

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS



ANÁLISIS DEL COSTO DE CONGESTIÓN POR ACCESO VEHICULAR A LA CIUDAD
UNIVERSITARIA, POR EL ANILLO PERIFÉRICO DEL BOULEVARD UNIVERSITARIO DE LA
ZONA 12.

ING. MARCO VINICIO LÓPEZ GARCÍA



GUATEMALA, AGOSTO DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS



**ANÁLISIS DEL COSTO DE CONGESTIÓN POR ACCESO VEHICULAR A LA CIUDAD
UNIVERSITARIA, POR EL ANILLO PERIFÉRICO DEL BOULEVARD UNIVERSITARIO DE LA
ZONA 12.**

Informe final de tesis para la obtención del Grado Académico de Maestro en Ciencias, con base en el Instructivo de Tesis, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas, el 15 de octubre de 2015, según Numeral 7.8 Punto SÉPTIMO del Acta No. 26-2015 y ratificado por el Consejo Directivo del Sistema de Estudios de Postgrado -SEP- de la Universidad de San Carlos de Guatemala, según Punto 4.2, subincisos 4.2.1 y 4.2.2 del Acta 14-2018 de fecha 14 de agosto de 2018.

AUTOR:

ING. MARCO VINICIO LÓPEZ GARCÍA

ASESOR:

Lic. Msc. ANIBAL ROGELIO SANDOVAL FABÍAN

GUATEMALA, AGOSTO DE 2019

**MIEMBROS DE JUNTA DIRECTIVA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS**

Decano	Lic. Luis Antonio Suárez Roldán
Secretario	Lic. Carlos Roberto Cabrera Morales
Vocal Primero	Lic. Carlos Alberto Hernández Gálvez
Vocal Segundo	MSC. Byron Giovanni Mejía Victorio
Vocal Tercero	Vacante
Vocal Cuarto	Br. CC.LL. Silvia María Oviedo Zacarías
Vocal Quinto	P.C. Omar Oswaldo García Matzuy

**JURADO EXAMINADOR QUE PRACTICÓ EL EXAMEN PRIVADO DE TESIS SEGÚN EL ACTA
CORRESPONDIENTE**

Presidente:	MSc. Carlos Humberto Valladares Gálvez
Secretario:	Dr. Caryl Alonso Jiménez
Vocal I:	MSc. José Ramón Lam Ortíz

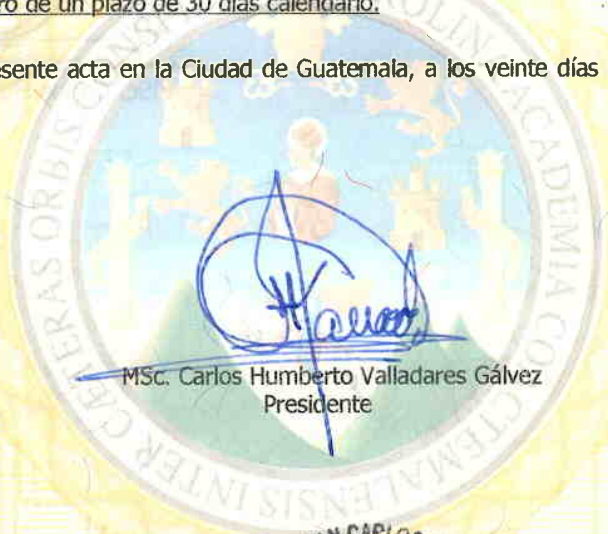


ACTA No. 08-2019

En el Salón No. 3 del Edificio S-11 de la Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de San Carlos de Guatemala, nos reunimos los infrascritos miembros del Jurado Examinador, el 20 de marzo de 2019, a las 18:00 horas para practicar el EXAMEN GENERAL DE TESIS del Ingeniero Mecánico Marco Vinicio López García, carné No. 100022204, estudiante de la Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos de la Escuela de Estudios de Postgrado, como requisito para optar al grado académico de Maestro en Formulación y Evaluación de Proyectos. El examen se realizó de acuerdo con el Instructivo de Tesis, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas, el 15 de octubre de 2015, según Numeral 7.8 Punto SÉPTIMO del Acta No. 26-2015 y ratificado por el Consejo Directivo del Sistema de Estudios de Postgrado -SEP- de la Universidad de San Carlos de Guatemala, según Punto 4.2, subincisos 4.2.1 y 4.2.2 del Acta 14-2018 de fecha 14 de agosto de 2018.

Cada examinador evaluó de manera oral los elementos técnico-formales y de contenido científico profesional del informe final presentado por el sustentante, denominado "ANÁLISIS DEL COSTO DE CONGESTIÓN POR ACCESO VEHICULAR A LA CIUDAD UNIVERSITARIA, POR EL ANILLO PERIFÉRICO DEL BOULEVARD UNIVERSITARIO DE LA ZONA 12", dejando constancia de lo actuado en las hojas de factores de evaluación proporcionadas por la Escuela. El examen fue APROBADO con una nota promedio de 83 puntos, obtenida de las calificaciones asignadas por cada integrante del jurado examinador. El Tribunal hace las siguientes recomendaciones: Que el sustentante incorpore las enmiendas señaladas por el Tribunal Examinador, dentro de un plazo de 30 días calendario.

En fe de lo cual firmamos la presente acta en la Ciudad de Guatemala, a los veinte días del mes de marzo del año dos mil diecinueve.



MSc. Carlos Humberto Valladares Gálvez
Presidente



Dr. Caryl Alonso Jiménez
Secretario



MSc. José Ramón Lam Ortiz
Vocal I



Ing. Marco Vinicio López García
Postulante



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ADENDUM

El infrascrito Presidente del Jurado Examinador CERTIFICA que el estudiante Marco Vinicio López García, incorporó los cambios y enmiendas sugeridas por cada miembro examinador del Jurado.

Guatemala, 19 de abril de 2019.

(f)

MSc. Carlos Humberto Valladares Gálvez
Presidente



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE
CIENCIAS ECONÓMICAS
Edificio "s-8"
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

J.D-TG. No. 0635-2019
++
Guatemala, 18 junio de 2019

Estudiante
Marco Vinicio López García
Facultad de Ciencias Económicas
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estudiante:

Para su conocimiento y efectos le transcribo el Punto Quinto, inciso 5.1, subinciso 5.1.2 del Acta 13-2019, de la sesión celebrada por Junta Directiva el 07 de junio de 2019, que en su parte conducente dice:

“QUINTO: ASUNTOS ESTUDIANTILES

5.1 Graduaciones

5.1.2 Elaboración y Examen de Tesis

Se tienen a la vista providencias y oficios de las Escuelas de Contaduría Pública y Auditoría, de Administración de Empresas y de Estudios de Postgrado; documentos en los que se informa que los estudiantes que se listan a continuación, aprobaron el Examen de Tesis, por lo que se trasladan las Actas de los Jurados Examinadores de Tesis y expedientes académicos.

Junta Directiva acuerda: 1º. Aprobar las Actas de los Jurados Examinadores de Tesis. 2º. Autorizar la impresión de tesis y la graduación a los siguientes estudiantes:

Escuela de Estudios de Postgrado

Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos

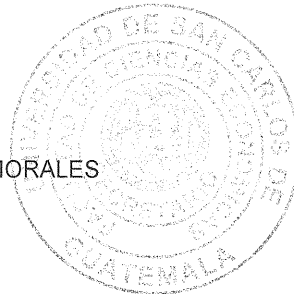
Ref. 20- 2019	Marco Vinicio López García	100022204	ANÁLISIS DEL COSTO DE CONGESTIÓN POR ACCESO VEHICULAR A LA CIUDAD UNIVERSITARIA, POR EL ANILLO PERIFÉRICO DEL BOULEVARD UNIVERSITARIO DE LA ZONA 12
---------------------	----------------------------	-----------	---

3º. Manifiestar a los estudiantes que se les fija un plazo de seis meses para su graduación”.

“ID Y ENSEÑAR A TODOS”

LIC. CARLOS ROBERTO CABRERA MORALES
SECRETARIO

m.ch



AGRADECIMIENTOS

- A DIOS:** Fuente de la verdad, por brindarme la oportunidad de alcanzar este objetivo y retribuir a mi país.
- A MIS PADRES:** Por brindarme su amor de padres y apoyo incondicional en todos mis proyectos de vida.
- A MIS HERMANAS:** Por su apoyo y compartir conmigo el camino de la vida.
- A MI ESPOSA:** Por su apoyo incondicional y motivación en este, y todos nuestros proyectos de vida.
- A TODA MI FAMILIA:** Por creer en mí y brindarme todo su apoyo.
- A MI ASESOR:** Por su apoyo en el desarrollo y culminación de esta investigación.
- A LA ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO:** Por permitirme cursar esta Maestría.
- A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA:** Por permitirme continuar con mi desarrollo profesional.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
INTRODUCCIÓN.....	v
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Volumen de tránsito	4
2.2 Flujo vehicular	5
2.3 Clasificación Vehicular	5
2.4 La capacidad de una vía	6
2.5 Nivel de servicio de una vía.....	6
2.6 Tipos de carretera en Guatemala.....	7
2.7 Aforo vehicular	8
2.7.1 Metodologías de aforo vehicular de tránsito.....	8
2.7.1.1 Metodología de medición manual.....	8
2.7.1.2 Contadores mecánicos	10
2.7.1.3 Sistema de medición Weigh in Motion (WIM).....	10
2.7.2 Estaciones para conteos de tránsito.....	10
2.8 La Congestión vehicular	11
2.9 Causas de la Congestión.....	13
2.10 Costo de congestión	14
2.10.1 Costo de Tiempo de Congestión	14

2.10.2	Costo de operación vehicular	15
2.10.3	Costo de Combustible	15
2.10.4	Costo de Lubricantes	15
2.10.5	Costo de Mantenimiento	16
2.11	Monografía de la Universidad de San Carlos de Guatemala	16
2.11.1	Localización	17
2.11.2	Ubicación Geográfica.....	17
2.11.3	Vías de acceso	17
2.12	Marco Legal.....	17
2.13	Policía Municipal de Tránsito	18
2.14	Unidad de Monitoreo del Tránsito USAC	19
3.	METODOLOGÍA	20
3.1	Definición del problema.....	20
3.1.1	Delimitación del Problema.....	20
3.2	Objetivos	21
3.1.2	Objetivo General	21
3.1.3	Objetivos específicos.....	21
3.3	Hipótesis.....	22
3.3.1	Especificación de variables.....	22
3.4	Método científico	23
3.4.1	Determinación de la unidad de Análisis	23

3.4.1.1	Localización y ubicación del tramo de estudio	23
3.5	Técnicas de investigación aplicadas	24
3.5.1	Técnicas de investigación documental.....	24
3.5.2	Técnicas de investigación de campo	25
3.5.2.1	Aforo vehicular	25
3.5.2.1.1	Volumen de tránsito	25
3.5.2.1.2	Flujo vehicular	26
3.5.2.1.3	Velocidad promedio de viaje.....	26
3.5.2.1.4	Densidad	27
3.5.2.1.5	Recursos utilizados para efectuar el aforo vehicular	27
3.5.2.2	Costo de Congestión	28
3.5.2.3	Costo de la demora (costo del tiempo)	30
3.5.2.4	Costo de operación vehicular	30
3.5.2.4.1	Costo de Combustible	30
3.5.2.4.2	Costo de Lubricantes.....	31
3.5.2.4.3	Costo de Mantenimiento.....	31
3.6	Resumen del procedimiento usado en el desarrollo de la investigación	31
3.6.1	Bitácora del aforo vehicular	31
3.6.2	Tabulación de datos del aforo vehicular.....	33
4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	33
4.1	FLUJO VEHICULAR	34

4.1.1	Aforo Vehicular	34
4.1.1.1	Recorrido	34
4.1.1.2	Volumen vehicular observado	34
4.1.1.3	Tasa de flujo vehicular o razón de flujo	37
4.1.1.4	Tipos de los vehículos observados durante hora pico	39
4.1.1.5	Sobre los ocupantes de los vehículos	41
4.1.1.6	Tiempo de viaje observado de los vehículos	42
4.1.1.7	Velocidad promedio del viaje	43
4.1.1.8	Densidad	45
4.2	CONGESTIÓN	46
4.2.1	Tiempo de congestión	47
4.2.2	Principales causas de la congestión	48
4.2.2.1	Conducta de los conductores	49
4.2.2.2	Condición de la vía	51
4.2.2.3	Vehículos	52
4.2.2.4	Causas relacionadas a las características del transporte	53
4.2.3	Costo del tiempo de congestión	53
4.2.4	Costo de operación vehicular (COV)	56
4.2.4.1	Costo de combustible	56
4.2.4.2	Costo de lubricante	59
4.2.4.3	Costo de mantenimiento	61

4.2.4.4 Determinación del costo de operación vehicular	64
4.2.5 Costo de Congestión	66
4.2.6 Costo de congestión y gasto de Transporte	69
4.2.6.1 Análisis del costo de congestión por incremento en tiempo de congestión	71
4.2.6.2 Análisis de Sensibilidad a la velocidad Máxima	72
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES	76
BIBLIOGRAFÍA.....	78
ANEXOS.	81
Anexo 1. Lista de Acrónimos.....	81
Anexo 2. Operacionalización de las variables del estudio	83
Anexo 3. Secciones típicas de tipos de carretera según la DGC.....	85
Anexo 4. Muestra de la Encuesta Nacional de Ingresos y Egresos.....	93
Anexo 5. Precios de combustible.....	94
Anexo 6. Formatos de toma de tiempos de viaje.....	95
Anexo 7. Formato de conteo vehicular.	96
ÍNDICE DE TABLAS.....	97
ÍNDICE DE GRÁFICAS	100
ÍNDICE DE FIGURAS	101

RESUMEN

En respuesta a la necesidad de traslado físico se ha incentivado la invención de diversos medios de transporte que a lo largo de la historia han formado parte fundamental del desarrollo económico de la humanidad, acompañado de este crecimiento económico han surgido nuevos retos y problemáticas para la sociedad, uno de ellos constituido por el fenómeno de la congestión.

La congestión vehicular afecta a todos aquellos que ingresan a la ciudad Universitaria de la zona 12, incidiendo negativamente en su calidad de vida, el análisis de este fenómeno y sus consecuencias constituyen un pilar fundamental para establecer alternativas de solución a la problemática.

La presente investigación tiene como objetivo primordial contribuir al conocimiento del costo de congestión vehicular y su impacto en el gasto de transporte, para los usuarios de la vía de acceso a la ciudad Universitaria, por el Anillo Periférico y 11^a. Avenida del Boulevard Universitario la zona 12, durante el mes de julio 2018.

La investigación se llevó a cabo bajo un enfoque cuantitativo, que implicó la utilización del método deductivo. Debido a que el alcance definido fue explicativo, el diseño de la investigación fue de tipo no experimental, transversal. La perspectiva teórica de esta investigación se abordó desde el punto de vista de Formulación y Evaluación de Proyectos.

Este trabajo utilizó en su desarrollo técnicas de investigación documental, como lectura analítica, subrayado, fichas bibliográficas, resúmenes y citas, así mismo consultas al Instituto Nacional de Estadística. Como técnica de investigación de campo se aplicó el aforo vehicular, bajo la metodología de mediciones manuales, utilizando técnicas de cronometraje, toma de datos directos y una cámara semi-profesional con toma de video.

De los resultados del aforo vehicular, se determinó que la hora pico de lunes a viernes corresponde de las 17:00 a las 18:00 horas; mientras que el día sábado se estableció de 07:00 a 08:00 horas, así mismo se concluyó que el tránsito vehicular sobrepasa la capacidad de diseño de la vía de acceso a la universidad.

Del estudio se pudo determinar, que las principales causas que incidieron para que los usuarios experimentaran los efectos de la congestión están relacionadas con la conducta y son: el maniobrar de las motocicletas entre vehículos sin respetar un carril, el cambio en último momento de carril, y estacionarse en la vía para bajar o subir un peatón.

El costo total de congestión determinado durante el período de análisis corresponde a Q 289.53, que representa un incremento para los usuarios de 0.10% de su gasto de transporte, dato que pareciera no ser significativo, sin embargo al extender los parámetros de estudio se determinó que después de percibir 5 minutos diarios de congestión durante un mes, el incremento en el costo de congestión es de 3.1%, que representa un gasto que supera al rubro menor en la clasificación del gasto presentada por ENIGFAM, al referirse al gasto destinado a Bebidas alcohólicas y tabaco de 0.30%, por lo tanto la hipótesis planteada fue confirmada.

INTRODUCCIÓN

Todo ser humano en la sociedad experimenta la necesidad de transitar por las ciudades, con el fin de realizar una serie de actividades de su interés, tales como trabajar, estudiar, distraerse, etc. Este traslado puede realizarse caminando, o utilizando vehículos motorizados o impulsados por el propio esfuerzo de las personas, generando una circulación de individuos o de los propios medios de transporte. Esta circulación refleja también el consumo de espacio, tiempo, energía y recursos, dando como resultado consecuencias negativas como accidentes, contaminación y sobre todo congestión. La presente investigación abordó la problemática de la congestión vehicular desde el punto de vista de su costo, basado en los criterios de la Formulación y Evaluación de Proyectos.

La mayoría de definiciones de congestión vehicular hacen referencia a las consecuencias en el tiempo de la introducción de una unidad más en el flujo vehicular, (Ian Thomson, 2001).

En la actualidad, la comunidad Universitaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala, como parte de la sociedad, sufre los embates de las consecuencias del tránsito vehicular, y por ende, de la congestión vehicular, por lo tanto el estudio de este fenómeno se torna necesario en aras de buscar alternativas de solución.

Basado en los criterios de (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Pilar Baptista, 2014), esta investigación se justificó debido a que permitirá tener un mayor conocimiento del comportamiento del costo de congestión y el flujo vehicular; y una implicación práctica aportando en la determinación de las principales causas de la congestión que tienen mayor impacto en el tiempo de viaje. Esto permitirá la generación de ideas para futuras investigaciones sobre las posibles soluciones, así mismo enfocar los esfuerzos e inversiones futuras para solucionar la problemática.

Derivado de la problemática y la necesidad de análisis del fenómeno de la congestión, como primer paso en la búsqueda de soluciones, la presente investigación tuvo como objeto de estudio a los vehículos que ingresan a la Universidad de San Carlos de Guatemala, durante la jornada nocturna de 17:00 a 19:00 hrs. y día sábado de 07:00 a 09:00 hrs. Como período a investigar al mes de julio 2018 y como ámbito geográfico el ingreso por el Anillo Periférico y 11ª. Avenida del Boulevard Universitario de la zona 12, de la ciudad de Guatemala, con el afán de obtener datos en una situación cotidiana de ingreso a la Univaersidad.

El objetivo general de la presente investigación fue contribuir al conocimiento del impacto en el gasto de transporte que tiene el costo de congestión, a través de sus componentes costo de operación

vehicular y costo de tiempo personal sobre el objeto de estudio, unidad de análisis, período y ámbito geográfico especificados anteriormente.

Los objetivos específicos fueron, analizar el flujo de vehículos, identificar las causas que tuvieron mayor impacto en el tiempo de viaje, y por supuesto analizar el costo de congestión a través de sus componentes costo de tiempo personal y los costos operacionales de los vehículos.

De los objetivos, definición del problema y justificación de la investigación surgió una hipótesis causal de la investigación H_i : El costo de congestión del tránsito vehicular que se experimenta durante las horas pico en el ingreso a la Universidad de San Carlos de Guatemala, por el Anillo Periférico y 11ª. Avenida del Boulevard Universitario de la zona 12, durante el mes de julio 2018, representa un incremento significativo en el gasto de transporte para los usuarios de esta vía.

La presente investigación consta de cinco capítulos, el capítulo uno está constituido por los antecedentes, donde se expone el marco referencial teórico y empírico de la investigación, se presenta una referencia del parque vehicular de Guatemala, muestra a la congestión y sus inconveniencias desde el punto de vista de varios autores, entre ellos Thomson & Bull, 2001. Se muestra además los aspectos más relevantes de la Universidad de San Carlos de Guatemala, así mismo el marco legal al cual están sujetos los conductores de los vehículos y las Instituciones que regulan el tránsito vehicular, con el objetivo de brindar un conocimiento de todos los actores en el marco de la investigación.

El capítulo dos, comprende el Marco Teórico, que contiene la exposición y análisis de las teorías y conceptos que fundamentan la investigación, se exponen las definiciones de las variables y la metodología relacionada con el aforo vehicular, se muestra la clasificación de las carreteras según la Dirección General de Caminos de Guatemala (DGC) para determinar la capacidad de la vía de análisis. Se muestran las diferentes definiciones de congestión vehicular, se listan las causas de la congestión según (Thomson & Bull, 2001), que sirvieron al autor para determinar las causas de la congestión en el estudio. Por último se exponen las definiciones del costo de congestión y sus componentes, costo de tiempo, costo de operación vehicular (COV), que está conformado por el costo de combustible, costo de lubricantes y costo de mantenimiento.

En el capítulo tres, se realiza una descripción de la metodología utilizada para la elaboración del estudio, la definición del problema, los objetivos, general y específicos antes mencionados, así mismo se planteó hipótesis del estudio, en este capítulo se especifica la unidad de análisis, se determina el tramo de estudio para evaluar los efectos de la congestión, por último expone las

técnicas de investigación dentro de las cuales se describen las fórmulas que se aplicaron para la obtención de los resultados de la investigación.

El capítulo cuatro en su primera parte, comprende los resultados obtenidos del aforo vehicular, volumen y flujo de vehículos, así mismo muestra los resultados de las proporciones de los vehículos observados, de los tiempos de viaje observados y velocidades promedio de viaje, que se utilizaron para calcular el tiempo de congestión y los costos de congestión.

En su segunda parte el capítulo cuatro, expone los resultados del tiempo de congestión experimentado en el estudio, enlista las principales causas de la congestión encontradas durante el estudio. Expone los resultados del costo de congestión y sus componentes, costo de tiempo y costo de operación vehicular, así mismo de los componentes del COV, costo de combustible, costo de mantenimiento y costo de lubricantes, determina las proporciones y nivel de importancia de cada uno de estos. En este capítulo se muestra el resultado medular de la investigación, se expone el impacto que tiene el costo de congestión en el gasto de transporte de los usuarios y por último muestra un análisis del costo de congestión, ampliado por incremento en el tiempo de congestión al que pueden estar sujetos los usuarios; y un análisis de sensibilidad del costo de congestión a la velocidad límite o máxima permitida en la vía.

La tesis finaliza exponiendo las conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

1. ANTECEDENTES

El fenómeno de la congestión y sus inconveniencias comenzaron a manifestarse en las grandes ciudades del siglo XIX como resultado del proceso de urbanización, (Bielich, 2009) citando a Remy y Voyé (2006) indica que la primer ciudad que sufrió los cambios propios del proceso de urbanización fue París, la cual vio que los espacios de los transeúntes fueron invadidos de “vehículos jalados por los caballos” transformando el entorno en un caos en movimiento, se pasó de una ciudad enfocada en el peatón a una ciudad enfocada en el conductor: “La calle ya no pertenecía al individuo, pertenece al automóvil”.

Existen definiciones variadas de la congestión vehicular, una definición objetiva de este fenómeno puede ser: “La congestión es la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás” (Thomson & Bull, 2001).

Este fenómeno impacta en el tiempo de traslado de los involucrados hacia sus lugares de trabajo o destinos, consumo de combustibles, estrés en los conductores y accidentes de tránsito, entre otros.

Existen diferentes causas que atribuyen a este fenómeno, entre ellas, el incremento de vehículos particulares (nuevos o usados), ineficiente transporte público colectivo, transporte de carga, inseguridad, falta de educación vial e infraestructura insuficiente, lo cual redundando en la pérdida de funcionalidad de la ciudad (Centro de Estudios Urbanos y Regionales (USAC), 2016).

Las inconveniencias del tránsito se dividen en dos tipos: aquéllas que, expresadas a manera de costo, son cubiertas por los usuarios (Internas); y aquéllas que no son cubiertas por los usuarios (externas), pero que son infligidas a otros miembros de la sociedad de alguna manera. (Mendoza, 2005).

Dentro de las inconveniencias internas, se incluyen las relacionadas con consumos y costos operativos vehiculares, costo de combustible, lubricantes, llantas, mantenimiento, depreciación del vehículo, etc. Por otro lado, dentro de las inconveniencias externas, se incluyen la contaminación y los accidentes viales, entre otros.

Enfocando el análisis en quienes deben transportarse, se pueden analizar los efectos de la congestión mediante el desglose de su costo en dos componentes fundamentales: el tiempo personal, y los costos operacionales de los vehículos, especialmente el combustible. (Thomson & Bull, 2001).

(Bayona & Marquéz, 2015) refieren para el caso de América Latina, a partir de las décadas de los 80's y 90's, se llevaron a cabo una serie de reformas estructurales, que consistieron fundamentalmente en la desregularización y apertura de los mercados, es decir, las economías latinoamericanas se vieron inmersas en un proceso de liberalización económica, lo que ocasionó una mayor oferta en el sector transportes.

De acuerdo con el estudio de (John J. García, 2016), basado en *TomTom Traffic Index* indicador que toma como referencia el tiempo de viaje durante todos los días del año de las principales ciudades del mundo, diferenciando entre el tiempo promedio de viaje cuando hay situaciones de congestión (hora pico) y el tiempo promedio de viaje en situaciones libres de congestión; para el año 2015, México fue la ciudad más congestionada del mundo, reportando un 59% de tiempo adicional que se retrasaron los individuos en desplazarse cuando la ciudad se encontraba congestionada. En segundo lugar se reportó Bangkok, con un incremento del 57% en el tiempo de desplazamiento, seguido por Todzt, con un 54%. El top 5 del ranking lo completaron Estambul y Rio de Janeiro con 50% y 47% de tiempo extra respectivamente.

En la última década han surgido estudios en América Latina sobre la congestión, sus efectos y posibles soluciones, a continuación se presentan los casos más relevantes encontrados:

Perú, Lima, (Triveño, 2008), consideran que el problema de la congestión es falta de gobernabilidad en el sistema de circulación de vehículos y Peatones. El sistema de tránsito se ha convertido en un "juego" donde ninguno de los participantes, llámense usuarios o autoridades, pueden "Ganar". El trabajo expone 10 cuellos de botella causantes principales de la congestión en Lima, dentro de ellos: el exceso de unidades y ausencia de un mecanismo de salida de vehículos en malas condiciones; ausencia de un sistema que privilegie el transporte colectivo sobre el particular; Y la falta de planificación en mantenimiento y construcción de Vías. Concluye que el problema puede solucionarse con la acción conjunta del Estado y del sector privado.

Colombia, Bogotá, (Muñoz Puentes, Pablo, 2014), expone una metodología que, basado en el trabajo Sarmiento y Robusté (1999) de España, propone los pasos o etapas a seguir para el cálculo de los costos sociales que se presentan durante la movilización vehicular, así como los sobrecostos sociales cuando aparece el fenómeno de la congestión vehicular en una vía en la ciudad de Bogotá. Adaptando de esta manera una metodología aplicada en Europa hacia una ciudad de Latinoamérica.

El trabajo de (Muñoz Puentes, Pablo, 2014), confirmó una hipótesis en la que se indica que el sobrecosto de la congestión vehicular en el tramo de análisis es mucho mayor que el recurso destinado a la inversión necesaria para el mantenimiento de la malla vial en mal estado, y por lo

tanto puede motivar acciones de mantenimiento de gran alcance, representando un ahorro en el mediano y largo plazo, tanto para la sociedad en general como para los órganos reguladores.

Otro caso en Perú, la ciudad de Piura, (Bayona & Marquéz, 2015), relacionan el crecimiento del parque automotor con el aumento en la congestión, basados en un modelo econométrico determinaron que los factores asociados al crecimiento del parque automotor son el crecimiento del Producto Interno Bruto, la población y la infraestructura vial. De este estudio cabe resaltar que la relación entre la congestión y la inversión en infraestructura vial se derivó de una inversión escasamente enfocada en aliviar los efectos de la congestión.

