ello deberá realizarse en otra investigación por que el alcance de este documento no incluye el mismo por lo extenso del análisis.

Por lo que se considera observar con ello reducir y prevenir accidentes dentro del perímetro, minimizar tiempo de cruce, entre otros. (Ver apéndice 2 en área de Mapas: Mapa de solución 6).

Además es importante colocar tableros informativos de destino, que indiquen hacia donde se puede dirigir el usuario, un ejemplo de lo anterior se visualiza en la figura 24.

Figura 24. **Semáforo y tablero de información**



Fuente: Jiménez, E. (2014). *En Línea con la información*. Consultado el 19 de septiembre de 2014.

- Mediana:

Para evitar que los vehículos que estacionen a media vía para ingresar a las diferentes intersecciones localizadas en el tramo se pretende colocar una división de concreto tipo mediana en terminados estacionamientos: A-B) 5+000 al 5+568 (existente con arriate central), C-D) 5+638-5+768, E-F) 6+130-6+660, G-H) 6+710-7+169, I-J) 7+435-8+800 (Ver apéndice 2 en el área de Mapas: Mapa de solución 7).

Se estima que para las personas que residen en el área en conflicto, esta división generará más tiempo de llegada a su destino, dado que deben realizar el retorno por la rotonda con el monumento de Tecún Umán, o bien por la rotonda

de la licorera Botrán, tomando el periférico, sin embargo se beneficiará a la mayoría de usuarios.

Con la colocación de la mediana, se podrán evitar accidentes en el lugar y se mejorará la movilidad vehicular reduciendo tiempos de viaje.

- Protección de talud:

En las estaciones 7+169 – 7+435 se localiza un talud el cual en temporada de lluvias provoca disgregación del material que lo conforma, generando derrapes en los vehículos, para brindar mejor seguridad al conductor se propone proteger el talud, el método a emplear deberá analizarse según estudio previo del mismo para colocar uno que se adecue a las condiciones del lugar. (Ver apéndice 2 en el área de Mapas: Mapa de solución 8). (Nota: El que se observa en el plano es para efectos ilustrativos).

Por otro lado, en la presente investigación se determinaron otras soluciones que se podrían ejecutar en el lugar a mediano y largo plazo.

A continuación se describen a grandes rasgos debido a que para cada una de ellas es pertinente realizar una investigación más profunda. Por lo que en la presente investigación no se desarrollan por falta de presupuesto y tiempo, sólo se plantean.

Planteamientos a mediano y largo plazo

- Mediano plazo

Se propone la construcción de dos pasos a desnivel, el primero ubicado en la estación 05+000, el cual se localiza en el inicio del proyecto en la rotonda de tribunales de justicia, para proveer mayor fluidez vehicular en este punto porque se observan zonas de conflicto vehicular.

El segundo paso a desnivel se debe ubicar en la estación 6+011, en la rotonda de Tecún Umán, que sirve para ingresar a la ciudad y distribuye los vehículos provenientes de residenciales, colegios cercanos y el tránsito que pasa el periférico, con ello proporcionar mejor movilidad al usuario.

Ambas estructuras se deben realizar antes de que el tramo presente altas cargas vehiculares que generen atrasos, lo cual según proyecciones sería en el año 2024.

- Largo plazo

Esta propuesta considera que para el año 2024 el parque vehicular habrá duplicado el parque vehicular (Tabla XVI). En los años posteriores, para evitar este inminente congestionamiento en el proyecto y los municipios que se vinculan en su área de entorno, se plantea realizar un libramiento de la ciudad de Quetzaltenango, tipo anillo periférico, que involucre a los municipios de San Mateo y San Juan Ostuncalco. Cabe mencionar que dicha propuesta deberá de estar condicionada a estudios de prefactibilidad, derecho de vía, entre otros factores que pueden obstaculizar el desarrollo del planteamiento.

CONCLUSIONES

1. La capacidad horaria del tramo en estudio es de $1,432 \text{ veh/hora}$ y la capacidad diaria es de $28,434 \text{ veh/día}$, por lo que el dato de la capacidad horaria comparó con el del tránsito promedio diario semanal (TPDS) que fue de $13,805 \text{ veh/día}$ y se pudo establecer que el anillo periférico en el año 2014 trabaja al 48% de su capacidad diaria.
2. El nivel de servicio en el proyecto es de Tipo D, lo cual indica que la velocidad de circulación es deficiente, por lo que al incorporar las soluciones propuestas podría accederse a un nivel de servicio B o C, que significa velocidades de circulación cercanas a las velocidades de diseño.
3. La propuesta de solución a corto plazo involucra la identificación de puntos críticos, en donde existe falta de equipamiento pues no se cuenta con adecuada señalización, tanto vertical como horizontal, falta de alumbrado eléctrico, falta de pasarelas, falta de estacionamientos, falta de paradas de buses, falta de semáforos en el tramo, entre otros. Por lo que estos deben de ser atendidos a la brevedad, y dicha solución involucra mejoras a los mismos que contribuyen a optimizar las condiciones de la carretera, para disminuir el congestionamiento en el tramo.
4. El estudio realizado documenta toda la información del tránsito existente en el periférico de Quetzaltenango en el año 2014, y éste sirve como precedente para la elaboración de otros estudios o trabajos en el mismo.

