



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

**ALTERNATIVAS DEL ORDENAMIENTO VIAL PARA EL MEJORAMIENTO  
DEL FLUJO VEHICULAR DE LA CALZADA RAÚL AGUILAR BATRES**

**José Cecilio Chanax Matul**

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, enero de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ALTERNATIVAS DEL ORDENAMIENTO VIAL PARA EL MEJORAMIENTO  
DEL FLUJO VEHICULAR DE LA CALZADA RAÚL AGUILAR BATRES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**JOSÉ CECILIO CHANAX MATUL**

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, ENERO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

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

### **ALTERNATIVAS DEL ORDENAMIENTO VIAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL FLUJO VEHICULAR DE LA CALZADA RAÚL AGUILAR BATRES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 4 de julio de 2011.

  
**José Cecilio Chanax Matul**

Guatemala, octubre de 2014

Ingeniero  
Wuilliam Ricardo Yon Chavarría  
Jefe del Departamento de Planeamiento  
Escuela de Ingeniera Civil  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Yon:

Por medio de la presente, le informo que he asesorado y revisado el trabajo de graduación, con título: ALTERNATIVAS DEL ORDENAMIENTO VIAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL FLUJO VEHICULAR DE LA CALZADA RAÚL AGUILAR BATRES, desarrollado por el estudiante José Cecilio Chanax Matul con carné: 2007-14850. El cual satisface los objetivos del mismo.

Al agradecer su amable atención y colaboración, me suscribo atentamente.

  
Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Asesor de trabajo de graduación

No. De colegiado: 2089

Mario Rodolfo Corzo  
INGENIERO CIVIL  
Colegiado No. 2089



**USAC**  
**TRICENTENARIA**  
 Universidad de San Carlos de Guatemala

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

Universidad de San Carlos de Guatemala  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
 28 de octubre de 2014

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación ALTERNATIVAS DEL ORDENAMIENTO VIAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL FLUJO VEHICULAR DE LA CALZADA RAÚL AGUILAR BATRES, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil José Cecilio Chanax Matul, quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

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

Atentamente,

UNIVERSIDAD DE INGENIERIA  
 DEPARTAMENTO  
 DE  
 PLANEAMIENTO

Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría  
 Jefe Del Departamento de Planeamiento

/bbdeb.

*Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua*





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Ing. Wuillian Ricardo Yon Chavarría, al trabajo de graduación del estudiante José Cecilio Chanax Matul, titulado ALTERNATIVAS DEL ORDENAMIENTO VIAL PARA EL MEJORAMIENTO DEL FLUJO VEHICULAR DE LA CALZADA RAÚL AGUILAR BATRES, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, enero 2015

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua



Universidad de San Carlos  
De Guatemala

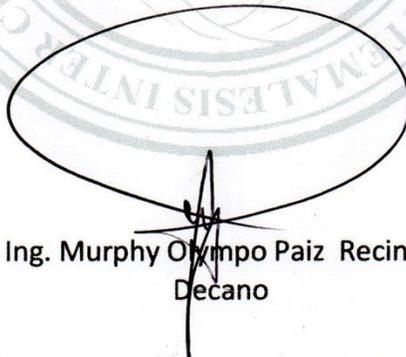


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 020.2015

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 Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ALTERNATIVAS DEL ORDENAMIENTO VIAL PARA MEJORAMIENTO DEL FLUJO VEHICULAR DE LA CALZADA RAÚL AGUILAR BATRES**, presentado por el estudiante universitario **José Cecilio Chanax Matul**, y después de haber culminado las revisiones **previas bajo** la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 27 de enero de 2015

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme la vida, sabiduría, entendimiento y discernimiento en este camino llamado vida y por estar siempre a mi lado.
- Mis padres** Cecilio Chanax y Elia Matul, por darme su amor, comprensión, paciencia y ser pilares importantes en mi vida, gracias por creer en mí y en mis sueños.
- Mis hermanos** Elisena, Ananías y Ana Chanax Matul, por su apoyo incondicional y palabras de ánimo en todo momento.
- Mis primos** Por estar al pendiente de mí a lo largo de mi carrera profesional.
- Familia Maeda García** Por ser parte importante dentro de mi familia, en especial a Luis y a Yeferson.
- Mis amigos** Por su sincera amistad y compañerismo en todo el proceso de este sueño logrado.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Gracias por permitirme alcanzar este sueño, por cuidarme y protegerme en todo momento, por ser mi fuente de sabiduría.
<b>Mis padres</b>	Gracias por todo su apoyo, su esfuerzo, ser un ejemplo de lucha y sacrificio, este logro es de ustedes.
<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Mi casa de estudios y por abrigar mi sueño de ser profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Mi alma máter, donde adquirí los conocimientos técnicos y científicos que me formaron en toda la carrera.
<b>Ing. Mario Corzo</b>	Por su tiempo, apoyo y sobre todo por sus conocimientos compartidos en la realización de este trabajo.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	1
1.1. Historia del municipio de Guatemala.....	1
1.1.1. Localización.....	4
1.1.2. Extensión.....	4
1.1.3. Límites de la ciudad.....	5
1.1.4. División política-administrativa.....	5
1.1.5. Coordenadas.....	6
1.1.6. Altitud.....	6
1.1.7. Clima.....	7
1.1.8. Temperatura.....	8
1.1.9. Humedad.....	9
1.1.10. Topografía.....	10
1.1.11. Población.....	11
1.1.12. Vivienda.....	12
1.2. Historia de la calzada Raúl Aguilar Batres.....	13
1.2.1. Localización.....	15
1.2.2. Ubicación.....	15
1.2.3. Topografía.....	15

1.2.4.	Altitud .....	16
2.	FUNDAMENTO TEÓRICO .....	17
2.1.	Elementos básicos de ingeniería de tránsito .....	17
2.1.1.	Usuario.....	18
2.1.2.	Automotor.....	19
2.1.3.	Ejes viales (calles y avenidas) .....	20
2.2.	Flujo de tránsito y parámetros .....	21
2.2.1.	Volumen .....	27
2.2.2.	Velocidad y tiempo de viaje .....	29
2.2.3.	Densidad y capacidad .....	32
2.2.4.	Características del flujo continuo .....	33
2.2.5.	Características del flujo interrumpido.....	34
2.3.	Dispositivos para el control de tráfico .....	34
2.3.1.	Señalización vertical.....	36
2.3.2.	Señalización horizontal.....	37
2.4.	Proceso de análisis del tránsito .....	38
2.4.1.	Impacto del tránsito de vehículos .....	39
2.4.1.1.	Estudios de tránsito .....	39
2.4.1.2.	Parámetros de tránsito.....	42
2.4.2.	Análisis de tránsito .....	43
2.4.2.1.	Recolección de datos .....	43
2.4.2.2.	Monitoreo.....	44
2.5.	Capacidad y niveles de servicio .....	45
3.	ANÁLISIS ACTUAL DE LA CALZADA RAÚL AGUILAR BATRES .....	47
3.1.	Estudio de tránsito actual y proyección .....	49
3.1.1.	Análisis de problemas que afectan el flujo en la calzada.....	50

3.2.	Condiciones de la carpeta asfáltica .....	60
3.3.	Topografía de la calzada .....	62
4.	ALTERNATIVAS O SOLUCIONES AL TRÁFICO DE LA CALZADA .....	65
4.1.	Educación vial .....	65
4.2.	Señalización adecuada en las intersecciones.....	69
4.3.	Evitar cuellos de botella .....	79
4.4.	Creación de distribuidores viales .....	84
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	89
	CONCLUSIONES .....	93
	RECOMENDACIONES.....	95
	BIBLIOGRAFÍA.....	97
	ANEXOS .....	99



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	División política-administrativa municipio de Guatemala .....	6
2.	Configuración topográfica de la zona metropolitana de Guatemala vista tridimensional.....	11
3.	Busto del ingeniero Raúl Aguilar Batres .....	14
4.	Bache con pérdida de base.....	23
5.	Exudación de asfalto .....	24
6.	Ahuellamiento .....	24
7.	Canalización carpeta asfáltica .....	25
8.	Ondulación.....	25
9.	Hinchamiento .....	26
10.	Hundimiento.....	26
11.	Vista panorámica de Central de Mayoreo .....	52
12.	Vista aérea centro comercial Pacific Center .....	54
13.	Liceo Javier.....	55
14.	Estructura de un pavimento asfáltico y de concreto hidráulico.....	60
15.	Zona escolar. ....	70
16.	Prohibido estacionarse.....	71
17.	Tránsito en un sentido o virar hacia la derecha. ....	71
18.	Tránsito en ambos sentidos. ....	72
19.	Paso de cebra.....	73
20.	Señales horizontales varias .....	74
21.	Demarcación de bordillo.....	75
22.	Dimensiones de nomenclatura en banderola .....	77

23.	Dimensiones de texto para calzada Raúl Aguilar Batres.....	78
-----	--	----

## TABLAS

I.	Tipos de clima en Guatemala según Thornthwaite .....	8
II.	Temperatura media en grados Celsius de la ciudad de Guatemala .....	9
III.	Humedad relativa media en porcentaje de la ciudad de Guatemala...	10
IV.	Población de algunos municipios del departamento de Guatemala ...	12
V.	Aplicaciones de estudios de volúmenes .....	27
VI.	Vías principales más congestionadas de la ciudad de Guatemala.....	50
VII.	Centros comerciales ubicados sobre la calzada Raúl Aguilar Batres.....	53
VIII.	Establecimientos educativos ubicados sobre la calzada Raúl Aguilar Batres .....	55
IX.	Número de accidentes de tránsito ocurridos en la ciudad capital según zona de ocurrencia 2012.....	66
X.	Dimensiones nomenclatura tipo A .....	76
XI.	Tipo de dimensiones nomenclatura tipo B .....	77

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Av.</b>	Avenida
<b>\$</b>	Dólar estadounidense
<b>°</b>	Grados
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>hr</b>	Hora
<b>km</b>	Kilómetro
<b>km<sup>2</sup></b>	Kilómetro cuadrado
<b>km/hr</b>	Kilómetro por hora
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metros cuadrados
<b>mph</b>	Millas por hora
<b>'</b>	Minutos
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Q</b>	Quetzales



## GLOSARIO

<b>Aforo vehicular</b>	Conteo de vehículos que pasan por un punto específico de la vía.
<b>AMG</b>	Área Metropolitana de Guatemala.
<b>Calzada</b>	Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos.
<b>Ciudades dormitorio</b>	Ciudades fuera del casco urbano guatemalteco usadas exclusivamente para suplir la necesidad de dormir y descansar.
<b>COVIAL</b>	Unidad Ejecutora de Conservación Vial.
<b>DGC</b>	Dirección General de Caminos.
<b>Flujo vehicular</b>	Número de vehículos que circula por una sección transversal de una vía y en un período de tiempo específico.
<b>Hora pico</b>	Período de tiempo específico durante el día donde se concentra el mayor flujo vehicular sobre un tramo específico de una vía.

<b>Hora valle</b>	Período de tiempo específico durante el día donde la concentración del flujo vehicular sobre un tramo específico de una vía es mínima.
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estadística.
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología Meteorología e Hidrología.
<b>Locomoción</b>	Trasladarse de un punto A a un punto B.
<b>MAGA</b>	Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación.
<b>MICIVI</b>	Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda.
<b>MSNM</b>	Metros sobre el nivel del mar.
<b>Pavimento</b>	Conjunto de capas construidas de uno o más materiales colocados sobre el terreno natural, y cuya función principal es transmitir los esfuerzos provocados por los vehículos al terreno natural.
<b>PMT</b>	Policía Municipal de Tránsito.
<b>PNC</b>	Policía Nacional Civil.
<b>PROVIAL</b>	Dirección General de Protección y Seguridad Vial.

<b>SAT</b>	Superintendencia de Administración Tributaria.
<b>Superficie de rodadura</b>	También llamada carpeta de rodadura, es la última capa de la estructura de un pavimento, por donde circulan los vehículos, puede ser de asfalto, concreto hidráulico o adoquín.
<b>Tráfico vehicular</b>	Circulación de vehículos por las vías dedicadas a ello.
<b>Tránsito vehicular</b>	Desplazamiento y circulación de vehículos que se trasladan de un lugar a otro por vías públicas.
<b>Vialidad</b>	Condición de la vía por donde se puede transitar.



## RESUMEN

Antes de iniciar con cualquier estudio técnico profesional es importante conocer variables físicas, culturales, sociales y políticas que ayuden a comprender el entorno en donde se llevará a cabo el proyecto, estas variables son mencionadas en el primer capítulo, en el siguiente se hace mención de definiciones técnicas propiamente de la ingeniería de tránsito, los cuales ayudan a comprender mejor y dónde se fundamentan los estudios descritos en los capítulos siguientes.

El análisis y estudio del crecimiento del parque vehicular, el estado físico de la carpeta asfáltica y los problemas que afectan el flujo vehicular en la calzada se describen en el tercer capítulo, la educación vial, el mejoramiento en la señalización de las intersecciones, optimización de la transitabilidad en los puntos donde se generan cuellos de botella y la propuesta de construcción de un distribuidor vial son soluciones planteadas, para resolver el problema del tráfico vehicular que existe en la calzada Raúl Aguilar Batres estas soluciones son plasmadas en el cuarto capítulo.

Aplicando en conjunto las cuatro soluciones propuestas en el cuarto capítulo, se espera que el tiempo de viaje se reduzca significativamente y se minimice el consumo de combustible y la contaminación provocada por este, estas conclusiones son establecidas en el quinto capítulo donde se hace un análisis de las distintas alternativas o soluciones del ordenamiento vial para el mejoramiento del flujo vehicular de la calzada, los resultados obtenidos en este trabajo serán de gran ayuda para los usuarios que transitan en tan importante vía.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Desarrollar alternativas de ordenamiento vial que sean factibles y viables para mejorar el tráfico vehicular de la calzada Raúl Aguilar Batres.

### **Específicos**

1. Disminuir el tiempo de circulación de los vehículos en la calzada Raúl Aguilar Batres.
2. Disminuir los tiempos muertos o tiempos de espera que se tiene en la calzada, para que con ello se logre reducir el consumo de combustible y minimizar costos.
3. Plantear parámetros que ayuden a agilizar el parque vehicular en esta arteria vial.
4. Llevar a cabo un plan de reordenamiento vehicular para desfogar el tránsito en esta vía.
5. Jerarquizar las vías (calles y avenidas) subutilizadas.



## INTRODUCCIÓN

El flujo vehicular en la ciudad de Guatemala ha ido en aumento, debido a la cantidad de vehículos que entran y salen, algunos para movilizarse a sus trabajos, por relaciones comerciales y otros para dirigirse a sus establecimientos educativos. Esto ha generado un incremento del parque vehicular que ha desbordado la capacidad de calles y avenidas, siendo como análisis de estudio la calzada Raúl Aguilar Batres, este caos es crítico principalmente en horas pico del tránsito.

Debido a ello nace la idea de realizar el presente trabajo para lograr generar alternativas y parámetros de solución, que pretendan mejorar el flujo vehicular en tan importante vía de estudio, dándole un enfoque de planificación y ordenamiento vehicular; y pueda ser tomado en cuenta, no solo para esta vía tan importante de la ciudad, sino que también para las demás arterias viales principales congestionadas de la ciudad de Guatemala y de su área metropolitana.

La calzada Raúl Aguilar Batres es una de las principales vías de acceso a la ciudad y la única que comunica del Trébol hacia la ruta al Pacífico, por ende el nivel de importancia que representa dicha vía para la ciudad es fundamental, en el desarrollo económico, social y cultural del departamento de Guatemala y de todo el país.



# **1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS**

Conforme se avance en este capítulo se hará mención de temas que conciernen a aspectos geográficos, políticos, sociales y culturales; que ayudará a generar diferentes conocimientos que pretenden enriquecer la información presentada en este trabajo, de modo que todos los conceptos sean llevados con sincronía para la correcta realización del mismo.

## **1.1. Historia del municipio de Guatemala**

El municipio de Guatemala es la capital de la República guatemalteca, es uno de los 338 municipios del país situado en el altiplano central, cuenta con una extensión de 184 kilómetros cuadrados aproximadamente, actualmente posee una de las ciudades más pobladas de Centro América. Colinda al norte con Chinautla y San Pedro Ayampuc, al sur con Santa Catarina Pinula, San José Pinula, Villa Canales, Villa Nueva y Petapa, al este con Palencia y al oeste con Mixco. El 15 de agosto se celebra su feria patronal en honor a la Virgen de La Asunción.

En cuanto respecta a su economía, dentro del casco urbano de la ciudad se concentra la economía del municipio y del país, Guatemala es un país puramente agricultor y por consiguiente centra su economía en el comercio, además se dedica a la producción artesanal; en la actualidad empresas extranjeras han aprovechado a explotar mucha de la riqueza natural y mineral con la que cuenta el país.

Guatemala es un país multilingüe y multicultural, por lo que indígenas mestizos y ladinos se encuentran mezclados en la urbe de la ciudad consiguiendo así una mezcla peculiar, singular y única a nivel latinoamericano.

Antes de estar asentada en el valle de La Ermita, la ciudad de Guatemala de La Asunción tuvo otros asentamientos, que brevemente se hará mención de cada uno de estos lugares y el motivo del cual llevó a emigrar y buscar una mejor posición geográfica, que favoreciera a los intereses económicos de una ciudad que prometía tener un gran auge en su época.

El 27 de julio de 1524 la ciudad tuvo su primer asentamiento dentro de la capital, esto debido al incendio de Gumarcaj capital de los quiches, bautizada por el conquistador español Pedro de Alvarado como: Santiago de los Caballeros de Guatemala, Pedro de Alvarado usurpó la capital del reino cakchiquel: Iximche, debido a los constantes abusos que tuvo Gonzalo, hermano del conquistador español hacia los indígenas, estos se rebelan contra sus conquistadores obligando así a los españoles a abandonar la ciudad.

La ciudad fue movilizada nuevamente, al pie del volcán Hunahpu actualmente más conocido como volcán de Agua, lugar llamado: Almolonga, fue entonces cuando el día 22 de noviembre de 1524. Se fundó la nueva ciudad de Santiago de los Caballeros de Guatemala, por don Jorge Alvarado, quien era teniente gobernador y capitán general de Guatemala, este último le dio traza a la nueva ciudad en el valle de Bulbuxya del cakchiquel donde brota el agua.

