

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería Civil



**Caracterización de la red vial de la Ciudad de Guatemala:
análisis y propuesta de nuevo tramo carretero en ingreso
crítico seleccionado**

Trabajo de graduación presentado por José Andrés González-Campo
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil
Industrial

Guatemala,

2021

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería Civil



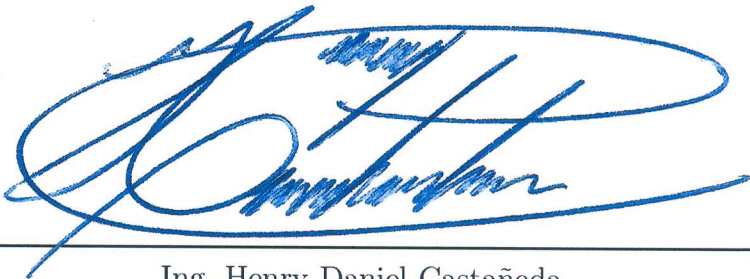
**Caracterización de la red vial de la Ciudad de Guatemala:
análisis y propuesta de nuevo tramo carretero en ingreso
crítico seleccionado**

Trabajo de graduación presentado por José Andrés González-Campo
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil
Industrial

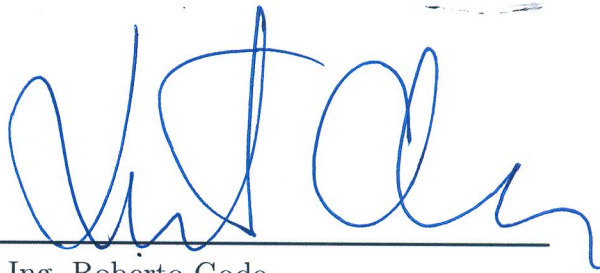
Guatemala,

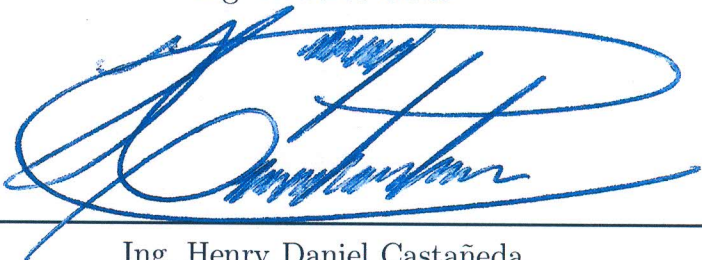
2021

Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Henry Daniel Castañeda

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Roberto Godo

(f) 
Ing. Henry Daniel Castañeda

(f) 
Arq. Juan Fernando Montenegro

Fecha de aprobación: Guatemala, 9 de diciembre de 2021.

El desarrollo de un país es posible medirlo en la capacidad de comunicación y conexión entre poblados, puertos y ciudades. Mientras mayor conectividad, mayor desarrollo. La infraestructura vial de Guatemala cuenta con deficiencias, falta de mantenimiento y escasa planeación, pero también cuenta con un gran potencial. Para el ingeniero civil, la problemática del tránsito, el estado actual de la infraestructura y la topografía del territorio nacional representan retos dignos de afrontarse.

El presente trabajo de graduación no hubiese sido posible sin el apoyo incondicional de mi familia durante toda esta etapa de la carrera. A mi padre le agradezco la oportunidad de introducirme al mundo de la construcción desde pequeño y a mi madre por toda la guía, enseñanzas y dedicación desde el colegio hasta este punto.

Aprovecho la oportunidad para también agradecer a todos los catedráticos que me impartieron clases, al Ing. Roberto Godo y a todo el departamento de Ingeniería Civil, cada uno deja una huella en mi formación académica y profesional. Al Ing. Henry Castañeda agradezco por todos los conocimientos compartidos, tiempo y dedicación en el proceso de asesoría. Y a la Universidad del Valle de Guatemala le agradezco todas las oportunidades, experiencias y conocimientos brindados.

Por último, agradezco a todas las personas e instituciones que facilitaron información para el desarrollo del trabajo, la Dirección de Movilidad Urbana de la Municipalidad de Guatemala, el Observatorio Nacional de Seguridad de Tránsito de la PNC, el Ing. Jean Roch Lebeau y el Arq. Al Moshee Asturias.

Índice

| | |
|---|-------------|
| Prefacio | III |
| Lista de figuras | VIII |
| Lista de cuadros | X |
| Resumen | XI |
| Abstract | XIII |
| 1 Introducción | 1 |
| 2 Antecedentes | 2 |
| 3 Justificación | 3 |
| 4 Objetivos | 5 |
| 4.1 Objetivo general | 5 |
| 4.2 Objetivos específicos | 5 |
| 5 Alcance | 6 |
| 6 Identificación de variables análisis | 7 |
| 7 Marco teórico | 9 |
| 7.1 Proyectos viales | 9 |
| 7.1.1 Fases de desarrollo de un proyecto vial | 10 |
| 7.2 Componentes de la red viaria | 11 |
| 7.2.1 Obras de tierra | 11 |
| 7.2.2 Afirmados (pavimentos) | 12 |
| 7.2.3 Obras de fábrica (obras de arte) | 13 |
| 7.3 Infraestructura vial | 14 |
| 7.4 Sistemas viales en áreas urbanas | 14 |
| 7.5 Movilidad urbana | 15 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 7.6 | Afluencia vehicular | 17 |
| 7.7 | Congestión vehicular | 17 |
| 7.8 | Variables de congestión vehicular | 20 |
| 7.8.1 | Volumen y razón de flujo | 20 |
| 7.8.2 | Velocidad | 20 |
| 7.8.3 | Densidad | 20 |
| 7.9 | Nivel de servicio de carreteras | 21 |
| 7.10 | Highway Capacity Manual - Niveles de servicio | 23 |
| 7.11 | Métodos de afóros vehiculares | 27 |
| 7.11.1 | Aforos manuales | 27 |
| 7.11.2 | Aforos mecánicos | 28 |
| 7.11.3 | Aforos portátiles | 28 |
| 7.12 | Tasas de crecimiento | 30 |
| 7.13 | Infraestructura vial de Guatemala | 30 |
| 7.13.1 | Rutas Centroamericanas | 34 |
| 7.13.2 | Rutas Nacionales | 35 |
| 7.13.3 | Rutas Departamentales | 36 |
| 7.13.4 | Caminos rurales | 37 |
| 7.13.5 | Longitud red vial por departamento | 37 |
| 7.14 | Ciudad de Guatemala - Área Metropolitana | 39 |
| 7.14.1 | Historia | 39 |
| 7.14.2 | Delimitación área | 42 |
| 7.14.3 | Principales accesos | 44 |
| 7.14.4 | Marco legal | 50 |
| 7.15 | Teoría de las decisiones | 53 |
| 7.16 | Herramientas software | 55 |
| 7.16.1 | QGIS | 55 |
| 7.16.2 | Google Earth | 57 |
| 7.16.3 | Power BI | 58 |
| 7.16.4 | Infraworks | 60 |
| 7.16.5 | Civil 3D | 60 |
| 8 | Análisis de variables | 62 |
| 8.1 | Variables geométricas | 62 |
| 8.1.1 | Longitud tramo | 62 |
| 8.2 | Variables demográficas | 64 |
| 8.2.1 | Parque vehicular actual | 64 |
| 8.2.2 | Proyecciones parque vehicular | 66 |
| 8.2.3 | Año promedio vehículo del parque vehicular | 69 |
| 8.3 | Variables topográficas | 70 |
| 8.3.1 | Alturas | 75 |
| 8.3.2 | Pendiente máxima positiva | 75 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 8.3.3 | Pendiente máxima negativa | 75 |
| 8.3.4 | Pendiente promedio positiva | 76 |
| 8.3.5 | Pendiente promedio negativa | 76 |
| 8.4 | Variables económicas | 77 |
| 8.4.1 | Distribuidores viales y puentes | 77 |
| 8.4.2 | Actividad económica | 78 |
| 8.4.3 | Construcción | 79 |
| 8.5 | Variables afluencia | 82 |
| 8.5.1 | Nivel de servicio | 82 |
| 8.5.2 | Capacidad excedida | 83 |
| 8.5.3 | Conteos vehiculares | 83 |
| 8.6 | Variables seguridad vial | 84 |
| 8.6.1 | Cantidad de accidentes | 85 |
| 8.6.2 | Cantidad de fallecidos | 85 |
| 9 | Matriz general | 86 |
| 10 | Tramo propuesto | 90 |
| 10.1 | Infraworks | 90 |
| 10.2 | Civil 3D | 92 |
| 11 | Antepresupuesto | 95 |
| 11.1 | Índices cantidades | 96 |
| 11.2 | Precios promediados | 98 |
| 11.3 | Ofertas | 101 |
| 11.3.1 | Oferta pavimento rígido | 101 |
| 11.3.2 | Oferta pavimento flexible | 102 |
| 11.3.3 | Relación costos ofertas | 103 |
| 12 | Conclusiones | 104 |
| 13 | Recomendaciones | 106 |
| 14 | Bibliografía | 108 |
| 15 | Anexos | 111 |
| 15.1 | Hojas de cálculo niveles de servicio | 111 |
| 15.2 | Oferta Proyecto Liberamiento Chimaltenango | 160 |
| 15.3 | Oferta Proyecto Rehabilitación de la ruta existente y ampliación a cuatro carriles de la ruta CA-2 Oriente: Escuintla - Ciudad Pedro Alvarado | 164 |
| 15.4 | Oferta Proyecto ampliación 4 carriles ruta Centroamérica CA-Occidente Tramo Nahuala-Cuatro Caminos | 170 |
| 15.5 | Reporte volúmenes Civil 3D | 173 |
| 15.6 | Planos tramo | 175 |

Lista de figuras

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Fases del desarrollo de un proyecto vial y sus objetivos. | 10 |
| 2 | Diferencia gráfica entre desmonte y terraplén. | 12 |
| 3 | Diferencia gráfica entre pavimento flexible y rígido. | 13 |
| 4 | Distribución aproximada de la infraestructura vial en zonas urbana según tipo de sistema. | 15 |
| 5 | Representación esquemática del concepto de congestión de tránsito donde "q" hace referencia al volumen y "t" al tiempo. | 18 |
| 6 | Nivel de servicio para carreteras de dos calzadas por tiempo consumido. | 22 |
| 7 | Nivel de servicio apropiados para cada tipo de tramo y área. | 23 |
| 8 | Diferencia gráfica entre segmento e instalaciones según clasificación de elementos HCM. | 24 |
| 9 | Diferencia gráfica entre conceptos de freeway y highway. | 25 |
| 10 | Segmentación de tramos de un "Freeway Facilities" | 26 |
| 11 | Fórmula para identificar el nivel de servicio bajo la metodología "Freeway Facilities". | 27 |
| 12 | Ejemplo de formato proporcionado por la Dirección General de Caminos para aforos vehiculares manuales. | 28 |
| 13 | Formato conteo vehiculares Municipalidad de Guatemala, tramo CA-1 Oriente 2019. | 29 |
| 14 | Ejemplo de métodos de aforos vehiculares que no necesitan la presencia de un operador o varios operadores. | 30 |
| 15 | Fórmula de tasa de crecimiento modelo aritmético. | 30 |
| 16 | Metros de carretera por habitante en Centroamérica. | 31 |
| 17 | Metros de carretera por superficie (en km ²) en Centroamérica. | 32 |
| 18 | Porcentaje de pavimentos de carreteras en Centroamérica | 32 |
| 19 | Metros de carretera pavimentada por superficie (en km ²) en Centroamérica. | 33 |
| 20 | Evolución de la pavimentación de la red vial de Guatemala. | 33 |
| 21 | Distribución de la red vial registrada de Guatemala según clasificación de ruta. | 34 |
| 22 | Mapa Rutas Centroamericanas de la Red Vial de Guatemala. | 35 |
| 23 | Mapa Rutas Nacionales de la Red Vial de Guatemala. | 36 |
| 24 | Longitud de la red vial por clasificación de carreteras, según departamento. Año 2019. | 38 |
| 25 | Evolución del desarrollo de Ciudad de Guatemala. | 42 |

| | | |
|----|--|----|
| 26 | Área metropolitana considerada para estudio. | 44 |
| 27 | Mapa red vial departamento de Guatemala. | 45 |
| 28 | Ingresos a Ciudad de Guatemala seleccionados para estudio. | 46 |
| 29 | Municipios afluentes tramo RD GUA-4. | 46 |
| 30 | Municipios afluentes tramo RD GUA-1. | 47 |
| 31 | Municipios afluentes tramo RD GUA-14. | 47 |
| 32 | Municipios afluentes tramo RN-5. | 48 |
| 33 | Municipios afluentes tramo CA-9 Sur. | 48 |
| 34 | Municipios afluentes tramo CA-9 Norte. | 49 |
| 35 | Municipios afluentes tramo CA-1 Oriente. | 49 |
| 36 | Municipios afluentes tramo CA-1 Occidente. | 50 |
| 37 | Ejemplo de matriz de decisiones. | 55 |
| 38 | Diferencia entre un modelo vectorial (a) y un modelo raster (b). | 56 |
| 39 | Esquema de funcionamiento de generación de información por medio de la herramienta de teledetección. | 57 |
| 40 | Uso de la herramienta segmentación de datos con el campo de información utilizado. | 59 |
| 41 | Uso de la herramienta matrice con el campo de información utilizado y su valor. | 59 |
| 42 | Demostración de tablero de datos utilizados, parque vehicular departamento de Guatemala por municipio para el mes de agosto 2018, 2019, 2020 y 2021. En la sección derecha de campos se puede evidenciar las cuatro bases de datos cargadas en el mismo archivo. | 60 |
| 43 | Muestra del uso de la herramienta Statistics en QGIS, se subraya con color rojo la ubicación de la misma en la barra de herramientas. | 63 |
| 44 | Mapa perfil de tramo CA-1 Oriente. | 71 |
| 45 | Mapa perfil de tramo CA-1 Occidente. | 71 |
| 46 | Mapa perfil de tramo CA-9 Sur. | 72 |
| 47 | Mapa perfil de tramo CA-9 Norte. | 72 |
| 48 | Mapa perfil de tramo RD GUA-1. | 73 |
| 49 | Mapa perfil de tramo RD GUA-14. | 73 |
| 50 | Mapa perfil de tramo RD GUA-4. | 74 |
| 51 | Mapa perfil de tramo RN-5. | 74 |
| 52 | Ingresos críticos identificados a través de matriz ponderada. | 89 |
| 53 | Ejemplo de trazo por medio del software Infraworks. | 91 |
| 54 | Ejemplo de trazo por medio del software Infraworks. | 91 |
| 55 | Ejemplo de trazo por medio del software Infraworks. | 92 |
| 56 | Ejemplo de visualización de curvas de nivel y áreas de corte y relleno. Las áreas de color rojo representan corte y de color morado relleno. | 93 |
| 57 | Definición de sección transversal utilizada. | 94 |

Lista de cuadros

| | | |
|----|---|-----|
| 1 | Tabla Variable 1 - Longitud. | 63 |
| 2 | Tabla Variable 2 - Parque vehicular actual desglosado. | 65 |
| 3 | Tabla Variable 2 - Parque vehicular actual resumido. | 65 |
| 4 | Tabla Variable 3 - Proyecciones parque vehicular resumido. | 66 |
| 5 | Tabla Variable 3 - Proyecciones parque vehicular desglosado. | 67 |
| 6 | Tabla Variable 3 - Proyecciones parque vehicular desglose promedios de tasas. | 68 |
| 7 | Tabla Variable 4 - Año promedio parque vehicular desglose. | 69 |
| 8 | Tabla Variable 4 - Año promedio parque vehicular resumen. | 70 |
| 9 | Tabla Variable 5 - Diferencias de alturas entre puntos máximos y mínimos. | 75 |
| 10 | Tabla Variable 6 - Pendiente máxima positiva. | 75 |
| 11 | Tabla Variable 7 - Pendiente máxima negativa. | 76 |
| 12 | Tabla Variable 8 - Pendiente promedio positiva. | 76 |
| 13 | Tabla Variable 9 - Pendiente promedio negativa. | 77 |
| 14 | Tabla Variable 10 - Cantidad de pasos a desnivel y puentes por tramo. | 78 |
| 15 | Tabla Variable 11 - Actividad económica. | 79 |
| 16 | Tabla Variable 12 - Construcción resumida. | 79 |
| 17 | Tabla Variable 12 - Construcción desglosada. | 80 |
| 18 | Tabla Variable 12 - Construcción promedio tasas. | 81 |
| 19 | Tabla Variable 13 - Ponderación según nivel de servicio. | 82 |
| 20 | Tabla Variable 13 - Nivel de servicio. | 83 |
| 21 | Tabla Variable 14 - Capacidad excedida. | 83 |
| 22 | Tabla Variable 15 - Conteos vehiculares. | 84 |
| 23 | Tabla Variable 16 - Total accidentes. | 85 |
| 24 | Tabla Variable 17 - Total fallecidos. | 85 |
| 25 | Matriz de relaciones y ponderación considera según categoría de variable. | 87 |
| 26 | Tabla de variables consideras en estudio. | 87 |
| 27 | Matriz general. | 88 |
| 28 | Tabla índices de cantidades por kilómetro. | 97 |
| 29 | Tabla precios promedios y precios ajustados. | 99 |
| 30 | Oferta pavimento rígido. | 101 |
| 31 | Oferta pavimento flexible. | 102 |
| 32 | Comparativa costo oferta pavimento rígido respecto a flexible. | 103 |

Uno de los objetivos básicos de un sistema de movilidad urbana es el hacer eficiente la movilidad intraurbana de la población para reducir tiempos de traslado y comodidad (y seguridad) de recorridos en el transporte (Bazant, 2014). En el caso de Guatemala, especialmente la Ciudad de Guatemala, el parque vehicular ha aumentado a tasas elevadas, siendo el promedio entre 2019 y 2021 un 7.62 por ciento anual, resultando en volúmenes de tránsito mayores a los volúmenes de diseño de vías principales.