En Guatemala existen muy pocos estudios sobre los sobrecostos de la congestión y sus inconveniencias, sin embargo se destaca el trabajo de (Peláez, 2017) a través del Centro de Estudios Urbanos y Regionales de la Universidad de San Carlos de Guatemala, donde el autor expone el estado de cuatro de las principales vías de acceso a la Ciudad de Guatemala, Calzada Roosevelt, Calzada Raúl Aguilar Batres, Boulevard los Próceres y Calle Martí, realizando mediciones de tráfico y estimaciones de los factores de incremento del tráfico desde el siglo pasado hasta la actualidad. Del estudio se destaca el incremento de la Calzada Raúl Aguilar Batres en más de 300% en un período de 20 años y una tasa de incremento anual del 16%.

Una de las conclusiones del autor cita “ha existido una escasa planificación vial en el país, como medio para lograr un desarrollo económico, predominando a través de nuestra historia intereses particulares por sobre la planificación en su conjunto, en este caso dentro de la ciudad de Guatemala”, mostrando que Guatemala no es la excepción a nivel de Latinoamérica en la problemática de planificación vial.

Por otro lado (Peláez, 2017) concluye que la capacidad de las principales vías de acceso a la ciudad ha sido sobrepasada durante el transcurso del presente siglo en al menos al doble de su capacidad de diseño, redundando en los denominados “embotellamientos” no solamente en horas pico como también durante la ocurrencia de fenómenos climáticos y antrópicos.

Según el reporte del Registro Fiscal de Vehículos de la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT), el parque vehicular de la ciudad de Guatemala, ha tenido un crecimiento de 91.6 % en 10 años, actualmente reporta 1,357,599 vehículos, esto significa que diariamente en las vías de la ciudad capital deben circular un millón de vehículos diarios, dado las limitaciones del sistema vial de la ciudad en diferentes horas del día se reporta congestión vehicular.

En determinadas horas, dada la necesidad de acceso a la Universidad se registra congestionamiento del tránsito vehicular en el ingreso, en la Jornada diurna se presenta alrededor de las 7:00 horas

hasta aproximadamente a las 8:00 horas, así mismo se observa para la jornada nocturna en horarios de 17:00 horas hasta alrededor de las 19:00 horas, esto repercute directamente en los alumnos y docentes, analizar el costo de congestión que representa este fenómeno despertó el interés en la realización de la presente investigación.

2. MARCO TEÓRICO

El presente capítulo expone las bases teóricas que orientan la presente investigación, este se compone de conceptos, definiciones, estudios y experiencias de otros autores, tomados tanto a nivel internacional como por ejemplo el manual HCM, así como de los diferentes ministerios de la república de Guatemala, y de experiencias de autores como Pablo Muñoz Puentes, relacionadas con la congestión y sus inconveniencias en Colombia.

El marco teórico se compone también de una breve monografía de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y finaliza exponiendo el marco legal que regula la temática del tránsito en Guatemala.

2.1 Volumen de tránsito

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

En (Julianne, 2015) se establecen los volúmenes de tránsito totales o absolutos, los cuales relacionan el tránsito existente con el tiempo, que puede darse en días, semanas, meses, años y horas, definiendo de la siguiente Manera:

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

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

2.2 Flujo vehicular

Se describe al flujo vehicular cómo la cantidad de vehículos que circulan en determinado tramo que se desee analizar, para determinar el nivel de eficiencia. Este se basa en tres variables: flujo, velocidad y densidad. Cuando se relacionan las mismas se obtienen características del tránsito y es posible predecir opciones de operación, por ejemplo, cuando se relaciona la velocidad-densidad, se establecen modelos teóricos sobre el flujo vehicular, debido a que para cada valor de densidad existe un valor de velocidad, lo cual solo ocurre en esta situación, mas no en otros casos. (Corea y Asociados, S.A., 2008).

Según el manual de capacidad de carreteras, por sus siglas en inglés HCM versión del año 2,000 (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2000), la tasa de flujo o razón de flujo son equivalentes a la razón en la cual, una cantidad de vehículos pasan por un punto dado de la vía o sección, durante un intervalo de tiempo menor a 1 hora, usualmente 15 minutos.

2.3 Clasificación Vehicular

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

- Liviano: Automóviles para personas, jeeps, paneles.
- Buses: Todos los buses que tienen eje simple doble en la parte de atrás.
- Carga liviana: Pick-ups, carros acondicionados para cargas pequeñas.
- Dos ejes: Incluye todos los camiones con dos ejes, (ejes simple y simple doble).
- Tres ejes: Incluye todos los camiones con tres ejes, dos ejes doble rueda en la parte de atrás y eje simple adelante.
- Cuatro ejes o más: Incluye tracto-camiones (furgones), dos parejas de dos ejes con doble llanta y eje simple adelante.

Dado el marco de la presente investigación el estudio analizó los primeros 3, el transporte liviano, los buses tipo combi que cumplen con las características de la clasificación y los tipo carga liviana.

2.4 La capacidad de una vía

Se define a la capacidad que tiene una sección de carretera respecto del máximo número de vehículos que circulan o pueden circular en ella, durante un determinado periodo de tiempo, de acuerdo a condiciones particulares de la vía y del tránsito y sin que éstas colapsen en su máxima intensidad. (Navarajo Zabala, 2015).

2.5 Nivel de servicio de una vía

El Manual HCM 2000 define los siguientes conceptos (TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, 2000):

Nivel de servicio. Es la calidad del servicio ofrecido por una carretera de dos carriles a sus usuarios, reflejado en el nivel de satisfacción o de continuidad experimentado por los usuarios al usar la vía.

Tiempo de retraso. Es el tiempo que los conductores se demoran en su recorrido por una vía, debido a la imposibilidad de adelantar a otros vehículos con menor velocidad que van delante de ellos. Este concepto es muy importante para determinar el Nivel de Servicio, según el HCM 2000, se definen los siguientes Niveles de Servicio:

Nivel de Servicio A. Representa un flujo libre en una vía cuyas especificaciones geométricas son adecuadas.

Nivel de Servicio B. Hay algunas restricciones para el flujo libre. El nivel de libertad y comodidad para el conductor es bueno.

Nivel de Servicio C. Representa condiciones medias. La conducción con la velocidad deseada dentro de la corriente vehicular es afectada por interferencias tolerables de otros vehículos.

Nivel de Servicio D. No existe libertad para conducir con velocidad deseada, al ocurrir interferencias frecuentes con otros vehículos. El nivel general de libertad y comodidad que tiene el conductor es deficiente.

Nivel de Servicio E. La velocidad es baja pero el tránsito fluye sin interferencias. Los niveles de libertad y comodidad son muy bajos.

Nivel de Servicio F. Representa la circulación congestionada. Se forman colas y las operaciones dentro de éstas se caracterizan por constantes paradas y avances cortos.

Desde un punto de vista práctico, la congestión surge porque la demanda se acerca a la capacidad de la infraestructura vial y el tiempo a utilizar para movilizarse es mayor que en condiciones de baja demanda.

2.6 Tipos de carretera en Guatemala

En Guatemala la Dirección General de Caminos a través de su Departamento Técnico de Ingeniería, es la encargada de clasificar las carreteras, a continuación se muestra la clasificación de las mismas:

Carretera tipo A. Estas carreteras son llamadas también calzadas y están diseñadas para un tráfico promedio diario de 3,000 a 5,000 vehículos. La capa de recubrimiento de la calzada podrá ser de hormigón o concreto asfáltico. El diseño de drenajes en este tipo de carretera no contempla estructuras simples como los vados puesto que no es conveniente que la carpeta de rodadura permanezca inundada por un determinado tiempo ya que el agua la dañaría. El ancho de la calzada es de 14.40 metros y el derecho de vía lo constituyen 50 metros.

Carretera tipo B. Están diseñadas para un tráfico promedio diario de 1,500 a 3,000 vehículos. La capa de recubrimiento podrá ser de concreto asfáltico o tratamiento superficial doble. El ancho de la calzada es de 7.20 metros y el derecho de vía es de 25 metros.

Carretera tipo C. Están diseñadas para un tráfico promedio diario de 900 a 1,500 vehículos. La capa de recubrimiento podrá ser de concreto asfáltico o tratamiento superficial doble. El ancho de la calzada es de 6.50 metros y el derecho de vía está conformado por 25 metros.

Carretera tipo D. Esta carretera está diseñada para un tráfico promedio diario de 500 a 900 vehículos. La capa de recubrimiento que se utiliza es tratamiento superficial doble. El ancho de la calzada es de 6.00 metros y el derecho de vía lo constituyen 25 metros.

Carretera tipo E. Estas carreteras están diseñadas para un tráfico promedio diario de 100 a 500 vehículos. De estos se nota que la carretera tiene una importancia menos con relación al flujo de tránsito canalizado en las tipo A a la D. la capa de recubrimiento de las carreteras tipo E se elabora en base a un tratamiento superficial doble. El ancho de la calzada es de 5.50 metros y el derecho de vía es de 15 metros.

Carretera tipo F. Su diseño contempla un tráfico promedio diario de 10 a 100 vehículos. Como son poco transitadas la capa de recubrimiento se elabora simplemente con balasto. El ancho de la calzada es de 5.50 metros y el derecho de vía es de 15 metros.

En el Anexo 3, se pueden apreciar los esquemas de las secciones típicas de cada uno de los tipos de carretera según el Departamento Técnico de Ingeniería de la Dirección General de Caminos.

2.7 Aforo vehicular

Consiste en realizar un estudio que recaba información para determinar la cantidad y tipos de vehículos que circulan en un determinado tiempo y lugar. (Corea y Asociados, S.A., 2008).


2.7.1 Metodologías de aforo vehicular de tránsito

Existen diferentes metodologías para obtener información sobre el tránsito vehicular de un determinado tramo carretero, en (Julianne, 2015) se describen: la medición manual, los contadores mecánicos, y el sistema de medición WIM (Weigh in Motion).


2.7.1.1 Metodología de medición manual

Utiliza personal capacitado denominado aforadores de campo. Los aforos pueden ser realizados entre una o dos personas en cada estación; este personal, registra los datos del conteo en un formulario, que contiene datos sobre: el punto de conteo, tipo de estación, número de estación, fecha, sentido (ida/vuelta), clasificación de los vehículos y horario. La dirección General de Caminos de Guatemala, a través del Departamento de Ingeniería de Tránsito, utiliza el siguiente formato:

Figura 1. Formato de tabulación de conteos estadísticos de aforos vehiculares de conteo manual y clasificación de vehículos (DGC).



DIRECCION GENERAL DE CAMINOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA, DE
TRANSITO UNIDAD DE CONSERVACION VIAL
INFRAESTRUCTURA Y TECNOLOGIA










CONTEO MANUAL Y CLASIFICACION DE VEHICULOS

ESTACION N°: _____

PUNTO DE CONTEO: _____ KM: _____ ESTACION N°: _____

CODIGO RUTA: _____ TIPO DE CARRETERA: _____

FECHA DEL CONTEO: _____ SENTIDO: _____

CLASIFICACION DE VEHICULOS	RESUMEN Y HORARIO DEL CONTEO DE TRANSITO CLASIFICADO												TOTAL	
	6:00 - 7:00	7:00 - 8:00	8:00 - 9:00	9:00 - 10:00	10:00 - 11:00	11:00 - 12:00	12:00 - 13:00	13:00 - 14:00	14:00 - 15:00	15:00 - 16:00	16:00 - 17:00	17:00 - 18:00		
1 	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2 	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3 	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4 	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
5 	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
6 	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7 	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
8 OTROS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
TOTAL DE VEHICULOS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
YL- 0	OBSERVACIONES:											1- Vehículo livero	5- Microbus	
VP- 0												2- Pick-up	6- Buses	
YT- 0												3- C-2, C-3, C-4	7- T3-S2-R4	
												4- T3-S2, T3-S3	8- Otros	
PORCENTAJES	% LIV.	0.00%	% PESADO	0.00%										Guatemala, 15/10/2014

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

Nombre legítimo: _____

Delegado Responsable Supervisor: _____ Número de Colegiado: _____

Firma: Salín Palermán Pacheco

Fuente. Departamento de Ingeniería de Tránsito, Unidad de Conservación Vial Infraestructura y Tecnología.

La presente investigación utilizará la metodología de medición manual y hará uso de este formato como una referencia para la elaboración del estudio, tomando de este los factores a medir que sean de interés para el estudio.

2.7.1.2 Contadores mecánicos

Según (Julianne, 2015) estos pueden clasificarse en: portátiles y fijos o semifijos, entre los contadores portátiles se encuentran los contadores continuos con un dial visible, el cual es activado con un control de relojería, opera durante un determinado lapso y graba todos los datos; funciona a través de un impulso derivado de un tubo neumático el cual se debe instalar perpendicularmente al paso de vehículos, el tubo generalmente es de goma flexible. La limitación es que por lo general estos dispositivos no proporcionan una clasificación por tipo de vehículos, el cual se basa por el número de ejes y peso.

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

2.7.1.3 Sistema de medición Weigh in Motion (WIM)

El sistema de medición WIM con sus siglas en inglés, que significa pesaje en movimiento, captura y graba pesos de eje; además de indicar el peso bruto vehicular sobre determinado lugar y expresarlo como unidad de vehículos. Es un sistema capaz de medir la velocidad de tránsito normal o reducido sin detener los vehículos; brindando eficiencia durante el pesaje. Cuenta con dos partes principales; la primera, es un equipo para pesaje constituido por sensores reales y cables para transmitir la información al paso de vehículos y la segunda parte lo constituye el equipo de medición formado por un hardware para energía, computación, comunicación, adquisición de datos, etc.

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

2.7.2 Estaciones para conteos de tránsito

Según (Navarrijo Zabala, 2015), el Departamento de Ingeniería de Tránsito de la Dirección General de Caminos de Guatemala, para la determinación de estudios de tránsito, divide las estaciones según las siguientes características:

Estación permanente: es la que trabaja continuamente las 24 horas del día durante 7 días consecutivos, constatando así la fluidez de vehículos, tanto diurnos como nocturnos, considerándose que la colocación de las estaciones sea en puntos estratégicos, tales como: en las principales salidas o entradas de una localidad, sea esta la capital o algún municipio, en puntos fronterizos de los departamentos o en puntos de convergencia vial importantes en las rutas principales.

Estación tipo A: en este tipo de estación se llevan a cabo los conteos durante 7 días consecutivos, en doce horas continuas, generalmente, en horarios de 6:00 a 18:00 horas, esta estación también proporciona datos que ayudan a la elaboración de estudios y documentos respecto del tránsito, con la especialidad en esta estación que brindará la información para obtener el Tránsito Promedio Diario Anual, TPDA.

Estación tipo B: en esta estación se realizan conteos durante cuatro días consecutivos en un periodo de 12 horas, trabajando días hábiles, en horarios de 6:00 a 18:00 horas, obteniendo de esta forma una muestra del comportamiento vehicular del Tránsito Promedio Diario Semanal y el Mensual –TPDS- y el –TPDM-

Para efectos del presente trabajo, se evaluó y contempló la utilización de la estación tipo B, tomando en consideración únicamente el horario determinado en el período de análisis de la investigación.

2.8 La Congestión vehicular

Para (Alcántara, 2010), podemos identificar dos tipos de definición de congestión:

La definición *física*, relacionada con la diferencia entre una velocidad real y una “ideal”, que sería determinada en función de algún punto de esa relación flujo-capacidad. Esta es una manera “relativa” de estimar la congestión y, por lo tanto, subjetiva. Dicha estimación está vinculada a la idea de “escasez” que, en general, resulta en propuestas de ampliación del sistema vial para reducir los retrasos verificados; dicha forma de definición llamada definición de la “ingeniería” conlleva a estudios “técnicos”.

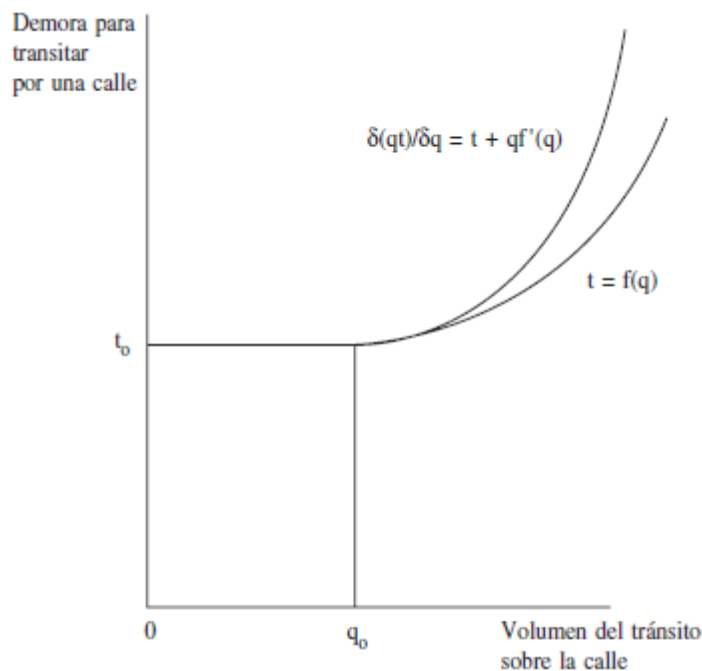
La definición *económica* está relacionada con la identificación del tiempo adicional que las personas que ingresan a una vía imponen a las que ya están en ella y, consecuentemente, de los costos causados a los demás. De allí surge la búsqueda de un punto de “congestión óptimo” en el cual existiría un equilibrio entre ventajas y costos, a través de un pago realizado por los causantes del “tiempo excesivo” (el “peaje urbano”). Esta es una definición más objetiva y, a pesar de la definición del valor del tiempo y de su costo, implica un cierto grado de subjetividad.

(Thomson & Bull, 2001) definen la congestión como la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás”. Hasta un cierto nivel de tránsito, los vehículos pueden circular a una velocidad relativamente libre, determinada por los límites de velocidad, la frecuencia de las intersecciones, y otras condicionantes. Sin embargo, a volúmenes mayores, cada vehículo adicional estorba el desplazamiento de los demás, es decir, comienza el fenómeno de la congestión.

La economía del transporte considera que el problema de la congestión vehicular es muy complejo, pues se debe tanto a factores de demanda como de oferta de transporte. Es decir, por un lado hay un aumento explosivo del parque automotor, específicamente del automóvil, debido principalmente al crecimiento económico y por otro lado, hay una inadecuada infraestructura vial, e irracional uso por parte de vehículos y peatones, que no es atendido por la regulación estatal. (Bayona & Marquéz, 2015).

Thomson y Bull ilustran el efecto de la congestión vehicular en el siguiente gráfico:

Figura 2. Efecto gráfico de la Congestión.



Fuente: (Thomson & Bull, 2001)

Puede observarse que las dos curvas coinciden hasta el nivel de tránsito $0q_0$; hasta allí, el cambio en el tiempo de viaje de todos los vehículos es simplemente el tiempo empleado por el que se incorpora, porque los demás pueden seguir circulando a la misma velocidad que antes. Por el

contrario, de ahí en adelante, las dos funciones divergen, estando por arriba de t . Eso significa que cada vehículo que ingresa experimenta su propia demora, pero simultáneamente aumenta la demora de todos los demás que ya están circulando. En consecuencia, el usuario individual percibe sólo parte de la congestión que causa, recayendo el resto en los demás vehículos que forman parte del flujo de ese momento. En el lenguaje especializado se dice que los usuarios perciben los costos medios privados, pero no los costos marginales sociales.

2.9 Causas de la Congestión

(Thomson & Bull, 2001) agrupan las causas de la congestión en tres categorías; en la primera hacen énfasis en las características del transporte; en la segunda a los automóviles; y en la última, a la condición de las vías y la conducta sobre ellas. Algunas de las causas son:

- La demanda de transporte es “derivada”, es decir, pocas veces los viajes se producen por un deseo intrínseco de desplazarse; generalmente, obedecen a la necesidad de acceder a los sitios en que se llevan a cabo las distintas actividades (como el trabajo, las compras, el estudio, la recreación, el descanso, etc.), todas las cuales se realizan en lugares diferentes.
- La demanda de transporte es eminentemente variable y tiene puntas muy marcadas en las cuales se concentran muchos viajes, a causa del deseo de aprovechar en buena forma las horas del día para realizar las distintas actividades y para tener oportunidad de contacto con otras personas.
- El transporte se efectúa en limitados espacios viales, los que son fijos en el corto plazo; como es fácil de comprender, no se puede acumular la capacidad vial no utilizada para usarla posteriormente en períodos de mayor demanda.
- Especialmente en zonas urbanas, la provisión de infraestructura vial para satisfacer la demanda de los períodos de punta tiene un costo muy elevado.
- Algunos vehículos generan más congestión que otros. La existencia de un número excesivo de vehículos de transporte público contribuye a agravar la congestión, como se observa en algunas ciudades. En la ingeniería de tránsito cada tipo de vehículo tiene asignada una equivalencia en una unidad de vehículos de pasajeros denominada pcu (passenger car unit). Un automóvil tiene una equivalencia de 1 pcu, y los demás vehículos una equivalencia que corresponde a su influencia perturbadora sobre el flujo de tránsito, o el espacio vial que efectivamente ocupan, en comparación con la de un automóvil. Normalmente, se considera que un bus tiene una

equivalencia aproximada de 3 pcu, y un camión, una de 2 pcu. Estrictamente, el factor pcu varía según se trate de una aproximación a una intersección o de un tramo vial entre intersecciones

- El inadecuado diseño o mantenimiento de la vialidad es causa de una congestión innecesaria.
- Hay conductores que muestran poco respeto por aquellos con quienes comparten las vías.
- Desconocimiento de las condiciones de tránsito.
- Tanto la conducta de los motoristas como la condición de la vialidad y la de los vehículos, hacen que una calle o una red urbana en América Latina seguramente tenga una capacidad inferior que otra de dimensiones geométricas iguales ubicada en Europa o Norteamérica.

2.10 Costo de congestión

Como se indica en (Muñoz Puentes, Pablo, 2014), estudios a nivel mundial han demostrado que los vehículos que ocasionan un mayor grado de congestión son los particulares, además, son los que tienen una mayor contribución a los costos sociales, considerando la relación del costo por persona con la participación del tipo de vehículo en la congestión. Para cada uno de los componentes del costo de congestión en el capítulo 3 se expone la metodología empleada para cuantificar los mismos.

2.10.1 Costo de Tiempo de Congestión

La demora en un tramo, es la diferencia entre el tiempo de recorrido a una velocidad media de referencia (sin congestión) y el recorrido a una velocidad media real. Ésta última se puede obtener en función de la intensidad de tránsito mediante una función intensidad – velocidad previamente calibrada para cada tipo de vía. También se puede obtener directamente con diversas mediciones realizadas con vehículos instrumentados a lo largo del día.

La necesidad de valorar económicamente las demoras o los ahorros de tiempo en proyectos de transporte y de entender el comportamiento de los usuarios ante diferentes alternativas de viajar, ha motivado la realización de diferentes estudios para determinar el valor que los viajeros asignan a un ahorro de tiempo o a una demora, y al valor que la sociedad debe utilizar para la evaluación socioeconómica de sus proyectos.

Según (Muñoz Puentes, Pablo, 2014) de acuerdo a diversos estudios realizados se ha llegado a la conclusión de que la valoración de un ahorro de tiempo es una variable aleatoria para cada individuo y tipo de viaje, y que para su análisis detallado se requiere agrupar a los usuarios en categorías de comportamiento similar. Con base en dichos estudios se suele asignar un valor medio por hora entre

el 20 y el 100 % del valor de la renta horaria, según el nivel de desarrollo de la ciudad siendo el valor más razonable el del 50 % de la renta (Small, 1992). Éstos son los valores que usualmente se utilizan en las evaluaciones de los costos de la congestión en las ciudades.

2.10.2 Costo de operación vehicular

El costo promedio de operación vehicular puede obtenerse a partir de registros contables estadísticos, o también de modelos computacionales (Mendoza, Alberto, 2005). El costo de operación vehicular asociado a la congestión, se obtiene de la diferencia entre el costo de operación vehicular a una velocidad de referencia considerada sin congestión y el costo de operación vehicular a una velocidad media real (Muñoz Puentes, Pablo, 2014), dicho de otra manera, comparando el costo de operar los vehículos en condiciones de flujo libre sin congestión con el costo de operar estos mismos vehículos bajo condiciones de congestión.

Dentro de los costos de operación se toman en consideración el consumo de combustible, lubricantes y mantenimiento.

2.10.3 Costo de Combustible

En el ámbito mundial, la energía consumida en el sector transporte corresponde a 48% de la demanda total de petróleo y se estima que llegue a los 77% en 2020 (Alcántara, 2010).

El consumo de combustible es un importante elemento dentro del costo de operación de un vehículo, que puede incluso, para algunos tipos de vehículos en algunas regiones, representar hasta el 50 % de los costos de transporte por unidad vehicular, (John Jairo Posada, 2013).

Según (Alcántara, 2010), el consumo de combustible tiene una relación potencial e inversa a la velocidad de circulación del vehículo; es decir, el consumo aumenta mucho cuando la velocidad se reduce, así mismo disminuye conforme la velocidad aumenta. El presente estudio se enfocará en la metodología de (Muñoz Puentes, Pablo, 2014).

2.10.4 Costo de Lubricantes

La lubricación de un vehículo es fundamental para el funcionamiento del mismo, los rodamientos de las ruedas, la transmisión, el diferencial, la caja de cambios y el motor, deben ser lubricados con los grados correctos de aceite o grasa recomendados por el fabricante.

Según las metodologías recogidas por Sarmiento y Robusté (1999), el consumo de lubricante es del 1,4% del consumo del combustible, por lo tanto resulta práctico considerar su costo en función del consumo de combustible.

2.10.5 Costo de Mantenimiento

Según (SUAREZ, 2007), el mantenimiento es el conjunto de actividades que permiten mantener un equipo, sistema o instalación en condición operativa, de tal forma que cumpla con las funciones para las cuales fueron diseñados y asignados. Aplicando esta definición a un vehículo, el mantenimiento consistiría en el conjunto de actividades que permiten mantener el vehículo en condición operativa.

Desde el momento de adquirir un vehículo, es necesario considerar el costo del mantenimiento que este implica, la función primordial del mantenimiento de un vehículo es asegurar la vida de los usuarios y la disponibilidad del mismo, muchas veces los trabajos correctivos suelen ser mucho más onerosos que el costo de un mantenimiento preventivo.

Cada fabricante extiende una lista de recomendaciones a seguir para los usuarios, así mismo cuenta con estándares que consisten en rutinas de mantenimiento que deben ser ejecutadas por personal calificado.

Una práctica en mantenimiento de vehículos es ejecutar los mismos en función de los kilómetros recorridos o en su defecto intervalos de tiempo, como se expone en la metodología adoptada por (Muñoz Puentes, Pablo, 2014), el cálculo del costo de mantenimiento se basó en la velocidad, tiempo y distancia recorrida por los vehículos.

2.11 Monografía de la Universidad de San Carlos de Guatemala

La Universidad de San Carlos de Guatemala, también conocida y llamada por sus siglas: USAC, es la única Universidad estatal y autónoma.

Fundada el 31 de enero de 1676 por Real Cédula de Carlos II es la cuarta universidad fundada en América; fue en la época de la revolución guatemalteca que se estableció su total autonomía, llegando a nivel constitucional.

La trascendencia de sus estudiantes y de la misma se ha visto reflejada en diferentes épocas de importancia en la historia del país, desde la independencia de Guatemala, revolución guatemalteca, el conflicto armado guatemalteco hasta la actualidad. Algunos de los pensadores más importantes de la historia de Guatemala se han formado en este centro de estudios.

2.11.1 Localización

Su sede principal se encuentra en la Ciudad Universitaria, zona 12 de la Ciudad de Guatemala, siendo el campus universitario más grande de Centroamérica. Cuenta además con centros universitarios en casi todas las regiones de Guatemala y un centro universitario metropolitano donde funciona la Facultad de Medicina y la Escuela de Psicología.