En 1541 la ciudad fue abastada por correntadas de agua y lodo que descendieron de las faldas del volcán de Agua, provocadas por un intenso temporal, esto obligó a los pobladores a trasladarse y buscar otro valle, luego de tantas discusiones y visitas a diferentes lugares al fin se encontró otro lugar

llamado valle del Tuerto, de Panchoy o Pangan como era conocido por los indígenas. Fue así como en 1543 se oficializó su traslado, en 1566 fue bautizada con el nombre de “Muy Noble y Muy Leal Ciudad de Santiago de los Caballeros de Guatemala”, la ciudad se volvió a trazar esta vez orientada a los puntos cardinales y tuvo mejoras significativas en su trazo de calles y parques.

Los terremotos de Santa Marta como son conocidos los sismos que se registraron el 23 de diciembre de 1586, 18 de febrero de 1651 y 29 de julio de 1773, fueron la causa de la destrucción de la gran ciudad de Santiago de los Caballeros de Guatemala, el cual motivo a los altos mandos de la ciudad buscar por tercera y última vez un nuevo sitio en donde establecerla.

Debido a esto se conformó una comisión encargada de buscar un lugar que llenará ciertas cualidades y exigencias para la nueva ciudad, fue así como la comisión presento su informe y en el establecía el valle de Las Vacas, conocido también como el valle de la Ermita o de la Virgen, como el sitio ideal con abundantes ríos, clima templado, las estaciones permanecían iguales, alejado y rodeado de volcanes.

En 2010 la ciudad sufrió daños por la tormenta tropical Agatha, por la gran cantidad de lluvia en un corto período, el sistema de drenajes colapsó causando deslizamientos de tierra en uno de los recorridos en la zona norte.

Debido al enorme y acelerado crecimiento de la ciudad de Guatemala, este ha sobrepasado sus límites metropolitanos por lo que ahora el Área Metropolitana de Guatemala (AMG) lo conforman los municipios de Guatemala, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Mixco, San Juan Sacatepéquez, San José Pinula, Santa Catarina Pinula, Fraijanes, San Pedro Ayampuc, Amatitlán, Villa Canales, Palencia y Chinautla.

En los últimos años debido al incremento comercial muchas vías y accesos a la ciudad de Guatemala son utilizadas como áreas comerciales e industriales, tal es el caso de la calzada San Juan, Raúl Aguilar Batres, avenida Petapa, pero sin lugar a dudas la vía con grandes extensiones de tierra utilizados por el área de industria es la calzada Atanasio Tzul.

Es debido a este crecimiento que la ciudad de Guatemala se convierte en el lugar de trabajo de muchas familias guatemaltecas, a consecuencia de ello los municipios como: San Miguel Petapa, Villa Nueva, Mixco, San Juan Sacatepéquez, San José Pinula, Amatitlán, Villa Canales, Palencia, Chinautla; son utilizadas como ciudades dormitorio, es decir que por falta de inversión en los municipios la migración de estas personas a la ciudad para asistir a sus trabajos agrava más el flujo vehicular de muchas vías del casco urbano guatemalteco.

### **1.1.1. Localización**

La República guatemalteca se divide en 8 regiones, en la Región 1 o Región Metropolitana pertenece el departamento de Guatemala dentro del cual se localiza la ciudad de Guatemala. El municipio se encuentra localizado en la zona central del departamento de Guatemala, en el área sur central del país.

### **1.1.2. Extensión**

La República de Guatemala está ubicada en la región central del continente americano. La extensión territorial del municipio de Guatemala es de 184 kilómetros cuadrados.

### **1.1.3. Límites de la ciudad**

El municipio de Guatemala limita con todos sus municipios; al norte con Chinautla y San Pedro Ayampuc; al sur con Santa Catarina Pinula, San José Pinula, Villa Canales, Villa Nueva y San Miguel Petapa, al este con Palencia y al oeste con Mixco.

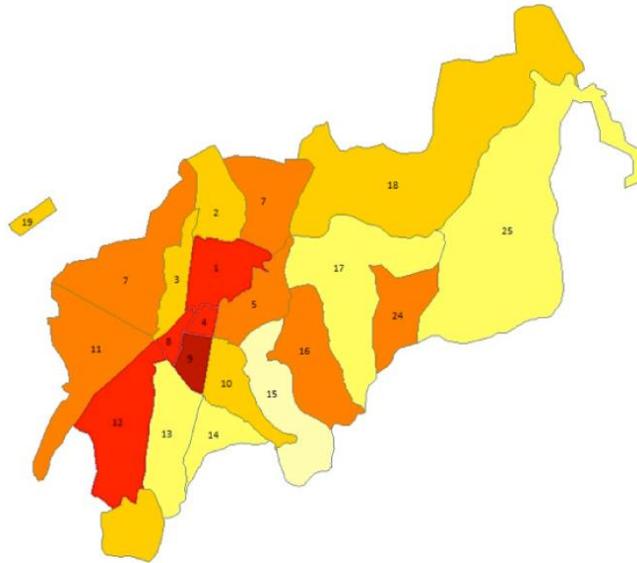
### **1.1.4. División política-administrativa**

El país guatemalteco se rige por medio de la Constitución Política de la República, este establece un sistema de gobierno democrático republicano, teniendo 3 organismos: Ejecutivo, Legislativo y Judicial. En donde el poder Legislativo le corresponde al Congreso de la República, el organismo Judicial se apoya en la Corte Suprema de Justicia, y el organismo Ejecutivo centra su ejercicio del poder en el presidente y vicepresidente con ayuda de todos los ministerios.

Guatemala posee 22 departamentos agrupados en 8 regiones, el departamento de Guatemala está situado en la Región 1 o Metropolitana, es el más poblado del país, su superficie es de 2 253 kilómetros cuadrados y su cabecera departamental es Guatemala.

El municipio de Guatemala está organizado en 25 zonas exceptuando las zonas 20, 22 y 23; este plan urbanístico dividido en zonas fue diseñado por el ingeniero civil Raúl Aguilar Batres, su diseño es en forma de espiral tomando como punto de partida la zona central o zona 1 facilitando así el crecimiento de la ciudad de Guatemala. Él también diseñó la enumeración de calles y avenidas que hasta la fecha se conserva, nombrando a los caminos que se dirigen de norte a sur como avenidas y los que se dirigen de oeste a este como calles.

Figura 1. **División política-administrativa municipio de Guatemala**



Fuente: <http://www.plazapublica.com.gt/content/zona-roja-o-zona-crema-o-naranja>. Consulta: 7 de julio de 2014.

### 1.1.5. **Coordenadas**

Guatemala está ubicada aproximadamente 4 grados de latitud y longitud, entre los paralelos 13° y 17°, y los meridianos 88° y 92° del hemisferio norte. El Área Metropolitana de Guatemala (AMG), se encuentra entre las latitudes norte 14° y las longitudes oeste 90° y su zona horaria es la Tiempo Universal Coordinado UTC-6:00 por sus siglas en inglés.

### 1.1.6. **Altitud**

La ciudad de Guatemala está a una altura de 1 502,32 metros sobre el nivel del mar (msnm), según Banco de Marca (BM) del Instituto Geográfico

Militar ubicado en el Observatorio Nacional del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

### **1.1.7. Clima**

Debido a su ubicación en la parte norte del istmo centroamericano y por las elevaciones de terreno en la región central y el altiplano que superan los 1 700 metros sobre el nivel del mar, sumado esto a sus depresiones orográficas, llanuras en el oriente y tierra bajas en el norte así como sus costas en el océano Pacífico y en el mar Caribe, Guatemala cuenta con un clima subtropical. Debido a las cercanías de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), Guatemala tiene muy marcados los meses de temporada fría, cálida y de lluvia, a continuación se mencionaran los meses en los que se dan cada uno de estos:

- Temporada fría: este se da en los meses de diciembre a febrero, el mes que registra la temperatura más baja es enero.
- Temporada cálida: comprende los meses de marzo y abril, teniendo en el mes de abril el calor más intenso y prolongado.
- Temporada de lluvias: se inicia tempranamente en la boca costa suroccidente a mediados de abril, en este tiempo peculiar, teniendo una transición con la temporada cálida, en la Región 1 se registra en la segunda quincena de mayo y por último en regiones de el Caribe y Petén en las dos primeras semanas de junio.

El sistema Thornthwaite utiliza índices comparables con rangos establecidos para definir el carácter del clima de acuerdo a los rangos de

humedad y temperatura. Al aplicar el sistema Thornthwaite para Guatemala se logra distinguir 13 tipos de clima, ver tabla I. Para una visualización gráfica de los tipos de clima según Thornthwaite ver anexo1.

Tabla I. **Tipos de clima en Guatemala según Thornthwaite**

No	Símbolo	Jerarquía de Humedad	Jerarquía de Temperatura	Vegetación Natural Característica
1	AA'	Muy húmedo	Cálido	Selva
2	AB'	Muy húmedo	Semi cálido	Selva
3	AB'2	Muy húmedo	Templado	Selva
4	AB'3	Muy húmedo	Semi frío	Selva
5	BA'	Húmedo	Cálido	Bosque
6	BB'	Húmedo	Semi cálido	Bosque
7	BB'2	Húmedo	Templado	Bosque
8	BB'3	Húmedo	Semi frío	Bosque
9	CA'	Semi seco	Cálido	Pastizal
10	CB'	Semi seco	Semi cálido	Pastizal
11	CB'2	Semi seco	Templado	Pastizal
12	CB'3	Semi seco	Semi frío	Pastizal
13	DA'	Seco	Cálido	Estepa

Fuente: SIG del MAGA 2000.

### 1.1.8. Temperatura

Según el INSIVUMEH en su estación llamada con el mismo nombre, registra para la ciudad de Guatemala en los últimos años temperaturas medias mensuales dentro del rango de 16,5 a 22,2 grados Celsius. Ver anexo 2.

Tabla II. **Temperatura media en grados Celsius de la ciudad de Guatemala**

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
2010	17,8	19,4	19,5	21,2	20,9	20,0	20,3	19,8	19,7	18,9	18,4	16,5	19,4
2011	19,0	19,6	19,5	20,9	20,8	20,6	20,5	20,4	19,9	19,3	19,5	18,5	19,9
2012	18,3	19,7	20,2	21,0	21,7	20,5	21,2	20,9	20,7	20,7	18,6	19,4	20,2
2013	19,6	20,3	20,0	22,2	21,6	21,3	21,1	20,4	20,0	20,8	20,0	19,1	20,5

Fuente: INSIVUMEH. Registros Históricos Mensuales. Estación INSIVUMEH.  
Temperatura media °C.

Como se puede observar en la tabla II, los meses de diciembre y enero presentan las temperaturas medias anuales más bajas, ocurriendo en diciembre de 2010 la temperatura media más baja con un valor de 16,5 grados Celsius, mientras que en abril de 2013 registra una temperatura de 22,2 grados Celsius siendo esta la más alta, en los últimos cuatro años.

### 1.1.9. Humedad

La República de Guatemala posee un rango de humedad relativa media que comprende del 84 a 64 por ciento. Según el INSIVUMEH la ciudad de Guatemala posee en los últimos cuatro años una humedad relativa media anual dentro del rango de 81 al 77 por ciento, en donde la mayor humedad relativa media anual es para el 2010 con un valor del 84 por ciento. Para una visualización gráfica a nivel país ver en el apartado anexo 3.

Tabla III. **Humedad relativa media en porcentaje de la ciudad de Guatemala**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>	<b>Anual</b>
2010	75	78	77	84	84	87	94	89	86	79	69	74	<b>81</b>
2011	75	79	72	73	73	76	77	81	84	80	73	72	<b>76</b>
2012	78	72	70	73	79	81	75	80	80	79	75	73	<b>76</b>
2013	72	72	70	72	75	78	78	83	86	81	76	76	<b>77</b>

Fuente: INSIVUMEH. Registros Históricos Mensuales. Estación INSIVUMEH, Registro de promedios mensuales y anuales de Humedad Relativa en porcentaje.

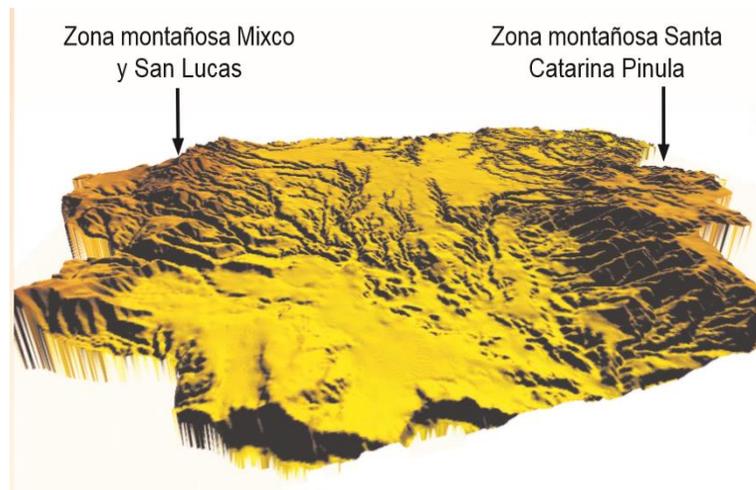
#### **1.1.10. Topografía**

La configuración topográfica de la zona metropolitana de Guatemala está caracterizada por estar rodeada hacia el occidente y oriente por áreas montañosas. Cuando la parte central se hunde con respecto a las elevaciones montañosas en su periferia por la acción de la zona de falla de Mixco y la zona de falla de Santa Catarina Pinula, internamente el valle forma secuencias de planicies y barrancos esto es a lo que se le conoce como hundimiento tectónico.

A pesar que Guatemala posee muchas montañas, volcanes y barrancos, a excepción de la costa sur y las tierras del norte en el departamento de Petén; el valle de la Ermita, llamado también de la Virgen o de Las Vacas posee una orografía bastante plana, y sus rasgos de pendiente topográfico se identifican en el orden del 0 al 15 por ciento, es decir, que predomina el suelo llano con pendientes del orden de 0 al 2 por ciento, lo que refleja que su territorio es plano en un 80 por ciento. El valle está definido y limitado por barranco de mediana profundidad, por un anillo montañoso que lo rodea y un sistema volcánico hacia el sur.

La figura 2 vista desde el sur, muestra la zona montañosa de Mixco y San Juan Sacatepéquez al occidente, mientras que en la meseta central se ve el valle principal con sus barrancos y mesetas; y finalmente hacia el oriente se observa toda el área montañosa de Santa Catarina Pinula.

Figura 2. **Configuración topográfica de la zona metropolitana de Guatemala vista tridimensional**



Fuente: <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0196/doc0196-parte03.pdf>. Consulta: 14 de julio de 2014.

### **1.1.11. Población**

Según el Instituto Nacional de Estadística, del censo efectuado en el 2002 correspondiente al XI Censo de Población, la población de la República de Guatemala asciende a 11 237 196 habitantes; la población en el departamento de Guatemala asciende a 2 541 581 habitantes; y la población en el municipio de Guatemala es de 942 348 habitantes.

En la tabla siguiente, solo se muestra la población que poseen algunos municipios, debido a que son los que tienen una mayor incidencia en la circulación y el tráfico en la calzada Raúl Aguilar Batres.

Tabla IV. **Población de algunos municipios del departamento de Guatemala**

Nombre	Período				
	2011	2012	2013	2014	2015
Depto. Guatemala	3 156 284	3 207 587	3 257 616	3 306 397	3 353 951
Guatemala	990 750	992 541	993 552	993 815	994 078
Mixco	479 238	483 705	487 830	491 619	495 079
Amatitlán	108 165	110 556	112 912	115 230	117 511
Villa Nueva	514 335	572 174	539 909	552 535	564 686
Villa Canales	143 258	147 050	150 823	154 577	158 309
Petapa	162 874	169 054	175 331	181 704	188 172

Fuente: INE. Instituto Nacional de Estadística. Estimaciones de la población total por municipios. Período 2008-2020.

### 1.1.12. Vivienda

Según el VI Censo Nacional de Habitación correspondiente al 2002, las viviendas en la República de Guatemala ascienden a 2 483 258 con un promedio de personas por vivienda de 5; las viviendas en el departamento de Guatemala asciende a 619 636 con un promedio de personas por vivienda de 4; y las viviendas en el municipio de Guatemala ascienden a 238 651 con un promedio de personas por vivienda de 4.

## **1.2. Historia de la calzada Raúl Aguilar Batres**

El licenciado Ramiro Ponce Monroy electo democráticamente, fue uno de los alcaldes que tuvo la visión de proveer a los vecinos de la ciudad guatemalteca, obras de infraestructura que a lo largo de los años se han convertido en importantes arterias que han beneficiado a miles de guatemaltecos durante más de cuatro décadas.

Durante la administración del licenciado Ramiro Ponce se ejecutaron quizás las obras viales más importantes de la ciudad, las cuales fueron: la Plaza Bolívar, la Calle Real de Amatitlán ahora con el nombre de calzada Raúl Aguilar Batres, Roosevelt y José Milla. Se realizaron remodelaciones en la calzada San Juan y avenida Petapa.

El ingeniero civil Raúl Aguilar Batres egresado de la Universidad de San Carlos de Guatemala fue uno de los hombres que realizó grandes aportes a la urbanización del municipio de Guatemala, el más importante legado que dejó fue la división de la ciudad en 25 zonas ubicadas en espiral alrededor de la zona central del Palacio Nacional, para facilitar el crecimiento de la ciudad. Además diseñó una enumeración sistemática de las calles, denominando los caminos que conducen de norte a sur como avenidas, y los que conducen de oeste a este como calles.

Luego de la muerte del ingeniero Aguilar Batres y en honor a él, la calle Real de Amatitlán fue bautizada con el nombre de calzada Raúl Aguilar Batres y en 1978 se colocó sobre esta vía y 28 calle un busto esculpido en mármol que descansa sobre un pedestal de concreto, revestido de cerámica opaca color ladrillo; bajo la administración edil del licenciado Leonel Ponce León. En el 2003 fue trasladado a la 13 calle de la zona 11, sobre el paso a desnivel.

La calzada Raúl Aguilar Batres mide aproximadamente ocho kilómetros, a lo largo de ella transitan miles de vehículos y se han edificado cientos de construcciones.

En 2005 se crea un acuerdo del Honorable Consejo de la Municipalidad de Guatemala en el que se regula el uso del suelo en el área de la vía en estudio. Este nuevo acuerdo buscaba facilitar la utilización eficiente del espacio vial, incentivar el uso mixto del suelo, densidades habitacionales adecuadas, altos estándares medioambientales y de prestación de servicios, accesibles para personas de distintos niveles de poder adquisitivo de acuerdo a un plan de desarrollo municipal.