Con el fin de proponer una alternativa al descongestionamiento, el presente trabajo analiza los principales ingresos de la ciudad, identifica un punto crítico y propone un nuevo tramo carretero junto a un antepresupuesto. El mismo inicia con una introducción a los proyectos viales, sus fases de desarrollo y cuáles son sus componentes. Luego se desarrolla cómo un conjunto de tramos viales conforma una estructura y cómo sus usuarios interactúan con la misma. Con base en la interacción surge el concepto de afluencia vehicular, se procede a definir distintas variables de congestión vehicular y se desarrolla el concepto de niveles de servicio en una carretera.

Contando ya con la base teórica de los conceptos a aplicar en el análisis posterior, se introduce la infraestructura vial de Guatemala partiendo de su marco legal, la red vial registrada y se aterriza en los principales accesos a la Ciudad de Guatemala. A partir de los mismos se recopilará y generará información de variables que caractericen los tramos seleccionados con el fin de producir una matriz global ponderada. Paralelamente, a partir de aforos vehiculares proporcionados, se obtendrá el nivel de servicio de los tramos estudiados y junto a la matriz se procede a un diagnóstico con el objetivo de identificar el punto o ingreso más crítico.

Una vez seleccionado el ingreso crítico, se toma en cuenta la ponderación y cercanía del resto de ingresos para identificar posibles uniones, planteando así una vía de circunvalación, y se procede a sugerir el trazo de un tramo carretero nuevo. Se inicia con un análisis preli-

minar de disponibilidad de espacio por medio de herramientas de Sistemas de Información Geográfica. Contando ya con un área preliminar a partir del análisis anterior, se procede al planteamiento del trazo utilizando el software Infracore y la documentación del mismo se realizará con el software Civil 3D. Por último, se realiza la estimación de un antepresupuesto del proyecto para consideraciones futuras de implementación.

One of the basic objectives of an urban mobility system is to make the population's intra-urban mobility efficient in order to reduce travel times and guarantee comfort (and safety) of transport routes. In Guatemala, specifically Guatemala City, the vehicle fleet has increased at high rates, being the average between 2019 and 2021 an annual 7.62 percent, resulting in traffic volumes greater than the design volumes of the main roads.

In order to propose an alternative to descongestion, this investigation analyzes the main roads into the city, identifies a critical one and propose a new road with a preliminary budget.

It begins with an introduction to what road projects are, their development phases and their components. Then, it is explained how a set of roads forms a system and how its users interact with it. Based on the interaction, the concept of vehicular flow arises, different variables of vehicular congestions are defined and the concept of level of service on a highway is introduced.

With the theoretical basis of the concepts to be applied in the subsequent analysis, the Guatemalan road infrastructure is introduced, its legal framework, the registered road network and its main access to Guatemala City. Information on variables that characterize the main road will be compiled and generated in order to produce a weighted global matrix. Also, with vehicle counts information, the level of service of each stretch will be identified and together with the matrix, the most critical entry point to the city will be identified.

Once the critical city's access has been selected, the weighting and proximity of the rest of the access points will be taken into account to identify possible junctions, proposing a road bypass, and a new layout of a new road section is suggested. It will begin with a preliminary analysis of space availability using Geographical Information Systems (GIS). Already having a preliminary area from the previous analysis, using the Infracore software the approach of the stretch is made and its documented with the Civil 3D software. Finally, an estimate of

a preliminary budget for the project is made for future implementation considerations.

Las comunidades crecen en lo cultural, en lo social y en lo económico en la medida que existe la posibilidad de comunicarse y trasladarse (de Solminihaç, 2018) La infraestructura es un factor esencial para la vida cotidiana de una persona y el desarrollo de un país, desde infraestructura de telecomunicaciones, hasta edificios de escuelas, hospitales y las rutas que conducen a dichos lugares. Aterrizando en la infraestructura vial, es imperativo que se cuenten con sistemas de comunicación eficientes, que promuevan conexiones fluidas, alternativas de transporte y seguridad mientras se transita.

En áreas urbanas, dado la aglomeración de personas en un área más reducida, la fluidez de vehículos se ve afectada por el congestionamiento vial. Esta condición incrementa los costos de producción, porque se tiene que incorporar el exceso de tiempos de recorrido de los productos desde las periferias hacia los distintos puntos de consumo en la ciudad y también involucra al usuario costos de oportunidad relacionado con el tiempo, costos psicológicos y físicos del viaje, riesgos de pérdida, entre otros (Bazant, 2014)

La congestión surge como manifestación de la actividad y falta de planificación al crecimiento acertivo de una ciudad y suprimirla por completo representaría exageradas inversiones. Pelaez, citando a Velasquez, destaca que el remedio es obvio, se debe aumentar el espacio para recibir más vehículos o reducir la demanda de ocupación (Peláez, 2017)

El presente trabajo desarrolla el primer remedio mencionado anteriormente al analizar los ingresos principales hacia la Ciudad de Guatemala, identificando un ingreso crítico, analizando una circunvalación vial a otro y proponiendo un trazo de un nuevo tramo carretero junto con un antepresupuesto con el objetivo de presentar una alternativa al descongestionamiento en los puntos observados.

El presente trabajo se podría dividir en dos partes, el diagnóstico o análisis de los ingresos principales y la propuesta del nuevo tramo carretero. En cuanto a la primera, el Centro de Estudios Urbanos y Regionales (CEUR) de la Universidad San Carlos de Guatemala se ha caracterizado por realizar estudios de procesos de urbanización, dinámicas territoriales, ordenamiento territorial, entre otros. Entre su extenso catálogo de publicaciones, destacan “Infraestructura Vial en Ciudad de Guatemala: congestión y movilidad” por Ronald Peláez y “Área de influencia Urbana en la Ciudad de Guatemala” por Luis Valladares. La primera estudia ciertas vías de acceso a la Ciudad de Guatemala (La Calzada Roosevelt, Calle Martí, Proceres y la Calzada Raúl Aguilar Batres) haciendo una descripción de las mismas, mencionando antecedentes, conteos vehiculares, factores de incremento vial, entre otros, concluyendo en un ranking de las principales vías de acceso. En cambio, Valladares investiga las características de la Ciudad de Guatemala, su composición, delimitación, mancha urbana, movilidad y futuras expansiones.

Nuevamente en cuanto al diagnóstico, un trabajo de graduación de la Universidad San Carlos de Guatemala por Marco Vinicio Lopez, analiza el costo de la congestión en un punto del Anillo Periférico en Zona 12. En el mismo analiza volumen, composición, densidad y flujo de tránsito a partir de aforos vehiculares. (López, 2019)

Respecto a la segunda parte de la investigación, se identificaron distintos trabajos de graduación también de la Universidad San Carlos de Guatemala involucrando el diseño de carreteras entre dos puntos. Si bien en este caso no se realizará el diseño como tal, únicamente el trazo y antepresupuesto, sin duda serán de gran ayuda para alcanzar los objetivos planteados.

En la Ciudad de Guatemala la congestión vehicular se ha vuelto algo característico de su sistema vial. Según el "Índice Global de Satisfacción del Conductor 2016" publicado por la aplicación "Waze", Guatemala se encuentra en el puesto número 36 de 38 países estudiados y la Ciudad de Guatemala en el puesto número 179 de 186 ciudades analizadas con un puntaje de 3,36, evidenciando la insatisfacción de los usuarios (Waze, 2016). El índice analizó distintos factores (tráfico, calidad y seguridad de las carreteras, servicios, aspecto socioeconómico, entre otros), con una escala de 1 a 10, en donde mayor fuera la nota, mayor es la satisfacción de los conductores.

Es evidente que el crecimiento poblacional y urbano de la ciudad no se ha visto reflejado en su infraestructura vial. La misma es limitada, saturada y las alternativas de transporte público son deficientes como para tener un impacto positivo en el descongestionamiento. La situación se ha vuelto preocupante y actualmente no se ven indicios de proyectos futuros para solucionar la problemática, la cual tiene implicaciones económicas incuantificables principalmente por el costo de oportunidad que representa. Considerando otro punto de vista del impacto a la economía, Jan Bazant lo resume en que el congestionamiento vial en un centro urbano aumenta los costos de producción al incorporar el exceso de tiempos de recorrido, resultando así en una deseconomía de escala que impacta principalmente microempresas, servicios, menudeo y mayoreo. También menciona que los costos no deben entenderse únicamente en el sentido literal, si no también considerar el costo psicológico del viaje, costos de comunicación a distancia, riesgos de pérdidas o accidentes y el conjunto puede desincentivar algunas actividades económicas. (Bazant, 2014)

En cara al futuro, no existe un marco legal claro, la iniciativa de la ley de infraestructura vial se presentó el 17 de abril de 2018 y por el momento no se ha aceptado. Según la revista "Mejoremos Guate" de FUNDESA (Fundación para el desarrollo de Guatemala), Guatemala actualmente cuenta con 1 metro de carretera por habitante, en comparación a 4 metros en México, 8.7 metros en Costa Rica y 3.9 metros en Nicaragua. (FUNDESA, 2017) Y en el caso de la Ciudad de Guatemala, con distintas limitaciones, pero especialmente de espacios por la urbanización, las acciones en obras viales se resumen en reactivas, como distribuidores

viales, mantenimiento y bacheo, y no preventivas con planificación. Los distribuidores viales se consideran como una acción reactiva ya que resuelven la conflictividad en los puntos pero únicamente moviliza la congestión a un punto más adelante.

Partiendo de la problemática, el presente trabajo de graduación tiene como finalidad el análisis de la infraestructura vial de la Ciudad de Guatemala, principalmente los ingresos más recurrentes, con el fin de determinar qué punto es el más crítico y trabajar una posible solución a la descongestión.

Los beneficios de identificar puntos críticos para posibles proyectos viales son varios, desde lo económico hasta la salud de los usuarios de las carreteras. En un estudio publicado el 2019 por USAID, se diagnosticaron los corredores económicos de Guatemala y determinaron que los municipios que conforman la Región Metropolitana generaron aproximadamente el 46.76 por ciento del PIB nacional, siendo el municipio de Guatemala representante del 38.22 por ciento del PIB del corredor. (Córdoba, 2019) Por lo tanto, es vital una locomoción vial prudente para el desarrollo económico y la economía del país.

El mejorar las condiciones de congestión supone un esfuerzo multidisciplinario, desde mejoramiento de infraestructura, generación de sistemas multimodales de transporte colectivo, manejo de oferta y demanda y mejores hábitos de conducción. Los hallazgos del presente trabajo puede ser un punto de partida para la problemática en la Ciudad de Guatemala.

4.1. Objetivo general

Diagnosticar la afluencia vehicular en los principales ingresos de carretera hacia la Ciudad de Guatemala, proponer el análisis y antepresupuesto de un tramo carretero nuevo de circunvalación para presentar una alternativa al descongestionamiento en el ingreso más crítico.

4.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar la afluencia vehicular en los principales ingresos de carretera hacia el municipio de Guatemala por medio de estadísticas topográficas, económicas, demográficas, geométricas, entre otros.
- Generar una matriz de ponderaciones que englobe todas las variables estudiadas por ingreso vehicular a la Ciudad de Guatemala.
- Generar mapas temáticos identificando las carreteras principales de ingreso a la Ciudad de Guatemala, evidenciando su estado de afluencia vehicular actual y sus niveles de servicio.
- Caracterizar las causas que conllevan a un nivel de servicio menor en puntos críticos señalados.
- Sugerir un trazo de un tramo carretero nuevo, por medio de los softwares Infracore y Civil 3D, y estimar un antepresupuesto del mismo.

Para la primera parte del presente trabajo de graduación se analizarán los principales ingresos a la Ciudad de Guatemala con el fin de, a través de una matriz de ponderación, identificar el ingreso más crítico. Los ingresos ha analizar son los siguientes:

- Ruta Centroamericana CA-1 Occidente
- Ruta Centroamericana CA-1 Oriente
- Ruta Centroamericana CA-9 Norte
- Ruta Centroamericana CA-9 Sur
- Ruta Departamental RD GUA-1
- Ruta Departamental RD GUA-14
- Ruta Departamental RD GUA-4
- Ruta Nacional RN-5

Para la segunda parte, la propuesta de un nuevo tramo carretero, se limitará a identificar el trazo, consideraciones básicas de diseño y a partir de supuestos y consideraciones se realizará un antepresupuesto.

Identificación de variables análisis

Bajo las categorías de variables geométricas, demográficas, topográficas, económicas, de afluencia y seguridad vial, las variables ha analizar para cada ingreso mencionado en el apartado anterior serán las siguientes:

1. Longitud tramo
2. Parque vehicular actual
3. Parque vehicular proyecciones
4. Año promedio vehículo parque vehicular
5. Diferencial de alturas
6. Pendiente máxima positiva
7. Pendiente máxima negativa
8. Pendiente promedio positiva
9. Pendiente promedio negativa
10. Distribuidores viales y puentes
11. Puntos actividad económica
12. Desarrollo construcción
13. Niveles de servicio
14. Capacidad excedida
15. Conteos vehiculares
16. Cantidad de accidentes

17. Cantidad de fallecidos

Estas serán resumidas en una matriz global ponderada y a partir de un sistema de puntuación se identificará el ingreso más crítico. En el desarrollo del trabajo se detallará el motivo de consideración de las variables, la procedencia de sus datos y el criterio ha utilizar.

7.1. Proyectos viales

Son muchas las acciones o proyectos que se pueden realizar en una determina via, desde su definición completa hasta efectuar reformas en puntos muy determinados. A grandes rasgos, se pueden identificar cuatro tipos de proyectos para tramos viales (Blásquez, 2000):

Proyectos de nuevo trazado: Son todos aquellos proyectos cuya finalidad es únicamente la definición o delimitación de una vía de comunicación no existente o la modificación funcional de una en servicio, con trazado independiente, que permita mantenerla con un nivel de servicio adecuado. El verbo rector de este tipo de proyecto es el modificar. Es este tipo de proyecto el que se plantea en el presente trabajo de graduación.

Proyectos de duplicación de calzada: Son todos aquellos proyectos cuya finalidad es la transformación de una carretera de calzada única en otra de calzadas separadas. Usualmente este se realiza al construir una nueva calzada paralela a la ya existente. Dicho tipo de proyectos suelen ir acompañados de modificaciones locales del trazado existente como reordenación de accesos, supresión de cruces a nivel, entre otros. El verbo rector de este tipo de proyectos es el transformar.