2.11.2 Ubicación Geográfica

El Campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala se encuentra ubicado en la zona 12 de la Ciudad de Guatemala, en el municipio y departamento de Guatemala. Se localiza en las coordenadas UTM 14 grados, 35 minutos 3,64 segundos, norte 90 grados 33 minutos 13,98 segundos, a una elevación de 1 485 metros sobre el nivel del mar.

2.11.3 Vías de acceso

En la actualidad la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el Campus Universitario de la Ciudad de Guatemala, cuenta con dos vías de acceso, una proveniente del Anillo Periférico y 11 avenida de la zona 12 y otra por la avenida Petapa, el campus alberga aproximadamente 105,598 estudiantes (Departamento de Registro y Estadística, USAC, 2017).

2.12 Marco Legal

El estado de Guatemala como parte de sus obligaciones tiene el garantizar la seguridad de las personas, tema que incluye todo lo relacionado a la libre circulación tanto de personas como vehículos, por lo tanto el Congreso de la república en el año de 1996 pone en vigencia el Decreto 132-96 “Ley de Tránsito” que da vida al acuerdo Gubernativo Número 273-98 que conforma el reglamento actual de tránsito.

Enfocados en el marco de esta investigación, en el artículo 112 del actual reglamento de tránsito, se exponen las velocidades máximas en área urbana:

- a) En autopistas, 90 kilómetros por hora.
- b) En vías rápidas, 80 kilómetros por hora.
- c) En arterias principales, 60 kilómetros por hora.
- d) En arterias secundarias, 50 kilómetros por hora.

e) En caminos y vías locales, 40 kilómetros por hora; y,

f) En vías residenciales de circulación controlada y zonas escolares, 30 kilómetros por hora.

Para vehículos pesados y aquellos que lleven remolques, se reducirá en 10 kilómetros por hora las velocidades máximas establecidas en los incisos anteriores.

Según el Inciso f del reglamento vigente de tránsito, para el ingreso a la ciudad Universitaria se establece una velocidad máxima de 30 Km/h.

2.13 Policía Municipal de Tránsito

El artículo 4 de la Ley de tránsito, indica que compete al Ministerio de Gobernación, por intermedio del Departamento de Tránsito de la Dirección General de la Policía Nacional el ejercicio de la autoridad de tránsito en la vía pública, salvo lo dispuesto en los artículos 8 y 9, los cuales permiten el ejercicio de la administración del tránsito a las municipalidades que cuenten con la capacidad de realizar dicha función.

En vista de lo anterior la Municipalidad de Guatemala, en el año 1998 crea la Policía Municipal de Tránsito, por sus siglas PMT, por el entonces alcalde metropolitano Óscar Berger Perdomo. Los objetivos por los cuales fue creada la PMT en ese entonces y vigentes en la actualidad son los siguientes:

- Supervisar y regular el tránsito en la ciudad.
- Montaje de operativos varios (alcoholímetros, carreras clandestinas, transporte pesado, etc.).
- Operativos de control de buses y taxis.
- Apoyo a eventos socioculturales, recreativos y deportivos.
- Ejecución de planes operativos y órdenes de servicio.
- Apoyo a infraestructura, señalización y cambios de vía.
- Prevención de accidentes y orientación a los conductores; en los cambios efectuados por la comuna.

La PMT funciona bajo la administración de EMETRA: Entidad Metropolitana Reguladora de Transporte y Tránsito del Municipio de Guatemala y sus áreas de influencia urbana. De la página web de la municipalidad de Guatemala se extrae la visión de la PMT:

Visión: Ser una Institución profesional en la regulación de los diferentes medios de transporte utilizando tecnología avanzada y con personal altamente calificado, en virtud de lograr la prestación eficiente de los servicios a corto, mediano y largo plazo en la Ciudad de Guatemala.

2.14 Unidad de Monitoreo del Tránsito USAC

El 14 de enero de 2018 dio inicio el funcionamiento de la sección de monitoreo del tránsito en la Universidad de San Carlos de Guatemala, esta unidad pertenece a la División de Servicios Generales de la universidad de San Carlos de Guatemala.

La nueva sección de Monitoreo del Tránsito en la universidad se creó con la finalidad de dignificar a los peatones y prioriza la movilidad integral dentro de la casa de estudios.

En el artículo de prensa libre del 20 de febrero expone: *“El 14 de enero empezó a funcionar la sección de monitoreo del tránsito en la Usac para proteger a los peatones.”*

La sección está formada por 30 personas que trabajan tiempo parcial en el campus universitario. La mayoría del personal labora por las tardes y noches porque es cuando hay más movimiento de personas.

Durante la ejecución del aforo vehicular en la presente investigación se pudo observar varios monitores viales dirigiendo el tránsito de personas y vehículos dentro de la Universidad, se observó que los monitores viales son los encargados de colocar y coordinar el carril reversible que inicia a funcionar a partir de las 19:00 horas de lunes a viernes.

Figura 3. Monitores viales dentro de la USAC, dirigiendo el tránsito



Fuente: Fotografía tomada por el autor, julio 2018.

3. METODOLOGÍA

El presente capítulo explica la metodología utilizada para plantear el problema investigado y la forma en que se integró y analizó la información, con la finalidad de abordar apropiadamente la problemática asociada a la congestión del tránsito vehicular durante el período de estudio.

El contenido incluye: La definición del problema; objetivo general, objetivos específicos; hipótesis y especificación de las variables; método científico; y, las técnicas de investigación documental y de campo utilizadas. En general, la metodología presenta una síntesis de los procedimientos empleados en el desarrollo de la investigación.

3.1 Definición del problema

El transporte a lo largo de la historia de la humanidad ha sido un pilar fundamental del desarrollo económico, acompañado de este crecimiento económico y del crecimiento poblacional han surgido nuevos retos y problemáticas para la sociedad (Thomson & Bull, 2001), como consecuencia de este crecimiento en Guatemala se ha evidenciado un aumento en la demanda de transporte, que acompañado de una deficiente planificación vial han ocasionado en toda la ciudad de Guatemala una mayor congestión del tránsito vehicular, que a su vez provocan demoras y contaminación.

Dicha congestión se traduce en sobrecostos que repercuten en la economía de los individuos, y que generalmente no son percibidos ni cuantificados por los usuarios, y en el peor de los casos no son tomados en cuenta por las autoridades (Muñoz Puentes, Pablo, 2014).

Debido a que la ciudad Universitaria, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se encuentra localizada dentro de la Ciudad de Guatemala, los estudiantes y cualquier persona que desee ingresar a la casa de estudios, estarán sujetos a las inconveniencias de la congestión del tránsito vehicular que existe en la ciudad de Guatemala.

Un artículo de prensa libre en el año 2017 expone “Un estudiante que asiste a clases en automóvil al campus central de la USAC puede tardar hasta 40 minutos en ingresar o salir del lugar, en horas pico de la tarde y noche” (Pitán, 2017), situación que también ha sido experimentada por el autor de esta investigación. .

3.1.1 Delimitación del Problema

La presente investigación tiene como marco geográfico y espacio temporal de análisis, la congestión vial del acceso a la ciudad Universitaria por el Anillo Periférico y 11^a. Avenida del Boulevard

Universitario de la zona 12, de la ciudad de Guatemala, durante el horario de ingreso a la jornada nocturna, estimado de 17:00 horas a 19:00 horas y el horario de ingreso del día sábado estimado de 07:00 a 09:00 horas durante el mes de julio 2018.

Delimitando la investigación a un conjunto de individuos, la presente investigación se enfoca en las personas que ingresan con un vehículo a la ciudad Universitaria dentro del marco geográfico y tiempo del estudio.

Basándose en el enfoque de (Ian Thomson, 2001), en el que indica es posible analizar los efectos de la congestión mediante el desglose de su costo en dos componentes, costo de tiempo personal y los costos operacionales de los vehículos; esta investigación centrará su análisis en estos componentes. Para llevar a cabo esta tarea será necesario analizar factores como: el flujo de vehículos que transitan la vía durante el tiempo establecido de análisis y las causas del congestionamiento que incidan en los componentes del costo de congestionamiento

3.2 Objetivos

Los objetivos constituyen los propósitos o fines de la presente investigación, en la que se plantean objetivos generales y específicos.

3.1.2 Objetivo General

Contribuir al conocimiento del impacto del costo de congestión vial en el gasto de transporte de los usuarios, a través de sus componentes costo de operación vehicular y costo de tiempo, ocasionado por el tránsito vehicular de la vía de acceso a la Universidad de San Carlos de Guatemala, durante el mes de julio 2018.

3.1.3 Objetivos específicos

- a) Analizar el flujo de vehículos que transitan la vía de acceso a la Universidad de San Carlos de Guatemala, por el Anillo Periférico y 11^a. Avenida del Boulevard Universitario de la zona 12, de la ciudad de Guatemala, durante el mes de julio 2018.
- b) Identificar las causas de la congestión del tránsito vehicular que tienen mayor impacto en el tiempo de viaje en el ingreso a la Universidad de San Carlos de Guatemala, por el Anillo Periférico y 11^a. Avenida del Boulevard Universitario de la zona 12, durante el mes de julio 2018.

- c) Analizar el costo de tiempo ocasionado por el congestionamiento del tránsito vehicular en la vía de acceso por el Anillo Periférico y 11ª. Avenida del Boulevard Universitario de la zona 12, durante el mes de julio 2018.
- d) Analizar el costo operacional ocasionado por el congestionamiento del tránsito vehicular en la vía de acceso por el Anillo Periférico y 11ª. Avenida del Boulevard Universitario de la zona 12, durante el mes de julio 2018.

3.3 Hipótesis

Hi: El costo de congestión del tránsito vehicular que se experimenta durante las horas pico en el ingreso a la Universidad de San Carlos de Guatemala, por el Anillo Periférico y 11ª. Avenida del Boulevard Universitario de la zona 12, durante el mes de julio 2018, representa un incremento significativo en el gasto de transporte para los usuarios de esta vía.

3.3.1 Especificación de variables

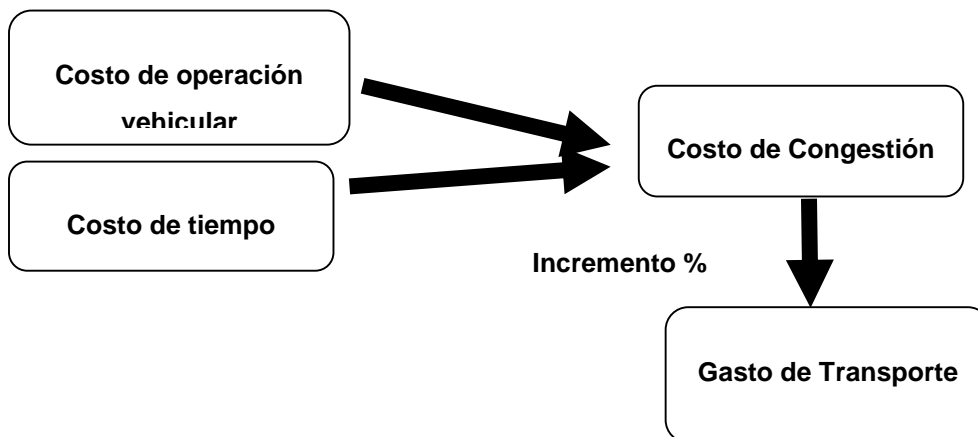
Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Pilar Baptista, 2014), la Hipótesis planteada se considera causal multivariada, que establece una relación de causalidad entre las variables, costo de operación vehicular, costo de tiempo, costo de congestión y gasto de transporte, representada de la siguiente manera:

VARIABLES INDEPENDIENTES

Costo de operación vehicular; Costo de tiempo

VARIABLES DEPENDIENTES

Costo de congestión; Gasto de transporte



3.4 Método científico

La presente investigación se desarrollará bajo el enfoque cuantitativo, que implica la utilización del método deductivo. Dado que su alcance será explicativo, el diseño de la investigación será de tipo no experimental, transversal.

3.4.1 Determinación de la unidad de Análisis

La unidad de análisis seleccionada corresponde a los vehículos que ingresan a la Universidad de San Carlos de Guatemala, durante el período determinado por la investigación, dado que la unidad de análisis se ve afectada por el flujo vehicular, se utilizará el criterio de la metodología establecida para el cálculo del flujo vehicular como criterio de selección de la muestra.

3.4.1.1 Localización y ubicación del tramo de estudio

El tramo de estudio se encuentra delimitado en el ingreso a la ciudad universitaria por la 11 av. del Boulevard Universitario de la zona 12 desde el punto A localizado en el mapa mostrado en la figura 4, con coordenadas $14^{\circ}35'28.064''N$, $90^{\circ}33'4.575''W$, que corresponden al poste de cableado de líneas telefónicas y servicio de cable TV no. 702096, por la vía de acceso hasta el punto B, localizado en portón de ingreso a la ciudad universitaria con coordenadas $14^{\circ}35'23.348''N$, $90^{\circ}33'5.097''W$, donde se ubicó la estación de conteo vehicular. Se determinaron estos puntos de referencia para el tramo de estudio debido a la facilidad que presentaron en la ubicación visual de los vehículos, objeto de estudio, desde la estación de conteo, así como también para lograr el mejor enfoque posible con la cámara de video.

Figura 4: Mapa del tramo de estudio



Fuente: Ubicación del tramo de estudio, Elaboración propia, (Google Earth.) Mapa: consultado el 16 de julio de 2018.

3.5 Técnicas de investigación aplicadas

Las técnicas son reglas y operaciones para el manejo de los instrumentos en la aplicación del método de investigación científico. Las técnicas de investigación documental y de campo aplicadas en la presente investigación, se refieren a lo siguiente:

3.5.1 Técnicas de investigación documental

Se realizó una revisión de la literatura, utilizando técnicas de lectura analítica, subrayado, fichas bibliográficas, resúmenes y citas entre otras. Se recabó la información para el desarrollo de los antecedentes, estos desde una perspectiva teórica y desde la perspectiva del objeto de estudio. Así mismo la revisión de la literatura generó la base para la definición del marco teórico correspondiente.

La revisión documental aportó también las bases para realizar el análisis de la investigación de campo, debido a que recabo información estadística de tablas y cuadros de información poblacional,

propiedad del Instituto Nacional de Estadística (INE), así mismo de los precios de combustible y lubricantes que requirió obtener la investigación.

Las técnicas de investigación documental se aplicaron durante el desarrollo del estudio, en combinación con la investigación de campo, para sustentar teóricamente los análisis y resultados.

3.5.2 Técnicas de investigación de campo

Tomando en cuenta la unidad de análisis, período a investigar y el ámbito geográfico, las técnicas e instrumentos de campo que se utilizarán para desarrollar la investigación se detallan a continuación:

3.5.2.1 Aforo vehicular

Debido a que el aforo vehicular se debe medir en la vía de acceso, este se determinó bajo la metodología de mediciones manuales aplicada a una estación de conteo de tránsito tipo B, utilizando técnicas de cronometraje y toma de datos directos, dentro del período de análisis.

Con la finalidad de proporcionar los elementos a considerar en el cálculo y determinación del aforo vehicular del tramo en estudio, basados en (Julianne, 2015), el Manual HCM 2000, y (Corea y Asociados, S.A, 2008) se determinan las siguientes formulas:

3.5.2.1.1 Volumen de tránsito

Consiste en determinar la cantidad de vehículos que circulan en un determinado intervalo de tiempo:

Ecuación 1:

$$Q = \frac{N}{T}$$

Donde:

Q = Volumen del tránsito (vehículos/período)

N = Número total de vehículos

T = Período de tiempo (horas, minutos, segundos)

3.5.2.1.2 Flujo vehicular

La distinción entre volumen y tasa de flujo es importante, según el manual de capacidad de carreteras HCM 2000, volumen es el número de vehículos observados o predichos que pasan un punto durante un intervalo de tiempo, y la tasa de flujo representa el número de vehículos que pasan por un punto durante un intervalo de tiempo menor a una hora, pero expresado en una razón equivalente a una hora.

De esta manera podemos obtener la tasa de flujo para cada hora de estudio, considerando el intervalo de volumen pico de 15 minutos observado durante cada hora.

Ecuación 2:

$$V = \frac{v_{\max}}{0.25}$$

Donde:

V = Flujo vehicular expresado en vehículos por hora (Veh/h)

v_{\max} = Volumen pico de vehículos observado en intervalo de 15 minutos.

3.5.2.1.3 Velocidad promedio de viaje

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

Ecuación 3:

$$S = \frac{L}{t_a}$$

Donde:

S = Velocidad promedio del viaje (km/h)

L = Longitud del tramo de carretera (km)

t_a = Tiempo promedio de viaje en el tramo.

3.5.2.1.4 Densidad

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

Ecuación 4:

$$D = \frac{V}{S}$$

Donde:

D = Densidad

v = Razón de flujo (veh p/h).

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

3.5.2.1.5 Recursos utilizados para efectuar el aforo vehicular

Para efectuar adecuadamente el aforo vehicular durante el período de análisis fue necesario utilizar los siguientes recursos:

Aforistas: conformado por 2 estudiantes de Ingeniería de la Universidad San Carlos de Guatemala, cursando el segundo año de estudios, que colaboraron en el aforo vehicular efectuado. Siendo estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial y Civil cuentan con la base de conocimientos necesaria en toma de datos y pensamiento estructurado, que requiere la función del conteo vehicular.

Cámara semi-profesional: se utilizó una cámara Marca Sony, modelo ILCE-5000 de 20.1 Mega-pixeles, con capacidad de toma de video capaz de captar la longitud del tramo de estudio.

Figura 5. Cámara semi-profesional Marca Sony



Fuente: Fotografía tomada por el autor, julio 2018.

Útiles y accesorios: a cada aforista se dotó de una tabla porta hojas, lápiz, borrador y los formatos correspondientes de toma de datos y tiempos.

Cronómetro: para la toma de los tiempos de viaje de los usuarios se utilizó el cronómetro incorporado en un teléfono digital marca Samsung, modelo A5 año 2018.

Cinta métrica: para medir el ancho de calzada y el tramo de estudio, se utilizó una cinta métrica con una capacidad de 50 metros, marca Komelon, modelo KMC-330.

Carta del director de Escuela de Estudios de Postgrado: exponiendo el motivo del estudio efectuado ante la EMETRA para poder utilizar el punto seleccionado para la toma de datos del aforo vehicular.

3.5.2.2 Costo de Congestión

Debido a que el interés de la presente investigación se enfocó en determinar los costos generados a causa de la congestión del tránsito vehicular, se utilizó la metodología empleada en (Muñoz Puentes, Pablo, 2014), que considera tanto el desgaste de los componentes de los vehículos como el costo del tiempo de los ocupantes.

A continuación se presentan las ecuaciones que se utilizaron para obtener los valores monetarios de los componentes del costo de congestión:

Para facilitar la comprensión de las siguientes ecuaciones se presenta un listado de las variables que intervienen en ellas:

C_c = Costo de congestión vehicular

C_o = Costo de operación vehicular.

C_t = Costo de tiempo de los ocupantes

C_g = Costo de combustible.

C_m = Costo de mantenimiento.

C_l = Costo de lubricante.

P_g = Precio de combustible sin impuestos.

P_l = Precio del lubricante sin impuestos.

T_c = Tiempo de duración de la congestión.

Q_{ijk} = Número promedio de vehículos tipo k por hora.

Q_{60} = Consumo de combustible promedio da 60 km/h, equivalente a 8.2lt/100 km según la metodología de (Muñoz Puentes, Pablo, 2014).

Q_{ijk} = Número promedio de vehículos tipo k por hora en el tramo de estudio.

V_{ijk} = Velocidad de congestión en el tramo de estudio.

L_{ij} = Longitud del tramo de estudio.

α_k = Valor del tiempo de los usuarios (conductores).

V_{rij} = Velocidad de referencia de los vehículos en el tramo de estudio.

n_k = Factor de ocupación media de los vehículos.

Dada la definición de costo de congestión este queda representado por la suma del costo de tiempo y el costo de operación vehicular en la ecuación 5:

Ecuación 5

$$C_c = C_o + C_t$$

3.5.2.3 Costo de la demora (costo del tiempo)

La metodología más usual para evaluar los costos de congestión es delimitar un nivel de referencia definido por una velocidad de base por debajo de la cual se considera que se opera bajo condiciones de congestión (Muñoz Puentes, Pablo, 2014). La ecuación 6, define el costo de tiempo de los ocupantes de la siguiente manera:

Ecuación 6

$$C_t = L_{ij} T_c \sum_{k=1}^k \alpha_k Q_{ijk} n_k \left(\frac{1}{V_{ijk}} - \frac{1}{V_{rij}} \right)$$

3.5.2.4 Costo de operación vehicular

Los costos de operación se evalúan tomando como base los costos por consumo de combustible en relación con una velocidad de referencia, considerada sin los efectos de la congestión. Al existir congestión la velocidad de los vehículos disminuye y los costos de operación se incrementan debido al mayor consumo de combustible, lubricantes y otros costos asociados al mantenimiento de los vehículos. Siguiendo la metodología de (Muñoz Puentes, Pablo, 2014). Los costos de operación se obtuvieron de la sumatoria del costo de combustible, costo de mantenimiento y costo de lubricantes.

Ecuación 7

$$C_o = C_g + C_m + C_l$$

3.5.2.4.1 Costo de Combustible

El costo del consumo de combustible debido a los efectos de la congestión se obtiene de la ecuación 8.

Ecuación 8

$$C_{gt} = P_g T_c Q_{ijk} C_{60} \left(0.8 + \frac{12.66}{V_{ijk}} \right) L_{ij}$$

La expresión encerrada en paréntesis $(0,8 + 12,66/ V_{ijk})$ es un factor de conversión aplicado para distintas velocidades en (Muñoz Puentes, Pablo, 2014).

3.5.2.4.2 Costo de Lubricantes

El costo del consumo de lubricante debido a los efectos de la congestión, expresado en función del consumo de lubricante se obtiene de la ecuación 9.

Ecuación 9

$$C_{gt} = P_l 0.014 T_c Q_{ijk} C_{60} \left(0.8 + \frac{12.66}{V_{ijk}} \right) L_{ij}$$

Como se mencionó anteriormente según la metodología elegida el consumo de lubricante se considera en función del costo del combustible en una razón de 1.4%.

3.5.2.4.3 Costo de Mantenimiento

Según la metodología expuesta por (Muñoz Puentes, Pablo, 2014) el costo de mantenimiento se puede calcular de acuerdo a la velocidad según la ecuación 10:

Ecuación 10

$$C_{gt} = 360 V_{ijk}^{-0.44} L_{ij} Q_{ij} T_c$$

Dado el valor de \$360 surge de convertir una constante de 24 pesetas en pesos Colombianos, fue necesario efectuar la conversión de esta constante de \$360 pesos colombianos en unidades monetarias de Guatemala (Quetzales) para aplicarla en este estudio.

3.6 Resumen del procedimiento usado en el desarrollo de la investigación

La presente investigación utilizó varias herramientas y técnicas durante su elaboración, para ayudar al lector a comprender cómo se aplicaron las mismas, a continuación se presenta un resumen del procedimiento utilizado en el desarrollo de la investigación:

3.6.1 Bitácora del aforo vehicular

A continuación se describen las diferentes actividades que se realizaron en el tramo en estudio para elaborar el aforo vehicular:

Formato de formularios: se elaboraron los formatos para el conteo manual y clasificación de vehículos, con base al formato utilizado por la Dirección General de Caminos.

Revisión de formatos: se revisaron los formatos para garantizar que pudieran ser llenados eficientemente por los aforistas.

Impresión e identificación de formularios: se realizaron las impresiones y luego se identificaron.

Visita de campo: Se realizó una visita preliminar al boulevard de ingreso a la ciudad universitaria, se escogió el área que permitiera enfocar con la cámara el tramo de estudio, así mismo permitiera a los aforistas visualizar los vehículos y contabilizar adecuadamente los mismos.

Capacitación aforistas: Se citó al personal el día de la prueba piloto y se les explicó en qué consistía el conteo vehicular, el horario que comprendía; cuáles son los tipos de vehículos de acuerdo a su clasificación. Forma de estructuración del formato, para anotar adecuadamente la información de los vehículos que circulaban.

Prueba piloto: se procedió a efectuar una prueba piloto el día sábado 14 de julio de 2018, con el afán de evidenciar mejoras en el proceso de toma de datos, se determinaron mejoras a los formatos en cuanto a espacio para contabilizar los vehículos, así mismo se procedió a realizar una calibración del personal con duración de una hora, tiempo que le llevó al personal para comprender el procedimiento adecuado de la toma de datos para evitar errores durante los días de aforo.

Realización del aforo: el aforo vehicular se efectuó durante 6 días, del lunes 16 de julio al viernes 20 de julio se efectuó de 17:00 a 19:00 horas, el día sábado se efectuó de 07:00 a 08:00 horas, todos los días se inició 15:00 minutos antes de la hora indicada para preparar los instrumentos. Durante el aforo tanto personal de seguridad de la Universidad de San Carlos de Guatemala, como personal de EMETRA consultaron si se tenían los permisos para efectuarlo, se les mostró la carta proporcionada por el director de la Escuela de Estudios de postgrado.

La cámara fotográfica semi-profesional marca Sony se utilizó como soporte y complemento del aforo vehicular, se utilizó para toma de fotografías y video que le sirvieron al autor para analizar a detalle la información recopilada, fue de vital importancia además para determinar las causas de la congestión vehicular durante el período de análisis. A continuación se muestra la figura 6 que muestra a los aforistas en la toma de datos efectuada durante julio 2018.

Figura 6. Aforistas durante el aforo vehicular, julio 2018



Fuente: Fotografía tomada por el autor, julio 2018.

3.6.2 Tabulación de datos del aforo vehicular

Posterior a la ejecución del aforo vehicular se procedió a tabular la información recopilada utilizando el software de Microsoft Office 360 por medio de hojas electrónicas en Excel y Microsoft Word.

Utilizando Microsoft Excel y aplicando la metodología descrita anteriormente se procedió a obtener los resultados del aforo vehicular que, posteriormente se utilizaron como base para obtener los costos de congestión, en el capítulo 4 se exponen los resultados obtenidos en forma de tablas y gráficas.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El presente capítulo expone el análisis y discusión de los resultados obtenidos como fruto de la investigación, en primer lugar presenta los resultados del aforo vehicular que conformaron el flujo vehicular, los tiempos de viaje observados, la densidad, así mismo presenta una caracterización de los vehículos observados, de esta parte resalta destacar la obtención de las horas pico de tránsito vehicular durante el período de estudio.

La segunda parte está compuesta por los resultados de la congestión y sus costos, que sirvieron para someter a prueba la hipótesis del autor, se exponen y se discuten además las causas de la congestión obtenidas como resultado de la observación del aforo vehicular, el capítulo finaliza con dos análisis que soportan las conclusiones del autor: un análisis del costo de congestión por incremento de tiempos de congestión y un análisis de sensibilidad a la velocidad máxima permitida en el tramo de estudio.

4.1 FLUJO VEHICULAR

Para poder determinar los costos de congestión fue necesario efectuar previamente un aforo vehicular, este constituye la parte medular del análisis de esta investigación.

4.1.1 Aforo Vehicular

A continuación se presenta el resumen de los resultados del aforo vehicular efectuado durante el período de estudio determinado:

4.1.1.1 Recorrido

Tabla 1. Recorrido comprendido por el tramo de estudio y ancho de carriles, metros.

Distancia medida tramo A-B (mts)	147.06
Ancho de 2 carriles (mts)	6.50

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

La distancia total a recorrer fue medida a lo largo del tramo vial que transitaron los vehículos que ingresaron al campus Universitario por la vía de estudio. Véase figura 4. Tramo de estudio. Basados en el ancho de calzada se puede determinar que la vía de acceso corresponde a una carretera tipo B.

4.1.1.2 Volumen vehicular observado

A continuación se muestran los resultados del conteo de vehículos que transitaron por el tramo de estudio durante intervalos de 15 minutos según la metodología empleada por el HCM 2000.

Tabla 2. Resultados del conteo vehicular, cantidad de vehículos, días lunes a viernes.