Figura 3. **Busto del ingeniero Raúl Aguilar Batres**



Fuente: Municipalidad de Guatemala. <http://cultura.muniguate.com/index.php/component/content/article/47-colmariscal/324-colmariscal>. Consulta: 7 de julio de 2014.

### **1.2.1. Localización**

La calzada Raúl Aguilar Batres inicia al norte por Trébol, y finaliza al sur en la Central de Mayoreo (CENMA), contando con un aproximado de 8 kilómetros de longitud de carpeta asfáltica.

### **1.2.2. Ubicación**

La calzada colinda al norte con la avenida Bolívar, al sur con la carretera CA-9 y al oeste paralela con la calzada Roosevelt y al este con la avenida Petapa y Atanasio Tzul.

### **1.2.3. Topografía**

La calzada Raúl Aguilar Batres posee en toda su longitud pendientes topográficas no muy pronunciadas ni elevaciones muy altas, es decir que es considerada una vía bastante plana o llana.

A lo largo de los años la urbanización de la ciudad y el alto crecimiento de la demografía del valle de Guatemala ha causado que las áreas planas en las mesetas hayan sido pobladas por centros educativos, zonas residenciales, comercio e industria; este es el caso de la calzada Raúl Aguilar Batres, en donde la industria y el comercio se ha apoderado de una gran extensión de tierra para uso netamente comercial e industrial.

#### **1.2.4. Altitud**

La altura en la que se encuentra la calzada Raúl Aguilar Batres, varía entre los 1 380 a 1 450 metros sobre el nivel del mar, esta no varía mucho debido a que en casi toda su longitud no posee pendientes muy pronunciadas.

## **2. FUNDAMENTO TEÓRICO**

En este capítulo se definirán conceptos relacionados a la ingeniería de tránsito que ayudaran a desarrollar y comprender de mejor forma cada uno de ellos, con el objetivo de ser una herramienta útil para el desarrollo adecuado del presente trabajo de graduación.

### **2.1. Elementos básicos de ingeniería de tránsito**

Existen cuatro elementos básicos que la componen, cada uno de los cuales juega un papel importante para la solución a la problemática de la viabilidad en la calzada Raúl Aguilar Batres por lo que es de suma importancia estudiar cada uno de ellos así como entender como estos afectan el flujo eficiente y efectivo dentro de la movilidad en la calzada.

Factores influyentes en la ingeniería de tránsito

- Características del tránsito: se estudia la velocidad, volumen, densidad origen, el destino del movimiento, la capacidad de calles y carreteras, las limitaciones de los vehículos y usuarios como elementos del flujo vehicular. Con estas características se podrá determinar la influencia de la capacidad y limitaciones del usuario en el tránsito.
- Reglamentación del tránsito: la regulación es importante, ya que con ella se podrá establecer las bases para estandarizar los reglamentos de tránsito; deberá señalar sus objeciones, legitimidad y eficacias; así como sanciones, procedimientos para modificarlos y mejorarlos.

- Señalamiento y dispositivos de control: estos tienen la misión de ordenar, organizar, prevenir, informar y alertar al conductor, estos dispositivos deberán de transmitir el mensaje de forma clara y sencilla.
- Administración: las entidades competentes deben considerar los distintos aspectos tales como: económico, político, fiscal, las relaciones públicas y sanciones. Se deberá examinar las relaciones entre las distintas dependencias públicas que tienen competencia en materia vial y su administración al respecto.

Las entidades encargadas que tienen bajo su responsabilidad cumplir las acciones mencionadas anteriormente para la ciudad de Guatemala son: Policía Municipal de Tránsito (PMT), Policía Nacional Civil (PNC) a nivel de infraestructura es el Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda (MICIVI), este posee tres dependencias: Dirección General de Caminos (DGC), Unidad Ejecutora de Conservación Vial (COVIAL) y Dirección General de Protección y Seguridad Vial (PROVIAL); las primeras dos se dedican a construir y conservar toda la red vial del país mientras que la tercera fue creada para la seguridad de los usuarios.

### **2.1.1. Usuario**

El usuario puede estar representado por distintas personas, de las cuales todas tienen un papel que podrían ayudar en gran parte a la movilidad o agravar más el tráfico del que de por sí ya existe con el aumento del parque vehicular en la vía en estudio.

- Peatón: son los que más tienden a provocar algún accidente debido a que no utilizan las pasarelas, no cruzan en las zonas indicadas y

lastimosamente no existe la adecuada señalización en las diferentes vías de circulación de vehículos en la ciudad de Guatemala, al existir un accidente lógicamente se producirá un largo e interminable tráfico.

- Ciclista-motorista: estos son más vulnerables a factores como la accidentabilidad producida por la interacción con vehículos livianos, autobuses y transporte pesado; por la imprudencia, la falta de uso de su implemento de seguridad como casco y chaleco que son las únicas exigidas por la PMT, y por último por las condiciones en las que se encuentra la carpeta de rodadura.
- Conductor: por lo general, el que conduce un vehículo conoce el mecanismo, sabe lo que es el volante, las velocidades, el freno; pero desconoce las limitaciones, la potencialidad del vehículo y carece de destreza para mezclarlo en la corriente de tránsito.

Es importante mencionar esto porque debido a los distintos tipos de usuarios antes indicados, se compone la densidad del tránsito vehicular en una red vial.

### **2.1.2. Automotor**

La Federación Internacional del Automóvil define así al vehículo automotor: vehículo terrestre movido por sus propios medios, que se desliza mínimo sobre cuatro ruedas dispuestas en más de una alineación y que están siempre en contacto con el suelo, y de las cuales por lo menos dos son directrices y dos de propulsión.

Dependiendo de los ejes y del tonelaje de los vehículos se clasifican en:

- Vehículos livianos: son vehículos de pasajeros y/o carga, que tienen dos ejes.
- Vehículos pesados: son unidades destinadas al transporte masivo de pasajeros o carga, de dos o más ejes y de seis o más ruedas.
- Vehículos especiales.

Dependiendo de la actividad que realicen los vehículos también se pueden clasificar en:

- Privado
- Público
- Comercial

### **2.1.3. Ejes viales (calles y avenidas)**

Los ejes viales son utilizados para la circulación de automotores de todo tipo aunque necesitan de la ayuda de dispositivos para el control de tráfico, tanto señalización vertical y horizontal optimizados para una circulación más fluida, y están orientados en los sentidos norte-sur y oriente-poniente. Pueden ser tramos totalmente de una sola dirección o dos direcciones.

El sistema vial es uno de los elementos más importantes de la ingeniería de tránsito y quizás uno de los patrimonios más valiosos que posee cualquier país, debido a que si no contara con una infraestructura vial no se podría tener comunicación con distintas ciudades, además las relaciones comerciales, políticas y sociales no se podrían llevar a cabo. Es importante mencionar que

Guatemala es un país netamente agricultor, por lo que depende mucho de su red vial para lograr distribuir sus productos dentro o fuera del país.

Debido a la importancia que tiene la infraestructura vial es sin duda alguna prioridad del Gobierno de Guatemala a través de sus instituciones gubernamentales garantizar el óptimo estado físico de las distintas carreteras del país. Además por su magnitud, su condición y la calidad de una red vial, esta representa en gran parte uno de los indicadores del grado de desarrollo que tiene cualquier país. Dentro de un criterio amplio de planificación la red vial se debe clasificar de tal manera que se puedan fijar funciones específicas a las diferentes vías.

Los ejes viales de un país constituyen gran parte del desarrollo económico, social y cultural del mismo debido a que en ellos se traslada de un lugar a otro y es obligación del Gobierno central darle mantenimiento y conservar la infraestructura para garantizar con ello lo que establece La Constitución Política de la República de Guatemala la libre locomoción de cada ciudadano guatemalteco.

## **2.2. Flujo de tránsito y parámetros**

Este es quizás el estudio más importante para el diseño de carreteras ya que a través del flujo vehicular se puede comprender las características y el comportamiento del tránsito, los cuales son requisitos básicos necesarios para el planeamiento, proyecto, operación de carreteras, calles y sus obras complementarias dentro del sistema de transporte. Con ayuda de la física y la matemática, mediante el análisis del flujo vehicular describe la forma de cómo circulan los vehículos en cualquier tipo de vialidad, esto permite determinar el nivel de la eficiencia de la operación.

El resultado más útil del flujo vehicular es el desarrollo de modelos microscópicos que relacionan sus diferentes variables como el volumen, la velocidad, la densidad, el intervalo y el espaciamiento. Estos modelos han sido la base del desarrollo del concepto de capacidad y niveles de servicio aplicado a diferentes tipos de elementos viales.

Existen varios elementos que influyen y afectan el flujo vehicular, entre ellos se pueden mencionar: las características geométricas de la vía, ancho, pendiente, curvatura; tipo de superficie, terracería, tratamiento superficial, carpeta asfáltica; deterioros en la vía, baches, hundimientos, ahuellamientos; las señales o dispositivos de control de tránsito tales como semáforos y señales restrictivas; actividades de industria, comercio, educativas, sociales y culturales.

- Características geométricas de la vía

Está directamente relacionada con la capacidad de la vía. Con el tipo de vehículos que circularán por ella y con la velocidad de circulación. El ancho de los carriles, la altura libre existente en las estructuras, así como otras características geométricas de la misma, limitan las dimensiones de los vehículos. De la misma manera, estas dimensiones imponen unas características geométricas mínimas a la vía.

- Tipo de superficie

La velocidad con la que circula un vehículo en una vía de terracería es muy diferente de la velocidad que este pueda desarrollar al circular en una vía pavimentada, debido a esto la superficie de rodadura es un factor que influye de forma directa en el tráfico. El deterioro de cualquier sistema vial reduce la

velocidad y disminuye la seguridad de circulación de los vehículos. Algunos de los deterioros más comunes son:

- Deterioros de la superficie
  - Bache con pérdida de base: desintegración total de la superficie de rodadura que puede extenderse a otras capas del pavimento, formando depresiones irregulares en la superficie.

Figura 4. **Bache con pérdida de base**



Fuente: calzada Raúl Aguilar Batres.

- Exudación de asfalto: es la aparición de material bituminoso de la mezcla asfáltica a la superficie del pavimento, formando una película continua de ligante, creando una superficie brillante, reflectante, resbaladiza y pegajosa durante el tiempo cálido.

Figura 5. **Exudación de asfalto**



Fuente: Montoya H. Guisselle <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/apuntes-ingenieria-de-transito.pdf>. Consulta: 10 de marzo de 2014.

- Deformaciones
  - Ahuellamiento: deformación permanente longitudinal a lo largo de los carriles del tránsito y donde el largo es mayor a 0,8 metros.

Figura 6. **Ahuellamiento**



Fuente: calzada Raúl Aguilar Batres.

- **Canalizaciones:** deformación del perfil transversal, tanto por hundimiento a lo largo de los ahuellamientos como por elevación de las áreas contiguas adyacentes a las huellas.

Figura 7. **Canalización carpeta asfáltica**



Fuente: Montoya H. Guisselle <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/apuntes-ingenieria-de-transito.pdf>. Consulta: 10 de marzo de 2014.

- **Ondulaciones:** deformaciones del perfil longitudinal con crestas y valles regularmente espaciados a distancias cortas. En los sitios críticos presentan grietas semicirculares.

Figura 8. **Ondulación**



Fuente: Montoya H. Guisselle <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/apuntes-ingenieria-de-transito.pdf>. Consulta: 10 de marzo de 2014.

- Hinchamiento: imperfección en la superficie del pavimento, generalmente en forma de onda que deforma la superficie de la carretera.

Figura 9. **Hinchamiento**



Fuente: Montoya H. Guisselle <http://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/apuntes-ingenieria-de-transito.pdf>. Consulta: 10 de marzo de 2014.

- Hundimiento: depresión o descenso de la superficie del pavimento.

Figura 10. **Hundimiento**



Fuente: calzada Raúl Aguilar Batres.

### 2.2.1. Volumen

El volumen se define como la cantidad de vehículos que pasan por un punto determinado durante un período de tiempo específico.

Al igual que muchos sistemas dinámicos, los medios físicos y estáticos del tránsito como son las intersecciones, están sujetos a ser solicitado y cargado por volúmenes de tránsito, los cuales poseen estas características:

- Espaciales: ocupan un lugar
- Temporales: poseen intervalos de tiempo

Los volúmenes de tránsito proveen información útil para la planeación del transporte, diseño vial, operación del tránsito e investigación. En la siguiente tabla se muestra varios tipos de estudios de volúmenes y sus aplicaciones:

Tabla V. **Aplicaciones de estudios de volúmenes**

<b>Tipo de volumen</b>	<b>Aplicación</b>
Volumen Medio Diario: (VMD) o volumen total de tránsito.	Estudios de tendencias; planeación de carreteras, programación de carreteras, selección de rutas, cálculo de tasas de accidentes, estudios fiscales, evaluaciones económicas.
Volúmenes clasificados: por tipo de vehículo, número de ejes, y/o peso.	Análisis de capacidad, diseño geométrico, diseño estructural, cómputos de estimados de recolección de impuesto de los usuarios de vialidades.

Continuación de la tabla V.

Volúmenes durante períodos de tiempo específicos: durante horas pico, horas valle, y por dirección.	Aplicación de dispositivos de control del tránsito, vigilancia selectiva, desarrollo de reglamentos de tránsito, diseño geométrico.
---	---

Fuente: Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd51/tomo12norma.pdf>. Consulta: 1 de julio de 2014.

Existen varios métodos para aforos vehiculares a continuación los más utilizados:

- Aforos manuales: son utilizados para registrar volúmenes de giro y volúmenes clasificados, la duración depende del propósito del aforo.
- Contadores mecánicos: son empleados para aforar el tránsito continuamente asimismo, son utilizados para estudios de tendencia. Son aparatos que son accionados por células fotoeléctricas o detectores magnéticos.
- Contadores portátiles: registran el volumen aforado en lapsos de cada hora y quince minutos, la ventaja de estos dispositivos es que solo se necesita a una persona para la manipulación de estos contadores y una desventaja significativa es que no permiten los volúmenes por tipo de vehículo y movimientos de giro.

El propósito de los estudios de volúmenes de tránsito es obtener información relacionada con el movimiento de vehículos y/o personas, sobre

puntos específicos dentro de un sistema vial. Los volúmenes de tránsito son expresados respecto al tiempo, los datos obtenidos hace posible el desarrollo de métodos para soluciones a la problemática de tránsito vehicular.

Un dato a tomar en cuenta sobre los volúmenes de tránsito es considerarlos siempre como dinámicos, por lo tanto solo son precisos para el período de duración de los aforos.

Los estudios sobre volúmenes son utilizados en:

- Planeación
- Ingeniería de tránsito
- Cuidado de la seguridad vial
- Investigación
- Usos con fines utilitarios

Los volúmenes de tránsito horario (TH) permiten:

- Establecer la longitud y magnitud de los períodos de máxima demanda.
- Evaluar deficiencias en la capacidad.
- Establecer dispositivos para el control de tránsito, entre los más usados están las señales y semáforos.
- Proyectar y rediseñar geométricamente calles e intersecciones.

### **2.2.2. Velocidad y tiempo de viaje**

Para un proyecto de sistema vial, la velocidad es importante debido a que con ella se calculan los demás elementos del proyecto. Es por eso que la velocidad debe ser estudiada, regulada y controlada con el fin de originar un

perfecto equilibrio entre el usuario, el vehículo y la vía garantizando siempre la seguridad del usuario.

La velocidad es la relación entre el espacio recorrido y el tiempo en que se tarda en recorrerlo. Y para el diseño geométrico de un sistema vial es expresada en kilómetros por hora (km/hr).

La velocidad se puede referir a un vehículo en particular, a un grupo de vehículos o a una magnitud que tiene simultáneamente en cuenta las circunstancias de la circulación y de la vía. Existen varios tipos de velocidades:

- Velocidad local ( $v_l$ ): aquella velocidad de un vehículo al atravesar una determinada sección de una vía.
- Velocidad de circulación ( $v_c$ ): es igual a la distancia recorrida en un tramo determinado dividida por el tiempo en que el vehículo está en movimiento.
- Velocidad de recorrido ( $v_r$ ): también conocido como velocidad global o de viaje y es el cociente entre la distancia total recorrida en un tramo determinado y el tiempo que transcurre desde el instante en que el vehículo inicia el viaje hasta que llega a su destino, incluyendo las posibles demoras y retrasos debidos al tráfico, pero no se debe incluir el tiempo fuera de la vía, es decir el tiempo en gasolineras, restaurantes y/o lugares de recreación. La velocidad de recorrido es útil para comparar condiciones de fluidez en ciertas vías

- Velocidad de diseño ( $v_d$ ): se define como la velocidad máxima que puede circular un vehículo con seguridad sobre una sección específica de una vía. De esta velocidad dependen todos aquellos elementos geométricos del alineamiento horizontal, vertical y transversal y varían con un cambio de esta.

Para determinar la velocidad de un grupo de vehículos existen dos formas de obtenerlas:

- Velocidad media local ( $v_{ml}$ ): no es más que las velocidades locales de todos los vehículos que pasan por una sección determinada y obtener la media en un cierto período.
- Velocidad media del tramo ( $v_{mt}$ ): consiste en considerar un tramo de vía de longitud  $L$  y hallar la media de los tiempos empleados por un grupo de  $n$  vehículos en recorrer el tramo.

El tiempo de viaje o de recorrido está muy relacionado con la velocidad porque esta última depende de la cantidad de tiempo que se desplace cierto vehículo para poder ser determinada.

El tiempo de recorrido se define como el período de tiempo, durante el cual un vehículo recorre un determinado espacio de vía, e incluye los tiempos de parada. El tiempo de recorrido ayuda a evaluar la calidad del movimiento de tránsito a lo largo de una ruta y para determinar la ubicación, tipo y alcance de las demoras de tránsito. La eficiencia del flujo de tránsito se mide en función de las velocidades de viaje y recorrido.

### **2.2.3. Densidad y capacidad**

La densidad se refiere al número de vehículos que ocupan una unidad de longitud de carretera en un instante dado. Por lo general se expresa en vehículos por kilómetro.

La capacidad es el máximo volumen horario de tránsito que puede circular por un punto o una sección de una carretera bajo condiciones prevaletientes de la carretera y el mismo tránsito vehicular.

Las condiciones prevaletientes son condiciones existentes que influyen directamente en la capacidad de las vías. Dentro de estas condiciones se pueden mencionar las siguientes:

- Condiciones del tránsito: volúmenes de tránsito, porcentaje de vehículos que giran a la izquierda o derecha, porcentaje de vehículos pesados, cantidad de autobuses, estacionamiento sobre la vía, volumen de peatones, factor de hora de máxima demanda (fhmd).
- Condiciones de la vía: número, ancho, pendientes y uso de los carriles de circulación.
- Condiciones de semaforización: fases, tiempos de las fases, tipo de control, y progresión.