Proyectos de acondicionamiento: Son todos aquellos proyectos cuya finalidad es efectuar modificaciones en las características geométricas de una vía preexistente, con actuaciones tendentes a acortar tiempos de recorrido, mejorar el nivel de servicio y reducir la accidentalidad de la misma. Un simple ejemplo puede ser el recortar curvas pronunciadas. El verbo rector de este tipo de proyectos es el modificar.

Proyectos de mejoras locales: Son todos aquellos proyectos cuya finalidad es la adecuación de determinados puntos de la vía que plantean problemas de funcionalidad, reduciendo el nivel de servicio de dicho tramo y comprometiendo la seguridad de los usuarios o conductores. A dichos puntos se les identifica como puntos negros y para remediarlos, es necesario modificar características geométricas de tramos y elementos aislados de la carre-

tera. Muchas de las acciones de mantenimiento vial, por ejemplo, el bacheo asfáltico, entra en este tipo de proyectos. El verbo rector de dichas acciones es adecuar.

7.1.1. Fases de desarrollo de un proyecto vial

La construcción de una carretera no debe de limitarse únicamente a la circulación de vehículos, sino también a resolver de manera efectiva y a largo plazo el traslado de los usuarios. De manera efectiva se hace referencia a las velocidades, seguridad y comodidad de los conductores, paisajismo y todos los factores que puedan afectar al conductor, desde factores internos (como adaptación lumínica, campo visual, entre otros) hasta factores externos (como uso de suelo, tráfico, tiempo meteorológico, entre otros). (Blásquez, 2000)

Dentro del desarrollo de un proyecto vial se pueden identificar seis fases prioritarias. A continuación, se presenta una representación ilustrativa de las mismas y sus objetivos. Como se ha planteado en los objetivos e introducción, en el presente trabajo se abarcarían las dos primeras fases, limitándose únicamente a los conceptos de estas a continuación.

Figura 1: Fases del desarrollo de un proyecto vial y sus objetivos.

| Fase | Objetivos |
|--------------------------|---|
| ESTUDIOS PREVIOS | <ul style="list-style-type: none"> - Planificación viaria - Recopilación de datos - Información pública |
| ANTEPROYECTO | <ul style="list-style-type: none"> - Análisis de posibles trazados |
| PROYECTO DE TRAZADO | <ul style="list-style-type: none"> - Definición geométrica - Adelanta trámites administrativos |
| PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN | <ul style="list-style-type: none"> - Documento contractual - Características de la obra y procedimientos constructivos - Valoración de las obras |
| PROY. MODIFICADOS | <ul style="list-style-type: none"> - Adaptar el proyecto a la realidad o a las circunstancias |
| P. COMPLEMENTARIOS | <ul style="list-style-type: none"> - Obras menores que complementan al proyecto original |

Fuente: (Blásquez, 2000)

Estudios previos

Generalmente el proyecto de una carretera comienza con un estudio de viabilidad del proyecto, justificando la necesidad de la construcción de esa vía mediante un análisis de la demanda existente o la necesidad de mejorar o descongestionar un determinado tramo. En función de estas exigencias fundamentalmente cuantitativas, en ocasiones cualitativas,

se decide la elección de un tipo u otra vía: autopista, autovía o carretera convencional en el ámbito nacional, regional, local, vecinal, entre otros. Dentro de esta etapa destacan tres tipos de estudios: planteamiento, estudios técnicos previos e informativos. (Blásquez, 2000)

En los estudios de planteamiento se define el esquema del desarrollo vial, las características y dimensiones recomendables, necesidades de suelo y otras limitaciones a la vista del planteamiento territorial y del transporte. Desde este punto comienza la organización y comunicaciones entre las municipalidades implicadas. Los estudios técnicos previos cumplen la finalidad de recopilar la mayor cantidad de información posible acerca de la zona afectada por la obra, pudiendo así plantear los posibles trazados o variantes valorando los posibles efectos derivados de su construcción. Estos estudios se centran fundamentalmente en la topografía, geología, geotecnia, pluviometría y desarrollo urbano de la zona. Por último, el estudio informativo consiste en una serie de documentos que definen a grandes rasgos el trazado y sus características con el fin de publicar información preliminar. (Blásquez, 2000)

Anteproyecto

El anteproyecto se plantea como una fase más elaborada, aunque no definitiva del proyecto de carreteras. Su objetivo básico es el análisis detallado de las posibles variantes o trazados alternativos de la vía. Otros factores preponderantes son la disponibilidad de los terrenos, la aptitud geotécnica de los mismos y el posible impacto ambiental generado tanto en la fase de construcción como en la de explotación de la obra. El criterio económico prevale en la mayoría de las ocasiones. Un anteproyecto suele contener los siguientes documentos: memoria, anejos a la memoria, condiciones establecidas en el estudio de impacto ambiental, planos, presupuesto, posible descomposición en proyectos parciales y estudios económicos. (Blásquez, 2000)

La diferencia entre los planos y presupuesto de un anteproyecto y el proyecto de trazado radica en el detalle del diseño geométrico de la carretera. El primero es utilizado para el análisis de viabilidad del proyecto y el segundo para ya la construcción.

7.2. Componentes de la red viaria

La infraestructura designada para un tramo vial consta por diversos elementos independientes, sin embargo todos son relacionados entre sí. Dentro de los elementos se pueden identificar tres grandes grupos de infraestructura: obras de tierra, afirmados y obras de fábrica.

7.2.1. Obras de tierra

Son todas aquellas que tienen la fin de adecuar las condiciones del terreno para la posterior construcción de la vía. Dentro de dichas obras se pueden identificar dos tipos, desmonte y terraplén.

Desmonte (corte): Es la excavación en el terreno existente que tiene el fin de abrir una

via de paso a la carretera. La misma puede realizarse por medio de maquinarias mecánicas o con el uso de explosivos, dependerá del tipo de proyecto, tipo de suelo, tipo de terreno y también costos. Este tipo de obra es más común en terrenos pronunciados o de pendientes irregulares.

Terraplén (relleno): Es la modificación al terreno al añadir o rellenar tierra en zonas de cota inferiores a la prevista en el proyecto.

Figura 2: Diferencia gráfica entre desmonte y terraplén.



Fuente: (Blásquez, 2000)

7.2.2. Afirmados (pavimentos)

El firme es la zona de la vía destinada al tránsito de vehículos, es la rodadura. Su estructura esta compuesta por diversas capas, cada una destinada a cumplir con un propósito específico. Tipológicamente, se distinguen tres tipos de firmes (Blásquez, 2000):

Flexibles o deformables Sus capas más superficiales están compuestas por mezclas bituminosas, lo que resulta en propiedades elasto-plásticas. Actualmente, es el firme más recurrente en la industria.

En cuanto el clima, las variables que más afectan a los pavimentos asfálticos son la temperatura y humedad. El pavimento asfáltico al ser un material viscoelástico, a temperaturas ambientales elevadas, su comportamiento estructural es baja y es más susceptible a sufrir deformaciones. A temperaturas ambientales bajas, el comportamiento se asemeja al de una estructura rígida y frágil por lo que tiende a fisurarse al perder flexibilidad, afectando su capacidad estructural. Bajas temperaturas también pueden ocasionar congelamiento en la superficie de las capas granulares y la subrasante, produciendo aumentos de volumen que reducen la serviciabilidad del pavimento, tanto asfalto como hormigón. Los posibles efectos de la humedad son la disgregación de la mezcla asfáltica, reducción de la resistencia y de la estabilidad de las capas granulares y de la subrasante. El agua por medio de grietas y juntas infiltra el pavimento, se pierde capacidad de soporte ya que los finos son arrastrados fuera de las capas granulares y se reduce la resistencia del material granular de las subcapas. (de Solminihac, 2018)

Dentro de los beneficios del pavimento flexible, se puede mencionar su regularidad que es posible lograr acabados tersos, mediante tiros continuos sin juntas de construcción mas que al inicio y fin de cada jornada. Por lo general, cuentan con un periodo de vida de entre 10 y 15, siendo este periodo garantizado con un mantenimiento constante.(Ricardo Miranda,

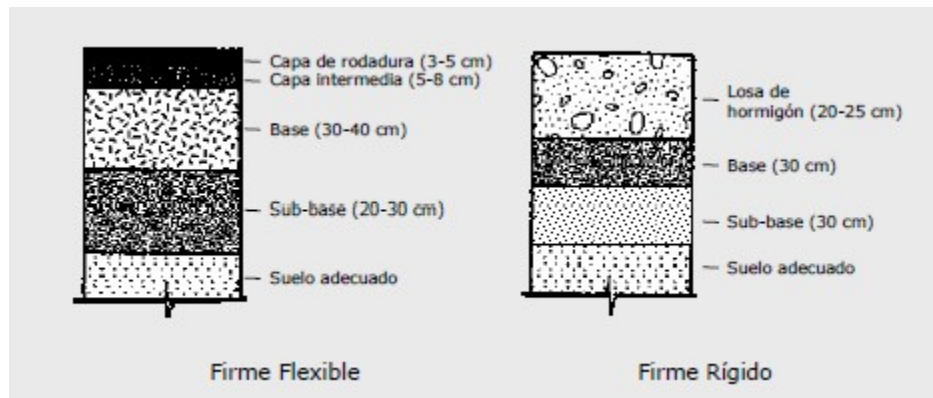
2010)

Rígidos o elásticos: Sus capas más superficiales están compuestas por una losa de hormigón, usualmente con un espesor entre 20 a 25 centímetros. Las características de dicho material hacen que este tipo de firme sea más rígido y al mismo tiempo elástico. Generalmente su implementación es más costosa en comparación a un firme flexible.

Uno de los beneficios de los pavimentos rígidos es que el hormigón refleja la luz, aumentando la visibilidad y disminuyendo hasta un 30 por ciento en cantidad de luminarias y consumo de energía. La rigidez del hormigón favorece que la superficie de rodado mantenga la planeidad, puede soportar cargas de tráfico pesadas sin que se produzca ahuellamiento, deformaciones o lavado de áridos. Por lo general, cuentan con un periodo de vida entre 25 a 30 años. La durabilidad del hormigón disminuye la necesidad de reparación y mantenimiento anuales. (Ricardo Miranda, 2010)

Mixtos: Nacen como una combinación de los dos mencionados anteriormente, esta comprendida por una losa de hormigón en donde apoyan diversas capas de aglomerado asfáltico. Entre sus ventajas se puede mencionar una reducción de ruido y por tanto, menor contaminación acústica al entorno.

Figura 3: Diferencia gráfica entre pavimento flexible y rígido.



Fuente: (Blásquez, 2000)

Los pavimentos están solicitados principalmente por el tráfico y por el clima. La primera aplica cargas estáticas y dinámicas sobre el pavimento y el clima magnifica las tensiones y deterioros del pavimento. Las solicitaciones de tráfico están vinculadas a las cargas transmitidas al pavimento por medio de los ejes y neumáticos de los vehículos y a la progresión del tráfico en el tiempo. Sobre una sección de pavimento determinada, el tráfico impone ciclos de carga y descarga que van fatigando progresivamente la estructura del pavimento. (de Solminihac, 2018)

7.2.3. Obras de fábrica (obras de arte)

Estas obras están comprendidas por todas aquellas realizadas en base a piedra, ladrillo, hormigón y, en general, con materiales pétreos. Entre estos se pueden distinguir las cunetas,

túneles, viaductos o puentes y obras pequeñas de paso. Entre estas últimas, se incluyen los caños, pozos, alcantarillas, entre otros. (Blásquez, 2000) Estas obras serán resumidas bajo la categoría de "Drenajes Menores" y "Drenajes Mayores" en la sección del antepresupuesto.

7.3. Infraestructura vial

El sistema de transporte contiene tres elementos: la infraestructura, los vehículos y operación. La infraestructura corresponde a los elementos que sirven de soporte físico a los vehículos; ejemplo de esta son las calles urbanas y caminos interurbanos, las vías férreas, los puertos y los aeropuertos. Los vehículos son los dispositivos con que se desplazan propiamente las personas y las mercancías; ejemplo son los automóviles, buses, camiones, trenes, barcos y aviones. La operación corresponde a los medios de ordenamiento de los vehículos sobre la infraestructura; ejemplo son los semáforos y señalización, los sistemas de control de tráfico aéreo y ferroviario, entre otras. (de Solminihac, 2018)

Hernan de Solminihac, define a la infraestructura vial como todo el conjunto de elementos que permiten el desplazamiento de vehículos en forma confortable y segura desde un punto a otro, minimizando las externalidades (de Solminihac, 2018). Dicha definición coincide con la de Ronald Pelaez, pero este agrega que la dotación de la infraestructura vial mejora la conectividad entre lugares poblados, la movilidad de la población, traslado de materias primas y de mercancías producidas. (Peláez, 2017)

7.4. Sistemas viales en áreas urbanas

El reconocido "Greenbook" de AASHTO, identifica cuatro diferentes sistemas para áreas urbanizadas: arterias principales, arterias menores, colectores y calles locales. Las arterias principales atienden a los principales centros de actividad de la zona urbana, cuenta con los mayores volúmenes de tráfico y los deseos de viaje más largos. Este sistema transita alta de todos los viajes del área urbana, pero constituye un porcentaje relativamente pequeño dentro de toda la red urbana vial. Este sistema también cumple la función de integrar grandes conexiones rurales y representa la mayoría de los viajes de entrada y salida del área urbana. Dentro de este sistema se pueden mencionar las carreteras de circunvalación que son aquellas que rodean total o parcialmente una población, enlazando con las que afluyen a ella. (BOE, 2015)

Los sistemas de arterias menores interconectan el sistema principal mencionado anteriormente. Por ende, se caracteriza por viajes relativamente largos y un menor volumen de usuarios. Este sistema distribuye a lugares de áreas más pequeñas no conectadas con el sistema principal y se enfoca más en la accesibilidad de lugares. (AASHTO, 2011)

El sistema colector provee tanto acceso a lugares y circulación de tráfico dentro de vecindarios residenciales, áreas comerciales e industriales. Se diferencia a las arterias principales por el hecho que cuenta con acceso a áreas residenciales y puede contar con rutas locales de buses o transporte público. Por último, las calles locales comprenden todo tramo que no cumpla con las características de los sistemas anteriores. Usualmente se trata de tramos

pequeños y ofrece el menor nivel de movilidad. En la Figura 4, se muestra una distribución aproximada dentro de áreas urbanas de los distintos sistemas.(AASHTO, 2011)

Figura 4: Distribución aproximada de la infraestructura vial en zonas urbana según tipo de sistema.

| Sistema | Porcentaje total de longitud tramos urbanos |
|---|--|
| Sistema arterial principal | 5-10% |
| Sistema arterial principal más arteriales menores | 15-25% |
| Carreteras colectoras | 5-10% |
| Sistema local de carreteras | 65-80% |

Fuente: (AASHTO, 2011) Traducido a español

En el caso de Guatemala, dado que no se cuenta con una estratificación clara de zonas residenciales, comerciales e industriales, algunos tramos resultan difícil identificar su clasificación. Por supuesto que hay excepciones en donde las zonas sí se encuentran diferenciadas, como es el caso de la Ruta Centroamericana CA-9 Sur. Más adelante, se identificará cuál es la clasificación de rutas de la red vial en Guatemala.

7.5. Movilidad urbana

A medida que la concentración poblacional aumenta, las ciudades crecen de manera vertical y horizontal. Para el crecimiento horizontal se construyen nuevas vías y, poco a poco, la ciudad entra un proceso natural de segmentación de zonas. Se empiezan a separar zonas comerciales, industriales, de vivienda, entre otras, donde comúnmente las actividades económicas más importantes se conservan en el centro de la ciudad. Dicho esto, los viajes entre distintos puntos y actividades cada vez demoran más, allí es donde surge el concepto de movilidad urbana. De la mano con el argumento anterior, Dieter Frick destaca que la movilidad urbana es la relación entre alojamiento y movimiento generada a partir de tres aspectos definidos por los lugares y la red: las dinámicas, los componentes topológicos y la configuración (Frick, 2014). En el caso del municipio de Guatemala los componentes topológicos y la configuración resulta una característica interesante ya que el 42 por ciento de la superficie total del mismo representa barrancos (Peláez, 2017).