Intervalo	16/07/2018	17/07/2018	18/07/2018	19/07/2018	20/07/2018	Promedio del Intervalo
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	
17:00 - 17:15	320	440	352	387	351	370
17:15 - 17:30	402	512	368	422	359	413
17:30 - 17:45	492	459	461	413	407	446
17:45 - 18:00	468	368	402	336	365	388
18:00 - 18:15	199	262	341	207	288	259
18:15 - 18:30	375	182	205	148	247	231
18:30 - 18:45	142	147	125	84	147	129
18:45 - 19:00	131	119	80	114	113	111
Totales	2529	2489	2334	2111	2277	2348

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

De la tabla 2 y gráfico 1 se observó el comportamiento del volumen de vehículos que ingresaron desde las 17:00 horas hasta las 19:00 horas durante los días lunes 16 de julio a viernes 20 de julio en intervalos de 15 minutos. El pico más alto se muestra el día martes 17 de julio en el intervalo de 17:15 a 17:30 horas con 512 vehículos observados, sin embargo al determinar el promedio por intervalos de tiempo, se muestra que el mayor flujo se encuentra de 17:30 a 17:45 horas de lunes a viernes, con 446 vehículos en promedio.

Tabla 3. Resultados conteo vehicular día sábado.

Intervalo	21/07/2018
	Sábado
07:00 - 07:15	454
07:15 - 07:30	346
07:30 - 07:45	435
07:45 - 08:00	516
08:00 - 08:15	327
08:15 - 08:30	443
08:30 - 08:45	424
08:45 - 09:00	232
Total	3177
Promedio	397

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

En la tabla 3 y gráfico 1 se observó el volumen de vehículos que ingresaron el día sábado 21 de julio de 07:00 horas a 09:00 horas, como se mencionó anteriormente se incorporó el día sábado al estudio debido a que muchas de las facultades y unidades de la Universidad tienen actividades que además de la jornada de lunes a viernes incluyen la jornada del día sábado por la mañana. El día sábado se puede visualizar un pico en el volumen de vehículos, en el intervalo de 7:45 a 08:00 horas con 516 vehículos, levemente mayor al pico observado durante la semana de 512 vehículos.

A partir de las 18:00 horas se observa un decremento en la cantidad de vehículos que ingresan sucesivamente hasta las 19:00 horas, horario en el que se habilita el carril reversible por los monitores viales de la Unidad de Monitoreo de Tránsito de la Universidad de San Carlos de Guatemala en coordinación con EMETRA, así mismo a partir de las 19 horas ya no es permitido el ingreso a la Universidad por la 11ª. Avenida del Boulevard Universitario, Véase Figura 7. El carril reversible funciona de lunes a viernes en horario de 19:00 a 21:00 horas.

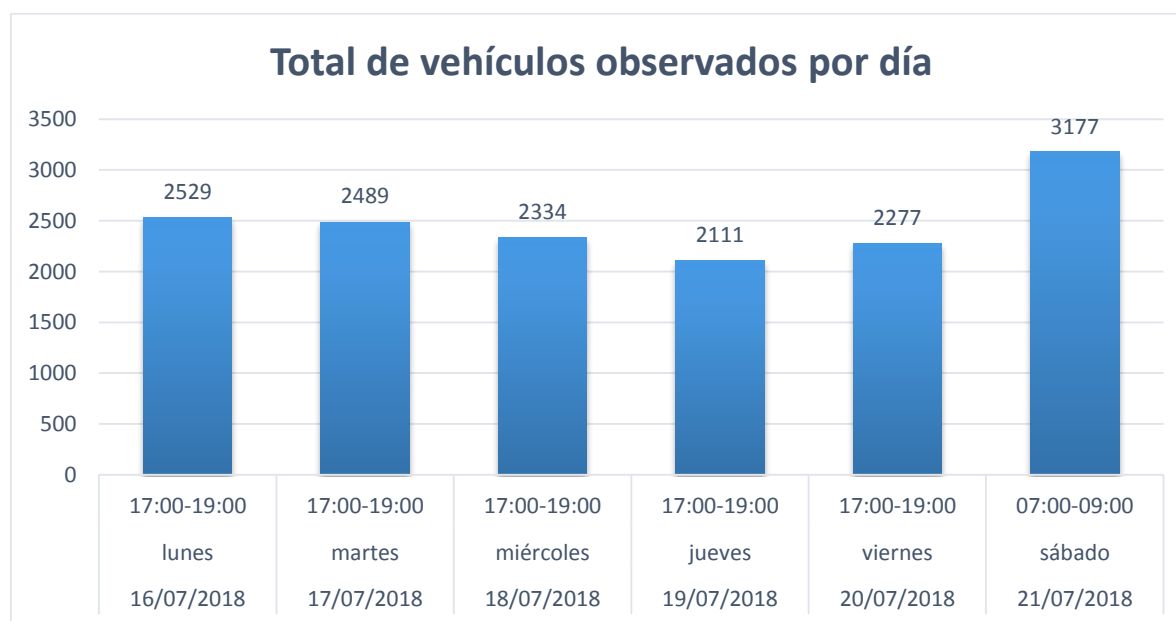
Figura 7. Momento de inicio de carril reversible por 11av. del Boulevard Universitario de la zona 12.



Fuente: Fotografía tomada por el autor, julio 2018.

A continuación se presenta el gráfico 1, que muestra el total de vehículos observados por día.

Gráfico 1. Cantidad de vehículos observados por cada día de estudio en el horario establecido.



Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Al observar el gráfico 1, se determinó que el día sábado presento un mayor volumen de vehículos ingresados, con un total de 3,177 vehículos, dados los intervalos de tiempo son de 2 horas completas para todos los días en horarios de ingreso, los volúmenes son comparables.

Al analizar la capacidad de la vía de acceso se determinó que la cantidad de vehículos observado diariamente en promedio representa más del 78% de su capacidad, dado una carretera tipo B está diseñada para ser transitada por un máximo de 3,000 vehículos diarios, si en tan solo 2 horas de estudio se pudieron observar más de 2,000 vehículos diarios, es un hecho que diariamente se sobrepasa su capacidad, considerando que existe una afluencia similar de vehículos en la jornada diurna.

4.1.1.3 Tasa de flujo vehicular o razón de flujo

Según la conceptualización de fórmulas para el aforo vehicular, a continuación se expone el cálculo del flujo para el intervalo de 17:00 horas a 18:00 horas del día lunes 16 de julio, como ejemplo de cálculo.

De la tabla 2 se determina que el volumen pico corresponde al intervalo de 17:30 a 17:45 con un valor de 492 vehículos, por lo tanto se procedió a calcular el flujo vehicular de la siguiente manera:

Aplicando ecuación 2 (véase metodología) se tiene:

$$V = \frac{v_{\max}}{0.25} = \frac{492}{0.25} = 1968 \text{ veh/h}$$

Para el día lunes 16 de julio, en horario de 17:00 a 18:00 horas se obtiene un flujo vehicular de 1,968 vehículos por hora.

Para determinar el volumen en cada intervalo de una hora se procedió a efectuar la suma aritmética de la cantidad de vehículos por intervalo de 15 minutos, de esta manera para el intervalo de 17:00 a 18:00 horas del día lunes 16 de julio se tiene:

De la tabla 2 se procede a sumar: $320 + 402 + 492 + 468 = 1,682$ vehículos.

A continuación la Tabla 4 y 5 muestran los resultados del volumen de vehículos y el flujo vehicular obtenidos durante el período de estudio.

Tabla 4. Flujo y volumen vehicular obtenidos para los días lunes a miércoles.

Descripción (Veh/h)	16/07/2018		17/07/2018		18/07/2018	
	Lunes		Martes		Miércoles	
	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00
Flujo	1968	1500	2048	1048	1844	1364
Volumen	1682	847	1779	710	1583	751

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Tabla 5. Flujo y volumen vehicular obtenidos para los días jueves a sábado

Descripción (Veh/h)	19/07/2018		20/07/2018		21/07/2018	
	Jueves		Viernes		Sábado	
	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	07:00 - 08:00	08:00 - 09:00
Flujo	1688	828	1786	1152	2064	1772
Volumen	1558	553	1482	795	1751	1426

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

De las tablas 4 y 5, se pudo determinar que, de lunes a viernes en el intervalo horario de 17:00 a 18:00 horas se observó el mayor volumen y consecuentemente el mayor flujo vehicular, por lo tanto se determinó que la hora pico se establece de 17:00 a 18:00 horas de lunes a viernes. Al comparar los valores de volumen y flujo para cada día se estableció que la hora pico con mayor flujo y volumen correspondió al día martes 17 de julio reportando 1,779 vehículos y un flujo de 2,048 veh/h.

El día sábado se observó que el mayor volumen correspondió al horario de 07:00 a 08:00 horas con un volumen de 1,751 vehículos y un flujo de 2,064 veh/h. Por lo tanto se estableció la hora pico días sábados de 07:00 am a 08:00 horas.

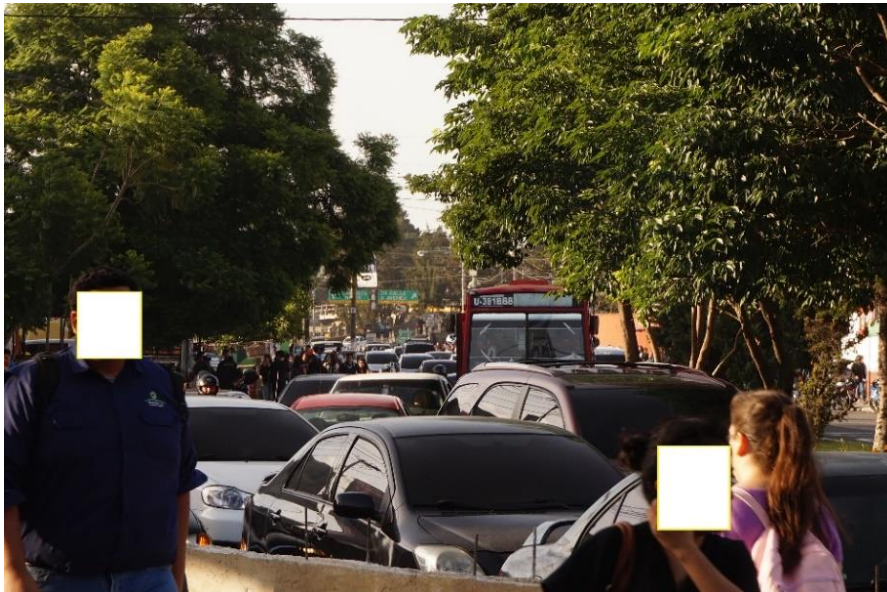
A continuación las figuras 8 y 9 muestran fotografías tomadas el martes 17 y sábado 21 de julio de 2018, durante la hora pico respectivo para cada día. Para mantener la privacidad y seguridad de los transeúntes, se ocultaron los rasgos faciales de las personas capturadas en las fotografías.

Figura 8. Congestión observada el día martes 17 de julio durante hora pico.



Fuente: Fotografía tomada por el autor, julio 2018.

Figura 9. Congestión observada el día sábado 21 de julio durante hora pico.



Fuente: Fotografía tomada por el autor, julio 2018.

4.1.1.4 Tipos de los vehículos observados durante hora pico.

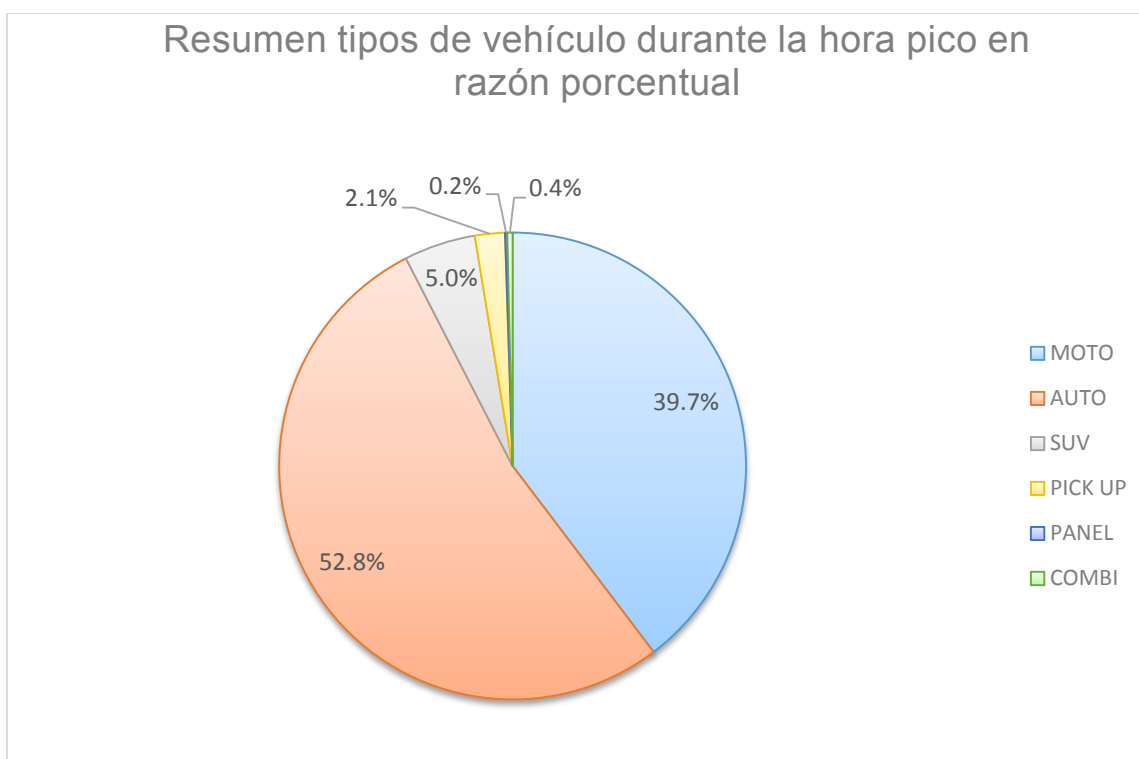
Según la clasificación vehicular establecida por la Dirección General de Caminos (DGC), y el alcance de esta investigación se presenta a continuación, el volumen de vehículos observado según su tipo durante la hora pico determinada para cada día de estudio.

Tabla 6. Volúmenes de vehículos según su tipo durante la hora pico, cantidad de vehículos.

Tipo de Vehículo	16/07/2018	16/07/2018	16/07/2018	16/07/2018	16/07/2018	16/07/2018	Total por Tipo
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	
Motocicleta	739	779	650	687	619	428	3902
Automóvil	824	901	857	774	802	1032	5190
SUV	87	66	39	53	29	214	488
Pickup	30	27	30	32	25	60	204
Panel	0	1	4	1	4	5	15
Bus Combi	2	5	3	11	3	12	36
Totales	1682	1779	1583	1558	1482	1751	9835

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Gráfico 2. Tipo de vehículos observados durante la hora pico, expresado en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Del gráfico 2, se determinó que el 52.8% de los vehículos que ingresaron durante las horas pico de cada día corresponden a vehículos tipo automóvil liviano, el 39.7% corresponde a motocicletas, dado los buses urbanos y extraurbanos no pueden ingresar al campus universitario, los únicos buses que ingresan son de carácter particular de personas que prestan servicio de transporte privado a estudiantes y personal de la Universidad, los cuales representan tan solo el 0.4% de los vehículos que ingresaron. Los vehículos tipo utilitario deportivo, por sus siglas en inglés SUV corresponden al

5% de los vehículos que ingresaron, este tipo de vehículo puede sumarse a la clasificación de automóvil liviano de la Dirección General de Caminos, pues pertenecen a la misma clasificación.

4.1.1.5 Sobre los ocupantes de los vehículos

Durante el período de estudio se procedió a efectuar toma de video de los vehículos que ingresaron a la Universidad por la vía de acceso de estudio, se procedió a enfocar el tramo de análisis, véase figura 10, esto con la finalidad de poder esclarecer cualquier inquietud en la determinación del volumen y tiempo de viaje, así mismo poder determinar la cantidad de ocupantes por vehículo.

Partiendo de la experiencia vivida por el autor y las reproducciones de los videos tomados, se observó que la mayoría de vehículos que ingresaron cuentan con polarizado en sus vidrios, dada la situación país que tenemos en materia de inseguridad la mayoría de personas con un vehículo opta por el polarizado en las ventanas, como lo expone el artículo del periódico electrónico soy 502 (Echeverría, 2017): *“La inseguridad se apoderó de las ventanas y la delincuencia común se nos hizo tan común que nos dictó las reglas: el carro debe tener el polarizado más oscuro, que no se vea nada desde fuera, hay que tener un celular de repuesto, y mejor si se tiene cerradura central para echar llave con un solo botón.”* . Como se observa en la figura 10 el polarizado impide contabilizar con certeza los ocupantes de un vehículo.

Figura 10. Vehículos observados con vidrios polarizados



Fuente: Fotografía tomada por el autor, julio 2018.

A continuación se muestra la tabla 7. Que expone los resultados obtenidos de la cantidad de vehículos a los que fue posible contabilizar sus ocupantes, para una muestra obtenida del día lunes 16 de julio durante la hora pico.

Tabla 7. Conteo de vehículos con cantidad de ocupantes observados, día lunes 16 de julio durante hora pico.

Intervalo	16/07/2018 (Vehículos contabilizados con cantidad de ocupantes)					
	1 Persona	2 Personas	3 Personas	4 o + Personas	Total vehículos	Volumen total
17:00-18:00	80	23	1	0	104	1682
Porcentaje	77%	22%	1%	0%	6.18%	100%

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

En la tabla 7 se observó que durante la hora pico determinada, del día lunes 16 de julio, solamente fue posible contabilizar los ocupantes de 104 vehículos del total de 1,682 vehículos, que corresponde solamente el 6.18% de la totalidad de vehículos, adicionalmente se pudo determinar que el 77% de los vehículos a los que fue posible contabilizar la cantidad de ocupantes, solamente contaban con el conductor como ocupante. El mismo comportamiento se observó el resto de los días de estudio.

Debido a la limitación que los vehículos con vidrios polarizados ofrecieron para poder contabilizar los ocupantes, así mismo los resultados obtenidos de la muestra del día 16 de julio, este estudio utilizó un factor de ocupación media (n_k) de los vehículos de 1 ocupante, $n_k=1$.

4.1.1.6 Tiempo de viaje observado de los vehículos

De acuerdo a la metodología empleada en el manual HCM 2000, la tabla 8 y 9 muestran los promedios de tiempo de viaje durante intervalos de 15 minutos a lo largo del período de estudio.

Tabla 8. Promedios de tiempo de viaje observado en intervalos de 15 minutos, tiempo en segundos, días lunes a viernes.

Intervalo	16/07/2018	17/07/2018	18/07/2018	19/07/2018	20/07/2018	Promedio lunes a viernes
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	
17:00 - 17:15	22.87	19.82	23.89	20.99	23.68	22.25
17:15 - 17:30	19.18	19.39	20.84	19.44	24.43	20.66
17:30 - 17:45	18.29	15.88	22.54	21.93	29.59	21.65
17:45 - 18:00	21.16	16.55	23.12	14.44	28.20	20.69
18:00 - 18:15	17.19	10.77	14.23	9.12	25.80	15.42
18:15 - 18:30	9.59	8.47	11.83	10.56	18.44	11.78
18:30 - 18:45	7.63	7.85	10.34	7.24	9.33	8.48
18:45 - 19:00	7.88	7.82	10.46	7.15	11.77	9.02

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Tabla 9. Promedios de tiempo de viaje observado en intervalos de 15 minutos, tiempo en segundos, día sábado.

Intervalo	21/07/2018
	Sábado
07:00 - 07:15	48.76
07:15 - 07:30	42.46
07:30 - 07:45	45.13
07:45 - 08:00	46.69
08:00 - 08:15	43.93
08:15 - 08:30	32.40
08:30 - 08:45	22.20
08:45 - 09:00	16.22

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

De las tablas 8 y 9, se pudo determinar un mayor tiempo de viaje promedio por vehículo para los intervalos de 17:00 horas hasta las 18:00 horas, intervalos en los que también se encontró un mayor flujo y volumen vehicular, de la misma manera se observó para el día sábado en los intervalos de 07:00 a 08:00 horas. Después de analizar los días lunes a viernes, el pico máximo se observó el día viernes en el intervalo de 17:30 a 17:45 horas con 29.59 segundos, esto significa que una persona que ingresó el día viernes 20 de julio en este intervalo de tiempo, demoró 30 segundos en promedio para recorrer una distancia de 147 metros en el ingreso a la ciudad universitaria, sin embargo el día sábado 21 de julio se observó un pico máximo de 49 segundos en el intervalo de 07:00 a 07:15 hrs, 19 segundos más, tiempo que un usuario puede percibir como mayor demora en el ingreso.

4.1.1.7 Velocidad promedio del viaje

Según la conceptualización de fórmulas, al obtener los datos de tiempo de viaje promedio para un tramo de recorrido conocido, es posible determinar la velocidad media de recorrido, a continuación se expone el cálculo de la velocidad media de recorrido para el intervalo de 17:00 horas a 18:00 horas del día lunes 16 de julio, que corresponde a la hora pico de este día, como ejemplo de cálculo.

Debido a que los flujos y volúmenes están dados en términos de intervalos de 1 hora o en relación horaria, se procedió a determinar de la tabla 8 el promedio aritmético de los tiempos de viaje para cada intervalo de 1 hora, de esta manera se tiene para el día 16 de julio en el intervalo de 17:00 a 18:00 hrs.:

$$t_a = \frac{22.87 + 19.18 + 18.29 + 21.16}{4} = \frac{81.5}{4} = 20.37 \text{segundos}$$

Luego de determinar los tiempos promedio para intervalos de una hora, se calculó la velocidad promedio de viaje según la ecuación 3 (véase metodología):

Aplicando ecuación 3 se tiene:

$$S = \frac{L}{t_a} = \frac{147.06 \text{mt}}{20.37 \text{seg}} \left(\frac{1 \text{km}}{1,000 \text{mt}} \right) \left(\frac{3,600 \text{seg}}{1 \text{h}} \right) = 25.99 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

A continuación se muestra la tabla 10 y 11, así mismo el gráfica 8 y 9, que muestran los resultados de los tiempos promedio y velocidades promedio obtenidas para los intervalos de 1 hora dentro del período de estudio.

Tabla 10. Tiempo y velocidades promedio para intervalos de 1 hora, días lunes a miércoles.

Descripción	16/07/2018		17/07/2018		18/07/2018	
	Lunes		Martes		Miércoles	
	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00
Tiempo promedio (segundos)	20.37	10.57	17.91	8.73	22.59	11.71
Velocidad promedio (km/h)	25.99	50.07	29.56	60.64	23.43	45.20

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Tabla 11. Tiempo y velocidades promedio para intervalos de 1 hora, días jueves a sábado.

Descripción	19/07/2018		20/07/2018		21/07/2018	
	Jueves		Viernes		Sábado	
	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	07:00 - 08:00	08:00 - 09:00
Tiempo promedio (segundos)	19.20	8.52	26.48	16.34	45.76	28.69
Velocidad promedio (km/h)	27.57	62.17	20.00	32.41	11.57	18.45

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Al observar las tablas 10 y 11, se determinó que las velocidades promedio para las hora pico de 17:00 a 18:00 horas, están por debajo del límite legal establecido de 30 Km/h, véase inciso 1.4 límite de velocidad establecido, esto se traduce en el cumplimiento del límite de velocidad establecido para el tramo de estudio. Sin embargo para el resto del período de 18:00 a 19:00 horas se determina que las velocidades promedio sobrepasan el límite establecido, inclusive los días martes y jueves reportan velocidades promedio de más de dos veces el límite, 60.64 Km/h y 62.17 km/h respectivamente. Por otro lado, el día sábado las velocidades calculadas están por debajo del límite establecido en todos los intervalos.

Dada la relación inversa que nos muestra la ecuación 3, entre el tiempo de viaje y la velocidad, consecuentemente se pudo observar que a mayor tiempo de viaje el usuario experimentó una menor velocidad, lo cual abre las puertas a que los usuarios percibieran un tiempo de congestión al desplazarse más lentamente por la vía.

4.1.1.8 Densidad

Para finalizar el análisis del flujo vehicular se determinó la densidad de vehículos, debido a que la densidad indica la cantidad de vehículos que se espera transiten simultáneamente en el tramo de estudio, este factor influye en la capacidad que tienen los conductores para rebasar y maniobrar en la vía, lo cual puede incidir en el tiempo de viaje y consecuentemente en el tiempo de congestión y su costo.

Según la conceptualización de fórmulas al dividir la razón de flujo y la velocidad promedio se puede obtener la densidad de vehículos que circularon por el tramo de estudio, a continuación se muestra el cálculo para la hora pico del día lunes 16.

De las tablas 4 y 10 se pudo obtener los valores de flujo y velocidad promedio para la hora pico de 17:00 a 18:00 hrs. del día lunes 16, aplicando la ecuación 4 (véase metodología) se tiene:

$$D = \frac{v}{S} = \frac{1968 \frac{veh}{h}}{25.99 \frac{km}{h}} = 75.72 \approx 76 \frac{veh}{km}$$

A continuación se muestran las tablas 12 y 13 con los resultados de la densidad obtenidos para el período de estudio en intervalos de 1 hora.

Tabla 12. Resultados de la densidad de vehículos por kilómetro, días lunes a miércoles.

Descripción	16/07/2018		17/07/2018		18/07/2018	
	Lunes		Martes		Miércoles	
	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00
Densidad veh/km	76	27	69	17	79	30

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Tabla 13. Resultados de la densidad de vehículos por kilómetro, días jueves a sábado.

Descripción	19/07/2018		20/07/2018		21/07/2018	
	Jueves		Viernes		Sábado	
	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	07:00 - 08:00	08:00 - 09:00
Densidad veh/km	60	13	89	31	154	55

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Al observar las tablas 12 y 13 se determinó que en la hora pico de cada día de análisis se encuentre la mayor densidad de vehículos, dada la ecuación 4 existe una relación proporcional directa entre el flujo de vehículos y la densidad, y una relación proporcional inversa con la velocidad promedio. Se entiende que al existir más vehículos transitando el mismo tramo, la facilidad de maniobrar y rebasar se reduce repercutiendo en el tiempo de viaje y a su vez en la velocidad. El pico máximo de lunes a viernes se observó el día viernes con 89 vehículos transitando simultáneamente el mismo tramo de estudio, para el día sábado se observó un pico de 154 vehículos, mucho mayor que durante los días lunes a viernes.

4.2 CONGESTIÓN

Como se mencionó anteriormente, la metodología más usual para evaluar los costos de congestión define un nivel de referencia que viene establecido por una velocidad de base por debajo de la cual se considera que se opera bajo condiciones de congestión, (Muñoz Puentes, Pablo, 2014).

Según el actual reglamento de tránsito de Guatemala en su artículo 112, el límite de velocidad en el tramo de estudio es de 30 km/h, por lo tanto para recorrer el tramo de estudio de 147.06 mts es necesario un tiempo promedio de 17.65 segundos, basados en este marco legal cualquier usuario que experimente un tiempo mayor a este para recorrer el tramo de estudio a causa de la intervención

de uno o varios vehículos más, estaría experimentando los efectos de la congestión. A continuación se detallan los resultados de la congestión y sus costos.

4.2.1 Tiempo de congestión

Dado el límite de velocidad antes citado, se estableció una referencia de tiempo sin congestión para el recorrido del tramo de estudio de 17.65 segundos, el excedente sobre este tiempo experimentado por los usuarios en recorrer el tramo de estudio se consideró como tiempo de congestión, a continuación se muestran los resultados de este excedente para los intervalos de tiempo de 1 hora dentro del período de análisis.

Tabla 14. Tiempos de congestión observados, días lunes a miércoles, tiempo en segundos.

Descripción	16/07/2018		17/07/2018		18/07/2018	
	Lunes		Martes		Miércoles	
	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00
Tiempo de congestión	2.73	-7.07	0.26	-8.92	4.95	-5.93

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Tabla 15. Tiempos de congestión observados, días jueves a sábado, tiempo en segundos.