El objetivo principal del análisis de capacidad, es estimar el máximo número de vehículos que un sistema vial puede adaptar con seguridad durante un período específico.

#### **2.2.4. Características del flujo continuo**

Existen varios modelos matemáticos que intentan modelar el flujo de tráfico vehicular en términos de alguna de sus características. A continuación los modelos utilizados para determinar el flujo vehicular:

- Los modelos macroscópicos: se enfocan en captar las relaciones globales del flujo de tráfico, tales como velocidad de los vehículos, flujo vehicular y densidad de tráfico, hacen uso de ecuaciones diferenciales. Dentro de los modelos macroscópicos existen modelos puramente empíricos, denominados modelos de capacidad y nivel de servicio.
- Los modelos microscópicos: son por lo general discretos y se enfocan en la descripción del comportamiento del flujo del tráfico vehicular a través de describir las entidades discretas individuales y elementales que interactúan unas con otras.
- Los modelos mesoscópicos: definen una función que expresa la probabilidad de que un vehículo a determinada velocidad se encuentre en cierto tiempo en determinada posición. Utilizan por lo general métodos estadísticos.

Las vías de flujo continuo no tienen elementos fijos que sean obstáculo al volumen de tránsito y que provoquen interrupciones, tales como semáforos, señales de tránsito preventivas. Los siguientes son ejemplos de vías de volumen continuo: autopistas, carreteras de carriles múltiples y carreteras de dos carriles.

### **2.2.5. Características del flujo interrumpido**

Las características del flujo interrumpido del tránsito centra su estudio en tres elementos principales, el primero es que las vías sean ocupadas como parqueo por automovilistas, el segundo son las condiciones de la carpeta asfáltica y el tercero son los dispositivos de control de tráfico, por lo que estos factores influyen a que el flujo vehicular tenga interrupciones durante un determinado recorrido por las calles y avenidas.

Entonces el flujo interrumpido es producto de la discontinuidad constante del flujo vehicular en secciones de carretera, causado por las condiciones y uso inadecuado de la vía y por dispositivos de control.

### **2.3. Dispositivos para el control de tráfico**

La circulación vehicular y peatonal debe ser guiada, regulada y controlada a fin de que esta pueda llevarse a cabo de forma segura, fluida, ordenada y cómoda, siendo la señalización de tránsito un elemento fundamental para alcanzar tales objetivos.

A través de la señalización se indica a los usuarios de las vías, la forma correcta y segura de transitar por ellas, con el propósito de evitar riesgos y disminuir demoras innecesarias.

Entre los dispositivos de control del tránsito se tienen: los semáforos que regulan el flujo de los vehículos y las señales que advierten al usuario de algún obstáculo o inconvenientes que pueda encontrar en la vía. También pueden ser informativas para guiar al usuario a llegar a su destino.

Para que los dispositivos de control de tránsito se cumplan, existen en la ciudad de Guatemala autoridades encargadas de la organización vial de la urbe metropolitana y estas autoridades toman como ejemplos las medidas de tránsito que se emplean en los Estados Unidos para un mayor control del mismo.

Requisitos fundamentales que deben satisfacer los dispositivos de control del tráfico:

- Satisfacer una necesidad
- Llamar la atención
- Transmitir un mensaje simple y claro
- Imponer respeto a los usuarios de las calles y carreteras
- Estar visible y en una ubicación apropiada con el fin que el usuario tenga el suficiente tiempo para reaccionar

Existen 4 consideraciones básicas para asegurarse que los dispositivos de control sean efectivos, legibles, entendibles y satisfagan los requisitos fundamentales anteriores. Estos son:

- **Diseño:** la combinación de las características tales como la forma, tamaño, color, contraste, composición, iluminación o efecto reflejante, deberán llamar la atención del usuario y transmitir un mensaje simple y claro.
- **Ubicación:** el dispositivo de control deberá estar ubicado dentro del cono visual del conductor, para llamar la atención, facilitar su lectura e interpretación, de acuerdo con la velocidad de su vehículo y dar el tiempo adecuado para una respuesta apropiada.

- Uniformidad: los mismos dispositivos de control o similares deberán aplicarse de manera consistente con el fin de encontrar igual interpretación de los problemas de tránsito a lo largo de una ruta.
- Conservación: los dispositivos deberán mantenerse física y funcionalmente conservados, limpios y legibles, asimismo, deberán colocarse o quitarse tan pronto como sea necesario.

### **2.3.1. Señalización vertical**

Consisten en placas metálicas sujetas a postes. Contienen un mensaje que la autoridad envía al usuario mediante leyendas y símbolos, con el fin de facilitar el tránsito y hacerlo más seguro. Por su finalidad, es necesario, no solo que el usuario comprenda el mensaje, sino que además cumpla con el mismo. Estas señales se clasifican en:

- Señales reglamentarias: su forma es circular, símbolo negro, fondo blanco y borde rojo, y solo se acepta inscribir la señal misma en un rectángulo cuando lleva una leyenda adicional. Se exceptúan las señales: ceda el paso, pare y estacionamiento permitido. Estas señales indican al usuario limitaciones y prohibiciones en las vías. Su violación constituyen una infracción. Todas las señales que lleven una línea diagonal roja indica prohibición.
- Señales preventivas: tienen la forma de un rombo, que se coloca en una de sus diagonales en forma vertical. Su color de fondo es amarillo y sus símbolos, leyendas y franja son negros. Advierten al usuario sobre la existencia de peligro en la vía.

- Señales informativas: estas indican las vías y guían al piloto, proporcionan ciertos datos que pueden ser útiles en el recorrido del usuario. Son rectangulares, logrando colocar su lado mayor tanto horizontal como verticalmente. Su color de fondo es azul y sus símbolos, letras y franjas blancos.

### **2.3.2. Señalización horizontal**

Las señales horizontales son aquellas marcas que se pintan sobre el pavimento y sobre la acera. Se utilizan en la regulación del tránsito con el fin de orientar al conductor e indicarle regulaciones y advertencias, aumentando considerablemente su seguridad al no tener que apartar su atención de la carretera.

Estas marcas son uniformes en diseño, localización y aplicación, para que puedan ser identificadas por los usuarios de las vías. Pueden usarse como complemento de otros dispositivos tales como señales de tránsito verticales y/o semáforos.

Existen varias señales horizontales las cuales se pueden mencionar:

- Línea de centro: divide la calzada en dos o más carriles con circulación en sentido contrario. Es por lo general discontinua y de color blanco. Cuando esta línea es continua, indica que no puede cruzarse.
- Línea de barrera: línea continua de color amarillo, que se coloca a la derecha de una línea del centro. Indica que en ese lugar rebasar a otro vehículo está prohibido por presentar peligro para el conductor. Se

encuentra generalmente en curvas, pendientes y en lugares donde la visibilidad se dificulta.

- Línea de parada: línea blanca continua que se pinta transversalmente a la calzada. Debe estar complementada por un semáforo, una señal de alto o una senda peatonal. Indica al conductor el lugar donde debe detenerse.
- Zona de paso: está formada por una serie de franjas blancas longitudinales que se pintan de un lado a otro de la calzada, sirven para que los peatones crucen con seguridad. Ante ellas el conductor deberá detener su vehículo. Si existe un semáforo se llama zona de seguridad.
- Línea de vía: se utiliza en vías de cuatro o más carriles. Sirven para dividir los carriles que van en un mismo sentido. Son discontinuas y de color blanco.
- Flechas direccionales: indican las direcciones de circulación permitidas al llegar a una intersección, son de color blanco.

#### **2.4. Proceso de análisis del tránsito**

En este proceso se deberá tener bien presente los estudios que se realizan en campo para luego llevar los datos tomados en aforos vehiculares u otro tipo de estudio, y así lograr analizar y diagnosticar la mejor solución que se apegue a las necesidades y condiciones del proyecto a diseñar.

## **2.4.1. Impacto del tránsito de vehículos**

El impacto que ha generado a los automovilistas el tránsito en los últimos tiempos se ha agravado de una manera muy significativa debido a que el parque vehicular en el territorio guatemalteco ha aumentado, es por ello que a nivel mundial el hombre se ha interesado en realizar distintos estudios que ayuden a mejorar la movilidad de los vehículos en las distintas redes viales.

### **2.4.1.1. Estudios de tránsito**

Existen varios estudios de tránsito que son utilizados dependiendo del enfoque, ubicación del estudio y la aplicación que se quiera realizar con este, pero aquí solo será hará mención de los métodos más utilizados.

- Estudio de velocidad

La calidad de un viaje es a menudo asociada con la velocidad o tiempo de viaje. La velocidad es un factor importante en el transporte, ya que tiene implicaciones económicas, de seguridad, de tiempo y servicio, tanto para el conductor como para el público en general.

La velocidad se expresa en kilómetros por hora (km/hr) o millas por hora (mph). Se puede determinar dos tipos de velocidad: la velocidad en un punto o velocidad instantánea y la velocidad de viaje. La velocidad instantánea es la que lleva un vehículo en un instante de tiempo determinado y esta dependerá de las condiciones del punto concreto de su trayectoria.

Los estudios de velocidad son efectuados, generalmente, en secciones rectas y lejos de intersecciones o cruces. En el casco urbano se realiza a media cuadra. Asimismo, en lugares específicos de acuerdo a los requerimientos.

La hora en que se deben efectuar depende del propósito del estudio. Un estudio general para determinar límites de velocidad podría efectuarse en las horas que no sean de máxima demanda. Cuando el volumen vehicular es bajo, es conveniente tomar datos en más de un día.

- Estudio de demora

Estos se efectúan para evaluar el comportamiento de una intersección, es decir, para evaluar la efectividad de los elementos controladores del flujo vehicular, asimismo evalúa el tiempo de demora en una intersección.

Los estudios de demora se efectúan en aquellas intersecciones donde hay problemas de congestión. El momento más adecuado para efectuarlas es en las horas de mayor demora. Cuando se efectúa este estudio en horas de demora relativa, es posible determinar el grado de problema por comparación. Al igual que en todo tipo de estudio, las condiciones atmosféricas deben ser adecuadas y la situación del flujo vehicular debe ser normal.

El estudio de demora requiere de un formulario especial y de un cronómetro cuando se efectúan manualmente.

La práctica recomienda que el número mínimo de observaciones para este estudio se determine por medio de la siguiente expresión:

$$N = (1 - p)x^2 / pd^2$$

Donde:

$N$  = número mínimo de observaciones

$p$  = proporción de vehículos que se detienen en la intersección

$d$  = error permitido en la apreciación del número de vehículos que se detienen

$\chi^2$  = valor de chi-cuadro para el nivel de confianza esperado

- Estudio de estacionamiento

El sistema de transporte urbano está formado básicamente por tres elementos: la red, los vehículos y el terminal. El diseño y ordenamiento de cada uno de ellos influye en la situación del sistema, por lo tanto, la problemática de los estacionamientos (terminales) está íntimamente relacionada con los problemas del flujo vehicular y con las características de los vehículos.

El estacionamiento en una calle es un ejemplo clásico, ya que se debe determinar cómo aprovechar el espacio disponible para mantener un flujo vehicular con ciertas características y ofrecer una parte de este para los vehículos que han llegado a su terminal.

Esta situación que aparentemente es tan sencilla, realmente no lo es, ya que los criterios a seguir para la justa solución dependen de las metas que las comunidades se hayan fijado y estas metas pueden variar de una comunidad a otra.

Los estacionamientos afectan a distintos grupos de personas y por lo tanto, a sus intereses. Algunas de ellas son: comerciantes, propietarios de bienes raíces, taxistas, vehículos de emergencia, locomoción colectiva, estacionamientos privados, autoridad del tránsito, planificadores, otros.

Los estacionamientos pueden dividirse en dos grandes grupos: estacionamientos en la vía pública y estacionamientos fuera de ella. Estos últimos representados por playas y edificios de estacionamientos.

Los estudios sobre estacionamientos determinan la relación entre la oferta y la demanda del espacio asignado y de esa forma proponer recomendaciones, para maximizar la utilización de los espacios disponibles y/o planificar nuevas áreas de estacionamientos.

#### **2.4.1.2. Parámetros de tránsito**

Existen 2 tipos de parámetros, el primero ocupa un espacio físico conocido como parámetro espacial y el otro ve aspectos del diseño geométrico de carreteras, a este se le conoce como parámetro macroscópico, los cuales se detallan a continuación:

- Parámetros espaciales: tal como su nombre lo indica son los que ocupan un espacio dentro de una sección transversal de la vía. Por lo que se puede mencionar los siguientes:
  - Longitud de separación: normalmente esta relación se hace entre un par de vehículos que circulan en mismo sentido, si un vehículo sigue a otro la medida normalmente se le da el valor al de atrás y se mide con la parte trasera. Estos parámetros también son utilizados algunas veces para medir la relación entre vehículos que circulan en sentido contrario, donde se recomienda medir este parámetro con la parte delantera del vehículo.

- Espaciamiento: se relaciona como la suma entre separación que hay entre la parte trasera del primer vehículo y la parte delantera del siguiente más la longitud del segundo así:

$$S = \text{separación} + \text{longitud}$$

- Parámetros macroscópicos: entre estos parámetros están el volumen, velocidad y la densidad. Debido a que estos temas ya fueron descritos en secciones anteriores, en esta sección solo se hará mención de los mismos.

#### **2.4.2. Análisis de tránsito**

El principal objetivo del análisis del tránsito es mejorar el flujo vehicular que existe en las diferentes arterias viales, por supuesto esto va muy relacionado con el nivel de servicio de cada vía, es por eso que para contar con un análisis adecuado y con información verídica se deben realizar estudios de campo para recabar datos e información y luego lograr interpretar los mismos para dar una solución sustentada con base a la información recabada.

##### **2.4.2.1. Recolección de datos**

La recolección de datos se refiere al uso de una gran diversidad de técnicas y herramientas que pueden ser utilizadas por el ingeniero para desarrollar los sistemas de información, los cuales pueden ser: la observación y una base de datos.

En esta fase de la ingeniería de tránsito, se hace una recolección de datos por diferentes análisis estadísticos con la finalidad de interpretar los datos que se obtengan de los aforos vehiculares particularmente realizados.

#### **2.4.2.2. Monitoreo**

El monitoreo vehicular no es más que llevar un control del tránsito vehicular mediante diferentes dispositivos electrónicos que son exclusivos para este tipo de estudios, el monitoreo es muy importante, ya que uno de los propósitos de los sistemas de monitoreo de tránsito vehicular es obtener información del uso de las vías y determinar áreas con necesidad de expansión o con alteración de los requerimientos de los patrones de tránsito.

Aunque los primeros Sistemas de Monitoreo de Tránsito Vehicular (SMTV) desarrollados, de los que se tiene registro, tenían como objetivo la supervisión del tránsito en pequeñas zonas urbanas y tramos cortos de carreteras, en años recientes, se han desarrollado sistemas capaces de realizar supervisión en áreas más amplias y entregar información de carácter global del comportamiento del tránsito vehicular a través de fotografía aérea o satelital. A continuación se presentarán dos tipos de sistemas de monitoreo:

- Sistema de monitoreo de cobertura local: este es un sistema que se suele utilizar en áreas urbanas y dentro de sus limitaciones están que no se puede visualizar otros carriles o vías alternas a menos que se tengan cámaras instaladas en dichos lugares.
- Sistema de monitoreo de cobertura amplia: aunque el procesamiento de imágenes ha avanzado rápidamente con el transcurrir de los años, y se ha extendido con éxito hacia muchas áreas como, por ejemplo, el

monitoreo del tránsito vehicular; hoy en día, son pocos los trabajos y experiencias que se tienen en aplicaciones de monitoreo de tránsito a través de fotografía satelital.

## **2.5. Capacidad y niveles de servicio**

Las estimaciones de capacidad y niveles de servicio son necesarios para la mayoría de las decisiones de la ingeniería de tránsito y del planeamiento del transporte.

Media cualitativa que describe condiciones de operación de un flujo vehicular. Se describe en términos como velocidad, tiempo de recorrido, libertad de maniobra y seguridad vial. El concepto de nivel de servicio utiliza medidas cualitativas que caracterizan, tanto las condiciones de explotación del tráfico vial como su percepción por los conductores.

Existen cuatro actividades de ingeniería de tránsito necesarias y fundamentales que dependen del análisis de la capacidad y del nivel de servicio, estas son:

- Cuando se planifican nuevas infraestructuras o se amplían las existentes, se debe determinar sus dimensiones en términos de ancho o número de carriles.
- Cuando se consideran instalaciones para su rehabilitación, ya sea, mediante la ampliación o mediante cambios de operaciones del tránsito, se deben evaluar sus características operativas (volumen, velocidad y densidad) o sea la evaluación de la fluidez del flujo vehicular, y sus niveles de servicio.

- Cuando se planifican nuevos desarrollos territoriales, se necesitan análisis de capacidad y niveles de servicio, para identificar los cambios necesarios de circulación y de la carretera.
- Los estudios de las condiciones operacionales y de los niveles de servicio, proporcionan valores base para determinar los cambios a los usuarios de las carreteras, en los costos de operación vehicular y de las concentraciones de agentes de polución ambiental.

Un estudio básico del análisis de capacidad es la estimación del máximo número de vehículos a los que una vía puede dar servicio con seguridad razonable dentro de un período de tiempo. El análisis de capacidad proporciona una forma de estimar la máxima cantidad de flujo vehicular a la que se puede dar servicio en una vía. El análisis de capacidad es un conjunto de procedimientos de estimación de las posibilidades de la vía, para transportar el flujo en condiciones de operación definidas.

### **3. ANÁLISIS ACTUAL DE LA CALZADA RAÚL AGUILAR BATRES**

En los últimos años el AMG ha tenido un elevado crecimiento a consecuencia de ello el casco urbano ha sobrepasado los límites del municipio de Guatemala. Esto provoca a la población a movilizarse a lugares más alejados, y recorrer distancias cada vez mayores para dirigirse a sus puestos de trabajo que en gran medida se encuentran concentrados en el municipio de Guatemala. Muchas personas viajan diariamente desde su residencia hacia sus lugares de trabajo ubicados en su mayoría en la meseta central o viceversa.