5. Las proyecciones efectuadas a corto plazo indican que la tasa de crecimiento anual del parque vehicular en Quetzaltenango tiene un comportamiento de crecimiento lineal, debido a que se utilizó la misma tasa de crecimiento para cada uno de los años a proyectar, lo que indica que el problema de congestionamiento radica en la cantidad de vehículos que circulan en el tramo sino el mismo se da por las causas descritas en el planteamiento del problema. Por lo cual se identificó el modelo lineal del crecimiento vehicular de la forma: $y = 533070x + 4 * 10^6$. Dichas proyecciones pueden emplearse en futuros proyectos de tránsito.

RECOMENDACIONES

1. Que la Escuela de Estudios de Postgrado brinde una copia de este trabajo de graduación a COVIAL, ya que este es el ente encargado de realizar este tipo de trabajos, para que implementen las mejoras que se plantean en las propuestas de solución a corto plazo; por lo tanto se debe considerar que la solución que indica rehabilitar el sistema de semáforos, se le deberá realizar un análisis de intersecciones en cruz, según el Manual HCM, para establecer los tiempos de los semáforos con respecto a la capacidad.
2. COVIAL deberá implementar las soluciones propuestas a la brevedad, a fin de minimizar el congestionamiento vehicular en el tramo.
3. Proporcionar a la Municipalidad de Quetzaltenango esta investigación, ya que se puede tomar de referencia para otros proyectos viales que deseen desarrollar en la ciudad de Quetzaltenango.
4. Que la Escuela de Estudios de Postgrado indique a los estudiantes de la Maestría en Ingeniería Vial que este trabajo necesita ampliar la investigación, mediante la realización de estudios de: análisis de intersecciones en cruz (rehabilitación de semáforo), origen y destino, ruta alterna, pasos a desnivel, las cuales son soluciones de mediano y largo plazo. También puede ser tema de investigación para otros estudiantes de la Maestría en Ingeniería Vial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1.Allan, H. (2010). *Diseño Geométrico de la Carretera para Libramiento del Municipio de Palencia, Departamento de Guatemala*. Guatemala.
- 2.Bull, T. (2000). *Congestión de tránsito "El problema y cómo enfrentarlo"*.
- 3.C., C. (s.f.). Guatemala: Consultado el 20 de septiembre del 2,014.
- 4.CIV. (2011). *Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda*. Guatemala: CIV.
- 5.CORASCO. (2008). *Manual para la Revisión de Estudios de Tránsito, del Ministerio de Transporte e Infraestructura de Nicaragua*. Nicaragua.
- 6.Córdova, J. (2012). *Volumenes de Tránsito*.
- 7.COVIAl. (2015). *Especificaciones Especiales*. Guatemala: COVIAl.
- 8.Crespo, C. (2010). *Vías de Comunicación: Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos*. México: Limusa.
- 9.Depiante, V., & Galarraga, J. (s.f.). *Capacidad en Intersecciones no Semaforizadas de Tres Ramas*. Cordova, Argentina.
- 10.DGC. (s.f.). *Dirección General de Caminos*. Guatemala: DGC.

11. *Google Earth*. (s.f.). Coordenadas 14 51 30.2N, 91 30 43.2W: Consultado 12 de agosto del 2,014.
12. HCM. (2000). *Manual de Capacidades de Carreteras*.
13. Jiménez, E. (2014). *En Línea con la Información*. Consultado el 19 de septiembre 2014: http://4.bp.blogspot.com/_W-gf5d0vmxE/THRLQXMMgOI/AAAAAAAAAGuQ/pwvfl3Cc4GE/s1600/OP+2A.jpg.
14. Kyte, M., Tian, Z., Mir, Z., Hameedmansoor, Z., Kittelson, W., Vandehey, M., . . . Troutbeck, R. (1996). *Capacity and Level of Service at Unsignalized Intersections*.
15. *Mapa de Guatemala*. (s.f.). Consultado el 12 de agosto del 2,014: <http://www.zonu.com/fullsize1/2011-11-23-14996/Mapa-de-Guatemala.html>.
16. *Mapa del departamento de Quetzaltenango*. (s.f.). Consultado el 12 de agosto del 2,014: <http://www.zonu.com/fullsize/2009-09-17-4995/Mapa-del-departamento-de-Quetzaltenango.html>.
17. Rodas, L. (2014). *“El Quezalteco”*. Quetzaltenango, Guatemala: Consultado el 11 de Septiembre del 2,014.
18. SEDESOL. (1994). *Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito, Programa de Asistencia Técnica en Transporte Urbano para las Ciudades medias Mexicanas*. México.