Descripción	19/07/2018		20/07/2018		21/07/2018	
	Jueves		Viernes		Sábado	
	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	17:00 - 18:00	18:00 - 19:00	07:00 - 08:00	08:00 - 09:00
Tiempo de congestión	1.55	-9.13	8.83	-1.31	28.11	11.04

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Los resultados anteriores constituyeron la base para determinar los costos de congestión en los siguientes incisos de este capítulo. Al observar las tablas 14 y 15, se determinó que durante la hora pico establecida para los intervalos de tiempo de estudio, los usuarios experimentaron un leve excedente de tiempo sobre los 17.65 segundos, el día martes este excedente fue prácticamente imperceptible al obtener un valor de 0.26 segundos, por otro lado el día sábado en ambos intervalos de tiempo se observó un excedente superior al determinado de lunes a viernes, reportando este día el mayor tiempo de congestión en la hora pico con un valor de 28 segundos.

Lo anterior nos indica que basados en el marco legal la congestión debería percibirse levemente de lunes a viernes, sin embargo si los usuarios tienen una percepción de flujo libre que considera una

velocidad promedio de viaje superior a los 30 km/h, percibirán un tiempo mayor de congestión, la percepción de la congestión incrementa al incrementar la velocidad de flujo libre.

Al observar el intervalo de 18:00 a 19:00 hrs. de lunes a viernes, se determinó que los usuarios experimentaron un tiempo de recorrido menor al establecido por la base legal, reportando valores negativos. Como se observó en la tablas 10 y 11 en este intervalo de tiempo los usuarios en promedio se desplazaron a una velocidad superior a límite legal, lo cual repercutió en la velocidad de flujo libre percibida, debido a que este estudio se situó dentro del marco legal, el análisis sobre una velocidad de referencia que exceda el límite legal no fue considerado.

4.2.2 Principales causas de la congestión

Con base a la observación directa durante el período de estudio y los videos tomados se procedió a identificar las causas, que no están asociadas a la capacidad de la vía, que afectaron la movilidad de los vehículos, se tomaron en cuenta aquellas causas que contribuyeron con una demora de por lo menos 5 segundos durante la hora pico, pudiéndose observar 8 fenómenos listados a continuación:

Tabla 16. Resumen semanal de los fenómenos observados que afectaron la movilidad.

Causas encontradas	Total	Característica del Transporte	Vehículo	Conducta	Condición de la vía
Motocicletas maniobrando entre vehículos sin respetar un carril.	108			X	
Cambio de carril en último momento.	72			X	
Estacionarse en la vía para dejar o recoger un peatón.	42			X	
Incorporación de vehículos a la vía provenientes de parqueos aledaños.	36		X		
Maniobras de buses para ingresar a parqueos aledaños.	30	X			

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Tabla 16. Resumen semanal de los fenómenos observados que afectaron la movilidad.
(Continuación).

Causas encontradas	Total	Característica del Transporte	Vehículo	Conducta	Condición de la vía
Peatones que atraviesan la vía.	18			X	
Paro para permitir el cruce de peatones en la vía por personal de Unidad de monitoreo de tránsito USAC (intervalo de una hora).	12			X	
Ocupar 2 carriles para maniobrar en rotonda de ingreso (Buses extra largos y transporte pesado).	1	X			X

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

A continuación se presenta evidencia de estas causas según la clasificación de (Thomson & Bull, 2001).

4.2.2.1 Conducta de los conductores

Figura 11. Conductor de motocicleta maniobrando entre vehículos



Fuente: Fotografía tomada por el autor, julio 2018.

La figura 11 muestra el comportamiento de un conductor de motocicletas maniobrando entre vehículos sin respetar un carril de tránsito, este comportamiento ocasionó congestión por parte del

conductor de la motocicleta al tratar de incorporarse a un carril, además de infringir el reglamento de tránsito en su artículo 143, pudo ocasionar un accidente. Esta situación es preocupante dado este fenómeno cuenta con la mayor frecuencia en el estudio.

Figura 12. Cambio de carril en último momento



Fuente: Fotografía tomada por el autor, julio 2018.

La figura 12 muestra evidencia del comportamiento de un conductor solicitando vía para poder cambiar de carril en el ingreso a la Universidad justo en la entrada, este comportamiento ocasionó una demora debido a que el conductor tuvo que esperar hasta que le fuera cedido el paso para incorporarse al carril correcto y tomar el Boulevard de salida de la Universidad.

Figura 13. Vehículo parado en la vía desalojando a un ocupante



Fuente: Fotografía tomada por el autor, julio 2018.

La figura 13 muestra un vehículo que estacionó en la vía de ingreso a la universidad para permitir que uno de los ocupantes desalojara el vehículo, esto ocasionó una demora de más de 5 segundos. Este comportamiento no está permitido en una vía en tránsito.

Figura 14. Peatón atravesando la vía en un lugar no permitido

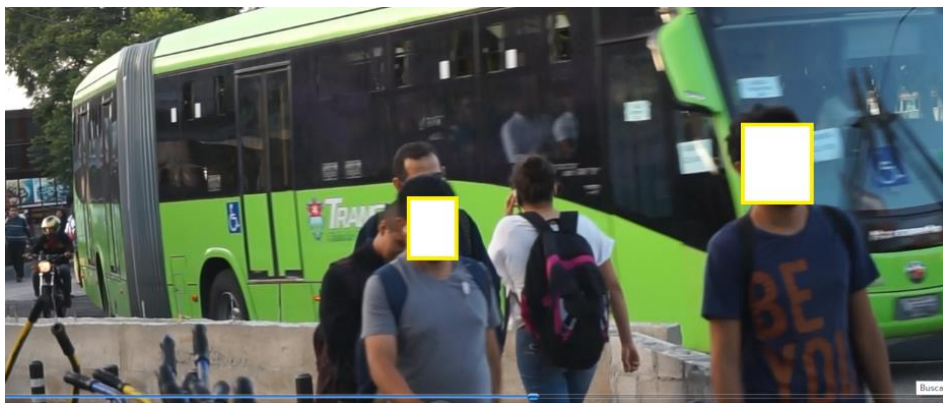


Fuente: Fotografía tomada por el autor, julio 2018.

La figura 14, muestra a un peatón atravesando el Boulevard durante una hora pico, este comportamiento ocasionó que el tránsito se detuviera abruptamente, pudiendo ocasionar una fatalidad.

4.2.2.2 Condición de la vía

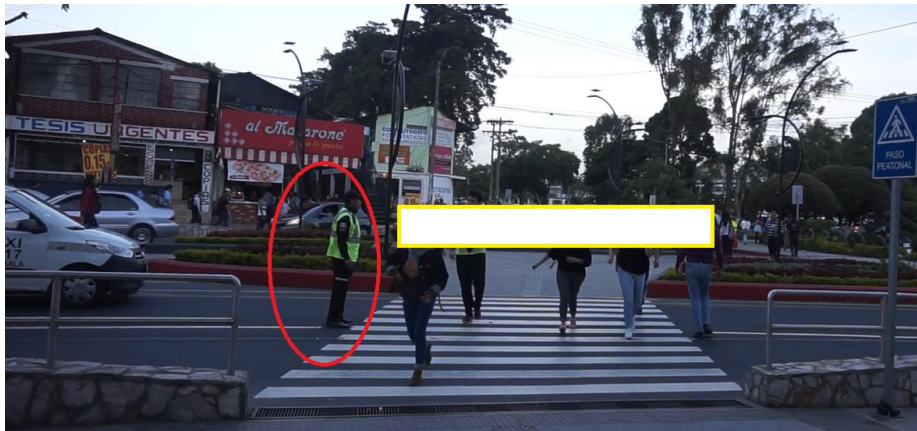
Figura 15. Bus extra largo ocupando 2 carriles para girar.



Fuente: Fotografía tomada por el autor, julio 2018.

La figura 15, muestra a un bus extra largo de la municipalidad de Guatemala (Trans-urbano) girando en el redondel de ingreso a la Universidad de San Carlos, debido a las dimensiones de la vía y su tamaño no le fue posible tomar el redondel en un solo carril, el bus efectuó una maniobra especial para poder girar en el redondel que ocasionó una demora de 7 segundos.

Figura 16. Monitor vial dirigiendo el tránsito



Fuente: Fotografía tomada por el autor, julio 2018.

La figura 16, muestra a un monitor de la unidad de Monitoreo del Tránsito de la Universidad de San Carlos parando el tránsito para permitir el cruce de peatones en el ingreso a la universidad durante la hora pico, esta actividad es inherente a la gestión del tránsito dentro de la Universidad, se observó que el tránsito fue parado en intervalos de aproximadamente 20 segundos cada 2 minutos por el monitor vial para permitir el cruce de peatones.

4.2.2.3 Vehículos

Figura 17. Vehículo proveniente de un parqueo incorporándose a la vía



Fuente: Fotografía tomada por el autor, julio 2018.

La figura 17 muestra a un vehículo proveniente de un parqueo cercano incorporándose a la vía de acceso, este tipo de comportamiento no está prohibido, sin embargo contribuye a la congestión.

4.2.2.4 Causas relacionadas a las características del transporte

Figura 18. Bus efectuando maniobras para incorporarse a un parqueo



Fuente: Fotografía tomada por el autor, julio 2018.

La figura 18 muestra a un bus extraurbano efectuando maniobras para incorporarse a un parqueo, como se observa en la figura, el bus debe utilizar los 2 carriles, la demora observada para este evento fue de 118 segundos, siendo esta la de mayor impacto en todo el estudio.

4.2.3 Costo del tiempo de congestión

Para calcular el costo del tiempo de congestión fue necesario obtener previamente el costo del valor hora de las personas que hacen uso del tramo de estudio, se utilizó como referencia la renta promedio de las personas que laboran en la ciudad capital y que además tienen acceso a un vehículo como medio de transporte.

Según el Anexo 4, basados en la ENEI, 2017 (Encuesta Nacional de Empleo e Ingresos del INE) la renta promedio mensual obtenida para las personas que laboran en la ciudad capital y que además tienen acceso a un vehículo como medio de transporte es de Q 5,608.73 mensuales. Considerando una jornada laboral semanal de 44 horas, que abarca 8 horas diarias de lunes a viernes y 4 horas el día sábado, que cumplen con el artículo 116 del código de trabajo de Guatemala, se obtuvo el valor de una hora de renta de la siguiente manera:

$$\text{Salario por hora} = \frac{\text{Salario promedio mensual}}{44 \frac{\text{horas}}{\text{semana}} \left(\frac{4 \text{ semanas}}{1 \text{ mes}} \right)} = \frac{5,608.73}{176} = 31.87 \frac{Q}{h}$$

Según se explicó en la metodología basado en lo que se indica en (Muñoz Puentes, Pablo, 2014) se asume que las personas consideran el valor de su tiempo cuando viajan en un vehículo el 50% de la renta de una hora, por lo tanto el valor de 1 hora es igual a: $31.87 * 0.5 = 15.93 \text{ Q/h}$. Al aplicar la ecuación 6 a la hora pico de cada día podemos obtener el costo del tiempo de congestión o costo de la demora.

A continuación se muestra el cálculo del costo del tiempo de congestión para la hora pico del día lunes 16:

Tabla 17. Datos recopilados para el cálculo del costo de tiempo de congestión, 16/07/2018.

Descripción	16/07/2018
	Lunes
	17:00 -18:00
Valor del tiempo de los usuarios (Q/h)	15.93
Tiempo de Congestión (seg) T_c	2.73
Flujo vehículos (veh/h) Q_{ijk}	1,968
Velocidad de referencia (km/h) V_{rij}	30
Velocidad de Congestión (Km/h) V_{ijk}	26.18
Longitud en el tramo de estudio (mts) L_{ij}	147.06

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Aplicando los datos de la tabla 17 en la ecuación 6 (véase metodología), considerando las dimensionales correctas se tiene:

$$C_t = 147.06 \text{ mts} \left(\frac{1 \text{ km}}{1000 \text{ mts}} \right) (2.73 \text{ seg}) \left(\frac{1 \text{ h}}{3,600 \text{ seg}} \right) \left(15.93 \frac{Q}{h} \right) \left(1,968 \frac{\text{veh}}{h} \right) \left(1 \right) \left(\frac{1}{26.18 \frac{\text{km}}{h}} - \frac{1}{30 \frac{\text{km}}{h}} \right)$$

$$C_t = 0.02Q$$

Al aplicar la ecuación 6 a los datos recopilados del día lunes 16 se observó que un tiempo de 2.73 segundos de congestión generó un costo de tan solo 2 centavos, lo que representa tan solo un 0.12% del valor del tiempo de una persona asociado a una hora según la metodología.

A continuación se muestran los resultados del costo de tiempo para cada día del período de estudio en las tablas 18 y 19.

Tabla 18. Datos recopilados y resultados del costo del tiempo de congestión, días lunes a miércoles.

Descripción	16/07/2018	17/07/2018	18/07/2018
	Lunes	Martes	Miércoles
	17:00 -18:00	17:00 -18:00	17:00 -18:00
Valor del tiempo de los usuarios (Q/h)	15.93	15.93	15.93
Tiempo de Congestión (seg) T_c	2.73	0.26	4.95
Flujo vehículos (veh/h) Q_{ijk}	1968	2048	1844
Velocidad de Congestión (Km/h) V_{ijk}	26.18	29.83	23.49
Longitud en el tramo de estudio (mts) L_{ij}	147.06	147.06	147.06
Velocidad de referencia (km/h) V_{rij}	30.00	30.00	30.00
Costo de Tiempo de demora	Q 0.02	Q 0.00	Q 0.05

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Tabla 19. Datos recopilados y resultados del costo del tiempo de congestión, días jueves a sábado.

Descripción	19/07/2018	20/07/2018	21/07/2018
	Jueves	Viernes	Sábado
	17:00 -18:00	17:00 -18:00	07:00 -08:00
Valor del tiempo de los usuarios (Q/h) \square_{\square}	15.93	15.93	15.93
Tiempo de Congestión (seg) T_c	1.55	8.83	28.11
Flujo vehículos (veh/h) Q_{ijk}	1688.00	1785.60	2064.00
Velocidad de Congestión (V_{ijk})	28.31	20.17	11.60
Longitud en el tramo de estudio (mts) L_{ij}	147.06	147.06	147.06
Velocidad de referencia (km/h) V_{rij}	30.00	30.00	30.00
Costo de Tiempo de demora	Q 0.00	Q 0.17	Q 2.00

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Debido a que el costo de congestión está relacionado directamente con el tiempo de congestión, y este durante la hora pico de lunes a viernes fue prácticamente imperceptible, menor a 10 segundos, el costo obtenido es muy bajo, se puede observar que tanto el día martes como jueves no se reporta costo alguno. El costo máximo fue experimentado el día sábado durante la hora pico con valor de Q 2.00 por 28.11 segundos de tiempo de congestión en promedio que experimentaron los usuarios que ingresaron a la Ciudad Universitaria. El costo de tiempo de congestión durante la hora pico dentro

del período de estudio fue de Q 2.24, que corresponde a la suma algebraica de los costos de demora para la hora pico de cada día. Si se consideran las 52 semanas del año, se tiene un costo anual de Q 116.44. Se procedió a determinar un costo promedio por segundo de congestión, se obtuvo un valor de Q 1.10 por cada minuto que los usuarios experimenten los efectos de la congestión, véase tabla 20, esto quiere decir que bajo las mismas condiciones de velocidad y flujo de vehículos, por transitar un tramo más extenso en el que se demoraran un minuto en transitar, el costo sería de Q 1.10 por cada minuto de demora. Si se considera un minuto por cada día, semanalmente se tendría un costo de Q 6.58 y al año un costo de Q 342.15.

Tabla 20. Proyección de costos de tiempo de congestión.

Proyección de costos de tiempo de congestión		
Costo promedio por segundo de congestión	Q	0.02
Costo Promedio por 1 minuto de congestión	Q	1.10

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

4.2.4 Costo de operación vehicular (COV)

Siguiendo la metodología establecida el costo de operación vehicular durante la congestión se determinó por el exceso de los costos de consumo de combustible, lubricantes y mantenimiento que resultaron de transitar a una velocidad media real inferior a una velocidad de referencia considerada sin los efectos de la congestión.

Dado el costo de operación vehicular se obtuvo de la suma algebraica de los costos excedentes de consumo de combustible, lubricantes y mantenimiento, estos se detallan a continuación:

4.2.4.1 Costo de combustible

Para calcular el costo del exceso de combustible según la metodología expuesta, es necesario obtener previamente el costo unitario del combustible utilizado por los vehículos, basados en los precios promedio de gasolina súper y regular proporcionados por el Ministerio de Energía y Minas de Guatemala, para la semana del 16 de julio al 21 de julio de 2018, se obtuvo un precio promedio de los 2 tipos de combustibles de Q 26.76 por galón. La ecuación 8 indica que el costo unitario aplicado debe estimarse sin impuestos y considerando una unidad de medida de litros, por lo tanto se procedió a eliminar el valor de IVA e Impuesto de distribución, así mismo calcular el valor según la unidad de medida de litros, se obtuvo un valor de Q 5.22/litro.

A continuación se muestra el cálculo del costo de combustible para la hora pico del día lunes 16

Tabla 21. Datos recopilados para el cálculo del costo de combustible, 16/07/2019.

Descripción	16/07/2018
	Lunes
	17:00 -18:00
Precio por Litro (Q/lit) P_g	5.22
Tiempo de Congestión (seg) T_c	2.73
Flujo vehículos (veh/h) Q_{ijk}	1968
C_{60}	8.20
Velocidad de Congestión (Km/h) V_{ijk}	26.18
Longitud en el tramo de estudio (mts) L_{ij}	147.06

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Aplicando los datos de la tabla 21 en la ecuación 8 (véase metodología), considerando las dimensionales correctas se tiene:

$$C_g = P_g T_c Q_{ijk} C_{60} \left(0.8 + \frac{12.66}{V_{ijk}} \right) L_{ij}$$

$$C_g = 5.22 \frac{Q}{\text{lit}} (2.73 \text{seg}) \left(\frac{1h}{3,600 \text{seg}} \right) \left(1,968 \frac{\text{veh}}{h} \right) (8.20) \left(0.8 + \frac{12.66}{26.18 \frac{\text{km}}{h}} \right) (147.06 \text{mt}) \left(\frac{1 \text{km}}{1000 \text{mt}} \right)$$

$$C_g = 12.06Q$$

El resultado obtenido indica que 2.73 segundos de congestión generaron un costo de Q 12.06 en términos del combustible utilizado por los vehículos que experimentaron este tiempo de congestión, al traducir este dato en cantidad de combustible, es un equivalente a 2.31 litros, o lo que un vehículo liviano utilizaría para recorrer 28.17 Km viajando a 100 km/h sin congestión.

A continuación se muestran los resultados del costo de tiempo para cada día del periodo de estudio en las tablas 22 y 23.

Tabla 22. Datos recopilados y resultados del costo del costo de combustible, días lunes a miércoles

Descripción	16/07/2018	17/07/2018	18/07/2018
	Lunes	Martes	Miércoles
	17:00 -18:00	17:00 -18:00	17:00 -18:00
Precio por Litro (Q/lt) P_g	5.22	5.22	5.22
Tiempo de Congestión (seg) T_c	2.73	0.26	4.95
Flujo vehículos (veh/h) Q_{ijk}	1968	2048	1844
C_{60}	8.20	8.20	8.20
Velocidad de Congestión (Km/h) V_{ijk}	26.18	29.83	23.49
Longitud en el tramo de estudio (mts) L_{ij}	147.06	147.06	147.06
Costo de Combustible Q	Q 12.03	Q 1.16	Q 21.34

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Tabla 23. Datos recopilados y resultados del costo del costo de combustible, días jueves a sábado.

Descripción	19/07/2018	20/07/2018	21/07/2018
	Jueves	Viernes	Sábado
	17:00 -18:00	17:00 -18:00	07:00 -08:00
Precio por Litro (Q/lt) P_g	5.22	5.22	5.22
Tiempo de Congestión (seg) T_c	1.55	8.83	28.11
Flujo vehículos (veh/h) Q_{ijk}	1688	1786	2064
C_{60}	8.20	8.20	8.20
Velocidad de Congestión (Km/h) V_{ijk}	28.31	20.17	11.60
Longitud en el tramo de estudio (mts) L_{ij}	147.06	147.06	147.06
Costo de Combustible	Q 5.71	Q 39.32	Q 191.75

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

De la tabla 22 y 23 se observó que el costo de combustible, representó un monto mayor comparado al costo de tiempo, sin embargo debido a que está relacionado también con el tiempo de congestión, los valores obtenidos son relativamente bajos, durante la hora pico de lunes a viernes, el mayor costo de combustible obtenido correspondió al día viernes por Q 39.32, el día sábado reportó un monto mayor por Q 191.75. El costo semanal de combustible durante la hora pico se obtuvo de a la suma algebraica del costo diario, por un total de Q 271.37. Se procedió a determinar el costo promedio semanal por unidad de tiempo, véase tabla 24, bajo las condiciones observadas en este estudio, por cada minuto de congestión que experimentaron los vehículos, se tuvo un costo de Q 280.80. Si se considera un minuto por cada día, semanalmente se tendría un costo de Q 1,684.80 y al año un costo de Q 87,609.60.

Tabla 24. Proyección de costos de combustible por tiempo de congestión

Costo promedio de combustible por unidad de tiempo	
Costo promedio de combustible por segundo de congestión	Q 4.68
Costo promedio de combustible por 1 minuto de congestión	Q 280.80

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

4.2.4.2 Costo de lubricante

Según la metodología expuesta, para calcular el costo del lubricante fue necesario obtener previamente el costo unitario del lubricante utilizado por los vehículos, basados en la publicación de precios de referencia, registrados al mes de julio del 2018, del INE, el precio del lubricante de motor se establece en Q 83.67 por galón. La ecuación 9 indica que el costo unitario debe estimarse sin impuestos y considerando una unidad de medida de litros, por lo tanto se procedió a eliminar el valor de IVA, así mismo calcular el valor según la unidad de medida de litros, se obtuvo un valor de Q 19.74/litro.

A continuación se muestra el cálculo del costo de lubricante para la hora pico del día lunes 16:

Tabla 25. Datos recopilados para el cálculo del costo de lubricante, 16/07/2019.

Descripción	16/07/2018
	Lunes
	17:00 -18:00
Precio por Litro (Q/lit) P_l	19.74
Tiempo de Congestión (seg) T_c	2.73
Flujo vehículos (veh/h) Q_{ijk}	1968
C_{60}	8.20
Velocidad de Congestión (Km/h) V_{ijk}	26.18
Longitud en el tramo de estudio (mts) L_{ij}	147.06

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Aplicando los datos de la tabla 25 en la ecuación 9 (véase metodología), considerando las dimensionales correctas se tiene:

$$C_l = P_l 0.014 T_c Q_{ijk} C_{60} \left(0.8 + \frac{12.66}{V_{ijk}} \right) L_{ij}$$

$$C_l = 19.74 \frac{Q}{lt} (0.014) (2.73 \text{seg}) \left(\frac{1h}{3,600 \text{seg}} \right) \left(1,968 \frac{veh}{h} \right) (8.20) \left(0.8 + \frac{12.66}{26.18 \frac{km}{h}} \right) (147.06 \text{mt}) \left(\frac{1km}{1000 \text{mt}} \right)$$

$$C_l = 0.64Q$$

El resultado anterior nos indica que un tiempo de congestión de 2.73 segundos para la hora pico del día 16 de julio, generó un costo por consumo de lubricante en los vehículos afectados de Q 0.64, equivalentes a tan solo 32 mililitros de lubricante, un dato considerablemente inferior al consumo de combustible.

A continuación se muestran los resultados del costo de combustible para cada día del periodo de estudio en las tablas 26 y 27.

Tabla 26. Datos recopilados y resultados del costo del costo de combustible, días lunes a miércoles.

Descripción	16/07/2018	17/07/2018	18/07/2018
	Lunes	Martes	Miércoles
	17:00 -18:00	17:00 -18:00	17:00 18:00
Precio por Litro (Q/lt) P_l	19.74	19.74	19.74
Tiempo de Congestión (seg) T_c	2.73	0.26	4.95
Flujo vehículos (veh/h) Q_{ijk}	1968	2048	1844
C_{60}	8.20	8.20	8.20
Velocidad de Congestión (Km/h) V_{ijk}	26.18	29.83	23.49
Longitud en el tramo de estudio (mts) L_{ij}	147.06	147.06	147.06
Costo de lubricante	Q 0.64	Q 0.06	Q 1.13

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Tabla 27. Datos recopilados y resultados del costo del costo de combustible, días jueves a sábado.

Descripción	19/07/2018	20/07/2018	21/07/2018
	Jueves	Viernes	Sábado
	17:00 -18:00	17:00 -18:00	07:00 -08:00
Precio por Litro (Q/lt) P_l	19.74	19.74	19.74
Tiempo de Congestión (seg) T_c	1.55	8.83	28.11
Flujo vehículos (veh/h) Q_{ijk}	1688	1786	2064

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Tabla 27. Datos recopilados y resultados del costo del costo de combustible, días jueves a sábado. (Continuación).

Descripción	19/07/2018	20/07/2018	21/07/2018
	Jueves	Viernes	Sábado
	17:00 -18:00	17:00 -18:00	07:00 -08:00
C60	8.20	8.20	8.20
Velocidad de Congestión (Vijk)	28.31	20.17	11.60
Longitud en el tramo de estudio	147.06	147.06	147.06
Costo de lubricante	Q 0.30	Q 2.08	Q 10.16

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Al observar las tablas 26 y 27, se determinó que el costo de lubricante a causa del tiempo de congestión representa un valor inferior al costo de combustible, si lo expresamos como un porcentaje del costo de combustible este es el equivalente al 5% del costo de combustible para cada hora pico, según la metodología el consumo de lubricante es tan solo 1.4% del consumo de combustible, dado que el precio unitario de los lubricantes para motor en Guatemala es mayor al precio unitario del combustible, 3.16 veces mayor, al aplicar la ecuación 9 se encontró esta relación de 5% en función al costo. Durante la hora pico de lunes a viernes el mayor costo de lubricante que se obtuvo corresponde al día viernes por Q 2.08, el día sábado reportó un monto mayor por Q 10.16. El costo semanal de lubricante durante la hora pico se calculó de a la suma algebraica del costo diario, por un total de Q 14.37. Se procedió a determinar el costo promedio semanal por unidad de tiempo, véase tabla 28, bajo las condiciones observadas en este estudio, por cada minuto de congestión que experimentaron los vehículos, se obtuvo un costo de Q 13.50, si se considera un minuto por cada día, semanalmente se tendría un costo de Q 81.01 y al año un costo de Q 4,212.70.

Tabla 28. Costo de lubricante por unidad de tiempo de congestión

Costo promedio de lubricante por unidad de tiempo	
Costo promedio por segundo de Congestión (Q/seg)	Q 0.23
Costo promedio por 1 minuto de congestión (Q/min)	Q 13.50

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

4.2.4.3 Costo de mantenimiento

Según la ecuación no. 8 para determinar el costo de mantenimiento en unidades monetarias de Guatemala, fue necesario transformar la constante de \$360.00 pesos Colombianos a quetzales, por lo tanto según las fechas del estudio de (Muñoz Puentes, Pablo, 2014) se procedió a transformar

estos pesos en dólares americanos y luego a quetzales, según el tipo de cambio proporcionado por el Banco de Guatemala para el año 2014, véase tabla 28.

Tabla 29. Conversión de unidades monetarias de la constante \$360.00 ecuación 10.

Conversión de unidades monetarias	
Promedio año 2014 (Pesos/Dólar)	2003.4503
Promedio año 2014 (Quetzales/Dólar)	7.7349
Pesos a Cambiar	360.00
Nueva Constante	Q1.39

Fuente: Elaboración propia con base en tipo de cambio según BANGUAT.

A continuación se muestra el cálculo del costo de mantenimiento para la hora pico del día lunes 16, se adjunta la tabla 30 que recopila los datos requeridos por la ecuación 10 de esta manera:

Tabla 30. Datos recopilados para el cálculo del costo de mantenimiento, 16/07/2018.