Esta tendencia de vivir cada vez más alejados del AMG y utilizar los municipios cercanos a la ciudad como: ciudades dormitorio provoca un serio impacto en la economía de los guatemaltecos ya que no solo es insostenible en cuanto al consumo de combustibles, sino que además provoca una condición inequitativa. Esta desigualdad de oportunidades se ve reflejada en la población con menos recursos quienes deben destinar un porcentaje mayor de su presupuesto para transporte o consumo de combustible. Adicionalmente, el aumento de los tiempos de viaje incide negativamente en la productividad y la calidad de vida de las personas.

Esta situación se debe en parte, a la ausencia de visión y de políticas públicas efectivas y coordinadas para propiciar un crecimiento balanceado en el territorio. Por tal razón, la planificación del uso del suelo es fundamental para una adecuada movilidad urbana.

Como se mencionó en el capítulo 2 del presente trabajo, existen diversos factores que influyen directa o indirectamente en el flujo vehicular de la calzada, uno de los factores directos que influye grandemente en el tránsito sobre la calzada es el estado físico en el que se encuentra su carpeta de rodadura ya que en varias secciones el estado es muy deplorable, esto causa que el conductor reduzca su velocidad de recorrido y este por debajo de la velocidad de diseño provocando un movimiento lento y generando tráfico en el lugar.

Otro factor directo que no puede pasar desapercibido es la poca señalización tanto vertical como horizontal en intersecciones y cruces tanto para incorporarse a la calzada como para salir y dirigirse hacia las calles, debido a la falta de señalización el conductor se ve obligado a reducir su velocidad para ubicar la calle en donde deberá de cruzar; es importante mencionar que la señalización solo facilita la movilización del usuario más sin embargo este deberá contar con una educación vial, regirse y cumplir estas señalizaciones.

Uno de los factores indirectos más significativos dentro del estudio del tránsito es el clima y la temperatura, ya que al existir precipitación en el lugar el pavimento se encuentra resbaloso y esto provoca que haya algún tipo de derrape de los vehículos es por eso que el usuario reduce la velocidad del vehículo para evitar cualquier accidente, en la época de invierno se agrava más el tránsito vehicular en la calzada. La temperatura juega cierto papel importante dentro del tráfico ya que en horas de la tarde es intenso el calor esto provoca en el conductor cierta incomodidad, estrés y desesperación al estar atrapado en el tráfico.

Con respecto al estado físico del pavimento en que se encuentra la calzada, se podría decir que está en su mayoría en condiciones no muy aptas,

ya que presenta baches en distintos puntos así como deterioros específicos en ciertas partes de la calzada tal como se vio en el subcapítulo 2.2.

Para obtener un mejor marco conceptual y visual de todos los factores que influyen en la movilidad del tráfico tanto liviano como pesado, en los subcapítulos siguientes se analizará todo el entorno que afecta a la fluidez del tráfico vehicular en la calzada.

### **3.1. Estudio de tránsito actual y proyección**

La calzada Raúl Aguilar Batres es una de las vías más importantes de la infraestructura vial del país debido a que en él se movilizan una gran cantidad de vehículos comerciales con fines lucrativos, debido a esto el estado de Guatemala deberá de garantizar las condiciones físicas y el mantenimiento adecuado a las carreteras, cumpliendo con lo que establece la Constitución Política de la República de Guatemala en su artículo 26 en donde dice que toda persona tiene derecho de entrar, permanecer, transitar y salir del país; esto es a lo que se le conoce como libre locomoción.

Según el reporte de cifras de la base de datos del sistema de Registro Fiscal de Vehículos de la SAT, en toda la República de Guatemala existen alrededor de 2 506 013 vehículos registrados, solo en el departamento de Guatemala existen 1 153 165, la policía municipal de tránsito reporta que solo en el casco urbano circulan más de 900 000 automotores.

En los últimos años el parque vehicular ha tenido un aumento exponencial y esto ha sobrepasado la capacidad real de diseño de las principales vías de ingreso a la capital, a continuación se mencionan la cantidad de vehículos que circulan a diario en las rutas de ingreso a la ciudad según datos de la PMT.

Tabla VI. **Vías principales más congestionadas de la ciudad de Guatemala**

<b>Vía</b>	<b>Cantidad de vehículos que circulan por día</b>
Calzada Roosevelt	90 000
Atlántico y calle Marti	65 000
Carretera a el Salvador	70 000
Boulevard Liberación	125 000
Calzada Raúl Aguilar Batres	88 000

Fuente: elaboración propia, con base en datos de PMT ciudad de Guatemala.

### **3.1.1. Análisis de problemas que afectan el flujo en la calzada**

A continuación, se enumeran los distintos problemas o actividades que influyen la movilidad del tránsito en la calzada Raúl Aguilar Batres, provocando que el flujo vehicular sea lento e interrumpido.

- Comercio

Se consideran como comercios todas las instalaciones que se dedican a la compra y venta de un bien o servicio, dentro de los cuales se pueden mencionar de alimentos, ropa, muebles, medicinas y accesorios para el hogar e industria.

El comercio es por tanto un elemento básico de la estructura urbana pues genera esquemas de funcionamiento que influyen la forma e imagen de la ciudad.

Por lo general los comercios son ubicados en puntos estratégicos donde el flujo vehicular es máximo y en donde se podrían concentrar la mayor población que consumirá estos productos o servicios.

El comercio se puede clasificar de la siguiente forma:

- Comercio de zona: es aquel cuyo campo de influencia abarca un área o zona de la ciudad.
  - Gimnasio (Scandinavia Gym)
  - Mercados (Central de Mayoreo Cenma)
  - Librerías (Office Depot)
  - Restaurantes (Comida rápida)
  
- Comercio de ciudad: a este tipo de comercio acuden personas desde cualquier punto de la ciudad. Una zona comercial o grupos de comercios de zona y de barrio pueden llegar a tener influencia a nivel de toda la ciudad. Dentro del comercio de ciudad se encuentra también el siguiente:
  - Comercio especializado: son tiendas que por su especialización tienen influencia en toda la ciudad y que generalmente se dan agrupadas.
    - ✓ Joyerías
    - ✓ Ropa
    - ✓ Gasolineras

- Comercio departamental: son tiendas que venden artículos de todo tipo, sin especializarse en ninguno de ellos. Generalmente son las tiendas más grandes, ejemplo las tiendas de conveniencia.

Un ejemplo claro de comercio es la Central de Mayoreo ubicado al sur al final de la calzada Raúl Aguilar Batres, jurisdicción de Villa Nueva.

Figura 11. **Vista panorámica de Central de Mayoreo**



Fuente: <http://www.panoramio.com/photo/24548374>. Consulta: 16 de julio de 2014.

- **Centro comercial**

Se define como un complejo de tiendas minoristas planeado como un grupo unificado para proporcionar máxima conveniencia al consumidor y máxima capacidad de exposición a los comerciantes.

En las dos últimas décadas se ha dado un inmenso desarrollo de centros comerciales construidos a nivel nacional, este desarrollo es debido al

crecimiento constante del aumento de la población local, inversión de la iniciativa privada y la necesidad de suplir grandes necesidades, entre las principales están de empleo, vestuario y recreación.

En la tabla siguiente se hace mención de centros comerciales que se encuentran ubicados sobre la calzada Raúl Aguilar Batres y que tienen incidencia en el flujo vehicular en los distintos sectores en los que se encuentran localizados:

Tabla VII. **Centros comerciales ubicados sobre la calzada Raúl Aguilar Batres**

<b>Centro Comercial</b>	<b>Dirección</b>
Pacific Center	32-10 zona 11
Galerías del Sur	34-70 zona 11
Metro Sur	44-22 zona 11
Centro Comercial Aguilar Batres	0-35 zona 11
Plaza Solana	37-95 zona 12

Fuente: elaboración propia.

Es necesario considerar en los ingresos de cada uno de los centros comerciales la fluidez de ingreso y egreso, ya que de esta dependerá que no exista algún tipo de congestionamiento sobre la calzada, aunque en principios y épocas de fin de año es demasiado la demanda de vehículos que desean ingresar a los centros comerciales hacer sus compras, a consecuencia de ello en los sectores aledaños a estos establecimientos se generen largas filas de vehículos esperando ingresar a los centro comerciales.

Es importante que la administración de los centros comerciales esté coordinada con la Municipalidad de la ciudad para que en estas fechas puedan controlar y no sobre poblar los parqueos de estos establecimientos según sea la capacidad para la que fueron diseñados.

Figura 12. **Vista aérea centro comercial Pacific Center**



Fuente: <http://www.guate360.com/galeria/img-vista-aerea-del-centro-comercial-pacific-center-3492.htm>. Consulta: 16 de julio de 2014.

- **Establecimientos educativos**

Lugar donde se enseña a las personas a leer y escribir, y tienen un aprendizaje de diferentes materias las cuales conforman un pensum de estudios. Sobre la calzada Raúl Aguilar Batres se encuentran varios establecimientos educativos estos son algunos de ellos:

Tabla VIII. **Establecimientos educativos ubicados sobre la calzada Raúl Aguilar Batres**

<b>Colegio</b>	<b>Dirección</b>
Colegio Bilingüe IMB-PC	29-41 zona 12
Liceo Canadiense	30-67 zona 12
Liceo Javier	38-51 zona 12
Colegio Monte María	39-75 zona 12

Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Liceo Javier**



Fuente: <http://www.panoramio.com/photo/35428971>. Consulta: 16 de julio de 2014.

Debido al horario de entrada 7:30 horas y salida 12:30 a 13:00 horas de los alumnos, en horas pico generan una gran fila de vehículos que desean ingresar al establecimiento y por consecuencia se forma tráfico en el sector.

- Industria

Conjunto de procesos y actividades que tienen como finalidad transformar las materias primas en productos elaborados o semielaborados. Existen diferentes tipos de industrias, según sean los productos que fabrican. Por ejemplo, la industria de bebidas carbonatadas.

Sobre la calzada están ubicadas dos empresas de bebidas carbonatadas reconocidas a nivel mundial y dos de las industrias más grandes del país, estas son: Coca-Cola y Embotelladora la Mariposa (PEPSI), para llegar al consumidor final esta industria utiliza camiones y plataformas como sus líneas de distribución, esto genera complicaciones en el tráfico en el sector debido a que el transporte pesado necesita un ángulo de giro muy grande para cruzar y por ende genera tránsito en el ingreso y egreso de dichos camiones.

Coca Cola se ubica sobre la 26 calle 6-02 en la colonia Mariscal zona 11, aquí se encuentra su planta de producción y su centro de distribución, en esta sección de la calzada Raúl Aguilar Batres el tráfico en horas pico empieza a ser mucho más denso, esto se agrava a un más, debido a que a menos de 300 metros se ubica el desvío para incorporarse al Periférico y más adelante los vehículos que se conducen sobre este y que se incorporan a la calzada provocan un caos vehicular mayor en horas pico, el cual inicia desde la 20 calle hasta llegar hasta el centro comercial Metro Sur.

Sobre la 44 calle se encuentra localizada la Embotelladora Mariposa, aquí se ubica su planta de producción y su centro de distribución para la ciudad y algunos departamentos, esto causa tráfico vehicular en dirección de norte a sur, el embotellamiento empieza desde la 21 Av., inicia desde aquí porque todos los

vehículos particulares que vienen del CENMA y colonias como: El Mezquital, Villalobos dos, Prados de Monte María, se incorporan al tráfico en la calzada.

Más adelante se agrava la situación debido a que sobre la 44 calle los camiones y plataformas cruzan para llegar a la planta de producción de Pepsi, además residentes de colonias como: Monte María 1 y Monte María 2, se unen al tráfico y se encuentran con un tráfico lento debido a que en horas de la mañana los vehículos ingresan a los establecimientos educativos que se mencionaron anteriormente en esta sección. (Ver tabla VIII).

- Usuarios del comercio

Son todas aquellas personas de la población que utiliza las instalaciones del comercio para suplir cada una de sus necesidades. Esta se compone de la siguiente forma:

- Local: es aquella persona que compra diariamente al menudeo o mayoreo productos básicos y otros en los establecimientos constituidos para esta actividad.
- Eventual: persona que se abastece de forma eventual de los productos que se ofrecen en los establecimientos dedicados a esta actividad.
- Comprador al por mayor: es aquea persona que compra productos al mayoreo con el propósito de comercializarlo.
- Comprador al minorista: es aquel que compra productos al por menor para el consumo personal.

- Sistema de transporte

Este sistema está conformado por toda la infraestructura vial y automotores que prestan el servicio para movilizar a los usuarios de un lugar a otro.

Este sistema está integrado por diferentes tipos de transportes los cuales se detallan a continuación:

- Transporte particular: es el transporte que no se dedica a fines lucrativos, utilizado por personas que se movilizan de un lugar a otro que generalmente son propietarias del automotor.
- Transporte público extraurbanas: este tipo de transporte se desplaza desde la parte rural de un municipio hasta el límite urbano del otro y viceversa.
- Transporte público urbano: este presta el servicio a personas dentro del límite urbano de la ciudad.
- Transporte de carga: es el utilizado para transportar cualquier tipo de producto o servicio, para esto generalmente son utilizados, camiones, *pick up*, tráileres, furgones, paneles, entre otros.
- Transmetro

Es un sistema de transporte colectivo masivo de pasajeros, el cual está integrado por una central de transbordos, estaciones de abordaje elevadas, vías exclusivas y buses articulados.

Esta iniciativa surge como una alternativa para paliar el tránsito vehicular en el área sur del AMG, mejorar el servicio prestado a los vecinos en el sector ya que era muy deficiente, otro detonante para que se desarrollara este proyecto fue la alta existencia de violencia y extorciones de pandilleros hacia los pilotos de las unidades urbanas que prestaban el servicio, para solucionar esto el Transmetro utiliza el sistema prepago y de esta forma los pilotos de las unidades se dignifican con este trabajo, se reduciría el asesinato de los mismos, y se lograría disminuir la densificación de vehículos en el sector.

La problemática del AMG según el plan de movilidad urbana para el 2020 de la Municipalidad de Guatemala es el siguiente: ineficiencias, inseguridades y disparidades en el sistema de transporte del AMG causan altos índices de congestionamiento y accidentabilidad, así como inequidades sociales que finalmente, se traducen en una baja competitividad económica, una degradación del medio ambiente y alto costo social para la región.

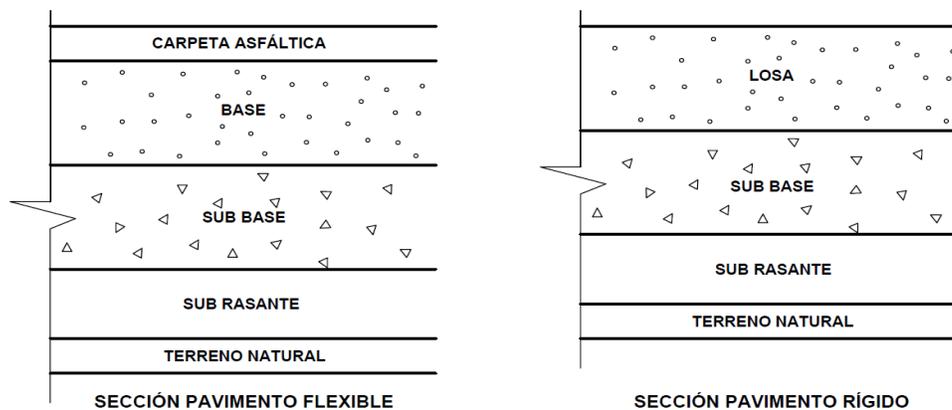
El Transmetro ha sido de beneficio para el transporte masivo de personas y que en su momento pudo haber sido la mejor solución para disminuir el flujo vehicular, más sin embargo se tuvo que sacrificar dos vías de la calzada Raúl Aguilar Batres una que conduce norte a sur y la otra que conduce de sur a norte, esto ha causado que en horas pico el tráfico sea demasiado lento en dicha calzada.

### 3.2. Condiciones de la carpeta asfáltica

La carpeta de rodadura de la calzada Raúl Aguilar Batres, tanto del sentido que conduce de norte a sur, así como de sur a norte es de tipo asfáltico, excepto la vía exclusiva del Transmetro que es pavimento rígido o de concreto hidráulico.

La carpeta asfáltica es la última capa de un pavimento flexible, sobre la superficie de este circulan todos los vehículos, construida con materiales pétreos conformados con suelos inertes, provenientes de ríos, de depósitos naturales extraídos de minas o de rocas trituradas, los cuales se debe de tamizar.

Figura 14. Estructura de un pavimento asfáltico y de concreto hidráulico



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Las características principales que debe de cumplir un agregado pétreo se enumeran a continuación:

- Diámetro menor de una pulgada y tener una granulometría adecuada.
- Deberá de cumplir con el ensayo de desgaste en la máquina de Los Ángeles, densidad y durabilidad.
- La forma de la partícula deberá ser lo más cubica posible, y se deberá de realizar el ensayo de equivalente de arena.

Uno de los enemigos principales de los pavimentos es el agua, ya que este se infiltra, esto hace que el material de la base y subrasante se sature de agua, y este provoca la disminución del soporte de carga para lo que fue diseñado el pavimento, generando baches. Sobre la calzada Raúl Aguilar Batres en la vía que conduce de norte a sur a inmediaciones del cruce al Periférico y cerca de Pacific Center se ven este tipo de imperfecciones en la carpeta de rodadura.

Tal como se vio en la sección 2.2 flujo de tránsito y parámetros, existen muchas deformaciones en la carpeta de rodadura del pavimento flexible en la calzada quizás las deformaciones que se pueden observar en varios tramos de la importante vía son: de la piel cocodrilo, ahuellamiento, ondulaciones, baches con pérdida de base y hundimientos.

Durante años la Municipalidad de Guatemala y Villa Nueva han tratado de utilizar métodos que hasta el momento no han dado los resultados esperados, debido a que en épocas de invierno vuelven a surgir baches que ya existían y nuevas deformaciones sobre el pavimento. La conservación vial de la calzada Aguilar Batres, deberá de tomar los problemas de raíz esto es tratando la subbase y la base para obtener mejores resultados.

En síntesis se puede decir que el estado físico de la calzada es muy degradable si se considera la importancia de esta vía para la economía del

país, es por eso que tanto el Gobierno central como las municipalidades a cargo del mantenimiento de la calzada, deberán contar con un plan preventivo para no incurrir en gastos de mantenimiento correctivo este último genera tráfico en el sector, mayor consumo de combustible por el usuario al estar varado en el tráfico, mayor contaminación ambiental a causa de la quema de combustible que contiene una serie de contaminantes como monóxido y bióxido de carbono, entre otros.