Bazant define a la movilidad urbana como el fenómeno que consiste en los deseos de viajar de una zona a otra dentro de la ciudad, resultado de la interacción social y económica dentro de las distintas zonas de la ciudad, puesto que en ellos se realizan distintas actividades complementarias (Bazant, 2014). Dicha definición no se limita al transporte vehicular, hace referencia a cualquier medio de movilidad, incluso el caminar. Sin embargo, en Guatemala destaca el uso de vehículo particular, por ejemplo se estima que transitan alrededor 1,094,000 vehículos diariamente en la red vial interna de la Ciudad de Guatemala (Municipalidad de Guatemala, 2019).

Ricardo Montezuma destaca que hay cuatro factores condicionantes en la movilidad cotidiana en los países en desarrollo: crecimiento urbano acelerado, desarticulación entre forma

urbana y sistema de movilidad, concentración de actividades en las áreas centrales y segregación económica y espacial. A la primera asocia un falta de control sobre el suelo urbano, falta de organización y un excesivo consumo de espacio urbano para el transporte individual en menoscabo del colectivo. En países en vías de desarrollo destacan aglomeraciones urbanas extensas, con densidades muy bajas de población y con un alto consumo de espacio (Montezuma, 2003). En el caso de la Ciudad de Guatemala, dicha problemática se evidencia con la relación existente entre el municipio de Guatemala, y los municipios colindantes, que en muchos de los casos están conurbados.

Montezuma también menciona que los planes de urbanismo en países en vías de desarrollo no se han regulado por medio de planes de urbanismo u orientaciones técnicas, sino más bien procesos especulativos de manejo del suelo urbano según el nivel económico de sus habitantes. Este hecho da lugar a la segregación socioeconómica de las urbes y se manifiesta en la disponibilidad o la carencia de infraestructura, servicios públicos, equipamientos urbanos y de oportunidades de trabajo (Montezuma, 2003). Dicha problemática lleva a aumentar las distancias y tiempos de los desplazamientos diarios entre vivienda y empleo en clases sociales bajas. Y, ante la falta de capacidad económica de adquirir un vehículo motorizado, surgen transportes colectivos informales.

En un estudio de “Análisis de la Movilidad Urbana, Espacio, Medio Ambiente y Equidad”, Eduardo Alcántara, destaca dos grupos de impactos en la movilidad, consumo de recursos y los impactos ambientales. En cuanto al primer grupo, menciona que la movilidad involucra el consumo de distintos bienes materiales o inmateriales, siendo el más importante el tiempo de desplazamiento, el cual lo define como un recurso escaso para todos. Entre los bienes materiales menciona el espacio geográfico, espacio vial (entendido como un costo de oportunidad), energía y recursos financieros de manera individual y pública. (Alcántara, 2010)

Bull, en una publicación de la Unidad de Transporte de la CEPAL, comenta que las urbes están en un constante flujo migratorio que afecta la movilidad urbana. Por un lado, existe un grupo de personas que debido a la congestión consideran insostenible el estilo de vida de una urbe y migran a otro lugar. Por otro lado, las notables ventajas que ofrecen las ciudades las han llevado a crecer y absorber población desde zonas rurales. Bull plantea un equilibrio en cuanto la congestión mencionando que no cualquier grado de congestión es indeseable, que es una manifestación de actividades varias y que intentar suprimirla podría significar inversiones desproporcionadas y afectar el clima económico. Por ende, destaca que competitividad y movilidad forman parte de la calidad de vida, en tanto provean más oportunidades de desarrollo, trabajo y esparcimiento. (Bull, 2003)

Alcántara también menciona que para entender la movilidad urbana de una ciudad es necesario identificar los principales agentes implicados, los cuales identifica como el sistema político y económico (margen legal), estado, sector privado, individuos, sistemas instalados de transporte y tránsito, procesos migratorios, valor de la tierra y dinámica de la economía (Alcántara, 2010). El mejorar la movilidad urbana no supone únicamente un esfuerzo individual de parte del Estado, sino también cada individuo, desde peatón y ciclista hasta conductor, supone un esfuerzo multidisciplinario.

Por último, Bazant define dos objetivos básicos de un sistema de movilidad (Bazant, 2014):

- Hacer eficiente la movilidad intraurbana de la población para reducir tiempos de traslado y comodidad (y seguridad) de recorridos en transporte.
- Minimizar costos de traslados dentro de la ciudad para sectores de bajos ingresos a través de eficiencia.

7.6. Afluencia vehicular

En la movilidad vehicular cabe destacar tres conceptos, la demanda vehicular, oferta y capacidad vial. El primer concepto hace referencia a la cantidad de vehículos que requieren movilizarse por un tramo, sistema u oferta vial. La oferta representa la cantidad máxima de usuarios o vehículos que pueden transitar o circular un sistema vial. El último concepto se puede medir de manera cuantitativa, evaluando la eficiencia, y cualitativa, la calidad del servicio hacia los usuarios o las personas que transitan.(CIV, 2016)

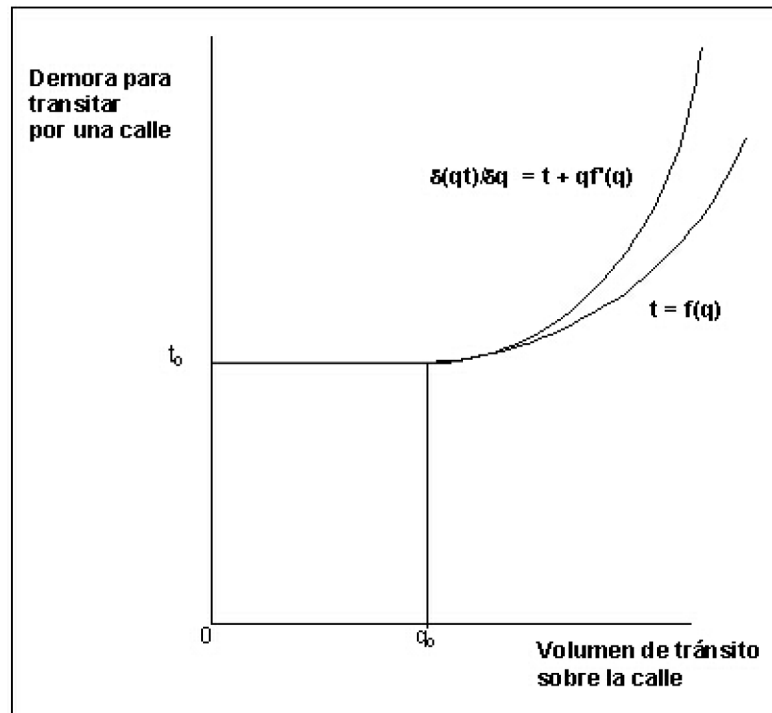
Los tres conceptos permiten hacer analogías para determinar la efectividad de un sistema vial. En dado caso que la demanda vehicular es menor que la oferta vial, la afluencia no será saturada y los niveles de operación serían los más recomendables. Por otro lado, si la demanda vehicular es la misma que la oferta vial, se alcanza la capacidad del sistema y los signos de congestión se vuelven evidentes y recurrentes. Por último, y peor de los casos, si la demanda vehicular es mayor que la oferta vial, se sobrepasa la capacidad vial. Esto conlleva a altas congestiones, altas demoras, detenciones y un flujo forzado.(CIV, 2016)

Para analizar la afluencia vehicular en un sistema, tal y como lo recomienda el "Manual de Capacidad de Carreteras", es conveniente distinguir entre dos tipos de flujos, un flujo interrumpido y uno no interrumpido. El nombre de su misma clasificación remarca las diferencias entre los dos. El interrumpido hace referencia a calles urbanas en donde se hace uso de semáforos, altos o prioridad de vía en intersecciones en cruz, en cambio el no interrumpido hace referencia a autopistas que las interrupciones únicamente se deben al tránsito.

7.7. Congestión vehicular

El congestionamiento vial se puede definir como la saturación de las vías de comunicación producida por el uso excesivo o intensivo de un medio de locomoción (Peláez, 2017). La causa fundamental de la congestión es la fricción o interferencia entre los vehículos en el flujo de tránsito. Hasta un cierto nivel de tránsito, los vehículos pueden circular a una velocidad relativamente libre, determinada por los límites de velocidad, la frecuencia de la intersección, y otras condicionantes. Sin embargo, a volúmenes mayores, cada vehículo adicional estorba el desplazamiento de los demás. (Bull, 2003) Esto se evidencia con la representación de la Figura 5, en donde a cierto punto el volumen de tránsito no tiene un efecto en el tiempo demorado, pero a partir del mismo, un pequeño aumento en volumen aumenta considerablemente el tiempo transitado en la calle.

Figura 5: Representación esquemática del concepto de congestión de tránsito donde "q" hace referencia al volumen y "t" al tiempo.



Fuente: (Bull, 2003)

Basado en los conceptos mencionados anteriormente, la congestión es causada por cualquier factor que genere una fricción en un usuario, que esa misma afecte a los usuarios que le suceden y aumente el tiempo de circulación. Sin embargo, es importante identificar las principales causas y es posible identificar cuatro grandes grupos (Bull, 2003):

1. Características del transporte colectivo

Una de las características del transporte colectivo es que los viajes de los usuarios se hacen por necesidad o la demanda es derivada, estos obedecen a la necesidad de distintas actividades como trabajo, compras, recreación y no por el propio deseo de desplazarse. De esta manera las opciones de influenciar la demanda son limitadas. Otro aspecto del por qué el transporte colectivo genera congestión es el hecho que el servicio no es constante o no ofrece la misma disponibilidad a través del día. La demanda es variable y la mayoría de los viajes se concentran en horas específicas u horas pico. Por otro lado, la provisión de infraestructura vial exclusiva para transporte colectivo tiene un costo muy elevado. Por lo tanto, tomando en cuenta tiempos de desplazamiento similares, la seguridad, comodidad, confiabilidad y autonomía del automóvil, el transporte colectivo no cuenta con los incentivos necesarios para atraer a un grupo considerable y disminuir el uso particular de vehículos. También, la cobertura del transporte colectivo es limitada por lo que no es una opción viable para algunas personas. Otra de las causas es que no existe una planificación asertiva al territorio que permita la generación de un sistema de transporte colectivo multimodal, el cual

se complemente con otros modos de transporte.

2. Automóviles

La congestión disminuye conforme aumente la participación de buses y el transporte colectivo en la participación modal de los viajes y viceversa. Ante el crecimiento económico, el aumento de la capacidad adquisitiva de las personas y la reducción del precio de los automóviles, los parques vehiculares de ciudades latinoamericanas aumentaron considerablemente.

Otro factor de gran importancia respecto a la congestión del vehículo particular es el hecho que el costo de la congestión no es percibido plenamente por los usuarios que contribuyen a generarla. Como los usuarios no experimentan los mayores costos de tiempo y operación que causan a los demás, sus decisiones sobre ruta, modo, origen, destino y hora de los viajes son tomadas, no sobre la base de los costos sociales, sino sólo de los costos individuales.

3. Condición de las vías y las prácticas de conducción

El inadecuado diseño o mantenimiento de la vialidad es causa de una congestión innecesaria. Casos como falta de demarcación de carriles, paraderos de buses en ubicaciones conflictivas, inesperados cambios en el número de carriles y otras deficiencias entorpecen la fluidez del tránsito. Así mismo, el mal estado del pavimento, acumulación de lluvia sobre calzadas y en especial la presencia de baches genera crecientes restricciones de capacidad y aumenta la congestión. Un estudio elaborado en Malasia, identificó que la probabilidad de accidentes de mayor gravedad aumentan un 0.4 veces debido a la mala alineación horizontal en la superficie de pavimentos (Mohad Musa, 2020). En el caso del clima, un estudio elaborado en Holanda identificó que las probabilidades de accidentes no aumentan con precipitaciones moderadas, pero con fuertes precipitaciones las accidentes aumentan un 29 por ciento, incluso llegando al 123 por ciento en tormentas de lluvia intensa (Elke Hermans, 2007).

En cuanto a las prácticas de conducción, conductores muestran poco respeto por aquellos con quienes comparten las vías, se imponen en intersecciones, crean bloqueos y generan a los demás perjuicios económicos muy superiores a su propio beneficio. También, el transporte colectivo informal se detiene en lugares no asignados y generan constante congestión. A las conductas anteriores debe agregarse la frecuente presencia en los flujos de tránsito de vehículos antiguos o mal mantenidos que causan averías e interrumpen el flujo normal.

4. Problema institucional

La responsabilidad de la planificación y administración de tanto el transporte colectivo de pasajeros y la infraestructura vial está fragmentada en distintas entidades, entre los que se cuentan distintos ministerios nacionales, gobiernos regionales, municipalidades, entre otros. Cada uno hace lo que considera más indicado sin tomar en cuenta las repercusiones sobre los intereses de las demás instituciones. No hay una planificación en conjunto que beneficie a la mayoría de los usuarios.

7.8. Variables de congestión vehicular

La congestión vehicular de cualquier tramo de carretera se puede describir por medio tres variables; volumen o flujo, velocidad y densidad. Comúnmente, la velocidad y la densidad aplican principalmente a flujos no interrumpidos mientras que el volumen puede aplicarse a ambos tipos de flujos. (HCM, 2016a) A continuación se detalla cada variable:

7.8.1. Volumen y razón de flujo

El volumen cuantifica la cantidad de tráfico que pasa un determinado punto sobre un tramo vial en un intervalo de tiempo y la cifra se puede presentar en términos de días, horas, periodos o años. La razón de flujo, en cambio, representa el equivalente a la cantidad de vehículos que transitan un punto en un intervalo de tiempo menor de una hora, usualmente se utiliza quince minutos.(HCM, 2016a)

La importancia de esta variable radica en que especifica la demanda de un sistema vial. Cuando se analiza el volumen no solo puede analizar la demanda sino también identificar restricciones en el flujo.(HCM, 2016a)

7.8.2. Velocidad

También considerado como el recíproco del tiempo transcurrido de viaje, es una importante característica debido a que es una medida de efectividad para definir niveles de servicios para diferentes facilidades o usos de sistemas viales. La velocidad es una razón de movimiento definida como la distancia por unidad de tiempo. En una congestión, cada vehículo de manera individual puede contar con diferentes velocidades. Por esa razón, a la hora de estudiar flujos vehiculares se considera la velocidad promedio de recorrido. Esta se encuentra al dividir la longitud del tramo vial bajo el tiempo promedio de recorrido de los vehículos transitando.(HCM, 2016a) También es importante destacar distintos conceptos de velocidades:

7.8.3. Densidad

Hace referencia al número de vehículos que ocupan un determinado espacio en el carril en un instante en particular. Usualmente se expresa en vehículos por kilómetros (veh/km) o incluso vehículos pasajeros por kilómetro. Obtener la densidad resulta en una tarea complicada, ya que se requiere de herramientas como la fotografía, videos o la observación detallada. Sin embargo, esta se puede obtener con la velocidad promedio de recorrido y la razón de flujo.

La densidad es un parámetro crítico para flujos no interrumpidos debido a que caracteriza la calidad de las operaciones de tránsito. Describe la proximidad entre vehículos y refleja la libertad del usuario para maniobrar dentro de congestionamientos.

Contando con estos tres conceptos, se puede interpretar que cualquier fenómeno que

afecte el volumen, velocidad y densidad en un tramo de carretera, se puede considerar como una variable de impacto en la congestión. Más adelante, en las variables, se especificará qué impacto tiene cada una sobre la afluencia o movilidad.

7.9. Nivel de servicio de carreteras

Para identificar la calidad del servicio de un sistema vial se requiere de una medida cuantitativa para caracterizar las condiciones de operación en un flujo vehicular. De allí surgen los niveles de servicios para tramos de carreteras. Los mismos, son una medida de calidad que describen las condiciones operacionales de un sistema, haciendo énfasis en características como la velocidad, tiempo de recorrido, libertad de maniobrar, interrupciones de tráfico, comodidad, conveniencia, entre otros.

En total se distinguen seis distintos niveles de servicios y estos se representan de la letra A a la letra F. El nivel de servicio A representa las mejores condiciones de servicio y el F representa el peor. Es importante mencionar que los niveles de servicio no toman en cuenta la característica de la seguridad.