Descripción	16/07/2018
	Lunes
	17:00 -18:00
Constante en Quetzales	1.39
Tiempo de Congestión (seg) T_c	2.73
Flujo vehículos (veh/h) Q_{ijk}	1968
Velocidad de Congestión (Km/h) V_{ijk}	26.18
Longitud en el tramo de estudio (mts) L_{ij}	147.06

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada.

Aplicando los datos de la tabla 20 en la ecuación 10 (véase metodología), considerando las dimensionales correctas se tiene:

$$C_m = 1.39V_{ijk}^{-0.44}L_{ij}Q_{ij}T_c$$

$$C_m = 1.39(26.18)^{-0.44}(147.06mt)\left(\frac{1km}{1000mt}\right)\left(1,968\frac{veh}{h}\right)(2.73seg)\left(\frac{1h}{3,600seg}\right)$$

$$C_m = 0.07Q$$

El resultado anterior nos indica que un tiempo de congestión de 2.73 segundos para la hora pico del día 16 de julio, generó un costo por mantenimiento en los vehículos de 7 centavos, que representa

tan solo un 0.44% del valor del tiempo de una persona asociado a una hora según la metodología, aun así mucho mayor que el valor del tiempo de los ocupantes de 2 centavos obtenido para este día.

A continuación se muestran los resultados del costo de mantenimiento de los vehículos para cada día del periodo de estudio en las tablas 31 y 32.

Tabla 31. Datos recopilados y resultados del costo de mantenimiento, días lunes a miércoles.

Descripción	16/07/2018	17/07/2018	18/07/2018
	Lunes	Martes	Miércoles
	17:00 -18:00	17:00 -18:00	17:00 -18:00
Constante en Quetzales	1.39	1.39	1.39
Tiempo de Congestión (seg) T_c	2.73	0.26	4.95
Flujo vehículos (veh/h) Q_{ijk}	1968	2048	1844
Velocidad de Congestión (Km/h) V_{ijk}	26.18	29.83	23.49
Longitud en el tramo de estudio (mts) L_{ij}	147.06	147.06	147.06
Costo de mantenimiento	Q 0.07	Q 0.01	Q 0.13

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Tabla 32. Datos recopilados y resultados del costo de mantenimiento, días jueves a sábado.

Descripción	19/07/2018	20/07/2018	21/07/2018
	Jueves	Viernes	Sábado
	17:00 -18:00	17:00 -18:00	07:00 -08:00
Constante en Quetzales	1.39	1.39	1.39
Tiempo de Congestión (seg) T_c	1.55	8.83	28.11
Flujo de vehículos	1688	1786	2064
Velocidad de Congestión (V_{ijk})	28.31	20.17	11.60
Longitud en el tramo de estudio	147.06	147.06	147.06
Costo de Mantenimiento	Q 0.03	Q 0.24	Q 1.12

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Al observar las tablas 31 y 32, se determinó que el costo de mantenimiento de los vehículos a causa del tiempo de congestión representó el valor más bajo de los componentes del costo de operación vehicular, este fue tan solo el equivalente al 0.6% del costo de combustible para cada hora pico. En el período de lunes a viernes, el mayor costo de mantenimiento obtenido fue el día viernes, por tan solo Q 0.24, el día sábado reportó un monto mayor por Q 1.12. El costo semanal de mantenimiento para la hora pico se determinó de la suma algebraica del costo diario, con un total de Q 1.60. Se procedió a determinar el costo promedio semanal por unidad de tiempo, véase tabla 33, bajo las

condiciones observadas en este estudio, por cada minuto de congestión que experimentaron los vehículos, se obtuvo costo de Q 1.68, si se considera un minuto por cada día, semanalmente se tendría un costo de Q 10.06 y al año un costo de Q 523.14.

Tabla 33. Costo de mantenimiento por unidad de tiempo

Costo promedio de mantenimiento por unidad de tiempo		
Costo promedio por segundo de congestión (Q/seg)	Q	0.03
Costo promedio por 1 minuto de congestión (Q/min)	Q	1.68

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

4.2.4.4 Determinación del costo de operación vehicular

Al determinar los componentes del costo de operación vehicular: costo de combustible, costo de lubricante y costo de mantenimiento que generaron los vehículos al experimentar la congestión durante el período de análisis, es posible calcular el costo de operación vehicular aplicando la ecuación 7 (véase metodología). A continuación se muestra el cálculo del costo de operación vehicular para la hora pico del día lunes 16: $C_{o=} = C_g + C_m + C_l$

$$C_m = 12.03Q + 0.07Q + 0.64Q = 12.74Q$$

El resultado anterior nos indica que un tiempo de congestión de 2.73 segundos para la hora pico del día 16 de julio, generó un costo de operación vehicular de Q 12.74, que representa el equivalente a 2.44 litros de combustible, el 64% del valor de un litro de lubricante o el 79.97% del valor del tiempo de una persona asociado a una hora.

A continuación se muestran los resultados del costo de operación de los vehículos para cada día del periodo de estudio en las tablas 34 y 35.

Tabla 34. Costo de operación vehicular por unidad de tiempo, días lunes a miércoles.

Descripción	16/07/2018	17/07/2018	18/07/2018
	lunes	martes	miércoles
	17:00 -18:00	17:00 -18:00	17:00 -18:00
Costo de Combustible	Q 12.03	Q 1.16	Q 21.34
Costo de mantenimiento	Q 0.07	Q 0.01	Q 0.13
Costo de lubricantes	Q 0.64	Q 0.06	Q 1.13
Costo de operación vehicular	Q 12.74	Q 1.23	Q 22.60

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Tabla 35. Costo de operación vehicular por unidad de tiempo, días jueves a sábado.

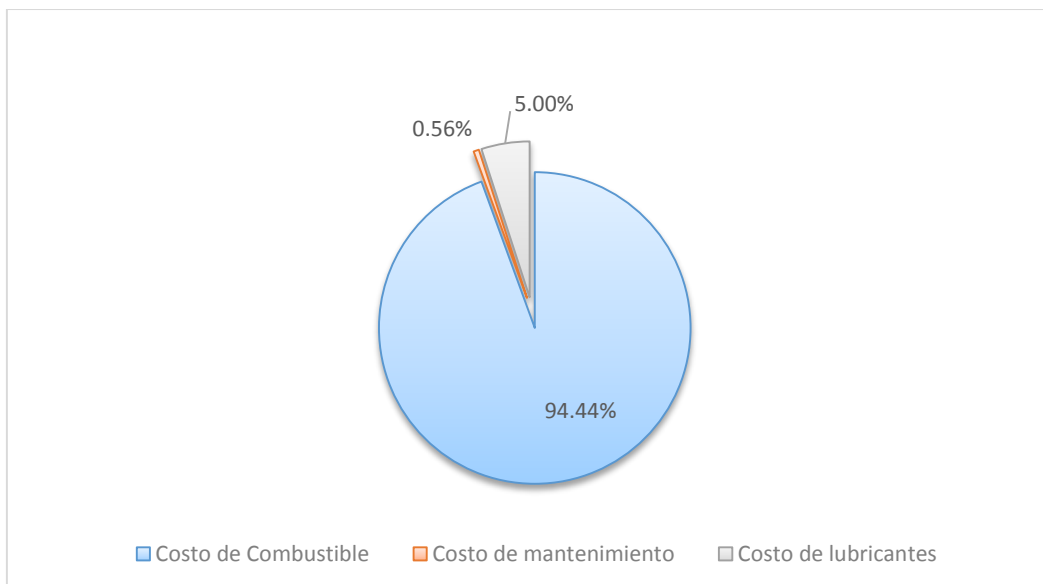
Descripción	19/07/2018	20/07/2018	21/07/2018
	jueves	viernes	sábado
	17:00 -18:00	17:00 -18:00	07:00 -08:00
Costo de Combustible	Q 5.71	Q 39.32	Q 191.75
Costo de mantenimiento	Q 0.03	Q 0.24	Q 1.12
Costo de lubricantes	Q 0.30	Q 2.08	Q 10.16
Costo de operación vehicular	Q 6.05	Q 41.65	Q 203.03

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Al analizar las tablas 34 y 35, se observó que en la jornada nocturna de lunes a viernes durante el período de análisis, el día viernes presentó el mayor costo de operación vehicular por Q 41.65, por otro lado el día martes reportó el menor costo de operación vehicular con un valor de Q 1.23, del período completo el día sábado mostró el mayor costo con un valor de Q203.03. El costo semanal de operación, para la hora pico se obtuvo de la suma algebraica del costo diario, con un total de Q 287.29. De la misma manera que se calculó el costo promedio por unidad de tiempo para los componentes del costo de operación vehicular, se pudo determinar el costo de operación vehicular promedio de 1 minuto bajo los efectos de la congestión, siendo este de Q 295.77, si se considera un minuto diario de congestión el costo semanal es de Q 1,774.64 con una proyección anual de Q 92,281.32.

Al analizar la representatividad de los componentes del costo de operación vehicular, se pudo determinar que el costo de combustible representó el 94% del costo de operación vehicular, véase gráfico 3, el costo de lubricantes representó un 5% y el costo de mantenimiento tan solo un 0.56%. Dado esta fuerte relación entre el costo de combustible y el costo de operación vehicular, el precio del combustible tiene una alta incidencia en los costos de operación durante la congestión, mientras que el efecto del costo por mantenimiento es prácticamente nulo, se puede decir que el costo de operación vehicular está relacionado solamente con el costo de combustible y con el costo de lubricantes para el estudio efectuado.

Gráfico 3. Distribución del costo de operación, expresado en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

4.2.5 Costo de Congestión

Según la metodología expuesta el costo de congestión está representado por la suma algebraica del costo de operación vehicular y el costo de tiempo de congestión, a continuación se presenta la tabla 36 y 37 que muestra los resultados del costo de congestión obtenido para la hora pico de cada día del período de estudio:

Según la ecuación 5 (véase metodología) se tiene:

$$C_{Congestion} = C_o + C_t$$

Tabla 36. Costo diario de congestión, días lunes a miércoles.

Descripción	16/07/2018		17/07/2018		18/07/2018	
	lunes		martes		miércoles	
	17:00 -18:00		17:00 -18:00		17:00 -18:00	
Tiempo de congestión (seg.)	2.73		0.26		4.95	
Costo de operación vehicular	Q	12.74	Q	1.23	Q	22.60
<i>Costo de Tiempo</i>	Q	0.02	Q	0.00	Q	0.05
Costo Total de Congestión	Q	12.76	Q	1.23	Q	22.65

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Tabla 37. Costo diario de congestión, días jueves a sábado.

Descripción	19/07/2018	20/07/2018	21/07/2018
	jueves	viernes	sábado
	17:00 -18:00	17:00 -18:00	07:00 -08:00
Tiempo de congestión (seg.)	1.55	8.83	28.11
Costo de operación vehicular	Q 6.05	Q 41.65	Q 203.03
<i>Costo de tiempo</i>	Q 0.00	Q 0.17	Q 2.00
Costo total de congestión	Q 6.05	Q 41.82	Q 205.03

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Al observar la tabla 36 y 37 podemos determinar que el costo de congestión calculado para la hora pico de cada día tiene un valor que no supera los Q 100.00 de lunes a viernes, solamente el día sábado presentó un valor de Q 205.03 debido en gran parte al tiempo de congestión de 28.11 segundos. El día que se observó el menor costo de congestión corresponde al día martes con valor de tan solo Q 1.23, en un análisis de los días lunes a viernes podemos determinar que el día que representó el mayor costo de congestión fue el día viernes por Q 41.82.

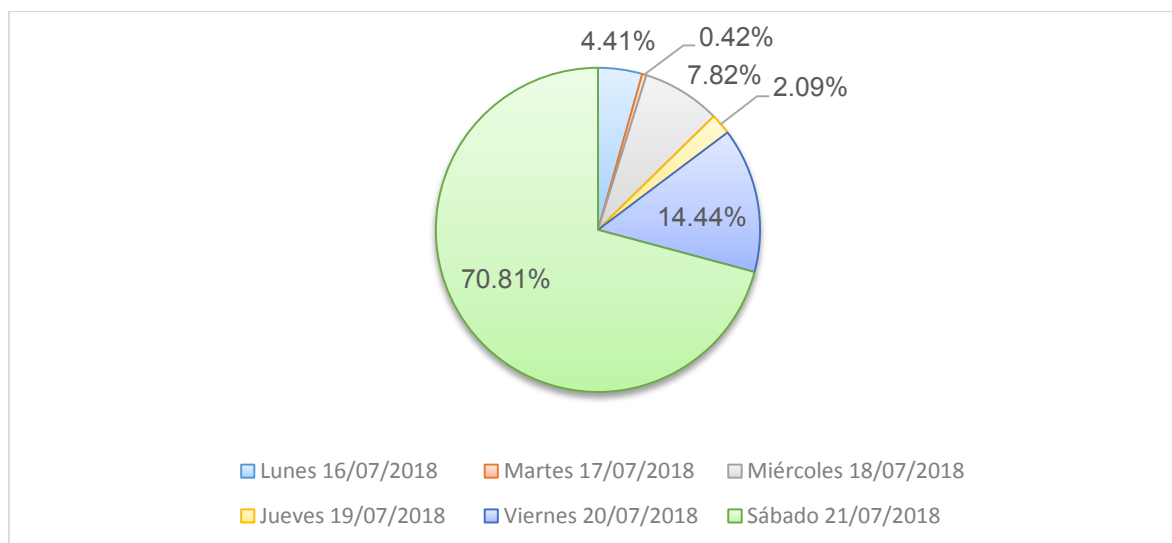
A continuación se presenta la tabla 38 y el gráfico 4 que resumen los resultados del costo total a la semana de la congestión y la representatividad de cada día de la semana sobre este costo.

Tabla 38. Costo semanal de congestión.

Descripción	Costo Total Horas Pico Semanal	%
Costo de operación vehicular total	Q 287.29	99%
<i>Costo de Tiempo total</i>	Q 2.24	1%
Costo total de congestión	Q 289.53	100%

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Gráfico 4. Representatividad del costo de congestión de los días de estudio, expresado en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

De la tabla 38 se determinó que la sumatoria de costos de congestión de cada día durante la hora pico fue de Q289.53, el costo de operación vehicular representó el 99% del total del costo de congestión, y el costo del tiempo de congestión representó tan solo el 1%, esto implicó que para este estudio el efecto de la congestión, por el exceso en el costo de la operación de los vehículos, combustible, lubricante y mantenimiento, tuvo un valor mayor que el tiempo de los conductores durante la congestión. Al observar el gráfico 4 se pudo determinar que el día sábado representó más del 70.8% del valor total de la congestión semanal, siendo este el día en que más congestión se presentó durante la hora pico, le siguen el día viernes y miércoles con el 14.4% y 7.8% respectivamente, por otro lado se el día martes representó solo el 0.42% del costo semanal de congestión, siendo este el día en que se observó un menor efecto de la congestión.

A continuación se presenta la tabla 39 que muestra el costo promedio de congestión por unidad de tiempo observado durante el estudio.

Tabla 39. Costo promedio de congestión por unidad de tiempo.

Costo promedio de congestión por unidad de tiempo	
Costo promedio por 1 minuto de congestión	Q 298.23
Costo semanal	Q 1,789.40
Costo anual	Q 93,048.74

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Con el afán de obtener un costo promedio de congestión por unidad de tiempo que pueda ser utilizado en estudios posteriores, la tabla 39 nos expone que 1 minuto diario de congestión bajo los parámetros de este estudio genera un costo de Q 298.23 semanales, que anualmente puede representar un costo de Q 93,048.74.

4.2.6 Costo de congestión y gasto de Transporte

Luego de calcular el costo de congestión generado durante el estudio fue necesario determinar la relación y el impacto que este generó en el gasto de transporte de los usuarios de los vehículos objeto de estudio. Para establecer esta relación se determinó la porción del ingreso que se destina al gasto de transporte por los usuarios de los vehículos. Basados en la última Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos Familiares (ENIGFAM), levantada entre julio 2009 y julio 2010 por el INE, se obtuvo la tabla 40, que muestra la ponderación por división de gasto promedio de las familias guatemaltecas por región.

Tabla 40. Ponderación por división de gasto y región de Guatemala (región I a la VIII).

		República	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	Alimentos y bebidas no alcohólicas	28.75	21.07	37.99	31.00	33.72	33.04	32.91	34.13	31.58
2	Bebidas alcohólicas y tabaco	0.28	0.30	0.25	0.29	0.42	0.21	0.24	0.17	0.37
3	Prendas de vestir y calzado	7.41	6.60	8.73	7.46	6.35	8.16	7.46	9.50	7.35
4	Vivienda, agua, electricidad, gas	12.61	13.74	9.51	11.76	11.99	11.64	13.19	12.13	10.18
5	Muebles, artículos para el hogar	5.43	4.37	6.38	6.29	5.71	6.02	5.81	5.81	7.48
6	Salud	4.22	4.25	3.37	4.33	4.34	4.46	4.10	4.33	4.37
7	Transporte	10.43	12.55	7.49	9.75	10.72	8.25	9.16	8.98	10.73
8	Comunicaciones	5.15	6.08	3.98	5.46	4.60	5.02	4.28	4.14	5.12
9	Recreación y cultura	5.62	7.16	4.50	4.75	4.02	4.98	4.52	5.05	5.24
10	Educación	3.72	5.79	2.24	2.64	2.56	2.93	2.46	2.17	2.01
11	Restaurantes y hoteles	9.24	9.52	9.76	9.18	8.94	7.81	10.12	8.38	8.40
12	Bienes y servicios diversos	7.16	8.56	5.78	7.09	6.64	7.46	5.76	5.21	7.17
	Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Fuente: (INE, 2011).

Según la tabla 40, a nivel de la república de Guatemala el gasto de transporte representa el 10.43% del gasto total de las familias, sin embargo al observar la columna de la región I, Región Metropolitana, la ponderación asignada al transporte asciende al 12.55%, dado la Ciudad Universitaria se encuentra dentro de la región metropolitana, se tomó este dato para el análisis del costo de congestión y gasto de transporte de este estudio.

Como se menciona en el documento del INE, 2011, IPC Base ponderaciones del gasto, “según los resultados de la ENIGFAM 2009-2010, los hogares que viven en el área metropolitana tienen una estructura de gasto muy diferente a los hogares del resto de las regiones”. De la tabla 40 se observó que el gasto destinado a transporte en el área metropolitana es superior a cualquier otra región, por lo tanto cualquier factor que influya en el mismo tendrá un mayor impacto en el área metropolitana que en el resto de la república.

Para poder relacionar el costo de congestión y el gasto de transporte se utilizó como base un período mensual de comparación, por lo tanto se proyectó un flujo de vehículos promedio mensual para tomarlo como referencia en el cálculo de ingreso mensual, al multiplicar este flujo por el ingreso promedio mensual por usuario determinado en cálculo del costo de tiempo se obtuvo el ingreso total mensual de los usuarios, para determinar un costo mensual de congestión se proyectó el costo semanal de congestión multiplicándolo por 4 semanas del mes, a continuación se muestra la tabla 41 donde se aprecia la relación del costo de congestión con el ingreso total.

Tabla 41. Representatividad del costo mensual de congestión.

Descripción	Datos Promedio	
Flujo promedio semanal veh/h		1639
Tiempo de congestión total en hora pico (seg)		7.74
Salario mensual promedio	Q	5,608.73
Ingreso Total mensual	Q	9,192,703.19
Costo mensual Congestión	Q	1,158.12
% Representatividad del costo de congestión		0.01%

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Al observar la tabla 41, se determinó que el costo real obtenido generó un costo mensual de congestión de Q 1,158.12, esto significa que experimentar 7.74 segundos diarios de congestión durante un mes, en 147 metros de tramo vial, bajo los parámetros de este estudio, representó el 0.01% del ingreso mensual de los usuarios. A continuación se presenta la tabla 41 que muestra la relación del gasto de transporte y el costo de congestión experimentado en este estudio:

Tabla 42. Efecto de la congestión en el gasto de transporte

Gasto de transporte mensual y costo de congestión		
% Gasto según ENIGFAM		12.55%
Total del gasto en transporte	Q	1,153,684.25
Costo adicional por Congestión	Q	1,158.12
% Gasto de transporte que representa la congestión		0.10%

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Bajo la premisa que el ingreso total de los usuarios se convierte en gasto y aplicando la distribución del gasto propuesta por ENIGFAM según la tabla 40, que asigna un 12.55% del total del gasto al rubro de transporte, el costo de congestión representó un 0.10% del gasto de transporte mensual de los usuarios. Si se considera el costo de congestión de este estudio como un costo adicional en el gasto de transporte, al no estar contemplado por los usuarios, esto supone un incremento del 0.10% del gasto mensual en transporte, el monto pareciera no ser significativo, sin embargo esto significa que los usuarios debieron reducir en esta medida cualquier otro gasto no indispensable o endeudarse sino es posible reducir sus otros gastos, situación que se consideraría el peor escenario posible.

4.2.6.1 Análisis del costo de congestión por incremento en tiempo de congestión

Con el objetivo de obtener un panorama ampliado de los efectos del costo de congestión en el gasto de transporte debido al incremento en el tiempo de congestión al que pueden estar sujetos los usuarios, a continuación se expone el gráfico 13 que muestran estos efectos.

Tabla 43. Efectos del incremento del tiempo de congestión en el gasto de transporte y gasto total de los usuarios.

Tiempo min		Costo mensual de Congestión	Incremento en el Gasto de Transporte	Representatividad en Gasto Total
0.13	Q	1,158.12	0.1%	12.56%
1	Q	7,157.60	0.6%	12.63%
5	Q	35,787.98	3.1%	12.94%
10	Q	71,575.95	6.2%	13.33%
15	Q	107,363.93	9.3%	13.72%
20	Q	143,151.91	12.4%	14.11%
25	Q	178,939.88	15.5%	14.50%

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Tabla 43. Efectos del incremento del tiempo de congestión en el gasto de transporte y gasto total de los usuarios. (Continuación).

Tiempo min		Costo mensual de Congestión	Incremento en el Gasto de Transporte	Representatividad en Gasto Total
30	Q	214,727.86	18.6%	14.89%
35	Q	250,515.84	21.7%	15.28%
40	Q	286,303.81	24.8%	15.66%
45	Q	322,091.79	27.9%	16.05%
50	Q	357,879.77	31.0%	16.44%
55	Q	393,667.74	34.1%	16.83%
60	Q	429,455.72	37.2%	17.22%

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

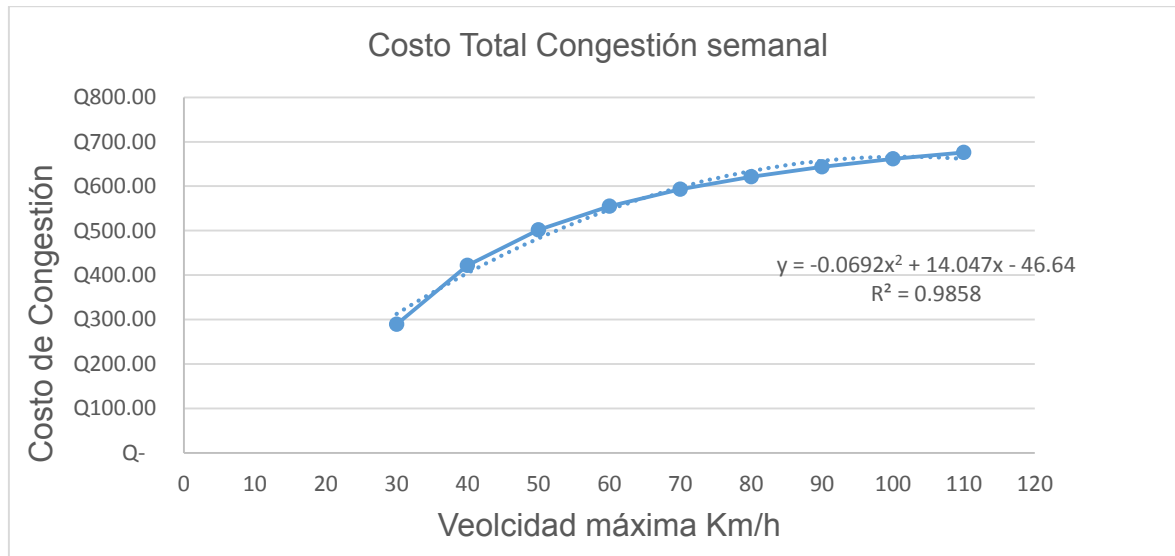
De la tabla 43 se pudo observar que a medida que el tiempo de congestión incrementa existe un incremento en el gasto de transporte, situación esperada en un fenómeno que presenta una relación directa “a mayor tiempo de congestión mayor será el gasto de congestión”. Se determinó que los usuarios que experimentaron por lo menos un minuto diario de congestión durante el mes de julio para ingresar a la Universidad de San Carlos por el ingreso analizado experimentaron un incremento del 0.6% en el gasto de transporte, lo que se reflejó en un incremento de un 0.08% en el gasto total mensual. Al efectuar el mismo análisis para un tiempo de congestión de 5 minutos se pudo determinar un incremento en el gasto de congestión del 3.1%, tomando en cuenta que el ingreso es fijo y no puede aumentar tan fácilmente en la misma medida que el gasto, los usuarios se ven obligados buscar maneras de sufragar este aumento en el gasto de transporte, una de las opciones a corto plazo es reducir este incremento en alguno de los otros rubros del gasto, en el caso puntual del análisis de 5 minutos de congestión, el incremento en el gasto por los efectos de la congestión es incluso mayor que el menor de los rubros que expone la tabla 40, al referirse al gasto destinado a Bebidas alcohólicas y tabaco de 0.30%. Cualquier usuario que se vea obligado a suprimir por completo cualquiera de sus gastos habituales como resultado de un incremento en el gasto de transporte, percibe directamente y sensiblemente los efectos de la congestión.

4.2.6.2 Análisis de Sensibilidad a la velocidad Máxima

Debido a que el tiempo de congestión experimentado por los usuarios depende directamente del límite de velocidad establecido, al desplazarse los usuarios a una velocidad inferior a la velocidad límite, el tiempo excedente en recorrer el tramo de estudio se considera como tiempo de congestión,

a continuación se presenta un análisis de sensibilidad del costo de congestión a límites de velocidad mayores.

Gráfico 5. Curva de sensibilidad del costo de congestión a la velocidad límite.



Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Al analizar el gráfico 5 se pudo determinar que el costo de congestión tiene una sensibilidad a la velocidad límite en la vía de estudio, como se pudo esperar una velocidad límite mayor implica un tiempo de congestión mayor con un costo mayor de congestión, sin embargo la relación entre la velocidad máxima y el costo de congestión no es lineal, si observamos el aumento que existe del costo de congestión entre una velocidad y otra, conforme se incrementa la velocidad límite, el aumento en el costo de congestión es menor, entre 40 km/h y 50 km/h se observó un aumento de Q 79.67, mientras que entre 50 km/h y 60 km/h se observó un aumento de Q 53.22, de esta manera se define que una curva polinómica de grado 2 define la relación entre la velocidad y el costo de congestión semanal para este estudio.

Conforme los vehículos se desplazan a mayor velocidad el consumo de energía se torna más eficiente, necesitan menos combustible para desplazarse, este efecto se pudo observar en la curva del gráfico 5 y es consecuente con la reducción en el incremento del costo de congestión conforme aumenta la velocidad, dado el costo de combustible representa más del 90% del costo de congestión, un menor incremento en el mismo, como resultado de desplazarse de una velocidad a otra, se torna perceptible en el incremento del costo de congestión resultante.