Desde hace años la calzada ha sobrepasado el límite de vehículos que pueden circular por ella, para la cual fue diseñada, es por eso que en el capítulo 4 se mencionan algunas alternativas que podrán de alguna manera solucionar el caos vehicular en la que se encuentra tan importante vía de acceso a la ciudad de Guatemala.

### **3.3. Topografía de la calzada**

La calzada Raúl Aguilar Batres en toda su longitud de carpeta de rodadura no posee fluctuaciones o cambios abruptos de pendientes, por lo que sus niveles se mantienen sin variar tanto, por ende su superficie es bastante plana.

- Planimetría

La planicidad de la calzada es regularmente plana, y debido a esta ventaja de su superficie por todo lo largo de su suelo se pueden encontrar diferentes tipos de construcciones civiles tales como centros comerciales, establecimientos educativos, industria y tiendas de conveniencia. Por lo que el lugar ha ganado mucha plusvalía debido a su ubicación, su fácil acceso, la

planicidad de su suelo y por sobre todo la cantidad de flujo de efectivo que se maneja en el lugar.

- Altimetría

La diferencia de alturas que existe en la calzada no varía significativamente, esto se puede observar debido a que por las inmediaciones del Trébol su altura es de 1 532 metros sobre el nivel del mar y a la altura del anillo periférico su altura es de 1 497 metros sobre el nivel del mar, sobre la colonia Monte María su nivel es de 1 456 metros sobre el nivel del mar con una longitud aproximada del trébol a este punto de 5,2 kilómetros. Entonces se puede afirmar que su altimetría no tiene cambios exorbitantes y se mantienen dentro de un rango aceptable, bajo esta premisa se puede considerar su orografía como llana o plana.



## **4. ALTERNATIVAS O SOLUCIONES AL TRÁFICO DE LA CALZADA**

En el siguiente capítulo se hace mención de cuatro alternativas viales para mejorar el flujo vehicular en la calzada, es imperante mencionar que estas soluciones se adaptan a las necesidades económicas y sociales de Guatemala teniendo un alcance significativo para llevarlo a cabo por las instituciones gubernamentales a las que le correspondan, debido a que no se necesita de una considerable inversión para ejecutar cada una de las soluciones a excepción del distribuidor vial, proporcionando buenos resultados si todos los involucrados realizan y cumplan el papel que les corresponde a cada uno.

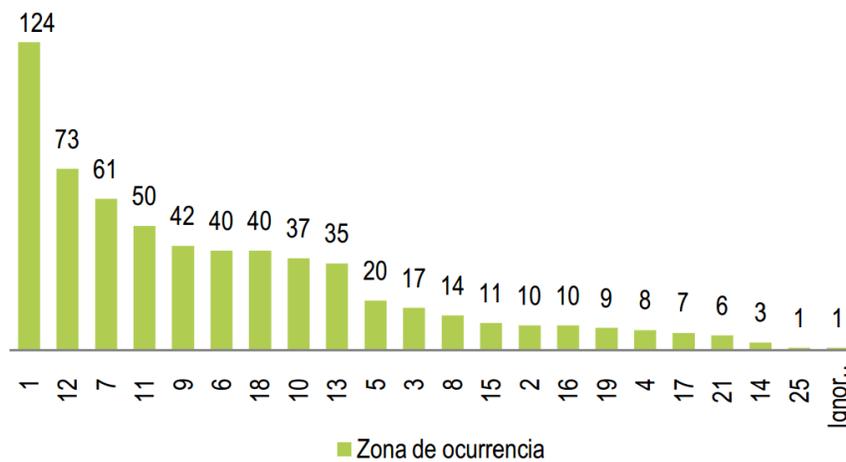
### **4.1. Educación vial**

La educación vial tiene como objetivo primordial educar al usuario de la vía; sea este el peatón, pasajero o el conductor de modo que obtenga el conocimiento de las señales de tránsito y normas de circulación; asimismo adquiera las habilidades y actitudes positivas que lo ayuden a comportarse dentro de la vía pública, de modo que sea consiente y consecuente con su forma de conducir y contribuyan a reducir el número de accidentes viales.

Los accidentes de tránsito que ocurren a diario en la ciudad de Guatemala, son las principales causas por las que se genera tráfico vehicular, en su reporte anual de accidentes de tránsito correspondiente al 2012 del INE, da a conocer que dos de las zonas del municipio de Guatemala con mayores índices de accidentes de tráfico son la zona 12 y 11, el primero reporta 73 accidentes viales, en cuarta posición esta la zona 11 con 50 incidentes viales

solo en el 2012, esto es preocupante debido a que en estas zonas se encuentra ubicada la calzada Aguilar Batres, la cual es objeto de estudio en el presente trabajo.

Tabla IX. **Número de accidentes de tránsito ocurridos en la ciudad capital según zona de ocurrencia 2012**



Fuente: INE. Estadísticas de accidentes de tránsito 2012.

El elevado número de accidentes viales que se producen en la ciudad de Guatemala es provocado por la falta de educación vial y por el escaso respeto a las señales de tránsito. Es por eso que la educación vial debe estar incluido dentro del *pensum* de estudio vigente a nivel primario, ya que los niños tienen una mayor capacidad de recepción, reforzarla a nivel medio y al final evaluarla a la hora de solicitar la licencia de conducir.

Es importante crear en la población guatemalteca conciencia sobre la importancia de la Ley y Reglamento de Tránsito, dándoles a conocer que poseen derechos y obligaciones que deberán de cumplir a cabalidad para evitar incurrir en un delito o accidente vial.

Actualmente en la ciudad de Guatemala no existe ninguna iniciativa política estatal o privada para la creación de programas o cursos que capaciten, instruyan e impartan educación vial a la población guatemalteca, con el objetivo de disminuir accidentes viales y agilizar el flujo vehicular en las principales vías de la ciudad.

En el presente trabajo se hará mención de algunas sugerencias o recomendaciones que deberá tomar en cuenta el conductor y peatón, para que con ello se logre minimizar los accidentes de tráfico y así agilizar el tráfico en la calzada Raúl Aguilar Batres, a continuación se detallan algunas de ellas:

- Respetar y circular por la calzada Raúl Aguilar Batres sin sobrepasar los 60 kilómetros por hora, para evitar así algún percance automovilístico.
- No parquearse a la orilla derecha o izquierda según sea el caso, para evitar así obstruir uno de los dos carriles con los que cuenta la calzada ya sea de norte a sur o de sur a norte.
- Respetar las señales de tránsito vertical y horizontal.
- No obstaculizar los pasos de cebra por los cuales circula el peatón.
- Ceder el paso y no obstaculizar intersecciones de modo que el que se dirija sobre el sentido transversal de la calzada pueda circular sin ningún inconveniente.
- El conductor del vehículo deberá de dar un mantenimiento preventivo al automotor para evitar incurrir en gastos correctivos esto incluye percatarse tener el suficiente combustible para llegar hasta su destino y

evitar con ello que se quede varado sobre la calzada por algún desperfecto mecánico o falta de combustible, obstaculizando así el flujo vehicular en la calzada.

- Ser prudente y manejar con precaución para evitar cualquier accidente vehicular que ponga en riesgo la vida del conductor y la de terceros.
- El conductor bajo ningún motivo deberá estar bajo los efectos del alcohol u otras sustancias que reduzcan su capacidad de reacción en el volante.
- El peatón deberá de transitar por las aceras y zonas peatonales, sin invadir la calzada.
- Si no existieran zonas peatonales o aceras, se debe caminar lo más cerca posible a las edificaciones, prestando atención a los vehículos que circulan y si es posible, de cara a ellos para verlos venir.
- Brindar ayuda a personas de la tercera edad, a las que poseen capacidades distintas u otras personas que tengan dificultad al caminar.
- Cruzar la calzada utilizando las pasarelas si existiera, de lo contrario utilizar los pasos de cebra.
- No obstruir el paso peatonal en las aceras, a salvo que sea para cruzarse la calzada, o abordar algún vehículo.
- Evitar salir con algún tipo de mascota sin tenerlo asegurado, para evitar que sea atropellado.

- Sea gentil y ceda el paso a los vehículos que se incorporan a la calzada.
- Utilice su cinturón de seguridad para salvaguardar su vida.

#### **4.2. Señalización adecuada en las intersecciones**

Existen dos tipos de señalización: horizontal y vertical, estas ayudan a tener una mejor lectura y visualización de lo que sucede alrededor de la vía. La señalización pretende garantizar cuatro objetivos básicos: seguridad, eficacia, comodidad de la circulación e información para el usuario.

Tal como se vio en la sección 2.3. Las señalizaciones deberán de cumplir con cuatro consideraciones para que cumplan con su objetivo, estas son: diseño, ubicación, uniformidad y conservación.

Es importante mencionar que en varias intersecciones que tiene la calzada Raúl Aguilar Batres la falta y adecuada señalización hace que el flujo en el sector sea lento y provoque largas filas de vehículos. Sin embargo, también afecta al flujo vehicular la poca o nula señalización que se tiene en la calzada por lo que a continuación se mencionaran algunas señales de tránsito tanto verticales como horizontales, necesarias para la agilización del flujo vehicular sobre tan importante vía:

- Zona escolar o paso de estudiantes: esta señal indica a los conductores la proximidad de una zona escolar o de paso de estudiantes. Por lo que se considera pertinente y adecuado colocar esta señal a unos 50 metros antes de llegar a los establecimientos educativos existentes en la calzada, para evitar con ello cualquier tipo de accidente que se pudiera dar en tan importante vía de estudio, que agrave la circulación de los

vehículos. Algunos establecimientos que se encuentran en el lugar son: Liceo Javier, Colegio Monte María, Liceo Canadiense y Colegio IMBPC.

Otro establecimiento educativo que genera largas filas de vehículos en el sector en horas de la tarde a eso de las 16:30 a 19:00 horas, es la incorporación de la calzada al periférico para dirigirse a la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Figura 15. **Zona escolar**



Fuente: [http://www.mtc.gob.pe/portal/SENALES\\_CNSV.pdf](http://www.mtc.gob.pe/portal/SENALES_CNSV.pdf). Consulta: 9 de julio de 2014.

- Prohibido estacionar: esta señal indica la prohibición de estacionarse en la vía pública, se deberá de instalar en puntos específicos como en centros comerciales, en autobancos, y lugares que concentren grandes cantidades de flujo de efectivo, es importante mencionar que varios locales comerciales así como autobancos existentes en el lugar, no poseen área para estacionamientos de vehículos y otros que si cuentan pero son insuficientes para los automotores que los visitan. Entre los centros comerciales se pueden mencionar: centro comercial Pacific Center, Plaza Aguilar Batres, Metro Sur y Plaza Solana.

Figura 16. **Prohibido estacionarse**



Fuente: [http://www.mtc.gob.pe/portal/SENALES\\_CNSV.pdf](http://www.mtc.gob.pe/portal/SENALES_CNSV.pdf). Consulta: 9 de julio de 2014.

- Tránsito en un sentido o virar hacia la derecha: indica al conductor el sentido de circulación en este caso a la derecha, esta señal se deberá de instalar en las siguientes calles:

Si la dirección del flujo vehicular es de norte (Trébol) a sur (CENMA): 2ª calle, avenida Mariscal, 7ª calle, 8ª, 9ª, 11, 13, calle Mariscal, 15, 21, 32 y 34 calle.

Si se dirige de sur (CENMA) a norte (Trébol): 11 calle, 15, 19 y 36.

Figura 17. **Tránsito en un sentido o virar hacia la derecha**



Fuente: [http://www.mtc.gob.pe/portal/SENALES\\_CNSV.pdf](http://www.mtc.gob.pe/portal/SENALES_CNSV.pdf). Consulta: 9 de julio de 2014.

- Tránsito en ambos sentidos: indica al piloto de un vehículo que la circulación de los automóviles son en ambos sentidos, esta señal se deberá de instalar en las siguientes calles:

Si la circulación de los vehículos es de norte a sur: 5ª, 16, 17, 19 y 24 calle.

Si la circulación de los vehículos es de sur a norte: 7ª, 9ª, 10ª, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 31, 38, 41, 42, 45 y 46 calle.

Figura 18. **Tránsito en ambos sentidos**



Fuente: [http://www.mtc.gob.pe/portal/SENALES\\_CNSV.pdf](http://www.mtc.gob.pe/portal/SENALES_CNSV.pdf).

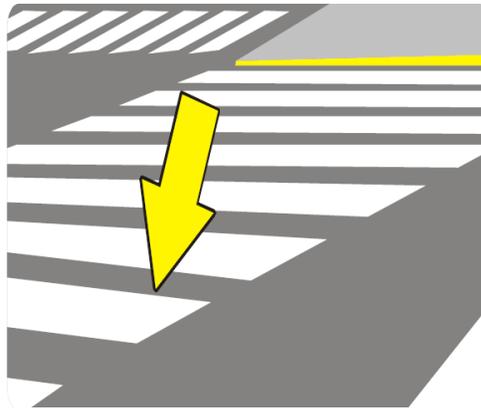
Consulta: 9 de julio de 2014.

- Paso de cebra o línea de paso peatonal: esta señal indica al peatón por donde debe cruzar la calle o avenida, también le indica al conductor que no puede detener el vehículo sobre estas líneas de paso peatonal.

Al hacer un recorrido y reconocimiento de todas las calles que convergen a la calzada Raúl Aguilar Batres se pudo constatar que un 85 por ciento de estas, en su mayoría no poseen esta señal horizontal, o si la tienen ya está muy borrosa y casi no se observa la misma, por lo que se recomienda tanto a la municipalidad de Guatemala como a la de Villa Nueva coordinar para que procedan a pintar dicha señal y de esta forma

el peatón tenga la seguridad de cruzar en las calles, además para velar para que se cumpla esta señal de tránsito.

Figura 19. **Paso de cebra**



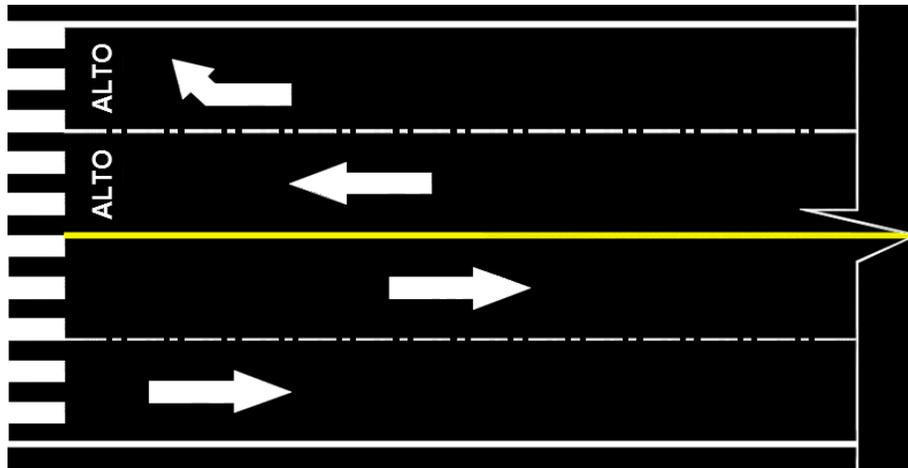
Fuente: [http://www.mtc.gob.pe/portal/SENALES\\_CNSV.pdf](http://www.mtc.gob.pe/portal/SENALES_CNSV.pdf). Consulta: 9 de julio de 2014.

- Señales horizontales varias: en la figura 20, se puede observar: la línea longitudinal amarilla continua, esta indica que la calle o avenida tiene circulación en ambos sentidos además los vehículos no podrán rebasar a otro; línea discontinua blanca, estas se utilizan para dividir los carriles de tráfico que se dirigen en la misma dirección si la línea es discontinua es permitido rebasar a otro vehículo; línea de borde de pavimento, esta indica el final del pavimento y se colocan con el objetivo de facilitar la conducción del vehículo, especialmente en la noche y en condiciones climáticas donde la visibilidad del conductor se dificulta.

Por último y no por eso menos importante están los símbolos y demarcadores de palabras, estos ordenan, advierten y regulan el flujo vehicular, las palabras deben ser cortas, claras y concisas, por ejemplo: alto. Es de suma importancia tener las calles marcadas y delimitadas con

estas señales de tránsito horizontales, para que se ordene y delimite el área de circulación de los vehículos, para que por medio de estas señales la circulación de vehículos sea más organizada y eficiente de modo que reduzca el tráfico en horas pico debido al desorden de los vehículos.

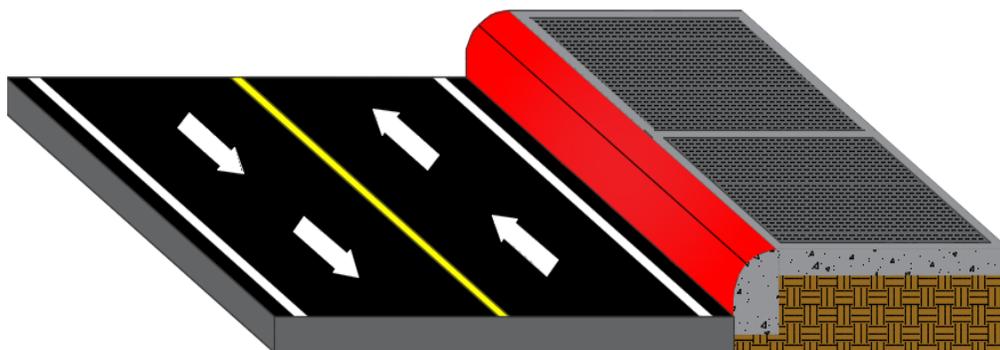
Figura 20. **Señales horizontales varias**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

Demarcación de bordillo: si el color del bordillo es de color rojo indica a los conductores la prohibición de estacionarse a toda hora en esta área, es importante pintar los bordillos de rojo en la mayoría de calles que intersectan a la Aguilar Batres debido a que varios vehículos se estacionan en las mismas, esto causa en muchos casos una reducción de dos carriles a solo un carril disponible para la circulación de automotores, provocando congestionamientos por el cuello de botella que provocan estos aparcamientos.

Figura 21. **Demarcación de bordillo**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2013.

La municipalidad de Guatemala por medio de su Departamento de Control de la Construcción Urbana y en su documento titulado como *Nomenclatura Única Municipal*, establece un normativo para la identificación de calles y avenidas que corresponden a la jurisdicción de la ciudad de Guatemala, donde plantea especificaciones técnicas, delimita un espacio para la presencia de marca, que no es más que las empresas interesadas en donar la nomenclatura, puedan promocionar el logo que identifica su empresa y ubicación de las nomenclaturas. En el documento establece dos tipos de nomenclatura: la nomenclatura tipo A y la tipo B.