Adaptando los niveles de servicio destinados para Guatemala, el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda los define de la siguiente manera en el plan estratégico institucional del 2016-2023:

- Nivel de servicio A: los usuarios pueden viajar a la velocidad que ellos deseen. La demanda no ha superado a la oferta vial. Pueden lograrse flujos máximos de hasta 490 automóviles por hora en ambas direcciones y no son habituales grupos de tres o más vehículos. También, la demora de los usuarios no es mayor del 35 por ciento del total de tiempo de viaje.
- Nivel de servicio B: la demanda aumenta y se aproxima al límite de la oferta del nivel de servicio. Pueden lograrse flujos máximos de hasta 780 automóviles por hora en ambas direcciones. El número de grupos de vehículos incrementa considerablemente y la demora de los conductores no es mayor al 50 por ciento del total del tiempo de viaje.
- Nivel de servicio C: el flujo aumenta aun más y por ende aumentan los grupos vehiculares, así como también los tamaños y frecuencia de los mismos. Aun se mantiene en una zona estable, pero las restricciones por parte de los conductores se empieza a percibir y ya no es posible decidir una velocidad propia. Pueden lograrse flujos máximos de hasta 1190 automóviles por hora en ambas direcciones. La demora de los conductores alcanza el 65 por ciento del total del tiempo de viaje.
- Nivel de servicio D: este ya representa un flujo vehicular inestable. En ambas direcciones se evidencian volúmenes altos, la demanda de sobrepaso es alta y la capacidad se aproxima a cero. La velocidad se mantiene alrededor de 60 km/h, la demora de los conductores es cercana al 80 por ciento del total del tiempo de viaje y la razón de flujo para ambas direcciones es de 1830 automóviles por hora.

- Nivel de servicio E: la circulación es prácticamente inestable a este nivel. El volumen más alto que se logra alcanzar está definido por la capacidad o extensión de la carretera, generalmente 3200 automóviles por hora en ambas direcciones y 1700 automóviles por hora en una dirección. La velocidad cae hasta 40 km/h.
- Nivel de servicio F: representa flujo congestionado en donde la demanda excede la capacidad el sistema vial. Ya se considera un flujo forzado en donde las condiciones demandan paradas constantemente.

En la Figura 6, se presentan de manera ilustrativa los niveles de servicio para carreteras o calzadas por tiempo consumido, según Clase I y Clase II, obtenido del plan estratégico del CIV. Las carreteras de clase I hacen referencia a vías principales que involucra tráfico al trabajo y ocio de usualmente viajes de distancias largas. Las carreteras de clase II hace referencia a accesos a carreteras de clase I, carreteras turísticas, usualmente distancias cortas y viajes de recreo.

Figura 6: Nivel de servicio para carreteras de dos calzadas por tiempo consumido.

| Nivel de servicio | Clase I | | Clase II |
|-------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|
| | % de tiempo consumido en seguimiento | Velocidad media de viaje (millas/hora) | % de tiempo consumido en seguimiento |
| A | < ó = 35 | > 55 | < ó = 40 |
| B | > 35 - 50 | > 50 - 55 | > 40 - 55 |
| C | > 50 - 65 | > 45 - 50 | > 55 - 70 |
| D | > 65 - 80 | > 40 - 45 | > 70 - 85 |
| E | > 80 | < ó = 40 | > 85 |

Fuente: (CIV, 2016)

AASHTO, a través del Greenbook, especifica los niveles de servicio apropiados para cada tipo de tramo a continuación. El nivel de servicio también se puede identificar a través de la razón de flujo de vehículos (veh/hr). Dado que hay distintas metodologías para identificar el nivel de servicio de un tramo, se especificará para cada tramo la identificación de nivel de servicio a través de tablas y gráficas en el apartado de anexos en las hojas de cálculos. A pesar que se presenta un nivel de servicio con mayor fluidez (A), en la realidad es complejo alcanzar una carretera que opere a dicho nivel.

Figura 7: Nivel de servicio apropiados para cada tipo de tramo y área.

| Funcionalidad | Niveles de servicio apropiados según tipo de funcionalidad y terreno | | | |
|---------------|--|----------------|------------------|----------------------|
| | Rural Plano | Rural Ondulado | Rural de Montaña | Urbanas y Suburbanas |
| Autopista | B | B | C | C o D |
| Arterial | B | B | C | C o D |
| Colector | C | C | D | D |
| Local | D | D | D | D |

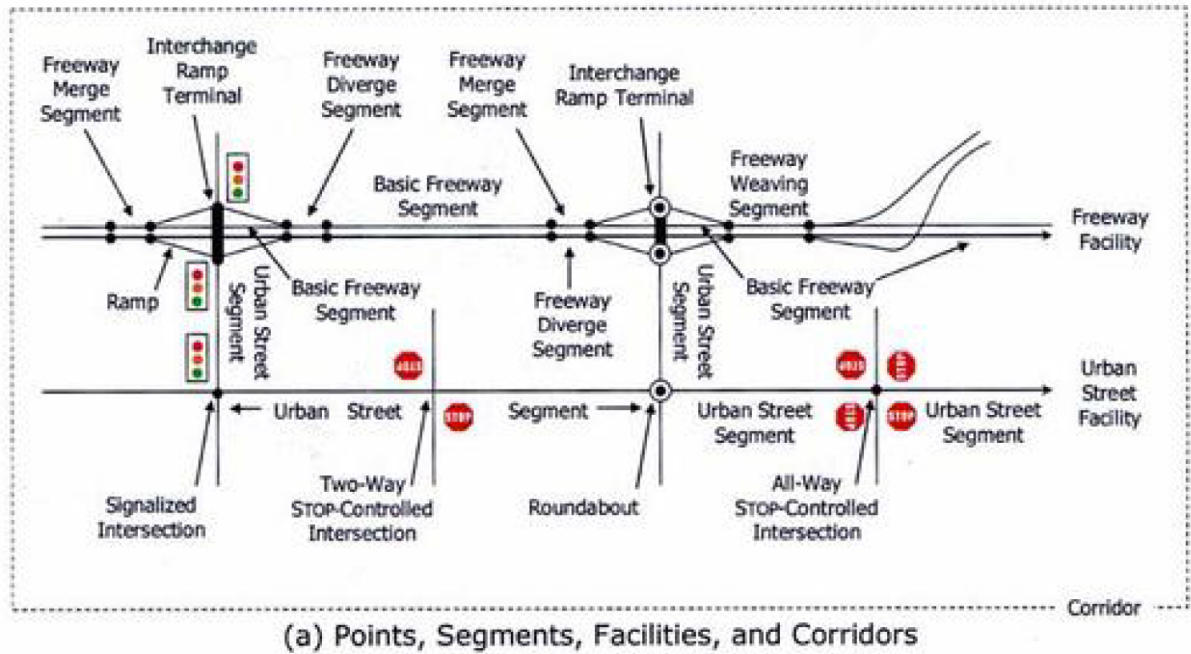
Fuente: (AASHTO, 2011) Traducido a español.

7.10. Highway Capacity Manual - Niveles de servicio

AASHTO, a través del reconocido “Greenbook”, referencia al Highway Capacity Manual (HCM) para el análisis operacional de tráfico. El HCM diferencia entre dos grandes grupos sus metodologías, instalaciones de flujo ininterrumpido e instalaciones de flujo interrumpido. En la primera no se cuentan con causas o factores fijos que provoquen demoras o interrupciones externas al flujo de tráfico. En cambio, en la segunda sí se cuentan con factores fijos que interrumpen periódicamente el flujo, algunos ejemplos son las señales de tránsito, altos o semáforos. Dentro de estos dos grandes grupos identifica a cuatro elementos distintos: instalaciones de autopista (freeway facilities), segmentos de autopista y expresos (freeway and highway segments), instalaciones de tramos urbanos (urban streets facilities) y segmentos de tramos urbanos (urban streets segments). Los primeros dos elementos pertenecen al flujo ininterrumpido y los últimos dos al flujo interrumpido.(HCM, 2016a)

La diferencia entre un segmento (segment) e instalaciones (facilities) radica en que la primera consiste en la longitud de un tramo carretero entre dos puntos en donde volúmenes de tráfico y las características físicas tienden a ser las mismas a lo largo del tramo. Las instalaciones hacen referencia al conjunto entero, puntos y varios segmentos. En la Figura 8 se detalla la diferencia en una manera gráfica.(HCM, 2016a)

Figura 8: Diferencia gráfica entre segmento e instalaciones según clasificación de elementos HCM.



Fuente: (HCM, 2016a)

Otra diferencia importante que se debe de destacar es entre freeway y highway. Ambos conceptos, traducidos al español, hacen referencia a autopista por lo que resulta confuso. Sin embargo, bajo el mismo nombre de “free”, el primero indica un tramo con acceso controlado, con tramos en sentidos contrarios obligatoriamente separados, exclusivamente diseñado para tránsito vehicular y velocidades altas. También se caracteriza por contar con uniformidad de características físicas a lo largo de su desarrollo. Por accesos controlados se hace referencia a que únicamente se puede ingresar a los mismos a partir de conexiones con otra autopista o una rampa. En algunos países comúnmente se les refiere como “expresos”. En cambio, el termino “highway” hace referencia a tramos con menores velocidades de tránsito que usualmente están ubicadas en áreas suburbanas y que conectan a centros de ciudades o corredores de alto volumen (expresos). Estos tramos pueden o no contar con una barrera física entre sentidos opuestos. En la Figura 9 se detalla una recopilación de imágenes para evidenciar la diferencia entre ambos conceptos.

Figura 9: Diferencia gráfica entre conceptos de freeway y highway.



Source: © 2014 Google

(a) Eight-Lane Urban Freeway Segment



Source: © 2014 Google

(b) Six-Lane Rural Freeway Segment



(a) Divided Suburban
Multilane Highway Segment



(b) Undivided Suburban
Multilane Highway Segment



(c) Suburban Multilane Highway Segment
with Two-Way Left-Turn Lane

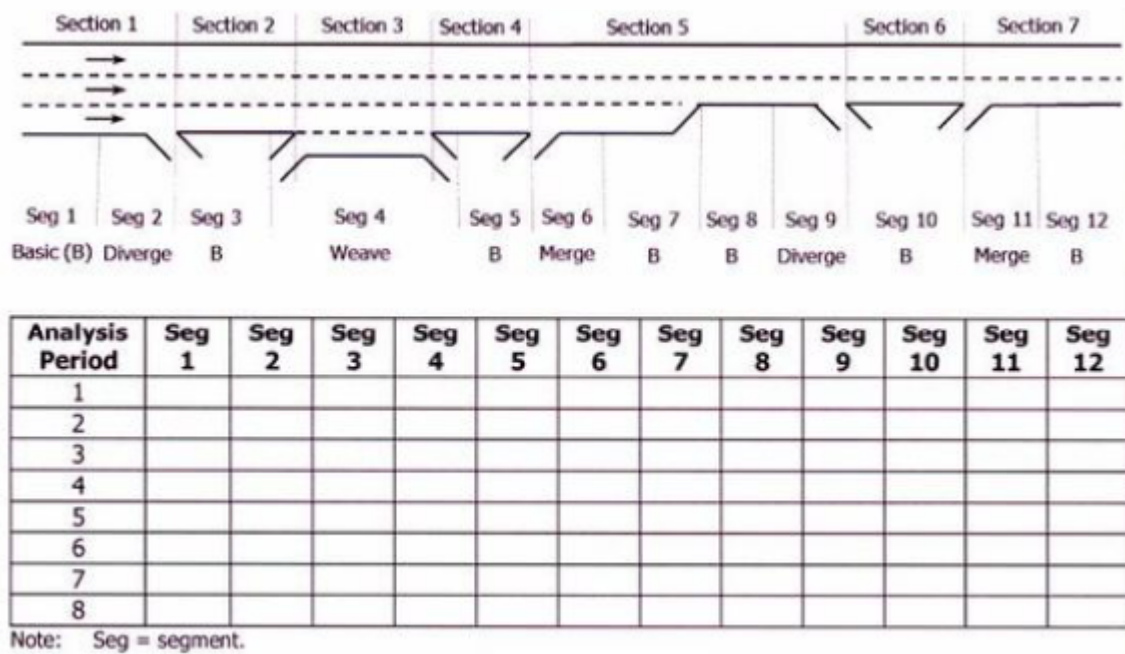


(d) Undivided Rural Multilane Highway Segment

Fuente: (HCM, 2016a)

Dado que en el departamento de Guatemala, salvo tramos privados como la Vía Alternativa del Sur (VAS), no se cuenta con autopistas tipo expresos, todos los tramos se considerarán como highway bajo la metodología "Multi-Lane Highway Segments". Dicha metodología se detalla paso a paso en la sección 15.1 de anexos en las hojas de cálculo. Por esa misma razón, no se optó a utilizar la metodología de "Freeway Facility" en donde se analiza segmento por segmento las características viales. Para este caso hubiera sido necesario contar por cada segmento conteos vehiculares por lo que no hubiera sido factible realizar la metodología. En la Figura 10 se detalla un esbozo de la segmentación del tramo para su análisis y en la Figura 11 la fórmula para encontrar el nivel de servicio de toda la estructura la cual incluye la sumatoria de todas las variables de cada segmento (esta se puede comparar con las fórmulas del anexo 15.1). D_f hace referencia a la densidad promedio de las instalaciones en un periodo de 15 minutos de análisis. D_i hace referencia a la densidad por segmento, L_i a la longitud del segmento, N_i a la cantidad de carriles en el segmento y n el número de segmentos en la instalación definida.

Figura 10: Segmentación de tramos de un "Freeway Facilities".



Fuente: (HCM, 2016b)

Figura 11: Fórmula para identificar el nivel de servicio bajo la metodología "Freeway Facilities".

$$D_F = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \times L_i \times N_i}{\sum_{i=1}^n L_i \times N_i}$$

where

D_F = average density for the facility in a given 15-min analysis period (pc/mi/ln),

D_i = density for segment i (pc/mi/ln),

L_i = length of segment i (mi),

N_i = number of lanes in segment i , and

n = number of segments in the defined facility.

Fuente: (HCM, 2016b)

7.11. Métodos de afóros vehiculares

Para determinar el nivel de servicio de cualquier tramo o tipo de vía urbana, es necesario identificar la cantidad y tipo de vehículos que atraviesan por el área de interés. A continuación, se describen algunas metodologías existentes.

7.11.1. Aforos manuales


Método de aforo en el cual se registran los vehículos haciendo trazos en un papel o con contadores manuales. Mediante este método es posible conseguir datos que no pueden ser obtenidos por otros procedimientos; por ejemplo, se pueden clasificar los carros por tipo de manera específica, número de ellos que giran u ocupantes dentro del vehículo. Por lo general, este método se utiliza para contabilizar volúmenes de giro y volúmenes clasificados. (Montoya, 2005)

Los recuentos pueden dividirse en diferentes tramos de tiempo y estos pueden constar desde horas hasta minutos, por ejemplo 15 minutos en una congestión vehicular densa. La duración del aforo varía según el propósito del aforo y que datos se pretenden obtener. Como aspecto negativo, durante periodos de tránsito alto, es necesario contar con dos o más contadores para realizar el aforo, especialmente si se busca categorizar los carros. (Montoya, 2005)

La exactitud y confiabilidad de este método depende del tipo y cantidad de personal, las instrucciones que fueron dadas, la supervisión y el método de registro. Usualmente el equipo utilizado para este método consta de una hoja para llevar registro, se recomienda contar con un formato estándar, y en algunos casos un contador manual. (Montoya, 2005)


Figura 12: Ejemplo de formato proporcionado por la Dirección General de Caminos para aforos vehiculares manuales.