CONCLUSIONES

1. Como resultado del análisis efectuado del costo de congestión experimentado durante el estudio en el ingreso a la ciudad universitaria, se demuestra que la hipótesis planteada fue confirmada, el incremento total en el gasto de transporte por los efectos de la congestión durante la semana de estudio fue de Q 289.53, que representan un incremento del 0.1% en el gasto de transporte, pareciera no ser significativo, sin embargo al extender los parámetros de estudio se determinó que después de percibir 5 minutos diarios de congestión durante un mes, el incremento en el costo de congestión es de 3.1%, que representa un gasto que supera al rubro menor en la clasificación del gasto presentada por ENIGFAM, al referirse al gasto destinado a Bebidas alcohólicas y tabaco de 0.30%, obligando a los usuarios a eliminar este gasto o buscar una reducción en el resto de los rubros. Los usuarios al verse obligados a suprimir por completo cualquiera de sus gastos habituales, como resultado de un incremento en el gasto de transporte, perciben directamente y sensiblemente los efectos de la congestión.
2. El análisis del flujo vehicular durante el período de estudio indica que la hora pico para el ingreso en jornada nocturna corresponde de 17:00 a 18:00 horas, mientras que el día sábado por la mañana corresponde de las 07:00 a 08:00 horas. De los vehículos registrados un 52.8% corresponde a vehículos tipo automóvil, resulta interesante denotar que el 39.7% corresponde a motocicletas. El flujo vehicular promedio obtenido durante la hora pico corresponde a 1,900 vehículos/h, dado se reportaron más de 2,300 vehículos diarios en promedio durante todo el período y considerando que el análisis fue solamente en una jornada, se concluye que la afluencia real diaria de vehículos sobrepasa la capacidad de diseño de la vía de acceso que corresponde a una sección típica B, por lo tanto en las hora pico será normal experimentar los efectos de la congestión.
3. Del estudio se pudo determinar que las causas que tienen mayor impacto en el tiempo del viaje, así mismo que afectaron la movilidad de vehículos y por consiguiente inciden en la congestión, están asociadas a la conducta de los conductores en la vía, siendo estas: el cambio en último momento de carril, estacionarse en la vía para bajar o subir un peatón, y el maniobrar de las motocicletas entre vehículos sin respetar un carril, cabe resaltar que se observaron maniobras de buses urbanos para ingresar a parqueos cercanos que afectaron la movilidad de manera especial, al paralizar completamente el tráfico, como se expone en

la figura 18, este tipo de maniobras, al igual que las antes mencionadas no están permitidas y deben sancionarse, dado que afectan directamente la libre locomoción, el actuar de las autoridades es necesario en este tipo de situaciones.

4. El componente del costo de congestión asociado al costo del tiempo de los usuarios durante el período de análisis fue de Q 2.24, equivalentes a 46.43 segundos de congestión, que representa tan solo el 1% del costo de congestión experimentado por los usuarios. Existe una relación entre el tiempo de congestión y el límite de velocidad máximo para la vía de estudio, bajo el marco legal, se consideró que los usuarios experimentaron los efectos de la congestión al desplazarse a una velocidad inferior al límite permitido, recorriendo en mayor tiempo el tramo de estudio, sin embargo se observó que los usuarios durante horas no pico ingresaron a velocidades que excedían el límite permitido, infringiendo el reglamento de tránsito vigente, por lo tanto la percepción de tiempo de congestión se ve distorsionada por los usuarios al comparar la velocidad de desplazamiento durante la congestión con una velocidad superior al límite permitido.

5. El costo de operación vehicular resultante del estudio fue de Q 287.29 que representa el 99% del costo total de congestión, el restante 1% lo conforma el costo de tiempo de congestión, de los tres componentes del costo de operación: costo de combustible, costo de mantenimiento y costo de lubricantes, el costo de combustible representa un 94.44% del costo de operación vehicular, por lo tanto el estudio concluye que existe una alta sensibilidad del costo de congestión vehicular al precio del combustible, siendo este el rubro que más impactó a los usuarios al experimentar la congestión. Dado que existe una relación entre la velocidad de desplazamiento de los vehículos y el consumo de combustible, así mismo este estudio se basó en el límite de velocidad establecido legalmente que es de 30 km/h como la velocidad de referencia libre de congestión, se efectuó un análisis de sensibilidad del costo de congestión al límite de velocidad, donde se determinó que existe un incremento cada vez menor del costo de congestión conforme aumenta la velocidad límite, a causa del efecto que tienen los vehículos en el consumo de combustible al desplazarse a mayores velocidades.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que este estudio expone, tienen la finalidad de estimular otras investigaciones que permitan ampliar el conocimiento y buscar soluciones a la problemática de la congestión, no solo en el ingreso a la ciudad universitaria sino a nivel de Guatemala. Por lo tanto, esta investigación propone las siguientes recomendaciones:

1. Una alianza entre la Entidad Metropolitana reguladora de Transporte y tránsito del Municipio de Guatemala (EMETRA) y la Unidad de Monitoreo del Tránsito USAC, para efectuar un estudio ampliado de la congestión del tránsito vehicular que permita analizar las dos vías de acceso durante toda la jornada, tanto en el ingreso como en el egreso de la ciudad universitaria, para determinar el impacto del costo de congestión en el gasto de transporte de los usuarios, utilizando la metodología expuesta en este estudio, de esta manera tener una línea base para analizar proyectos que generen soluciones al problema de la congestión desde el punto de vista costo beneficio social.
2. Enfocar los esfuerzos del personal de la Unidad de Monitoreo del Tránsito USAC durante la hora pico determinada, a permitir un flujo constante de vehículos en el ingreso a la ciudad universitaria, dado la capacidad de la vía se ve sobrepasada durante la hora pico, es necesario enfocar los esfuerzos para garantizar la libre locomoción. Proyectos como la instalación de semáforos inteligentes para permitir el paso de peatones por los pasos de cebra ayudará a enfocar los esfuerzos de los agentes a velar por la libre locomoción.
3. Fomentar un plan de educación vial para los usuarios de la vía de acceso vehicular como parte de los programas de responsabilidad de la Universidad de San Carlos de Guatemala, dado las causas detectadas de la congestión, que no dependen de la capacidad de diseño de la vía, están asociadas a la conducta de los conductores de los vehículos, un plan de educación vial que concientice a los usuarios sobre la importancia de no afectar la libre locomoción, apoyará a minimizar las causas de la congestión.
4. A la municipalidad de Guatemala a través de EMETRA, analizar si el límite de velocidad de 30 km/h establecido en la vía de acceso a la ciudad universitaria es el adecuado, así mismo velar porque se respete el mismo, durante las horas no pico el estudio arrojó que muchos de los usuarios no respetaron el límite de velocidad establecido, infringiendo de esta manera el reglamento de tránsito, en el boulevard de acceso por la 11ª. Avenida no se observaron

señales indicando el límite de ley, un plan de señalización aportará a transmitir el límite de velocidad correspondiente.

5. Al estado de Guatemala, incentivar el uso del transporte colectivo no sin antes fortalecer la seguridad ciudadana y velar porque se brinde un servicio adecuado del mismo, dado el costo de combustible está fuertemente relacionado con el costo de congestión para los usuarios, el uso del transporte colectivo no solo permitirá minimizar los efectos de la congestión sino también reducir el gasto de transporte de los usuarios.
6. A todos los usuarios de la vía de acceso a la Universidad, principalmente a los pilotos de los diferentes vehículos, a efectuar el proceso de conducción de manera responsable y segura, tanto en el ingreso como dentro de la ciudad Universitaria, así mismo fomentar el respeto al peatón, ningún proyecto que busque aliviar las inconveniencias de la congestión, podrá ser exitoso sin la colaboración de todos usuarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara, E. (2010). *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad*. Bogota, Colombia.: Corporación Andina de Fomento.
- Bayona, B., & Marquéz, T. (2015). *La Congestión Vehicular en la ciudad de Piura*.
- Bielich, C. (2009). *La guerra del centavo Una mirada actual al transporte público en Lima Metropolitana*. Lima, Perú.
- Bull, A. (2003). *Congestión de Tránsito, El problema y cómo enfrentarlo*. CEPAL & GTZ.
- Centro de Estudios Urbanos y Regionales (USAC). (2016). *LA CONGESTION DEL TRÁNSITO EN LA CIUDAD DE GUATEMALA*.
- Corea y Asociados, S.A. (CORASCO). (2008). *Manual para la revisión de estudios de tránsito*. Ministerio de Transporte e Infraestructura, Managua, Nicaragua.
- Cortés S. Alejandro, F. M. (2016). *Los costos del uso del automóvil y su elasticidad. El caso de Santiago de Chile*.
- Crespo, C. (2010). *Vías de Comunicación: Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos*. México: Limusa.
- Departamento de Registro y Estadística, USAC. (2017). *AVANCE ESTADISTICO NO. 3-2017*.
- Echeverría, J. S. (22 de 03 de 2017). Carros polarizados: los pequeños muros del miedo. Soy 502, págs. Tomado de: <http://www.soy502.com/articulo/carros-polarizados-otras-imposiciones-miedo-149>.
- Garro Ayala, M. S. (2009). *Metodología de la Investigación Científica*. Perú.
- Hernández Samperi, R., Fernández Collado, C., & Baptista, L. P. (2003). *Metodología de la Investigación Científica* (Tercera ed.). España: Mc Graw Hill.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Pilar Baptista, L. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). McGraw Hill.
- INE. (2011). *Cambio de base del Índice de precios al consumidor (IPC)*.

- John J. García, C. E. (2016). *Congestión vehicular en Medellín: una posible solución desde la Economía*.
- John Jairo Posada, C. A. (2013). CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN VEHÍCULOS PARA TRANSPORTE POR CARRETERA –MODELOS PREDICTIVOS–. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 35-45.
- Julianne, A. H. (2015). *ESTUDIO DE TRÁNSITO DEL PERIFÉRICO, INICIANDO EN LA ZONA 7 Y FINALIZANDO EN LA ZONA 8 DE LA CIUDAD DE QUETZALTENANGO, QUETZALTENANGO*.
- Matas Prat, A. (2004). Políticas de transporte y congestión en áreas urbanas: un panorama. *Urban Public Economics Review*, 63-91. Recuperado el abril de 2018, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=50400103>
- Mendoza, Alberto. (2005). *ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LAS INCONVENIENCIAS EXTERNAS DEL TRÁNSITO CON FINES DE TARIFACIÓN DE VÍAS NUEVAS*. Instituto Mexicano del Transporte. .
- Muñoz Puentes, Pablo. (2014). *Metodología para evaluar los sobrecostos por congestión vehicular en la malla vial arterial principal de la ciudad de Bogotá D.C*. Universidad Nacional de Colombia.
- Peláez, R. (2017). *Infraestructura Vial en la ciudad de Guatemala Congestionamiento y Movilidad (CEUR)*.
- Pitán, E. (2017). Nuevo acceso a la Usac podría aliviar los problemas de tránsito. *Prensa Libre*. Obtenido de <http://www.prensalibre.com/ciudades/guatemala/en-el-2018-construiran-nueva-ruta-de-acceso-hacia-la-usac>
- Thomson, I., & Bull, A. (2001). *La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias sociales*. Naciones Unidas (CEPAL).
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. (2000). *HIGHWAY CAPACITY MANUAL*.
- Triveño, G. (2008). *Antídotos para la congestión y la inseguridad en el tránsito. PROEXPANSIÓN*.

Vela, S. (2013). *Análisis del flujo vehicular y costo del tráfico en avenida Las Américas y cuarta calle de la zona 3 de la ciudad de Quetzaltenango*. . Departamento de Investigación y Proyección (URL).

ANEXOS**Anexo 1. Lista de Acrónimos**

CFIA	Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica
CIV	Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda
COV	Costo de operación vehicular
DGC	Dirección General de Caminos de Guatemala
EMETRA	Entidad Metropolitana Reguladora de Transporte y Tránsito del Municipio de Guatemala
ENEI	Encuesta Nacional de Empleo e Ingresos
ENIGFAM	Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos Familiares
HCM	Manual de capacidad de carreteras (Highway Capacity Manual)
INE	Instituto Nacional de Estadística
PCU	Unidades de vehículos para personas (passenger car unit)
PMT	Policía Municipal de Tránsito de la Ciudad de Guatemala
SAT	Superintendencia de Administración Tributaria
SIECA	Secretaría de Integración Económica Centroamericana.
TA	Tránsito anual
TD	Tránsito diario

TM	Tránsito mensual
TPDA	Tránsito Promedio Diario Anual
TPDM	Tránsito promedio mensual
TPDS	Tránsito promedio diario
TS	Tránsito semanal
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
WIM	Sistema de medición Weigh in Motion

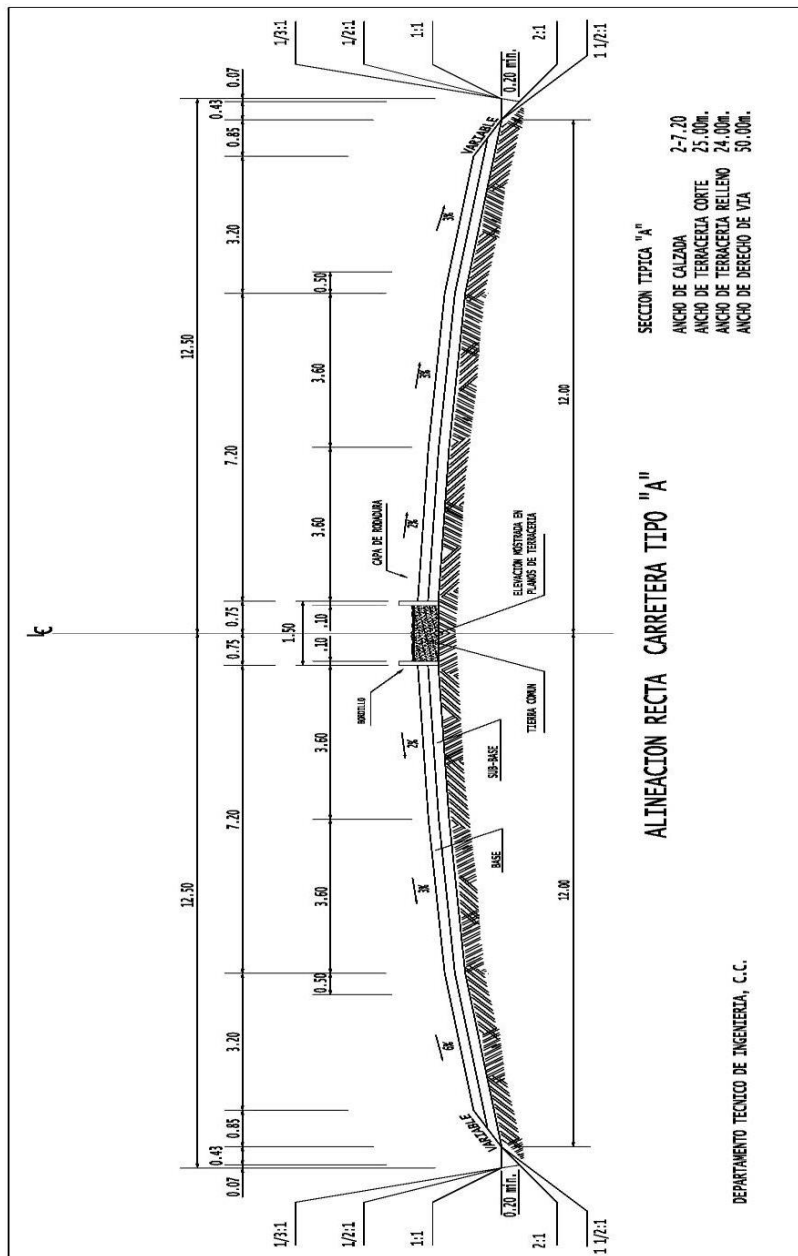
Anexo 2. Operacionalización de las variables del estudio

Variable	B			C	D	
	Clasificación por su naturaleza	Tipo de Variable	Nivel de Medición		Definición Operativa	Definición
Flujo Vehicular	Cuantitativa	Discreta	Razón o Proporción	Dimensión única Flujo Vehicular por el Anillo Periférico y 7 ^a Avenida de la zona 12, de la ciudad de Guatemala, en la jornada nocturna de 16:30 a 19:00	Cantidad de vehículos que circulan en el ingreso a la Universidad de San Carlos de Guatemala por el Anillo Periférico y 7 ^a Avenida de la zona 12, de la ciudad de Guatemala, en la jornada nocturna de 16:30 a 19:00 $q = S$	Descripción de las fórmulas q= Flujo vehicular S= Velocidad promedio del tramo D= Densidad.
Costo Operacional Vehicular	Cuantitativa	Continua	Razón o Proporción	Dimensión única. Costo de Operación Los costos de operación se evalúan con base en todos los costos por consumo de combustible, en relación con la velocidad. De este modo, al existir congestión, la velocidad disminuye y los costos de operación se incrementan debido al mayor consumo de combustible, lubricantes y otros costos relacionados (mantenimiento, neumáticos, etc.) (Muñoz Puentes, 2014)	El costo promedio de operación vehicular por vehículo-kilómetro. (Costo de combustible, costo de mantenimiento y costo de lubricantes). $C_o = C_p + C_m + C_l$ $C_p = P_c T_c Q_{ijk} C_{60} \left(0.8 + \frac{12.66}{V_{ijk}} \right) L_{ij}$ $C_l = P_l 0.0147 T_c Q_{ijk} C_{60} \left(0.8 + \frac{12.66}{V_{ijk}} \right) L_{ij}$ $C_m = 1.39 V_{ijk}^{-0.44} L_{ij} Q_{ij} T_c$	$C_p = C$ $C_m = C$ $C_l = Cos$ $P_c = Pr$ $T_c = T_{ij}$ $Q_{ijk} = Nú$ $Q_{60} = Con$ $V_{ijk} = Ve$ $L_{ij} = L$ $P_l = Pr$ de L $\alpha_k = Ya$ $V_{rj} = Ve$ ij.
Costo de tiempo de congestión	Cuantitativa	Continua	Razón o Proporción	Costo de oportunidad en actividad Productiva Base salario mínimo de Guatemala El costo de oportunidad en actividades productivas o de otros tipos (educación, entretenimiento, etc.), Mendoza, A. (2005).	El costo por unidad de tiempo de viaje se calcula como el costo de oportunidad en actividades productivas. $C_t = L_{ij} T_c \sum_{k=1}^n \alpha_k Q_{ijk}^{2k} \left(\frac{1}{V_{ijk}} - \frac{1}{V_{rj}} \right)$	
Costo de congestión	Cuantitativa	Continua	Razón o Proporción	(Thomson & Bull, 2001) definen la congestión como la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás". Enfocando el análisis en quienes deben transportarse, se pueden analizar los efectos de la congestión mediante el desglose de su costo en dos componentes fundamentales: el costo de tiempo de ocupantes y los costos operacionales de los vehículos, especialmente el combustible. Ambos se ven aumentados al viajar bajo condiciones de congestión.	$C_{congestion} = C_o + C_t$ Sumatoria del Costo de Operación y Costo de Tiempo.	$C_o = Cos$ $C_t = C$ o de ocupantes

A	E	F	G	H	I	J	K
Variable	Indicador	Unidad de Medida	Valor	Pregunta (Item)	Fuente de Recolección	Técnica de Recolección	Fuente de fórmulas
Flujo Vehicular	Flujo Vehicular	Vehículos por hora (vehículos/h)	Número de vehículos contabilizados por unidad de tiempo	Se efectuará un aforo vehicular unidireccional utilizando como referencia el Formato de tabulación de conteos y estadísticos de aforos vehiculares de conteo manual y clasificación de vehículos (Dirección General de Caminos).	Vehículos registrados al ingreso a la Universidad de San Carlos de Guatemala por el Anillo Periférico 7ª. Avenida de la zona 12, de la ciudad de Guatemala, en la jornada nocturna de 16:30 a 19:00 durante Julio 2018. El Aforo efectuado de manera Unidireccional.	Aforo Vehicular, metodología de mediciones manuales aplicada a una estación de conteo de tránsito tipo B, utilizando técnicas de cronometraje y toma de datos directos, dentro del período de análisis.	(Corea y Asociados, S.A., 2008).
Costo Operacional Vehicular	Costo promedio por vehículo por kilómetro	Quetzales por Kilómetro recorrido (Q./km)	Nos brinda el Costo de operación promedio calculado durante período de Análisis	Cálculo a partir de los datos recopilados en aforo vehicular	Vehículos registrados al ingreso a la Universidad de San Carlos de Guatemala por el Anillo Periférico 7ª. Avenida de la zona 12, de la ciudad de Guatemala, en la jornada nocturna de 16:30 a 19:00 durante Julio 2018	Aforo Vehicular, metodología de mediciones manuales aplicada a una estación de conteo de tránsito tipo B, utilizando técnicas de cronometraje y toma de datos directos, dentro del período de análisis.	Muñoz Puentes, P. (2014)
Costo de tiempo de congestión	Costo de oportunidad por hora Salario mínimo por hora	Quetzales por hora (Q/h)	Nos brinda el Costo de oportunidad en actividad productiva, calculado durante período de Análisis	Cálculo a partir de los datos recopilados en aforo vehicular	Vehículos registrados al ingreso a la Universidad de San Carlos de Guatemala por el Anillo Periférico 7ª. Avenida de la zona 12, de la ciudad de Guatemala, en la jornada nocturna de 16:30 a 19:00 durante Julio 2018	Aforo Vehicular, metodología de mediciones manuales aplicada a una estación de conteo de tránsito tipo B, utilizando técnicas de cronometraje y toma de datos directos, dentro del período de análisis.	Muñoz Puentes, P. (2014)
Costo de congestión	Costo/número de ocupantes, (asumir 1 persona)	Quetzales por mes (Q/h por ocupante)	Nos Brinda el Costo de Congestión registrado durante el período de Análisis	Cálculo a partir de los datos recopilados en aforo vehicular	Vehículos registrados al ingreso a la Universidad de San Carlos de Guatemala por el Anillo Periférico 7ª. Avenida de la zona 12, de la ciudad de Guatemala, en la jornada nocturna de 16:30 a 19:00 durante Julio 2018	Aforo Vehicular, metodología de mediciones manuales aplicada a una estación de conteo de tránsito tipo B, utilizando técnicas de cronometraje y toma de datos directos, dentro del período de análisis.	Muñoz Puentes, P. (2014)

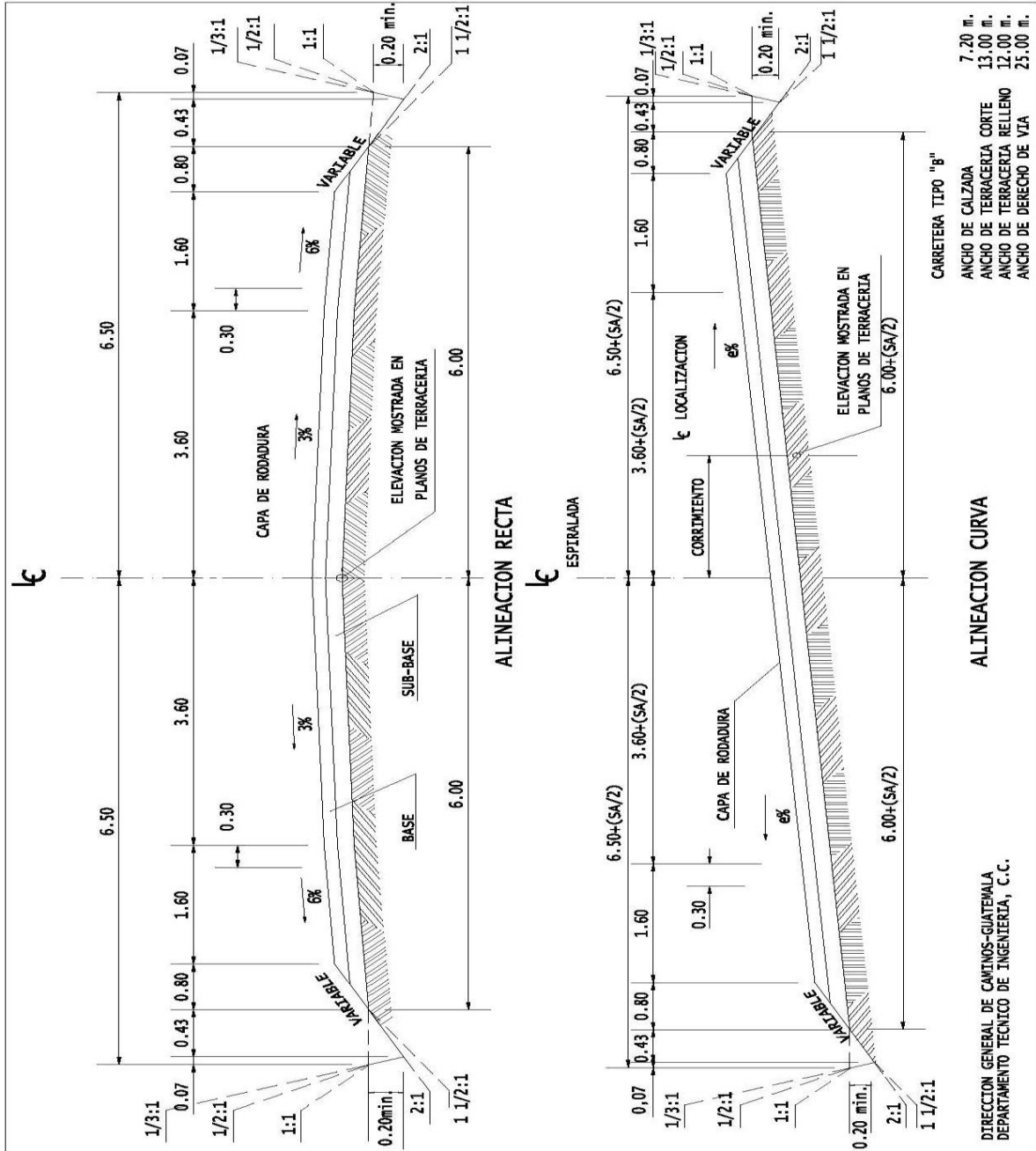
Anexo 3. Secciones típicas de tipos de carretera según la DGC

Sección típica A.



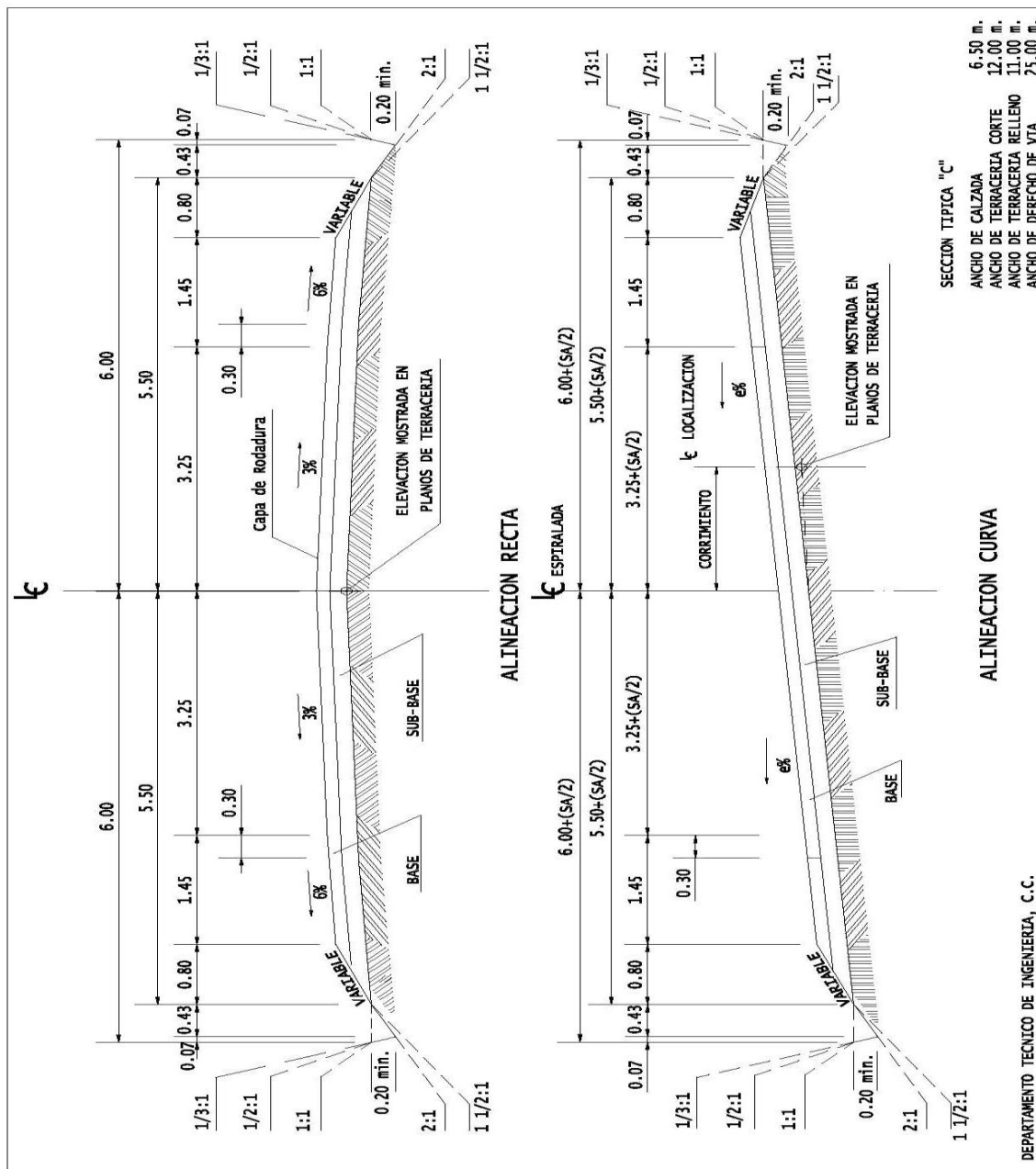
Fuente. Departamento Técnico de Ingeniería, Dirección General de Caminos.