Nomenclatura tipo A: esta nomenclatura son adosadas o adheridas a las paredes de edificaciones existentes en el lugar, la siguiente tabla muestra especificaciones técnicas que debe de llenar la nomenclatura tipo A:

Tabla X. **Dimensiones nomenclatura tipo A**

No.	Descripción	Alto	Ancho	Espesor
1	Logo municipal/calle/avenida/logo de empresa	0,2 m	0,2 m	0,006 m
2	No. de calle y/o avenida	0,2 m	0,1 m	0,006 m
3	Zona	0,15 m	0,2 m	0,006 m
4	No. de zona	0,15 m	0,10 m	0,006 m

Fuente: elaboración propia, con base a tabla 1 nomenclatura Tipo A, *Nomenclatura Única Municipal*, Municipalidad de Guatemala.

La nomenclatura tipo A se compone de 7 elementos:

- Escudo
- Número de calle/avenida
- Nombre de calle/avenida
- Espacio de marca
- Zona
- Número de zona

Nomenclatura tipo B: se deberá de instalar en esquinas en donde el inmueble no permita la instalación de nomenclatura adosada por el tipo de cerramiento de la propiedad privada.

Existe dos tipos de medida que se podrán utilizar para la nomenclatura tipo B, la cual se detalla a continuación, ver figura 22:

Tabla XI. **Tipo de dimensiones nomenclatura tipo B**

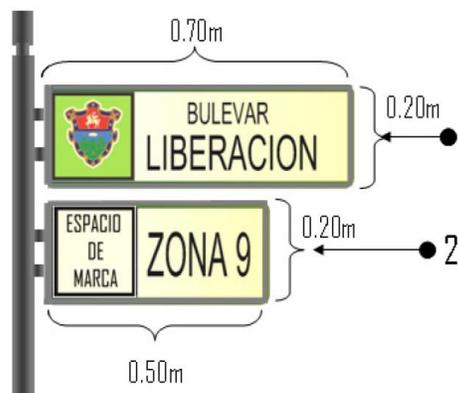
No.	Descripción	Alto	Ancho	Espesor
1	Logo municipal/calle/ avenida	0,20 m	0,70 m	0,006 m
2	Logo de empresa/zona	0,20 m	0,50 m	0,006 m

Fuente: elaboración propia, con base a tabla 1 nomenclatura Tipo B, *Nomenclatura Única Municipal*, Municipalidad de Guatemala.

La nomenclatura tipo B la componen 5 elementos los cuales son:

- Pedestal de acero inoxidable o acero en frío
- Escudo
- Número y nombre de calle/avenida
- Espacio de marca
- Zona

Figura 22. **Dimensiones de nomenclatura en banderola**



Fuente: detalle 31, *Nomenclatura Única Municipal*, Municipalidad de Guatemala.

Al igual que para la nomenclatura tipo A y tipo B, en el documento *Nomenclatura Única Municipal* establece las dimensiones que deberá de tener las diferentes vías de acceso principal de la ciudad de Guatemala, en el presente trabajo se presenta únicamente para la vía en estudio, tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 23. **Dimensiones de texto para calzada Raúl Aguilar Batres**



Fuente: detalle 13, *Nomenclatura Única Municipal*, Municipalidad de Guatemala.

Es imprescindible e imperante que antes de instalar cualquier tipo de señal que se mencionan en este trabajo, es urgente que se haga un estudio de contaminación visual debido a que existen muchas señales colocadas en la calzada que ya no se visualizan, no sirven y además obstaculizan el paso libre de peatones en las banquetas, debido a que su ubicación no es la más idónea, con esto se lograra instalar las señales que aquí se mencionan en lugares apropiados y remover las existentes que definitivamente son obsoletas.

### **4.3. Evitar cuellos de botella**

El tránsito vehicular en la calzada Raúl Aguilar Batres se puede considerar como un flujo continuo debido a que en toda su trayectoria no existen semáforos que limiten la movilidad vehicular sobre su carpeta asfáltica.

Los cuellos de botella se producen en los tramos en donde la sección transversal de la calzada reduce el número de carriles. En situaciones en donde la demanda de vehículos conocido como llegadas, al inicio del cuello de botella supera su capacidad de salidas de este, debido a esto se presentan problemas de flujo vehicular provocando tráfico, en el tramo anterior del cuello de botella

#### **Análisis de congestión vehicular**

En esta sección se analizara un tramo de la vía en estudio que corresponde a la 36 calle y que conecta a la 1era avenida para dirigirse al paso a desnivel que se dirige hacia Ciudad San Cristóbal, el horario que se analiza es de 5:30 a 9:00 horas.

A continuación se presentan los datos recolectados:

- Capacidad de vehículos: 115 vehículos por hora.
- Llegadas al cuello de botella: 92 vehículos. A las 6:00 horas.
- Incremento de vehículos: 153 vehículos. A las 7:00 a 8:00 horas.
- Disminución de vehículos: 83 vehículos. De 8:00 a 9:00 horas.

Duración del congestionamiento

$$T_q = t_2 + T_d$$

$$(\lambda_2 - \mu)t_2 = (\mu - \lambda_2)T_d$$

$$T_d = \frac{(\lambda_2 - \mu)t_2}{(\mu - \lambda_3)} T_q = t_2 + \frac{(\lambda_2 - \mu)t_2}{(\mu - \lambda_3)}$$

$$T_q = 1 + \frac{(153 - 115) * 1}{(115 - 83)}$$

$$T_d = 2,187 \text{ horas}$$

Longitud máxima de la cola

$$Q_m = (\lambda_2 - \mu)t_2$$

$$Q_m = (153 - 115) * 1$$

$$Q_m = 38 \text{ vehiculos}$$

Demora máxima que experimenta un vehículo

$$D_m = \frac{(\lambda_2 - \mu)t_2}{\mu}$$

$$D_m = \frac{(153 - 115)(1 \text{ hora})}{115} = 0,3304 \text{ horas}$$

$$D_m = 19,82 \text{ min}$$

Cantidad de vehículos afectados por el cuello de botella

$$N_q = 115 * 2,187$$

$$N_q = 252 \text{ vehículos}$$

Calculando el consumo de combustible por vehículo

- Si un vehículo recorre aproximadamente: 1 kilómetro por minuto
- La demora que experimenta un vehículo es: 19,82 min = 20 min
- Rendimiento promedio de vehículos: 35 km/gal
- Costo de galón de combustible: Q 33,00/gal

Entonces:

Los kilómetros recorridos por cada vehículo si no existiera congestionamiento es de:

$$\frac{1 \text{ km}}{\text{min}} * 20 \text{ min} = 20 \text{ km}$$

El costo de combustible consumido extra para cada automotor es:

$$\frac{20 \text{ km}}{35 \text{ km/gal}} = 0,57 \text{ gal}$$

$$0,57 \text{ gal} * \frac{Q 33,00}{\text{gal}} = Q 18,81 \text{ c/vehículo}$$

Mientras el costo del consumo para los 252 vehículos atrapados en el embotellamiento es de:

$$\frac{Q\ 18,81}{\text{vehículo}} * 2 \text{ veces} = Q\ 37,62$$

$$252 * Q\ 37,62 = Q\ 9\ 480,24 \text{ diarios}$$

Si este consumo extra se calcula para un mes y para un año, se tiene:

$$Q\ 9\ 480,24 * 20 \text{ dias} = Q\ 189\ 604,80 \text{ mensuales}$$

$$Q\ 189\ 604,8 * 10 \text{ meses} = Q\ 1\ 896\ 048,00 \text{ anual}$$

En los cálculos anteriores se demostró que cada vehículo experimenta un retraso de 19,82 minutos y el número de vehículos que son afectados por el cuello de botella es de 252, esta demora tiene consecuencias negativas para la economía de cada ciudadano guatemalteco que circula por tan importante vía de estudio.

Debido a este tráfico vehicular, provoca un consumo extra de combustible para cada conductor, teniendo un valor de Q 37,62 de combustible adicional que son consumidos al día por cada vehículo que circula por el sector, este gasto extra tiene un mayor eco si se visualiza que para los 252 vehículos que son afectados el monto asciende a Q 9 480,24 diarios, por lo que esto tiene un impacto negativo para la ya golpeada economía de Guatemala.

Para reducir esta demora a continuación se hará mención de alternativas o soluciones que ayuden a minimizar el tiempo de espera en los cuellos de botella:

- Si se es propietario de más de un vehículo, en la medida de lo posible tratar de no viajar solo, esto ayudara a disminuir la cantidad de vehículos sobre la calzada y de esta manera mejorara el flujo en el sector.
- Si el destino no está muy lejos desde su ubicación no utilice el vehículo, camine, esta práctica ayudara a mejorar la salud del usuario y reducirá el estrés provocado por el tráfico.
- Si el destino no sobrepasa los 10 kilómetros desde su ubicación, utilizar otro medio de transporte disponible como la bicicleta, con esto se reducirá la contaminación del medio ambiente y se obtendrá un ahorro en la economía de los usuarios.
- Utilizar moto si el destino supera los 10 kilómetros, con esto se reducirá el gasto de combustible y disminuirá su tiempo de viaje.
- Mejorar el sistema de transporte urbano de modo que el usuario se sienta seguro, cómodo y confiable al abordar una unidad de transporte colectivo, para que de esta forma se logre desincentivar a la población a no utilizar sus vehículos.

#### **4.4. Creación de distribuidores viales**

El control del tránsito en las intersecciones es importante ya que son en estos puntos en donde se da un mayor congestionamiento vehicular, para reducir este tráfico existen varios métodos como señalización horizontal y vertical, educación vial, minimizar los cuellos de botella los cuales ya fueron estudiados en secciones anteriores en el presente trabajo, y por último pero no menos importante esta la construcción de distribuidores viales.

Un distribuidor vial es un proyecto de construcción el cual ayuda a solucionar el problema de tráfico, puede tener vías a diferente altura, túneles, varias vías alternas, salidas y entradas. Este proyecto vial permite el desplazamiento del tránsito vehicular por múltiples vías de circulación y hacia diversos destinos; por ser este un proyecto complejo se debe de analizar, realizar y tomar en cuenta varios aspectos como levantamiento topográfico, estudio de vialidad, estudio de impacto urbano y ambiental, nivelación, movimiento de tierras, materiales, estructura, entradas y salidas,

Además un distribuidor vial, es una excelente opción para el control del tráfico y fundamental en la construcción de carreteras es por eso que un ingeniero civil debe de tener un conocimiento amplio sobre todos los procesos que se llevan a cabo para su construcción.

En esta sección se propone la creación y construcción de un distribuidor vial el cual inicie al final de Central de Mayoreo y finalice hasta la avenida Petapa, de modo que todos los vehículos que ingresan a la ciudad por medio de la carretera del Pacífico se puedan dirigir al CENMA y salir hasta la avenida Petapa. Para esta construcción se deberán de tomar en cuenta estudios importantes para la realización del mismo, los cuales se detallan a continuación:

Estudio de vialidad: este estudio deberá de consistir en la medición del nivel de servicio y capacidad de las vialidades e intersecciones de la calzada, además se deberán hacer los estudios respectivos de aforos vehiculares diarios y en horas pico.

Localización y ubicación del proyecto: se deberá de tener exactamente localizado y ubicado el proyecto para visualizar el entorno físico, social y cultural para que no afecte ninguna de las partes descritas anteriormente. Este proyecto se propone que inicie al final de la 46 calle a un costado de CENMA y finalice hasta la 50 calle de la avenida Petapa, teniendo un ancho de 15 metros contando con dos carriles para cada sentido de la vía, con una longitud aproximada de 557 metros de principio a fin.

Estudio de impacto urbano: para este estudio se deberá de tomar en cuenta todas las instalaciones afectadas durante la construcción y el desarrollo de la obra, dentro de estas instalaciones se encuentran la red de drenajes sanitarios, red de drenajes pluviales, red de agua potable, sistema eléctrico y alumbrado público.

Controlar y minimizar el impacto vial habilitando vías alternas para conducir a los conductores por otras vías y de esta forma minimizar el tráfico en el lugar, además si durante el proceso de construcción por algún motivo es necesario obstruir algún tramo carretero, se deberá de tener la opción de trabajar en horas de noche y madrugada para evitar cerrar total o parcialmente las vías y provocar largas filas de vehículos en el lugar.

Estudio de impacto ambiental: se deberá de hacer este estudio para establecer un análisis comparativo de las condiciones ambientales favorables y desfavorables imperantes antes y durante la construcción del distribuidor vial,

es inevitable que durante el proceso constructivo se genere más ruido, contaminación por polvo o lodo y emisiones de humo, además si durante todo el proceso de construcción es removido algún árbol se deberá de reubicar y sembrar, si un árbol muere deberán de sembrarse 4 árboles más, es de suma importancia tomar en consideración este estudio para mantener y conservar los árboles que aportan mucho para la vida humana.

Estudio geotécnicos: se deberá de hacer estudios geotécnicos para determinar el perfil estratigráfico del suelo, además obtener la capacidad del suelo y con base a estos datos diseñar la cimentación de la obra, es de suma importancia hacer este estudio porque de este depende en gran parte el diseño de los elementos estructurales del distribuidor vial.

Al construir el distribuidor vial al final de la calzada Raúl Aguilar Batres y que desemboque el flujo vehicular a la avenida Petapa, posee muchos beneficios dentro de los cuales se mencionan los siguientes:

- Se reducirán los tiempos de viaje, de los vehículos que circulan en la calzada Raúl Aguilar Batres.
- Se tendrá otra y mejor vía para la entrada y salida de vehículos que se dirigen hacia el Pacífico, esto ayudara a todas las personas residentes en el municipio de San Miguel Petapa, zonas 11, 12 y 21.
- Uno de los principales beneficios para los usuarios que transitan en el lugar, es la disminución del consumo de combustible.
- Al existir un menor consumo de combustible se reducirá la contaminación producido por los automotores.

- Durante la construcción se generara fuentes de empleo.
- El transporte pesado que se dirige al Pacífico no tendrá que utilizar la calzada Raúl Aguilar Batres, de este modo el flujo vehicular mejorará en el sector.
- Se reducirá el estrés de los conductores, ya que el tráfico en el lugar se reducirá considerablemente.

Si se hace un estimado rápido del costo de construcción del distribuidor vial, entonces se tiene que:

- Ancho del puente = 15 m
- Longitud aproximada = 557 m
- Tasa de cambio según banco de Guatemala = Q 7,68

Calculando el área en metros cuadrados:

$$A = 15 \text{ m} * 557 = 8\,355 \text{ m}^2$$

Calculando el costo que tendrá la construcción del distribuidor vial:

$$8\,355 \text{ m}^2 * \$ 1\,200,00 = \$ 10\,026\,000,00$$

$$\$ 10\,026\,000,00 * 7,68 = Q 76\,999\,680,00$$

Y si se compara el gasto de combustible contra la inversión que se necesitaría para la construcción del distribuidor vial se tiene lo siguiente:

$$\frac{Q 76 999 680}{Q 1 896 048} = 40,61 \text{ años}$$

Si durante un tiempo no mayor de 40,61 años se sigue teniendo un consumo extra anual de combustible de Q 1 896 048,00, se podrá cubrir la totalidad del costo requerido en la construcción del distribuidor vial.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las diferentes soluciones que se plasmaron en el capítulo 4, poseen diferentes puntos de vista, estrategias únicas y exclusivas para un problema específico en donde cada una concentra su foco de estudio en puntos clave donde el problema radica es así, como se concluye que la problemática del flujo vehicular en la calzada se considerada provocada en una parte significativa por la falta de cultura de educación vial, el poco o nulo conocimiento hacia las señales de tránsito y el comportamiento necesario del conductor y/o peatón en el sistema vial del casco urbano de Guatemala.

Además, sumado a ello los guatemaltecos no tienen la cultura de respetar las leyes de tránsito en nuestro país, esto agrava a un más el problema; es por ello que en el presente estudio se propusieron tres soluciones que pretenden resolver estas deficiencias y debilidades, las cuales son: la educación vial, la correcta y adecuada señalización tanto horizontal como vertical en todas las intersecciones de la calzada y por último la reducción de cuellos de botella en puntos específicos de la calzada Raúl Aguilar Batres, con esto se pretende minimizar la problemática antes mencionada, sin embargo se cree conveniente tener una materia específica y obligatoria de educación vial dentro del pensum de estudio de las futuras generaciones.

Mensualmente se tiene un gasto extra de combustible, el cual asciende a Q 189 604,80, provocado por el cuello de botella generado en la 36 calle en dirección de sur a norte, esto hace que Guatemala no sea un país competitivo debido al aumento de la importación de combustible, por ello se tiene un desbalance general ya que se importa demasiado este producto, por ende se

compran más divisas de las cuales se puede soportar, esto provoca que la deuda pública crezca y como consecuencia no se llevan a cabo importaciones de otros productos esenciales y necesarias para el país.

Las primeras tres soluciones no requieren de mucha inversión por parte del Gobierno central y sus dependencias de estado, las cuales les corresponde trabajar y velar por el buen funcionamiento del sistema vial del casco urbano de Guatemala, es por eso, que se recomienda realizar dichas soluciones para reducir significativamente la problemática del flujo vehicular existente debido a que la inversión no es muy elevada.

Es importante mencionar que gran parte de la problemática que se tiene actualmente en el lugar, es por el aumento de población y la falta de una adecuada planificación de viviendas, por ende, surge la necesidad de trasladarse de un lugar a otro, esto hace que se aumente el parque vehicular en zonas aledañas y municipios del sector.

Por tal motivo se plantea una solución más compleja, completa, con una inversión mucho mayor a las anteriores y con un tiempo más prolongado de obtener resultados positivos para el desfogue vehicular en la calzada Raúl Aguilar Batres, esta solución es la creación y construcción de un distribuidor vial, con el objetivo de disminuir todo el tráfico vehicular que viene del Pacífico de modo que no ingrese por la calzada, si no dirigirse hacia la avenida Petapa; se obtendrán resultados muy buenos y esperanzadores para el tránsito sobre el lugar.

La inversión para el distribuidor vial propuesto en la sección 4,4 tiene un costo aproximado de Q 76 999 680,00 si se toma en cuenta el consumo extra de combustible ubicado específicamente en la 36 calle de la calzada Raúl

Aguilar Batres, esta inversión se podrá recuperar en 40,61 años. Entonces teniendo en consideración este punto, el usuario será beneficiado porque podrá obtener un ahorro para su economía, minimizar su tiempo de recorrido o de viaje y reducir el estrés provocado por el tráfico vehicular en la vía.