19.SIECA. (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras con enfoque de Gestión de Riesgo y Seguridad Vial.*

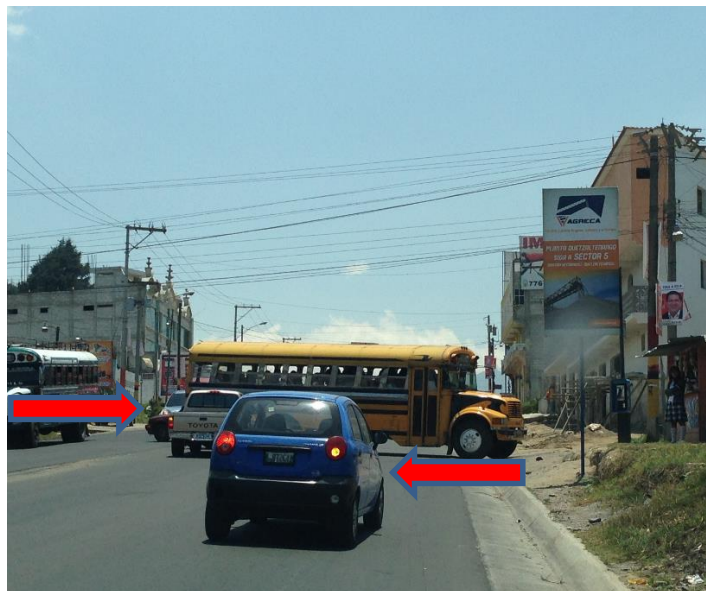
APÉNDICE 1

Fotografía 1. **Semáforos fuera de servicio en estacionamiento 6+130**



Fuente: elaboración propia.

Fotografía 2. **Carencia de estacionamientos**



Fuente: elaboración propia.

Fotografía 3. **Parada de buses en estacionamiento 5+982 (Sin señalización y sobre la vía).**



Fuente: elaboración propia.

Fotografía 4. **Obstaculizando la vía por carencia de paradas de buses.**



Fuente: elaboración propia.

Fotografía 5. Peligro de peatón por falta de pasarelas



Fuente: elaboración propia.

Fotografía 6. Problema de derecho de vía



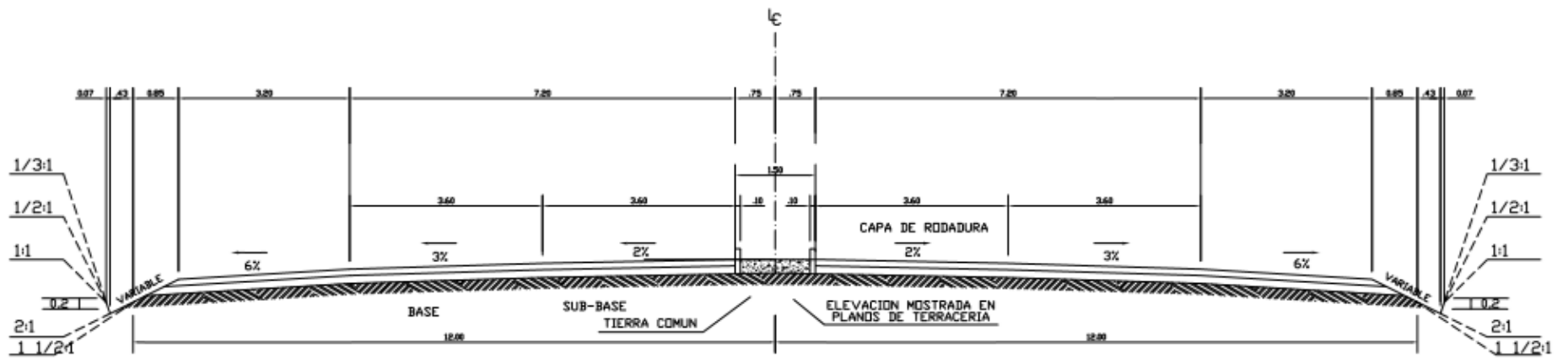
Fuente: elaboración propia.

Fotografía 7. **Carencia de educación vial (Imprudencia de conductores).**



Fuente: elaboración propia.

Figura 1. Carretera tipo A



ALINEACION RECTA

DEPARTAMENTO TECNICO DE INGENIERIA, C.C.