Sección típica B.



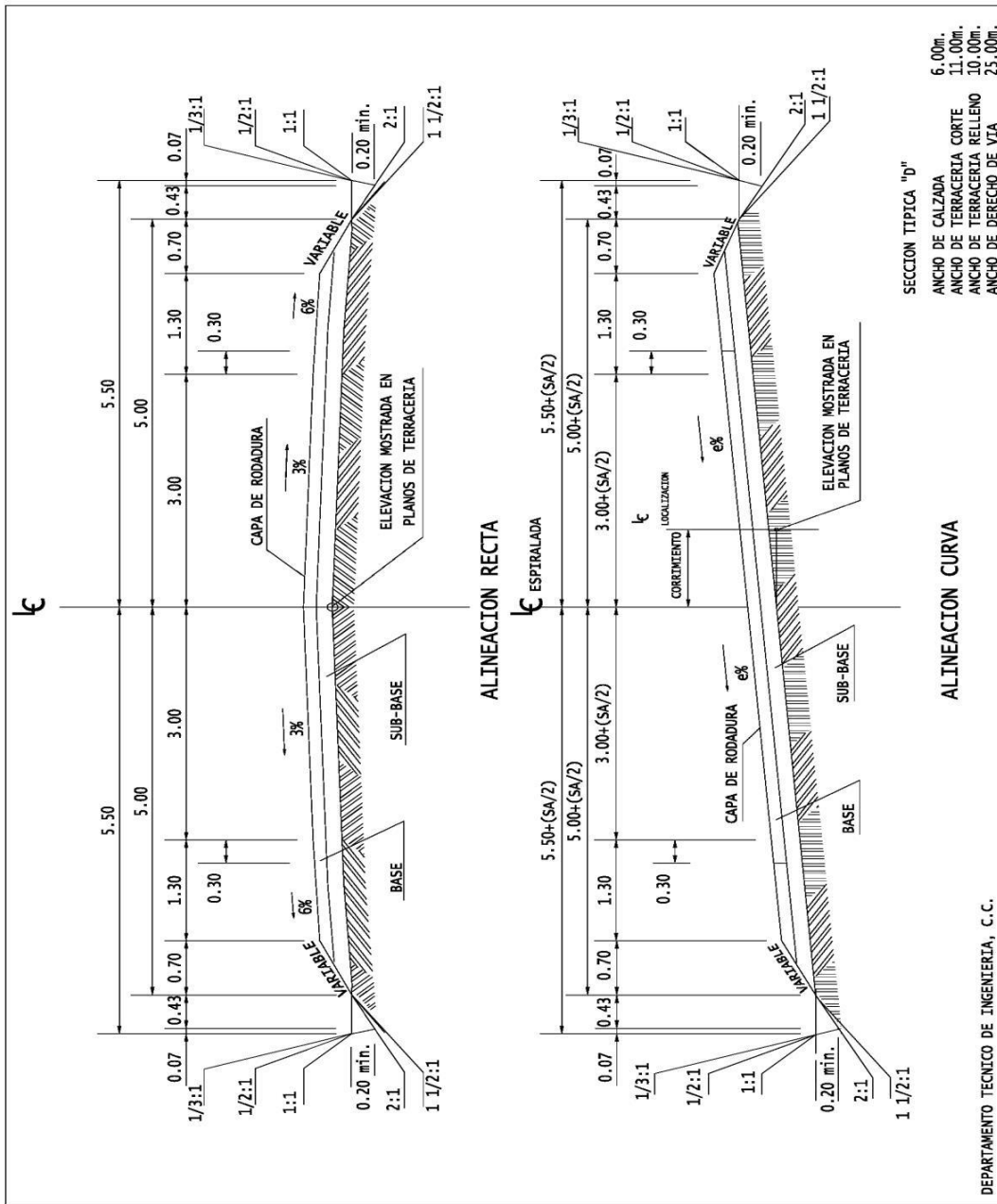
Fuente. Departamento Técnico de Ingeniería, Dirección General de Caminos.

Sección típica C.



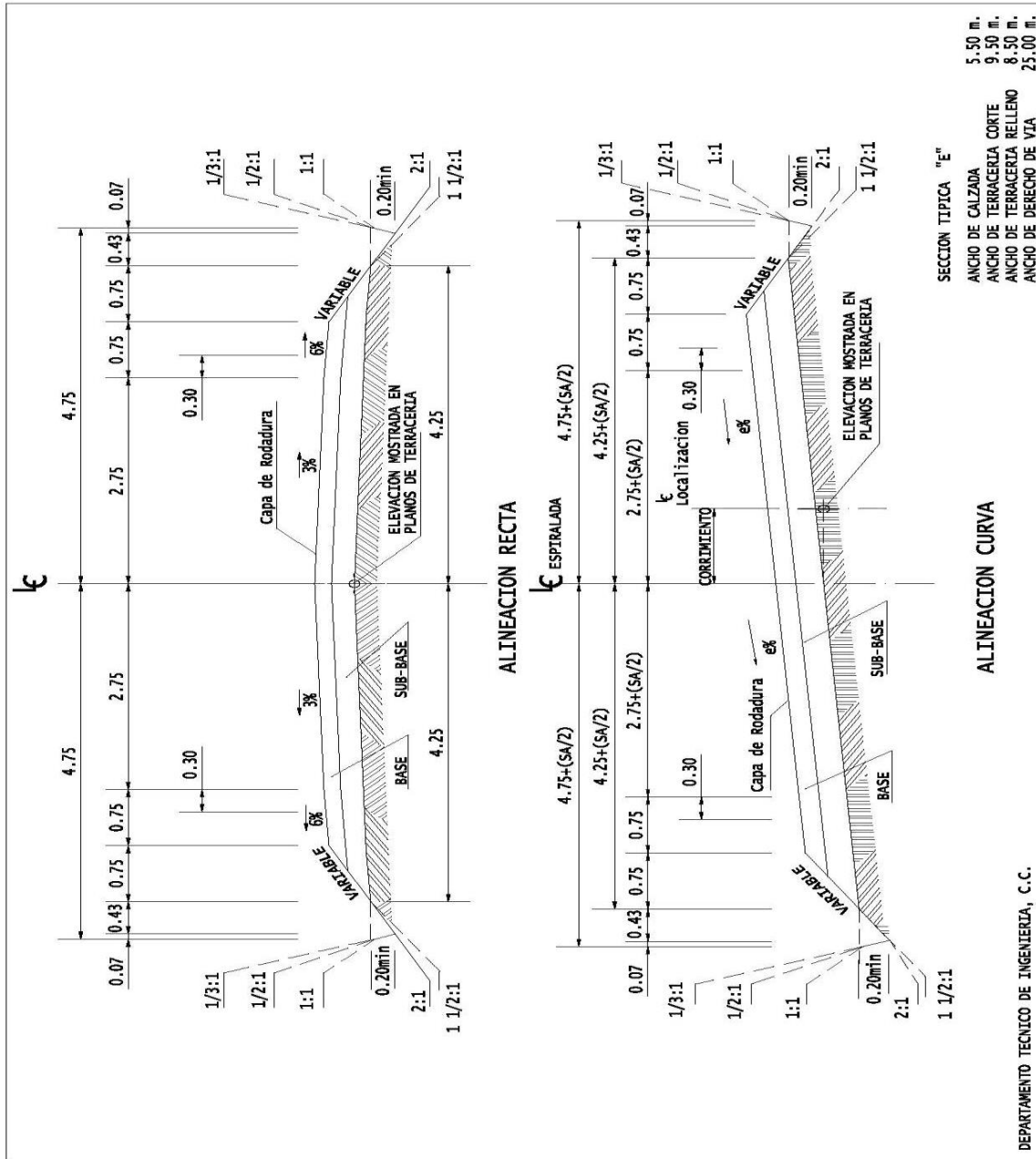
Fuente. Departamento Técnico de Ingeniería, Dirección General de Caminos.

Sección típica D.



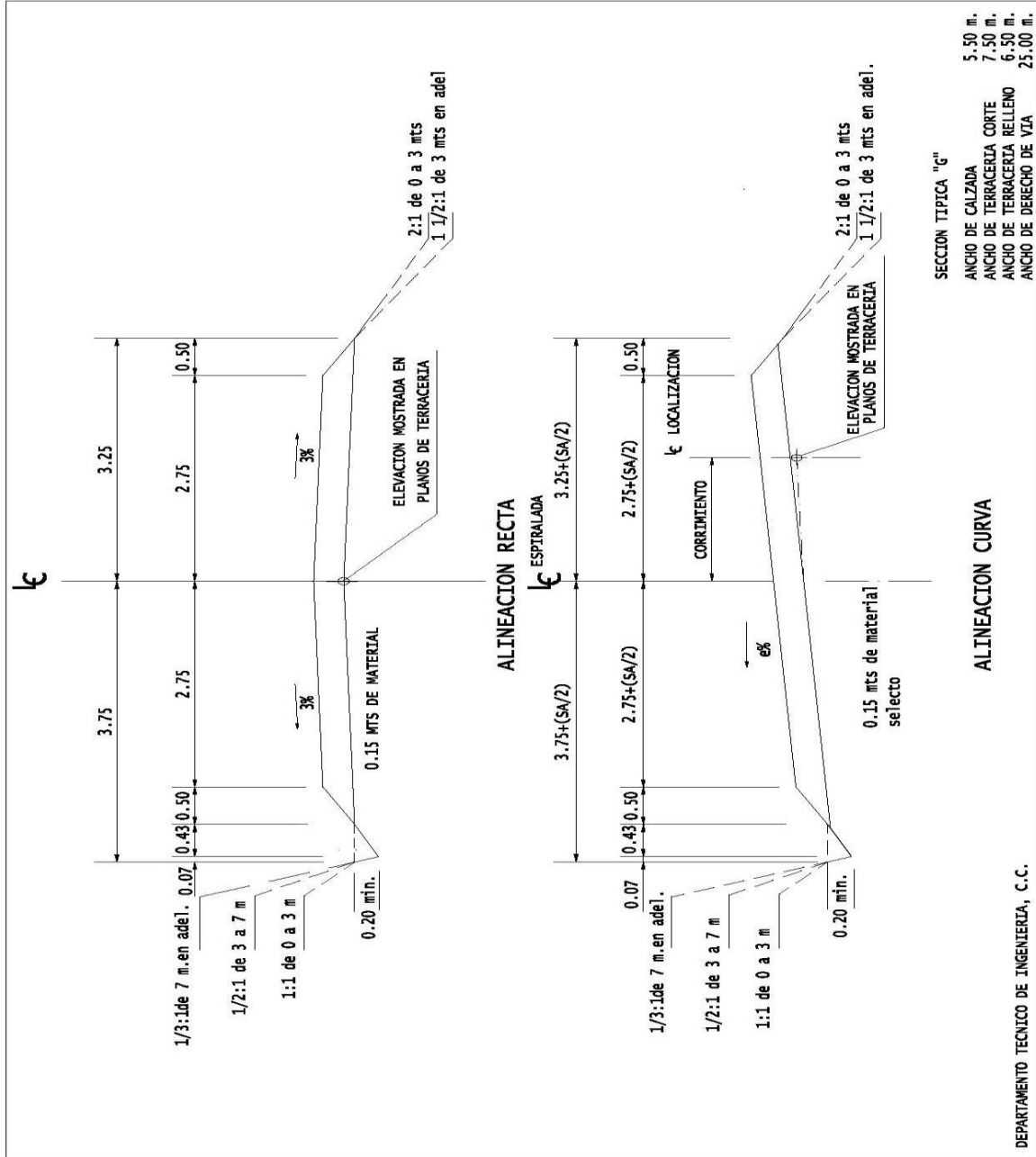
Fuente. Departamento Técnico de Ingeniería, Dirección General de Caminos.

Sección típica E.



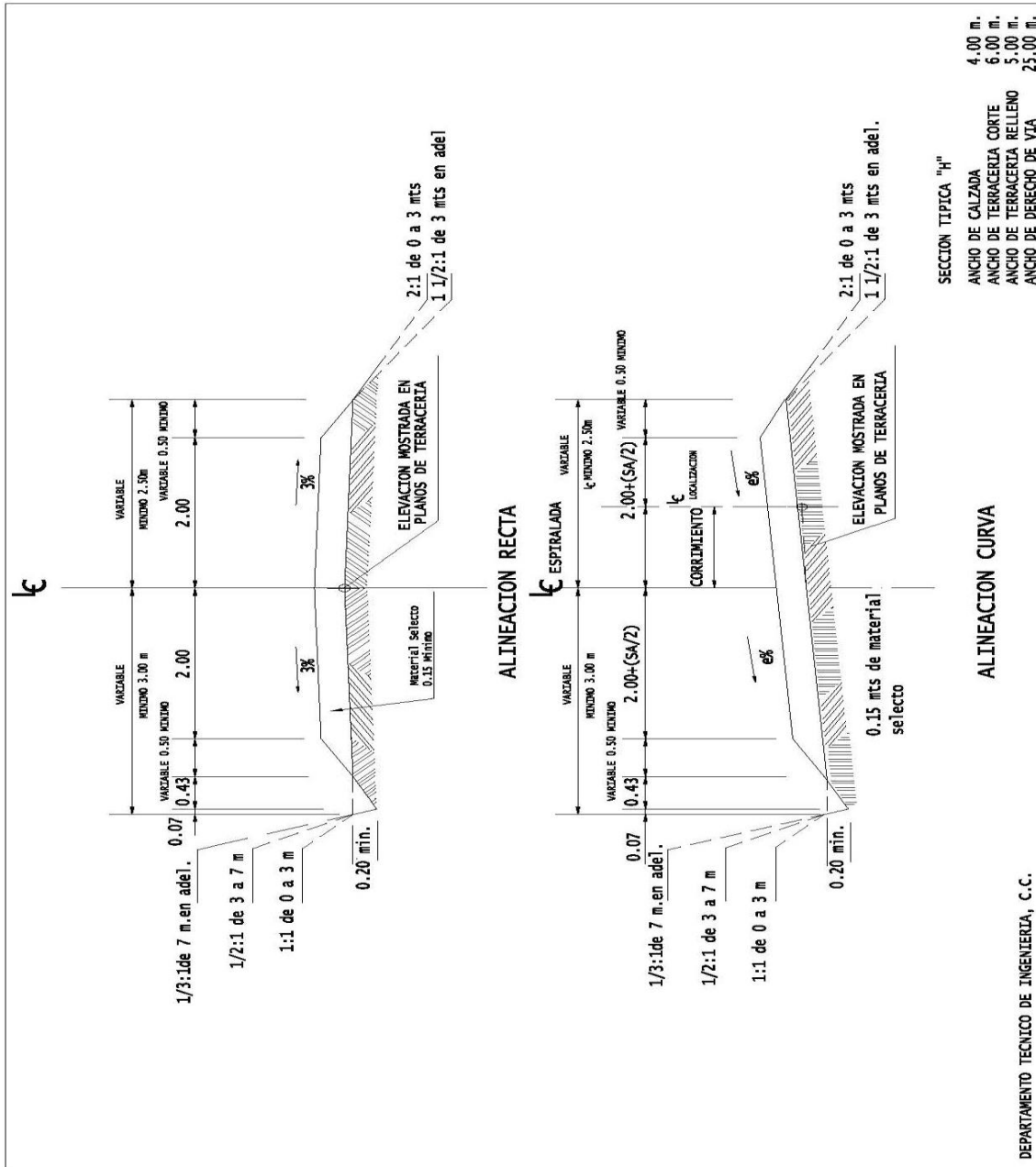
Fuente. Departamento Técnico de Ingeniería, Dirección General de Caminos.

Sección típica G.



Fuente. Departamento Técnico de Ingeniería, Dirección General de Caminos.

Sección típica H.



Fuente. Departamento Técnico de Ingeniería, Dirección General de Caminos.

Anexo 4. Muestra de la Encuesta Nacional de Ingresos y Egresos.

No.	DOMINIO DE ESTUDIO		ÁREA GEOGRÁFICA		UNIDAD PRIMARIA DE MUESTREO		SUELDO O SALARIO		MEDIO TRANSPORTE	
	DOMINIO	URBANO METROPOLITANO	ÁREA	METROPOLITANO	UPM	MUESTREO	P04C10	SUELDO O SALARIO	P04C33	MEDIO TRANSPORTE
1		1	URBANO METROPOLITANO	1	46	Q	2,800.00	3	Carro o camionetilla particular	
2		1	URBANO METROPOLITANO	1	46	Q	2,800.00	3		
3		1	URBANO METROPOLITANO	1	46	Q	8,000.00	3		
4		1	URBANO METROPOLITANO	1	46	Q	7,000.00	3		
5		1	URBANO METROPOLITANO	1	46	Q	6,389.00	3		
355		1	URBANO METROPOLITANO	1	10	Q	9,500.00	3		
356		1	URBANO METROPOLITANO	1	10	Q	10,000.00	3		
357		1	URBANO METROPOLITANO	1	10	Q	5,000.00	3		
358		1	URBANO METROPOLITANO	1	23	Q	4,500.00	3		
359		1	URBANO METROPOLITANO	1	23	Q	3,800.00	3		
360		1	URBANO METROPOLITANO	1	2	Q	3,600.00	3		
361		1	URBANO METROPOLITANO	1	18	Q	7,000.00	3		
362		1	URBANO METROPOLITANO	1	18	Q	4,000.00	3		
363		1	URBANO METROPOLITANO	1	22	Q	10,000.00	3		
364		1	URBANO METROPOLITANO	1	2	Q	2,200.00	3		
365		1	URBANO METROPOLITANO	1	100	Q	7,000.00	3		
366		1	URBANO METROPOLITANO	1	101	Q	2,000.00	3		
Promedio							Q	5,608.73		

Fuente: Elaboración con base a Encuesta Nacional de Ingresos y Egresos diciembre 2017.

Anexo 5. Precios de combustible

PRECIOS PROMEDIO A CONSUMIDOR FINAL CIUDAD CAPITAL

FECHA	Tipo de Cambio	Superior	Regular	Diésel	Bunker	Glp Cilindro 25Lbs.	
	GTQ/USD	GTQ/GALON	GTQ/GALON	GTQ/GALON	GTQ/GALON	GTQ/CIL 25 LB	GTQ/LB
16-jul-18	7.48122	27.30	26.22	22.41	15.68	120.00	4.80
17-jul-18	7.47831	-	-	-	15.68	120.00	4.80
18-jul-18	7.48046	-	-	-	15.68	120.00	4.80
19-jul-18	7.47875	-	-	-	15.68	120.00	4.80
20-jul-18	7.47764	-	-	-	15.68	120.00	4.80
23-jul-18	7.47632	26.82	25.74	21.85	15.68	120.00	4.80
24-jul-18	7.47813	-	-	-	15.68	120.00	4.80
25-jul-18	7.48146	-	-	-	15.68	120.00	4.80
26-jul-18	7.49312	-	-	-	15.68	120.00	4.80
27-jul-18	7.48577	-	-	-	15.68	120.00	4.80
30-jul-18	7.48415	27.29	26.19	22.19	15.68	120.00	4.80

Fuente: Ministerio de Energía y Minas de Guatemala.

Anexo 6. Formatos de toma de tiempos de viaje



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ciencias Económicas
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos



TRAMO DE LA CARRETERA	Ingreso por el Anillo Periférico y 11ª. Avenida de la zona 12, de la ciudad de Guatemala.
SENTIDO	A -> B (Ingreso a Ciudad Universitaria)
UBICACIÓN	Entrada Universidad de San Carlos de Guatemala
INTERVALO	

TIEMPO DE VIAJE

No.	Tiempo (segundos)	No.	Tiempo (segundos)	No.	Tiempo (segundos)
1		21		41	
2		22		42	
3		23		43	
4		24		44	
5		25		45	
6		26		46	
7		27		47	
8		28		48	
9		29		49	
10		30		50	
11		31		51	
12		32		52	
13		33		53	
14		34		54	
15		35		55	
16		36		56	
17		37		57	
18		38		58	
19		39		59	
20		40		60	

ENCUESTADOR:

FECHA:

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada, julio 2018.

Anexo 7. Formato de conteo vehicular.



Universidad de San Carlos de Guatemala
 Facultad de Ciencias Económicas
 Escuela de Estudios de Postgrado
 Maestría en Formulación y Evaluación de Proyectos



CONTEO PRIMARIO

TRAMO DE LA CARRETERA Ingreso por el Anillo Periférico y 11ª. Avenida de la zona 12, de la ciudad de Guatemala.
SENTIDO A -> B (Ingreso a Ciudad Universitaria)
UBICACIÓN Entrada Universidad de San Carlos de Guatemala

HORA	MOTOS	AUTO	SUV	CAMIONETAS			BUS	Tranvía
				PICKUP	PANEL	RURAL Combi		
TOTALES								

ENCUESTADOR :

ENCUESTADOR :

FECHA:

Fuente: Elaboración propia con base en información de investigación realizada. Julio 2018.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Recorrido comprendido por el tramo de estudio y ancho de carriles, metros.	34
Tabla 2. Resultados del conteo vehicular, cantidad de vehículos, días lunes a viernes.	34
Tabla 3. Resultados conteo vehicular día sábado.	35
Tabla 4. Flujo y volumen vehicular obtenidos para los días lunes a miércoles.	38
Tabla 5. Flujo y volumen vehicular obtenidos para los días jueves a sábado.	38
Tabla 6. Volúmenes de vehículos según su tipo durante la hora pico, cantidad de vehículos.	40
Tabla 7. Conteo de vehículos con cantidad de ocupantes observados, día lunes 16 de julio durante hora pico.	42
Tabla 8. Promedios de tiempo de viaje observado en intervalos de 15 minutos, tiempo en segundos, días lunes a viernes.	42
Tabla 9. Promedios de tiempo de viaje observado en intervalos de 15 minutos, tiempo en segundos, día sábado.	43
Tabla 10. Tiempo y velocidades promedio para intervalos de 1 hora, días lunes a miércoles.	44
Tabla 11. Tiempo y velocidades promedio para intervalos de 1 hora, días jueves a sábado.	44
Tabla 12. Resultados de la densidad de vehículos por kilómetro, días lunes a miércoles.	46
Tabla 13. Resultados de la densidad de vehículos por kilómetro, días jueves a sábado.	46
Tabla 14. Tiempos de congestión observados, días lunes a miércoles, tiempo en segundos.	47
Tabla 15. Tiempos de congestión observados, días jueves a sábado, tiempo en segundos.	47
Tabla 16. Resumen semanal de los fenómenos observados que afectaron la movilidad.	48
Tabla 17. Datos recopilados para el cálculo del costo de tiempo de congestión, 16/07/2018.	54

Tabla 18. Datos recopilados y resultados del costo del tiempo de congestión, días lunes a miércoles.	55
Tabla 19. Datos recopilados y resultados del costo del tiempo de congestión, días jueves a sábado.	55
Tabla 20. Proyección de costos de tiempo de congestión.....	56
Tabla 21. Datos recopilados para el cálculo del costo de combustible, 16/07/2019.	57
Tabla 22. Datos recopilados y resultados del costo del costo de combustible, días lunes a miércoles	58
Tabla 23. Datos recopilados y resultados del costo del costo de combustible, días jueves a sábado	58
Tabla 24. Proyección de costos de combustible por tiempo de congestión	59
Tabla 25. Datos recopilados para el cálculo del costo de lubricante, 16/07/2019.	59
Tabla 26. Datos recopilados y resultados del costo del costo de combustible, días lunes a miércoles.	60
Tabla 27. Datos recopilados y resultados del costo del costo de combustible, días jueves a sábado.	60
Tabla 28. Costo de lubricante por unidad de tiempo de congestión.....	61
Tabla 29. Conversión de unidades monetarias de la constante \$360.00 ecuación 10.	62
Tabla 30. Datos recopilados para el cálculo del costo de mantenimiento, 16/07/2018.	62
Tabla 31. Datos recopilados y resultados del costo de mantenimiento, días lunes a miércoles.....	63
Tabla 32. Datos recopilados y resultados del costo de mantenimiento, días jueves a sábado.	63
Tabla 33. Costo de mantenimiento por unidad de tiempo	64
Tabla 34. Costo de operación vehicular por unidad de tiempo, días lunes a miércoles.....	64
Tabla 35. Costo de operación vehicular por unidad de tiempo, días jueves a sábado.	65

Tabla 36. Costo diario de congestión, días lunes a miércoles.....	66
Tabla 37. Costo diario de congestión, días jueves a sábado.	67
Tabla 38. Costo semanal de congestión.....	67
Tabla 39. Costo promedio de congestión por unidad de tiempo.	68
Tabla 40. Ponderación por división de gasto y región de Guatemala (región I a la VIII).....	69
Tabla 41. Representatividad del costo mensual de congestión.....	70
Tabla 42. Efecto de la congestión en el gasto de transporte.....	71
Tabla 43. Efectos del incremento del tiempo de congestión en el gasto de transporte y gasto total de los usuarios.	71

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 1. Cantidad de vehículos observados por cada día de estudio en el horario establecido. ..	36
Gráfico 2. Tipo de vehículos observados durante la hora pico, expresado en porcentaje.	40
Gráfico 3. Distribución del costo de operación, expresado en porcentaje.....	66
Gráfico 4. Representatividad del costo de congestión de los días de estudio, expresado en porcentaje.....	68
Gráfico 5. Curva de sensibilidad del costo de congestión a la velocidad límite.	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Formato de tabulación de conteos estadísticos de aforos vehiculares de conteo manual y clasificación de vehículos (DGC).	9
Figura 2. Efecto gráfico de la Congestión.	12
Figura 3. Monitores viales dentro de la USAC, dirigiendo el tránsito.....	19
Figura 4: Mapa del tramo de estudio	24
Figura 5. Cámara semi-profesional Marca Sony.....	28
Figura 6. Aforistas durante el aforo vehicular, julio 2018	33
Figura 7. Momento de inicio de carril reversible por 11av. del Boulevard Universitario de la zona 12.	36
Figura 8. Congestión observada el día martes 17 de julio durante hora pico.	39
Figura 9. Congestión observada el día sábado 21 de julio durante hora pico.....	39
Figura 10. Vehículos observados con vidrios polarizados	41
Figura 11. Conductor de motocicleta maniobrando entre vehículos.....	49
Figura 12. Cambio de carril en último momento	50
Figura 13. Vehículo parado en la vía desalojando a un ocupante	50
Figura 14. Peatón atravesando la vía en un lugar no permitido	51
Figura 15. Bus extra largo ocupando 2 carriles para girar.	51
Figura 16. Monitor vial dirigiendo el tránsito	52
Figura 17. Vehículo proveniente de un parqueo incorporándose a la vía	52
Figura 18. Bus efectuando maniobras para incorporarse a un parqueo	53