Es importante mencionar para el análisis de cuello de botella solo se realizó en un solo punto de congestión vial, pero existe al menos otros dos puntos por donde se tiene un problema vehicular similar o peor al descrito en el subcapítulo 4,3.

Considerando lo anterior, se concluye que el tiempo de recuperación de gasto de combustible versus la inversión a realizar para la construcción del distribuidor vial podrá ser mucho menor a los 40,61 años que se tenían estipulados anteriormente, se cree factible la realización del proyecto teniendo en cuenta los beneficios ya descritos para el cual será ejecutada dicha obra.

Es necesario desarrollar y ejecutar en conjunto las cuatro soluciones o alternativas planteadas en el capítulo anterior, para que se obtenga a corto plazo resultados concretos y deseados, los cuales tendrán una diferencia positiva y significativa para todos los usuarios al circular en la vía obtendrán un ahorro en combustible, se reducirá la contaminación ambiental y una de las grandes ventajas será disminuir el tiempo de viaje de cada uno de los vehículos que se dirigen a sus distintos lugares de destino, además tendrá un impacto positivo a la salud del conductor ya que se reducirán las tensiones provocadas por el congestionamiento de vehículos en el lugar.



## CONCLUSIONES

1. El aumento y acelerado crecimiento poblacional formado en el municipio de Guatemala en los últimos años, la falta de oportunidades de empleo, educación pública, recreación, entre otras necesidades básicas, son causas principales por las que existe caos vehicular en la calzada debido a que muchos utilizan las vías para desplazarse a sus lugares de trabajo y estudio.
2. La implementación en conjunto de las cuatro soluciones propuestas en el presente trabajo darán resultados muy significativos si son ejecutados todos sin excepción, agilizando la movilidad y el flujo vehicular en la calzada, dentro de los principales beneficios están la reducción de tiempo de viaje, minimización del consumo de combustible y por ende menor contaminación ambiental y reducción de estrés al usuario.
3. El distribuidor vial propuesto deberá de cumplir con las necesidades de desfogue vehicular imperantes de la vía en estudio, por lo tanto deberá ser diseñado con normas nacionales e internacionales teniendo en consideración velocidad máxima de diseño, capacidad vehicular necesaria y requerida, la debida y correcta señalización horizontal y vertical, para que con ello se garantice la seguridad vial de los usuarios que utilizarán esta vía.
4. Debido al aumento del parque vehicular en el casco urbano, la ya sobrepoblada y rebasado límite de capacidad de diseño del flujo

vehicular en la calzada, es una de las principales causas de generación de tráfico vehicular.

5. La falta de áreas únicas y exclusivas de parqueo vehicular hace a los usuarios utilizar las calles que convergen a la calzada como estacionamientos, reduciendo así la vía a dos o en el peor de los casos a solo un carril provocando cuellos de botella, teniendo como consecuencia un caos vehicular en el sector.
6. Es importante mencionar que las tres primeras, de las cuatro soluciones planteadas en el presente trabajo tiene una inversión muy poca, por lo que las dependencias de estado encargadas de ejecutar estas obras deberán solo de coordinarse y trabajar en conjunto para la correcta y adecuada realización de los mismos.
7. Al momento de realizar reparaciones o modificaciones en la red vial del casco urbano guatemalteco, deberá existir un programa de información al conductor sobre desviaciones y su situación, de modo que el usuario tenga la suficiente información y rutas de vías alternas que pueda tomar para llegar a su destino sin tanta complicación ni interrupciones en el flujo vehicular.
8. El estado de Guatemala a través de la Municipalidad y sus dependencias de estado son las responsables de mantener, planificar, coordinar, dirigir y ejecutar, proyectos y programas que garanticen la libre locomoción de cada ciudadano sobre la infraestructura vial del casco urbano y de todo el país guatemalteco.

## RECOMENDACIONES

1. El conductor es el responsable de su vida y de la de terceros, por esto se recomienda no manejar bajo ningún efecto de alcohol, drogas, o utilizar el teléfono mientras se conduce ya que estas tres son las causas principales de accidentes viales.
2. Crear dentro del *pensum* de estudios de primaria, básico y diversificado una materia de educación vial obligatoria, que deberán cursar todos los alumnos, de esta forma lograr instruir a las nuevas generaciones de modo que cuando se solicite la licencia de conducir sean evaluados sus conocimientos y así crear una cultura a nivel nacional de educación vial.
3. La Municipalidad de Guatemala deberá de mapear todas las señales de tránsito ubicadas sobre la calzada, debiendo eliminar las que ya no sirvan y reubicar las que obstruyan el paso peatonal en las aceras, así como darle mantenimiento a las señales horizontales y verticales de la calzada Raúl Aguilar Batres.
4. Crear un plan urbanístico en donde se incluyan factores de tasa de crecimiento, densidad poblacional, ubicación de servicios cercanos a la población como: empleos, recreación, educación de modo que las personas no tengan que trasladarse de un lugar a otro.
5. Al Gobierno central y a la Municipalidad de la ciudad de Guatemala, crear un transporte colectivo masivo que sea seguro, eficiente y eficaz, de bajo costo de operación de modo que la población sea motivada a

utilizar el transporte público y no utilización de sus vehículos propios para la movilización a sus diferentes lugares de destino.

## BIBLIOGRAFÍA

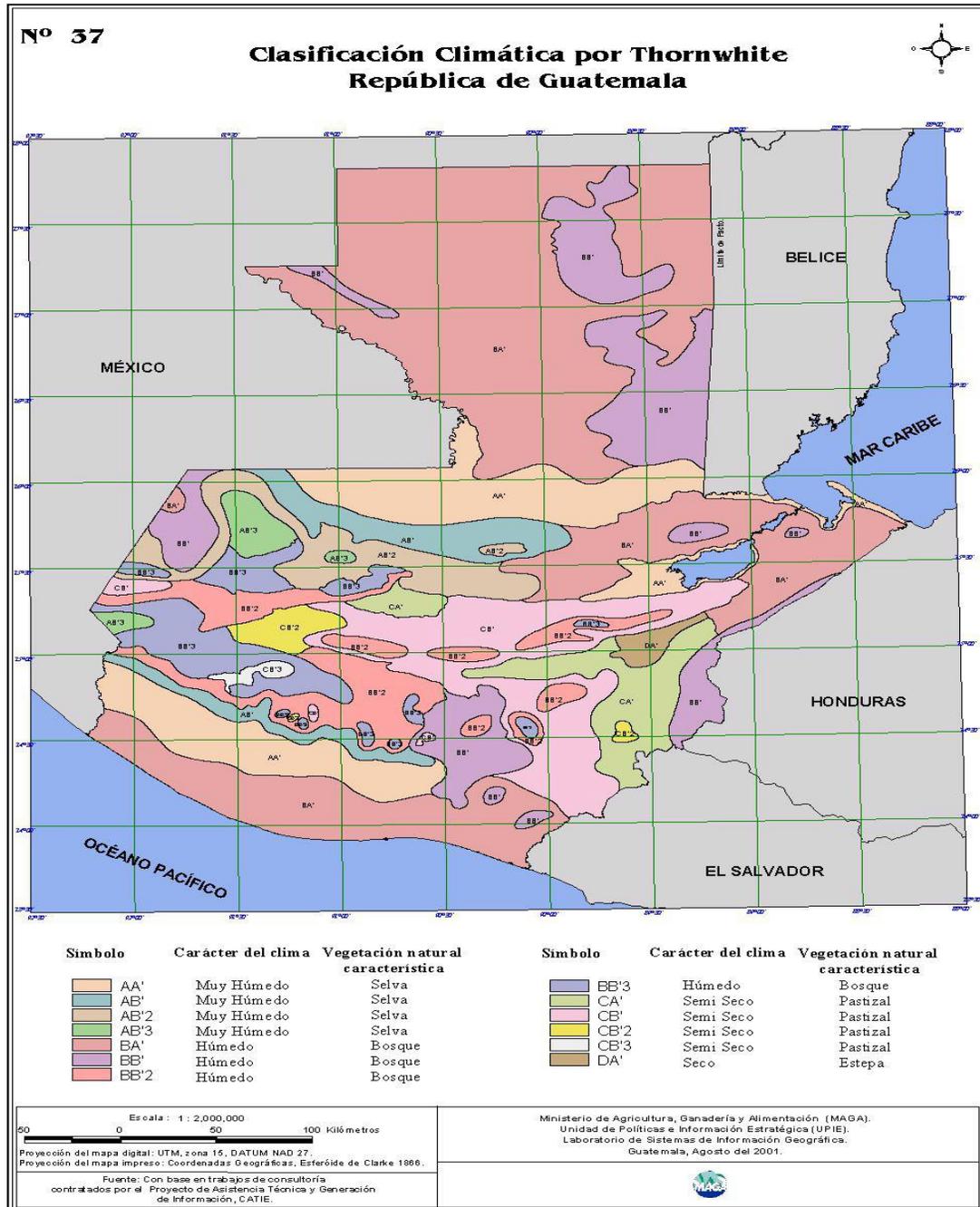
1. ARÉVALO CORONADO, Jorge Luis. *Aplicación de la ingeniería de tránsito para mejoras en corredores urbanos, casos específicos sexta y séptima avenida entre centro cívico zona 1 y Boulevard Liberación zona 9*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1989. 52 p.
2. BARILLAS DEL ÁGUILA, Billy Manuel. *Propuesta de renovación urbana en eje vial CA-9 sur, calzada Aguilar Batres – avenida Bolívar centro comercial, sector zona 8, Guatemala*. Trabajo de graduación de Arquitecto. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura. 2007. 133 p.
3. BOX C., Paul; OPPENLANDER C., Joseph. *Manual de estudios de ingeniería de tránsito*. México: Representaciones y servicios de ingeniería. 1985. 238 p.
4. CASTAÑEDA REYES, Henry Daniel. *Reordenamiento vehicular del centro histórico de la ciudad de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2007. 377 p.

5. CASTRO PU, César Augusto. *Apertura de carretera de la comunidad de Chacalté y diseño de puente vehicular de las comunidades de Balamté y Chiacach, del municipio de Santa María Cahabón, departamento de Alta Verapaz*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 2013. 190 p.
6. GARBER J., Nicholas; HOEL A., Lester. *Ingeniería de tránsito y carreteras*. 3a ed. Thomson, 2003. 1188 p.
7. MORALES FLORES, René. *Aplicación de ingeniería de tránsito para un proyecto de mejora de tráfico*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1980. 106 p.
8. REYES SPÍNDOLA, Rafael Cal; CÁRDENAS GRISALES, James. *Ingeniería de tránsito fundamentos y aplicaciones*. 7a ed. México: Alfaomega S.A., 1994. 517 p.

## **ANEXOS**

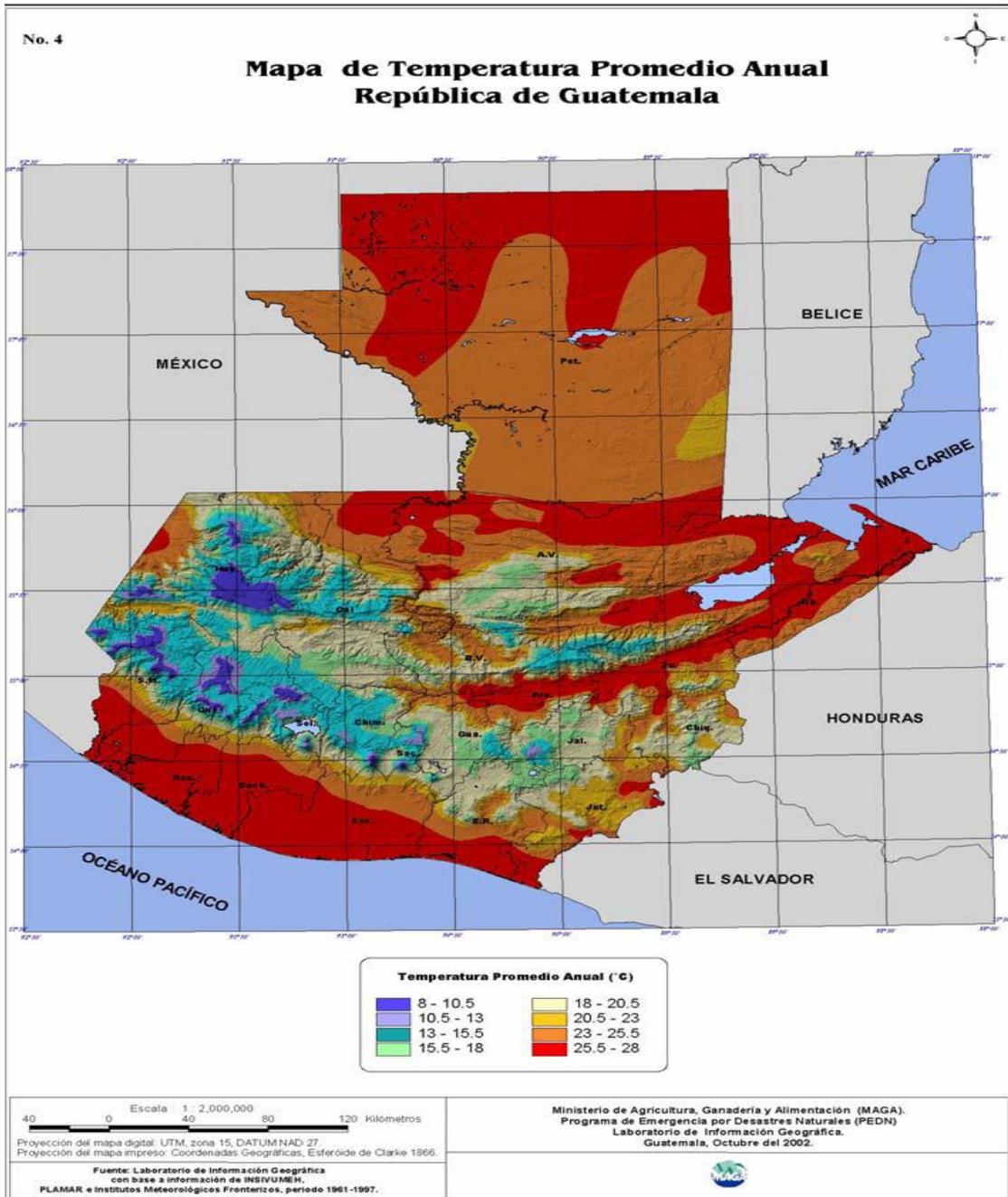


## Anexo 1. Clasificación climática por Thornwhite República de Guatemala



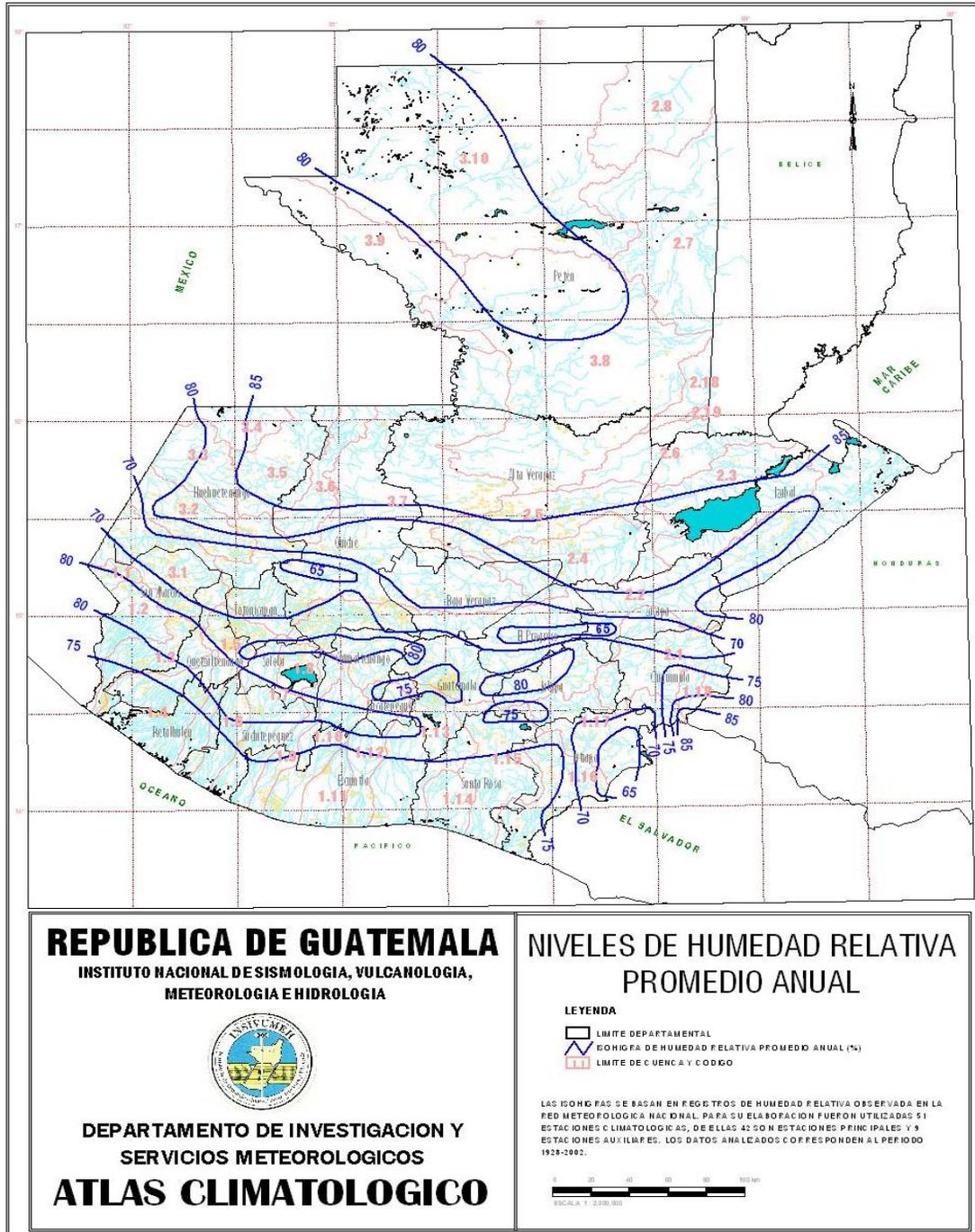
Fuete: SIG del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA).

Anexo 2. **Mapa temperatura promedio anual**  
**República de Guatemala**



Fuente: SIG del Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación (MAGA).

Anexo 3. **Mapa niveles de humedad relativa promedio anual**



Fuente: Departamento de Investigación y Servicios Meteorológicos, INSIVUMEH.