ANEXO 3 MODELO PARA TABULACIÓN DE DATOS ESTADÍSTICOS PROVENIENTES DE LOS AFOROS VEHICULARES



DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE TRANSITO
UNIDAD DE CONSERVACIÓN VIAL
INFRAESTRUCTURA Y TECNOLOGÍA

CONTEO MANUAL Y CLASIFICACIÓN DE VEHICULOS










ESTACIÓN TIPO: _____

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

CODIGO RUTA: _____ TRAMO CARRETERO: _____

FECHA DEL CONTEO: _____ SENTIDO: _____

| CLASIFICACIÓN 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 |
| VL= 0 | OBSERVACIONES: | | | | | | | | | | | | |
| VP= 0 | | | | | | | | | | | | | |
| VT= 0 | | | | | | | | | | | | | |
| Porcentajes | % LIV. | 0.00% | % PESADO | 0.00% | | | | | | | | | |

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

Guatemala, 4 / 1 / 2013

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

Nombre Ingeniero: _____
 Delegado Residente Supervisor: _____ Numero de Colegiado: _____
 Firma y Sello Delegado Residente _____

Fuente: (COVIAL, 2017)

7.11.2. Aforos mecánicos

Son aquellos contadores que emplean instrumentos para realizar el registro de vehículos sin que se requiera personal permanente. Estos instrumentos pueden ser fijos o portátiles y se basan en principios como el de la célula fotoeléctrica, presiones en planchas o cintas especiales, detectores magnéticos o hidráulicos. Los instrumentos fijos se utilizan para hacer recuentos continuos en ciertos lugares, mientras que los portátiles son más ligeros y su función es de hacer recuentos parciales durante periodos de tiempo cortos o limitados. (Montoya, 2005)

Los contadores permanentes son usados para aforar el transito continuamente. Estos cuentan con la información de días, meses e incluso de horas por lo que es útil para contar con un panorama amplio del tramo estudiado. Por ejemplo, se pueden analizar tendencias o la congestión según la hora. (Montoya, 2005)

7.11.3. Aforos portátiles

Los contadores portátiles toman nota de los volúmenes aforados cada hora y 15 minutos, dependiendo del modelo y el tipo de aforo a realizar. Por lo general se utilizan tubos

neumáticos u otro tipo de detector portátil. Sin embargo, debido a la tecnología han surgido nuevos instrumentos como sensores de proximidad o incluso por medio de cámaras digitales. (Montoya, 2005)

Entre sus principales ventajas se puede destacar que un solo operador puede monitorear varios contadores portátiles, hay algunos que incluso son capaces de subir la información a una nube para su análisis en tiempo real. Entre sus desventajas se incluye el hecho que no es posible clasificar los volúmenes por tipo de vehículo y movimiento de giro. (Montoya, 2005)

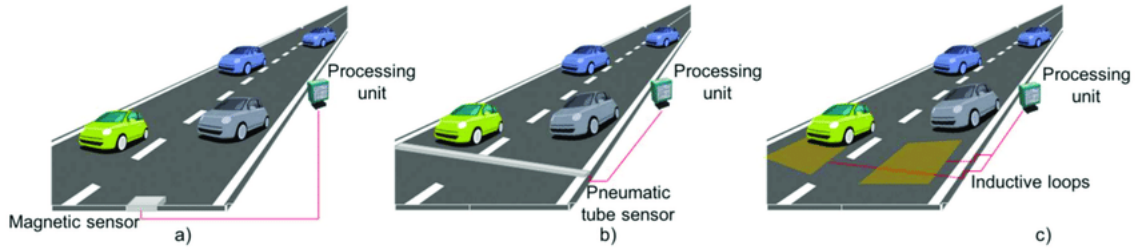
En el caso del presente trabajo de graduación, los conteos vehiculares se solicitaron a la Municipalidad de Guatemala y estos se elaboraron bajo la metodología de aforos portátiles. Se solicitaron conteos de los años 2019 y 2020 y, tomando en cuenta que por el impacto en movilidad y restricciones de la pandemia COVID-19, únicamente serán utilizados los del año 2019. En la Figura 13 se presenta una muestra de los conteos proporcionados por la Municipalidad donde detallan cantidades de 5 AM a 9 PM.

Figura 13: Formato conteo vehiculares Municipalidad de Guatemala, tramo CA-1 Oriente 2019.

| Los Próceres | | | | | | | | | | |
|--------------------------|---|--------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------------|--------------|----------------|
| Hora | | Modo de Transporte | | | | | | | | Total |
| | | Livianos | Buses | | | Bicicletas | Motos | Camiones Trailer | | |
| | | | Urbano | Extra Urbano | Escolar | | | | | |
| 5.00 | a | 6.00 | 2887 | 17 | 177 | 40 | 1 | 245 | 149 | 3,516 |
| 6.00 | a | 7.00 | 4292 | 14 | 439 | 45 | 1 | 459 | 111 | 5,361 |
| 7.00 | a | 8.00 | 3409 | 27 | 221 | 15 | 2 | 932 | 112 | 4,716 |
| 8.00 | a | 9.00 | 4509 | 20 | 208 | 4 | 3 | 1137 | 149 | 6,030 |
| 9.00 | a | 10.00 | 3852 | 16 | 192 | 0 | 3 | 721 | 332 | 5,114 |
| 10.00 | a | 11.00 | 3128 | 13 | 102 | 1 | 2 | 790 | 317 | 4,353 |
| 11.00 | a | 12.00 | 3088 | 13 | 104 | 5 | 2 | 748 | 322 | 4,282 |
| Total mañana | | | 25,165 | 119 | 1,442 | 110 | 13 | 5,032 | 1,491 | 33,372 |
| 12.00 | a | 13.00 | 3162 | 16 | 103 | 9 | 6 | 667 | 267 | 4,229 |
| 13.00 | a | 14.00 | 3051 | 8 | 117 | 32 | 5 | 540 | 310 | 4,063 |
| 14.00 | a | 15.00 | 2921 | 14 | 95 | 22 | 4 | 549 | 302 | 3,905 |
| Total medio día | | | 9,134 | 38 | 315 | 63 | 15 | 1,756 | 878 | 12,197 |
| 15.00 | a | 16.00 | 3655 | 14 | 119 | 26 | 2 | 1096 | 292 | 5,204 |
| 16.00 | a | 17.00 | 3230 | 15 | 121 | 10 | 5 | 954 | 111 | 4,446 |
| 17.00 | a | 18.00 | 2621 | 15 | 117 | 6 | 7 | 1214 | 80 | 4,058 |
| Total tarde | | | 9,506 | 44 | 357 | 42 | 14 | 3,264 | 483 | 13,708 |
| 18.00 | a | 19.00 | 2812 | 9 | 98 | 2 | 6 | 1031 | 74 | 4,032 |
| 19.00 | a | 20.00 | 2862 | 3 | 60 | 3 | 9 | 695 | 35 | 3,666 |
| 20.00 | a | 21.00 | 1918 | 2 | 40 | 2 | 6 | 465 | 23 | 2,456 |
| Total noche | | | 7,592 | 14 | 198 | 6 | 20 | 2,191 | 132 | 10,153 |
| Total todo el día | | | 51,396 | 214 | 2,312 | 221 | 61 | 12,241 | 2,984 | 69,429 |
| Porcentaje | | | 74.03% | 0.31% | 3.33% | 0.32% | 0.09% | 17.63% | 4.30% | 100.00% |

Fuente: (Municipalidad de Guatemala, 2019)

Figura 14: Ejemplo de métodos de aforos vehiculares que no necesitan la presencia de un operador o varios operadores.



Fuente: (Montoya, 2005)

7.12. Tasas de crecimiento

Dado que se tratarán variables que sufren transformaciones con el tiempo, es importante tocar el tema de tasas de crecimiento. En las variables que se implementará la teoría de tasas de crecimiento son población total municipios afluentes, parque vehicular y desarrollo en construcción.

El modelo que se utilizará es el de tasa de crecimiento aritmético, también conocido como tasa de crecimiento lineal. Este es el más simple de todos, supone que la población tiene un comportamiento lineal y por ende, la razón de cambio se supone constante donde se incrementa en la misma cantidad cada unidad de tiempo considerada. Esta tasa solo es aconsejable para períodos cortos de tiempo (menor de dos años). La fórmula, en la Figura 15, para la tasa de crecimiento bajo el supuesto modelo aritmético es la siguiente (r : tasa de crecimiento, P_{t+n} : población al momento actual, P_t : población al momento inicial, a : distancia entre tiempo entre dos poblaciones) (Torres, 2016):

Figura 15: Fórmula de tasa de crecimiento modelo aritmético.

$$r = \frac{P^{t+n} - P^t}{a(P^t)}$$

Fuente: (Torres, 2016)

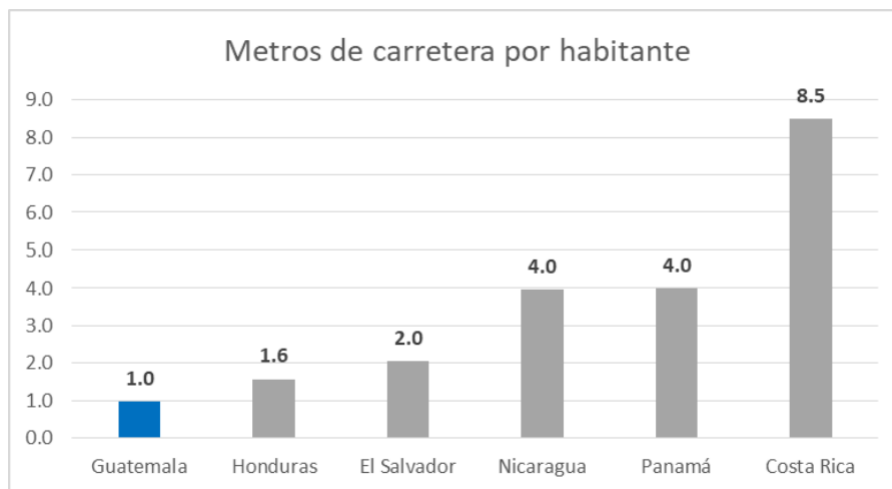
7.13. Infraestructura vial de Guatemala

La obra vial de Guatemala se inició en los primeros años del período colonial a través de caminos de herradura y la construcción de puentes de mampostería para atravesar ríos, por ejemplo el puente de los Esclavos en Cuilapa, Santa Rosa. En 1549, bajo mandato del rey

Felipe II de España, se iniciaron las obras para conectar la capital, anteriormente nombrada Santiago de los Caballeros de Guatemala y conocida ahora como Antigua Guatemala, con el Golfo (océano Atlántico) y el mar del Sur (océano Pacífico). A pesar de ya contar con una red vial, fue hasta la administración de Mariano Gálvez (1831-1835) que se presentó la primera legislación sobre caminos; la Sociedad Económica de Amigos del País y el Consulado de Comercio fueron las instituciones que en aquella época estimularon la construcción de los mismos. En 1920 fue creada la Dirección General de Caminos, actual entre rector encargado de la administración de la red vial en Guatemala. En 1938, se construyó el primer pavimento en la República en el tramo Guatemala-Amatitlán bajo la administración de Jorge Ubico. En 1941 se empezó a utilizar equipo mecánico en la construcción de carreteras y se inició a utilizar principios técnicos. (COVIAL, 2008)

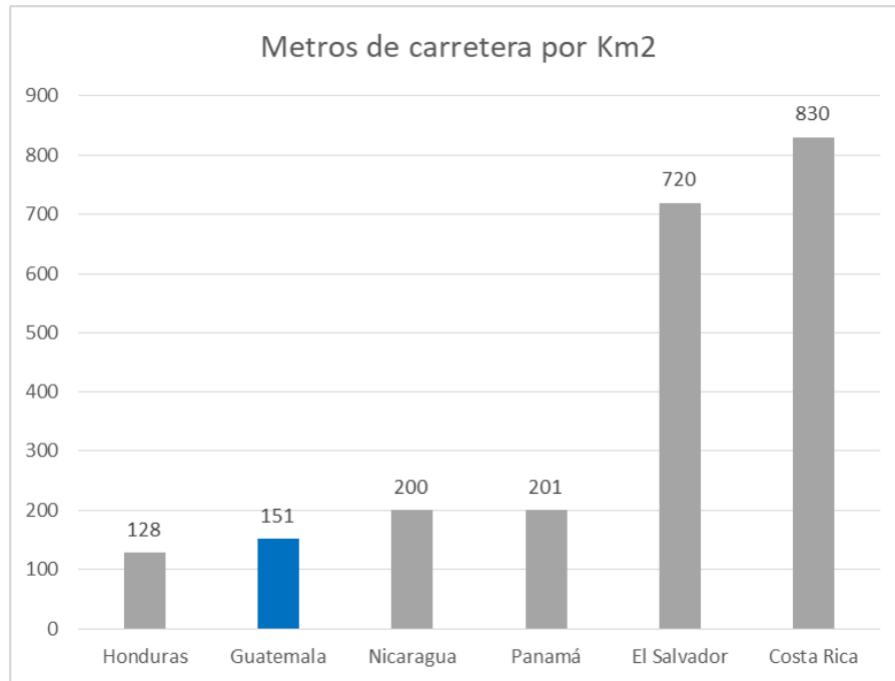
En comparativa y contextualizando la red vial que en la actualidad posee el país con otros, dispone de 1 metro de carretera por habitante, el menor de Centro América. Analizando los metros de carretera entre la superficie del país, Guatemala presenta 151 metros por km², tan solo superado por Honduras (128 metros por km²). La estadística anterior incluye tramos tanto pavimentados como la red de terracería, si únicamente se considera los tramos pavimentados, Guatemala solo supera Honduras y Nicaragua contando con 67 metros por km². Complementando la cobertura pavimentada, Guatemala cuenta con un 44.6 por ciento de tramos pavimentados de su red vial, superando únicamente a Nicaragua (15.1 por ciento) y Honduras (23.9 por ciento). A continuación en las Figuras 16, 17, 18 y 19, se detallan las gráficas con las comparaciones y al final, Figura 20, se incluye una gráfica detallando la evolución de la red vial desde el año 1985 a 2017.(Pronacom, 2018)

Figura 16: Metros de carretera por habitante en Centroamérica.



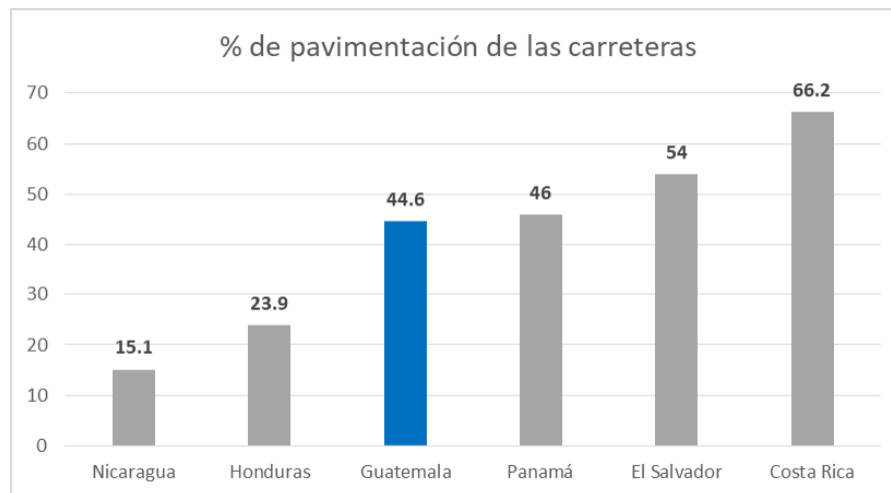
Fuente: (Pronacom, 2018)

Figura 17: Metros de carretera por superficie (en km2) en Centroamérica.



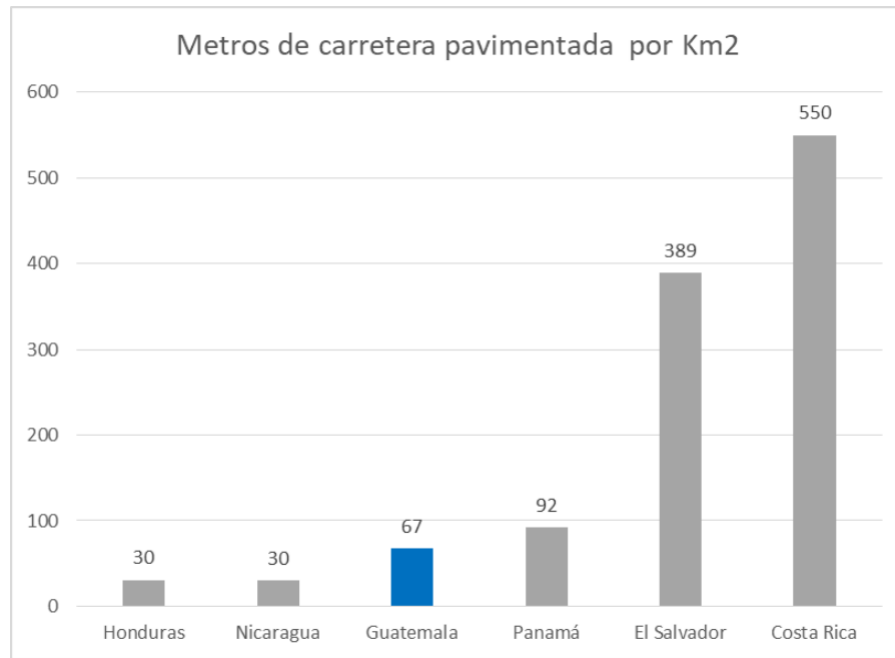
Fuente: (Pronacom, 2018)

Figura 18: Porcentaje de pavimentos de carreteras en Centroamérica.