ANCHO DE CALZADA	2-7.20
ANCHO DE TERRACERIA CORTE	25.00
ANCHO DE TERRACERIA RELLENO	24.00
ANCHO DE DERECHO DE VIA	50.00

Fuente: Dirección General de Caminos (DGC).

Tabla I. Volumen del parque automotor de Guatemala (2005-2012)

ORDEN	DEPARTAMENTO	Año 2005	Año 2006	Año 2007	Año 2008	Año 2009	Año 2010	Año 2011	Año 2012	PORCENTAJES
1	GUATEMALA	608,951	708,267	817,175	893,097	979,693	1,005,095	1,055,939	1,110,913	46.50%
2	EL PROGRESO	9,710	12,113	15,083	17,754	19,975	22,016	24,344	26,498	1.11%
3	SACATEPEQUEZ	18,205	22,075	26,435	29,956	32,244	34,609	37,302	40,304	1.69%
4	CHIMALTENANGO	21,815	27,691	35,151	41,613	46,655	51,967	58,031	63,729	2.67%
5	ESCUINTLA	50,484	67,886	85,563	99,265	108,840	119,895	131,079	143,336	6.00%
6	SANTA ROSA	18,657	23,339	29,362	35,019	39,111	43,154	48,011	53,056	2.22%
7	SOLOLA	6,332	7,833	9,726	11,077	12,104	13,325	14,515	16,025	0.67%
8	TOTONICAPAN	13,584	15,225	17,910	20,129	21,921	23,727	25,506	27,282	1.14%
9	QUETZALTENANGO	75,774	90,969	109,737	124,892	135,701	145,871	156,400	156,349	6.96%
10	SUCHITEPEQUEZ	22,049	27,350	34,351	40,277	44,785	49,380	54,878	61,265	2.56%
11	RETALHULEU	18,078	22,834	29,007	34,756	36,771	42,380	45,663	61,508	2.16%
12	SAN MARCOS	34,617	43,599	55,646	66,585	75,957	84,480	93,329	102,017	4.27%
13	HUEHUETENANGO	28,683	37,270	46,625	54,237	60,082	65,078	70,985	75,537	3.20%
14	QUICHE	13,982	18,123	23,523	28,067	31,731	35,759	39,892	44,236	1.85%
15	BAJA VERAPAZ	6,958	9,176	12,022	14,693	16,799	18,858	21,573	24,413	1.02%
16	ALTA VERAPAZ	12,276	14,872	17,935	20,779	23,219	26,595	30,229	33,960	1.42%
17	PETEN	15,005	21,103	28,245	35,089	40,433	45,780	52,569	61,488	2.57%
18	IZABAL	23,604	30,349	37,851	44,177	49,329	54,952	61,025	68,048	2.86%
19	ZACAPA	22,165	27,937	34,476	40,439	44,941	48,789	52,965	57,340	2.40%
20	CHIQUIMULA	20,799	25,730	31,474	36,363	40,317	44,370	49,680	54,735	2.29%
21	JALAPA	12,994	16,195	20,311	23,436	25,733	28,241	31,355	34,522	1.44%
22	JUTIAPA	25,346	32,336	40,755	48,313	54,227	59,714	65,812	71,679	3.00%
	TOTAL	1,080,068	1,302,272	1,558,363	1,760,013	1,940,568	2,064,035	2,221,082	2,388,240	100.00%

Fuente: Dirección General de Caminos (DGC).

APÉNDICE 2. **ÁREA DE MAPAS**

**MAPA DEL PROBLEMA: PROBLEMA DE INTERSECCIONES
EN LOS ESTACIONAMIENTOS 5+000 – 8+800**

VER DOCUMENTO ADJUNTO

MAPA DE SOLUCIÓN 1 **SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL Y
VERTICAL**

VER DOCUMENTO ADJUNTO

MAPA DE SOLUCIÓN 2 **SEPARADOR NEW JERSEY**

VER DOCUMENTO ADJUNTO

MAPA DE SOLUCIÓN 3 **ALUMBRADO ELÉCTRICO**

VER DOCUMENTO ADJUNTO

MAPA DE SOLUCIÓN 4 **PASARELAS**

VER DOCUMENTO ADJUNTO

MAPA DE SOLUCIÓN 5 PARADAS DE BUSES

VER DOCUMENTO ADJUNTO

MAPA DE SOLUCIÓN 6 REHABILITACIÓN DE SEMÁFOROS

VER DOCUMENTO ADJUNTO

MAPA DE SOLUCIÓN 7 **MEDIANA**

VER DOCUMENTO ADJUNTO

MAPA DE SOLUCIÓN 8 PROTECCIÓN DE TALUD

VER DOCUMENTO ADJUNTO