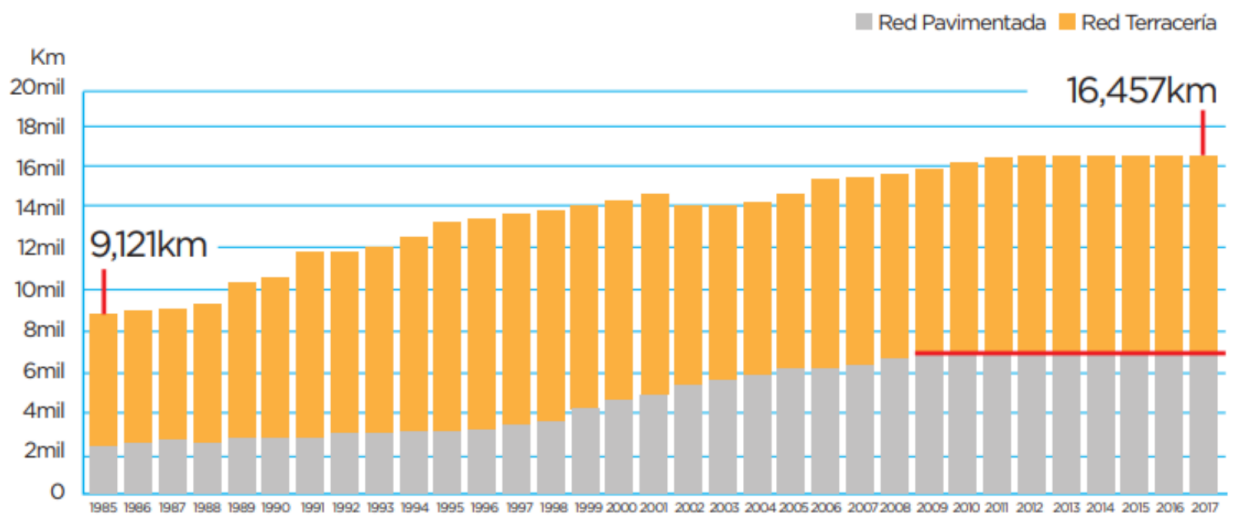
Fuente: (Pronacom, 2018)

Figura 19: Metros de carretera pavimentada por superficie (en km2) en Centroamérica.



Fuente: (Pronacom, 2018)

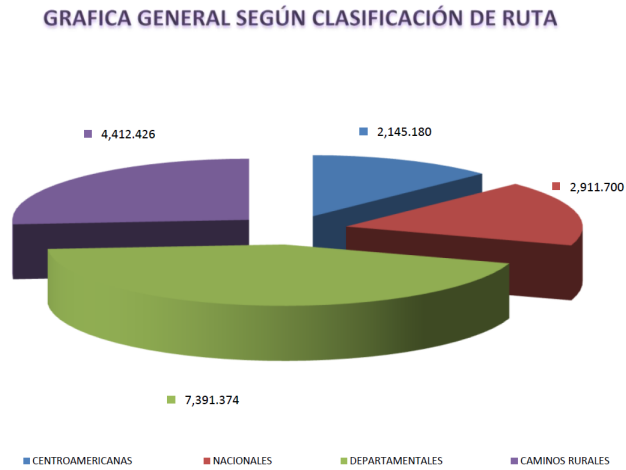
Figura 20: Evolución de la pavimentación de la red vial de Guatemala.



Fuente: (Pronacom, 2018)

El lineamiento de clasificación de rutas en Guatemala por el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (CIV) consta de cuatro grupos: Rutas Centroamericanas (CA), Rutas Nacionales (RN), Rutas Departamentales (RD) y Caminos Rurales (CR).

Figura 21: Distribución de la red vial registrada de Guatemala según clasificación de ruta.



Fuente: (COVIAL, 2015)

7.13.1. Rutas Centroamericanas

Estas se caracterizan por unir la capital con fronteras o desde otra ruta centroamericana. Unen puertos de importancia desde la capital o desde otra ruta centroamericana y también atraviesan longitudinalmente o transversalmente la República.(COVIAL, 2015)

Su derecho de vía consta de 25 metros (12.5 metros de cada lado de la línea central) y el área de reserva es de 80 metros (40 metros de cada lado de la línea central). En total, para el 2014, se contaban con 2,145.180 kilómetros de longitud, equivalente al 12.72 por ciento de la infraestructura vial del país.(COVIAL, 2015)

Figura 23: Mapa Rutas Nacionales de la Red Vial de Guatemala.



Fuente: (COVIAL, 2015)

7.13.3. Rutas Departamentales

Estas se caracterizan por interconectar cabeceras departamentales, unen carreteras municipales con rutas centroamericanas, rutas nacionales u otras departamentales. Su derecho de vía consta de 20 metros (10 metros de cada lado de la línea central). En total, para el 2014, se contaban con 7,391.374 kilómetros de longitud, equivalente al 43.84 por ciento de la infraestructura vial del país. (COVIAL, 2015)

Los requisitos para considerar o dar categoría de ruta departamental a una carretera son los siguientes, teniendo que cumplir con dos como mínimo (COVIAL, 2015):

- Une rutas nacionales
- Une rutas centroamericanas o nacionales con litorales.
- Longitud mayor de 20 kilómetros.

- Tránsito diario mayor de 200 vehículos.
- Importancia turística.

7.13.4. Caminos rurales

Estos se caracterizan por interconectar a las comunidades rurales de los correspondientes municipios. En total, para el 2014, se contaba con un total de 4,412.426 kilómetros de longitud, equivalente al 26.27 por ciento de la infraestructura vial del país. (COVIAL, 2015)

7.13.5. Longitud red vial por departamento

En la Figura 24 se desglosa la longitud de la red vial por tipo y departamento.

Figura 24: Longitud de la red vial por clasificación de carreteras, según departamento. Año 2019.

| Departamento | Total kilómetros | Clasificación de carreteras | | | | | | | | | | | | Caminos rurales |
|---------------|---------------------|-----------------------------|------------------|------------|------------------|----------------|---------------|------------------|------------------|------------------|------------|------------|--|--------------------|
| | | Centro Americana | | | Nacional | | | Departamental | | | Terracería | Terracería | | |
| | | Pavimento | Asfalto | Terracería | Pavimento | Asfalto | Terracería | Pavimento | Asfalto | Terracería | | | | |
| Total | 17,240.181 | 214.000 | 1,730.180 | - | 1,858.900 | 929.800 | 53.240 | 3,375.231 | 4,776.575 | 4,258.255 | | | | |
| Guatemala | 885.130 | 72.000 | 96.000 | - | 69.000 | 41.000 | 11.500 | 481.450 | 74.500 | 39.680 | | | | |
| El Progreso | 349.320 | 27.000 | 91.000 | - | 27.000 | - | - | 61.400 | 65.800 | 77.120 | | | | |
| Sacatepéquez | 203.750 | 7.000 | 18.000 | 0.000 | 57.000 | 9.000 | 12.000 | 42.360 | 19.400 | 16.990 | | | | |
| Chimaltenango | 1,044.988 | 44.000 | 11.000 | - | 44.000 | 66.800 | - | 112.000 | 201.323 | 565.865 | | | | |
| Escuintla | 887.200 | 45.000 | 208.000 | - | 62.000 | 3.000 | - | 220.400 | 327.000 | 21.800 | | | | |
| Santa Rosa | 726.230 | - | 95.000 | - | 38.000 | 16.000 | 0.250 | 213.750 | 250.960 | 112.270 | | | | |
| Sololá | 526.710 | 6.000 | 51.000 | - | 81.000 | 16.000 | 4.300 | 91.600 | 154.000 | 122.810 | | | | |
| Totonicapán | 618.883 | 0.000 | 60.000 | 0.000 | 15.000 | 41.000 | 0.500 | 89.100 | 70.800 | 342.483 | | | | |
| Quezaltenango | 763.112 | 0.000 | 58.000 | - | 22.000 | 17.000 | 10.30 | 173.800 | 131.550 | 217.362 | | | | |
| Suchitepéquez | 563.820 | 0.000 | 76.000 | - | 32.000 | 0.000 | - | 181.000 | 249.400 | 25.420 | | | | |
| Retalhuleu | 317.515 | - | 27.000 | - | 72.000 | 0.000 | 0.000 | 86.515 | 60.800 | 71.200 | | | | |
| San Marcos | 949.290 | 0.000 | 59.000 | - | 245.000 | 54.000 | 1.350 | 144.500 | 445.440 | 0.000 | | | | |
| Huehuetenango | 1,301.195 | 0.000 | 98.000 | 0.000 | 176.000 | 179.000 | 0.000 | 162.600 | 190.110 | 495.485 | | | | |
| Quiché | 1,147.360 | 13.000 | 0.000 | 0.000 | 180.000 | 39.000 | 0.000 | 184.450 | 387.400 | 343.510 | | | | |
| Baja Verapaz | 536.460 | 0.000 | 50.000 | - | 45.000 | 0.000 | - | 58.000 | 158.000 | 225.460 | | | | |
| Alta Verapaz | 1,209.892 | 0.000 | 39.000 | - | 172.000 | 271.000 | - | 129.000 | 312.572 | 286.320 | | | | |
| Petén | 2,095.630 | - | 260.000 | - | 158.800 | 0.000 | 0.000 | 244.000 | 865.930 | 566.900 | | | | |
| Izabal | 422.630 | 0.000 | 26.180 | - | 12.000 | 79.000 | 12.100 | 41.100 | 187.140 | 65.110 | | | | |
| Zacapa | 634.746 | - | 111.000 | - | 8.000 | 14.000 | - | 212.846 | 141.700 | 147.200 | | | | |
| Chiquimula | 661.750 | - | 138.000 | - | 43.000 | 51.000 | - | 117.200 | 194.000 | 118.550 | | | | |
| Jalapa | 645.290 | - | - | - | 136.000 | 29.000 | - | 105.660 | 102.000 | 272.630 | | | | |
| Jutiapa | 749.280 | - | 158.000 | - | 53.000 | 4.000 | 0.94 | 222.500 | 186.750 | 124.090 | | | | |

Fuente: (Caminos, 2020)

7.14. Ciudad de Guatemala - Área Metropolitana

7.14.1. Historia

Gisela Gellert, geógrafa alemana residente en Guatemala, publica en “Ciudad de Guatemala: factores determinantes en su desarrollo urbano” la historia del desarrollo de la ciudad. A partir de la riqueza de los detalles y hechos históricos, a continuación se presenta una síntesis de su publicación resaltando los hechos de infraestructura vial y dinámica de expansión de la ciudad (Geller, 1995):

Los orígenes de la Ciudad de Guatemala remontan desde la ciudad Santiago de los Caballeros de Guatemala, lo que actualmente se le conoce como Antigua Guatemala. Dicha ciudad se trazó en el año 1543, en el valle del Panchoy, vecino al valle de Almolonga donde originalmente estaba situada pero fue destruida por un flujo de lodo proveniente del volcán de Agua. Dada su ubicación, sufrió distintas catástrofes naturales como constantes erupciones volcánicas y terremotos. A pesar de los múltiples daños, se desarrolló con el tiempo de tal manera que fue considerada como la tercera ciudad del Nuevo Mundo, después de México y Lima. Al final del siglo XVII contaba con una población aproximada de 27,000 habitantes en la ciudad y 37,500 en su área de influencia urbana, cifra considerable para la época. En julio de 1773 fue destruida en gran parte por una serie de terremotos y en 1775 se aprobó el traslado de la capital guatemalteca y en 1776 se celebró la primera junta y se nombró, por real orden, Nueva Guatemala de la Asunción.

La nueva ciudad de Guatemala se fundó en el valle de la Ermita que también es conocido como valle de las vacas o de la Virgen. El traslado fue a unos cuarenta y cinco kilómetros de distancia del sitio original, se encontraba a una altura entre 1450 y 1550 metros sobre el nivel del mar y una extensión de 16,700 hectáreas o 167 kilómetros cuadrados. Desde el inicio, dado una fuerte resistencia al traslado al nuevo sitio, fueron surgiendo de manera irregular los primeros alojamientos en los alrededores de La Ermita. Dada la alta demanda de mano de obra de construcción, se promovió el traslado de pueblos indígenas y, más acontecimientos de trabajo forzoso, la segregación económica empezó a evidenciarse a lo largo de las zonas de la ciudad.

En el trazo de la ciudad, en base a experiencias de la Antigua Guatemala y basándose en las Leyes de Indias, las calles se plantearon más anchas, el área urbana se proyectó muy espaciosa y resaltaba la concentración de actividades económicas y edificios administrativos en el centro. La reubicación residencial se basó principalmente según la posición social del solicitante, partiendo de la plaza mayor según el rango y prestigio dentro de la élite española, seguidos por los mestizos de medianos y bajos ingresos. Los oficios más desprestigiados se asentaron ante todo en la periferia nordeste y sur. Los barrios populares de la ciudad se levantaron en forma rústica o hasta improvisada, de adobe y con techos de paja en su mayoría, y alternaban con terrenos baldíos o cubiertos de vegetación en donde las calles eran más bien veredas

Originalmente se establecieron 13 grandes ejidos o sectores en la ciudad. Pero estos nunca fueron demarcados, registrados o legalizados propios de la ciudad lo cual resultó en que se convirtieron en propiedad privada. Esto significó que no se tenía claro que terrenos poseía el estado o la municipalidad años después, dominó el bien privado sobre el bien público y

obstaculizó la gestión municipal para obras de infraestructura por falta de tierra públicas. En términos de desarrollo demográfico, la metrópoli guatemalteca solo cincuenta años después de su traslado al nuevo sitio alcanzó el número de habitantes que tenía al momento de su destrucción en 1773. En 1791 se efectuó la primera subdivisión administrativa de la ciudad, designando alcaldes por cada subdivisión para su administración pública.

Después de la declaración de la Independencia, en consecuencia a guerras civiles centro-americanas y crisis económicas (destaca la decreciente demanda de la cochinilla, entonces principal producto de exportación), la ciudad fue condenada a un estancamiento en su desenvolvimiento urbano. Para 1853 aún se contaba con el trazado original, 17 cuadras de norte a sur y 11 de oriente a poniendo, contando con un total de 3,013 casas particulares. En 1855 fue introducida una primera nomenclatura oficial de las calles y se desarrolló el primer eje central, llamada la Calle Real que luego sería la 6ª Avenida Sur, entre la plaza central y el Calvario. En 1869, a partir de la construcción de un muelle en el Puerto San Jose, se formó por primera vez fuera del sector central un eje de establecimientos terciarios, activando el tráfico en la carretera al suroeste de la ciudad, lo que hoy se conoce como Avenida Bolívar.

La “primera fase de urbanización” de la ciudad se puede considerar con el inicio de las reformas liberales en 1871 hasta 1944, con la caída de Jorge Ubico. Durante dicho periodo el crecimiento de la población fue constante, migración hacia la capital aumentó y hubo un crecimiento económico de la mano de la exportación del café. Un aspecto que llama la atención es que durante ese periodo las construcciones aumentaron un 558 por ciento mientras que la población en 410 por ciento, la expansión física superó a la dinámica poblacional. Un factor interesante es que a partir de la inauguración de la fábrica de cemento (Novella) en 1901, creció el número de edificios con dos niveles en un 262 por ciento en un periodo de 14 años aproximadamente. Nuevamente haciéndose presente los terremotos, estos dieron lugar a asentamientos precarios dado que las casas eran destruidas y algunos grupos de la población no contaba con los recursos para levantarlas nuevamente.

Durante el periodo de Ubico se tuvo un crecimiento considerable de construcción de obras públicas, dentro de las que destacan el Palacio Nacional, aeropuerto La Aurora, Palacio de Correos, entre otros. El hecho que algunos de los mismos ya no se encontraban en el centro manifestó una dirección de extensión hacia el sureste. También durante este periodo se dotó por primera vez de infraestructura vial a las áreas aledañas al casco urbano con un plan de pavimentación.

A partir de 1944 siguió una década con dos gobiernos progresistas y hubo cambios revolucionarios de índole política, económica y social. Se creó el Seguro Social, Banco Nacional, el Código de trabajo, entre otros. Ante el fin de la dictadura, las municipalidades nuevamente recuperaron su autonomía. Durante este periodo se rompieron definitivamente los límites urbanos definidos con la fundación de la ciudad y se iniciaron corrientes sociales intraurbanas de dimensiones hasta entonces desconocidas. La clase alta abandonó el centro, se desarrolló suburbios elitistas en el sur sobre la zona 9 y 10, luego expandiéndose más en esta dirección sobre zona 13 y 14. A finales de la década de 1960, cuando se ampliaron las principales salidas de la ciudad en forma de calzadas, se construyeron puentes para atravesar los profundos barrancos al este y oeste del sector central y el anillo periférico entre arterias del Atlántico y Pacífico, surgió un sin número de colonias de clase media y media-baja en las zonas 6,7,11,12 y 18.

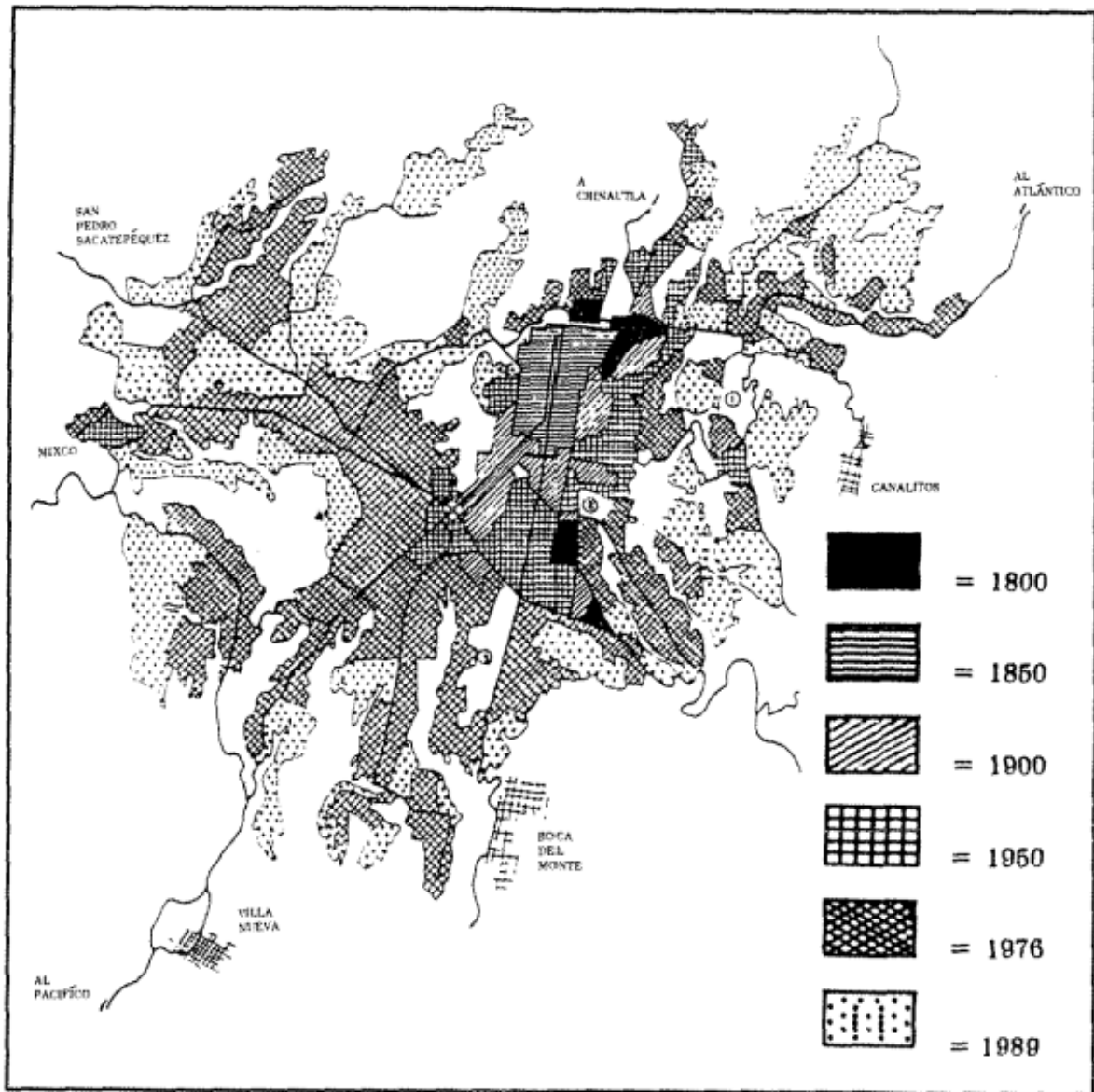
Ante dificultades económicas y falta de vivienda, en 1959 fue cuando por primera vez se consolidaron invasiones masivas de terrenos baldíos, especialmente en zona 5, 3 y 6. Esto se intensificó a partir del terremoto de 1976. La industria manufacturera se expandió primero hacia la periferia del sector central y luego buscaron emplazamientos más periféricos en las inmediaciones de las arterias principales de la salida de la Ciudad, ante todo Villa Nueva, Amatitlán y Mixco. También empezaron a surgir grandes centros comerciales ubicados en puntos estratégicos a lo largo de los ejes principales de tránsito.

La expansión urbana de la ciudad de Guatemala rompió ya hace más de tres décadas la delimitación municipal, expandiéndose hacia la jurisdicción de los municipios vecinos, formando así el Área Metropolitana de Guatemala (AMG). Sin embargo, hasta hoy no existe una definición oficial o legal del territorio que constituye el AMG, y cada institución o proyecto lo delimita según sus propios criterios. Los municipios que más crecimiento significativo tuvieron entre 1950 y 1990 fueron Chinautla, Mixco, Villa Nueva y Petapa, en la Figura 25 se puede evidenciar la evolución del desarrollo.

Debido a la ausencia de un plan de desarrollo urbano y estrategias sectoriales, de los cuales puedan desglosarse los marcos reglamentarios, no existe una actualización en las diferentes leyes, códigos o normas que rigen los procesos de urbanización y uso de suelo. En 1965, la Constitución Política de la República contemplaba la creación de un distrito central con su respectivo organismo administrativo, legalizando también el mecanismo de aprobación presidencial para anexar los municipios hasta donde se extienda la influencia de la capital. La iniciativa estuvo en vigor pero nunca se concretó, son entonces los gobiernos municipales del área los que tienen que tomar la responsabilidad individual de la gestión urbana metropolitana.

Parte de la expansión de la ciudad que no se mencionó anteriormente, el cual lo destaca Peláez, se debe a sus condiciones topográficas. El municipio de Guatemala cuenta con 20 barrancos que ocupan el 42 por ciento de la superficie total del mismo y únicamente cuenta con nueve puentes que lo atraviesen. El ingeniero menciona que esta barrera podría ser superada con la construcción de nuevos puentes y que Guatemala debería de ser una “ciudad de puentes”. En su publicación, Peláez también menciona que la congestión vehicular es un problema desde 1800 a partir de vehículos movilizadas por fuerza animal y una red vial caracterizada por su mal estado. (Peláez, 2017)

Figura 25: Evolución del desarrollo de Ciudad de Guatemala.



Fuente: (Geller, 1995)

7.14.2. Delimitación área

Como presenta Gellert anteriormente, la barrera de delimitación municipal de Guatemala fue superada hace décadas dando lugar a un área urbana mucho mayor que involucra distintos municipios, el Área Metropolitana de Guatemala. Para cualquier tipo de proyecto es muy importante delimitar qué se considera como ciudad. Valladares lo explica de esta manera, “se debe considerar que estudiar, caracterizar y delimitar un área metropolitana es el ejercicio inicial para la solución de diversas problemáticas”. En el caso de Guatemala, el Área Metropolitana es de tal importancia que alberga aproximadamente a la cuarta parte

de la población del país (Valladares, 2019)

Dicho esto, es posible diferenciar dos definiciones, ciudad y área metropolitana. Bazant define ciudad a un conjunto compacto de personas y de actividades económicas, o bien como un conjunto de relaciones que se desarrollan sobre un espacio físico restringido o que desembocan en una polaridad reconocible (Bazant, 2014) Valladares también define una ciudad como un territorio que tiene entre sus características, una historia sobresaliente en el proceso de urbanización, una territorialidad y una densidad poblacional alta y que se diferencia de sus lugares próximos. Su delimitación es variable en cuanto a que su expansión es dinámica, influida por formas de construcción, usos de la tierra y mercado de suelo (Valladares, 2019). El adjetivo dinámico es muy interesante ya que plantea que no existe una frontera como tal, esta cambia con el tiempo.

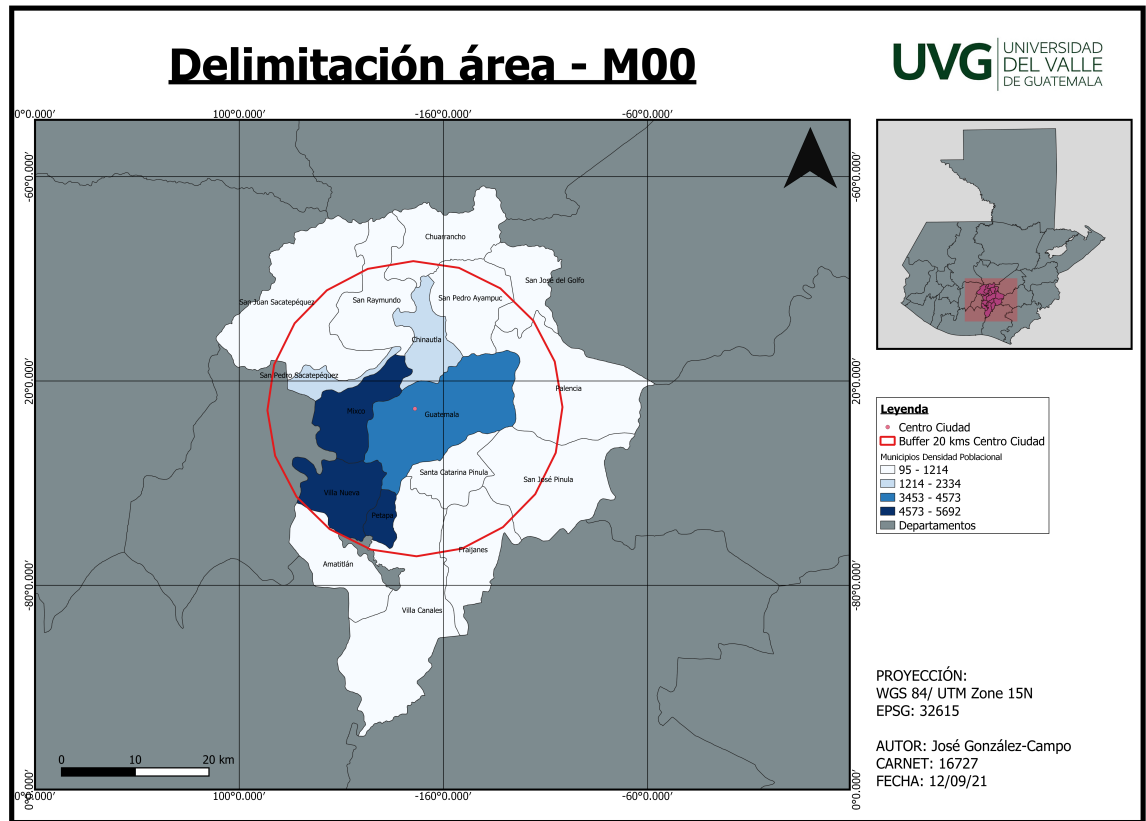
La importancia de esta delimitación es que no solo se debe de considerar las fronteras actuales sino también las futuras para una planificación adecuada. Por otro lado, Peláez define a un área metropolitana como el conjunto que forma una aglomeración urbana a una metrópoli y su área de influencia (Peláez, 2017). Valladares profundiza más la definición y agrega que debe de contar con una mancha urbana con densidad poblacional mayor de 250 habitantes por kilómetro cuadrado, identificación de un centro histórico, movilidad humana a través de carreteras y distancia máxima de 45 kilómetros a las cabeceras municipales involucradas (Valladares, 2019).

Tomando en cuenta estas últimas consideraciones de Valladares, en el presente trabajo se considerarán las siguientes respecto a los municipios y el Área Metropolitana de Guatemala:

- Densidad poblacional mayor de 250 habitantes por km²
- Dentro de radio de 20 kms a partir del centro del municipio de Guatemala (Plaza Central)
- Municipios del Departamento de Guatemala

Dichos resultados se presentan a continuación y resulta en la consideración de todos los municipios del departamento de Guatemala. En términos de planificación, se considera un área prudente y ambiciosa de cara al futuro. Para fines de Ciudad, se tomará como límite el municipio de Guatemala.

Figura 26: Área metropolitana considerada para estudio.



Fuente: Elaboración propia.

7.14.3. Principales accesos

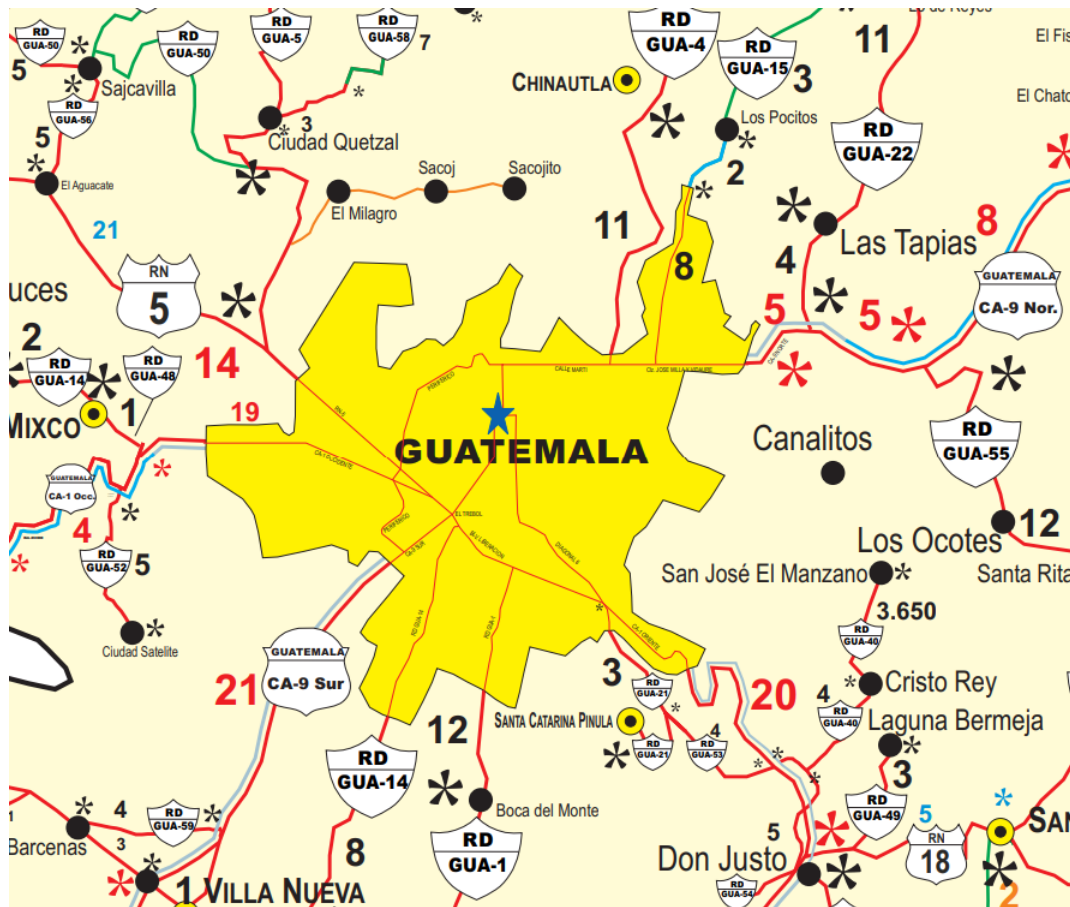
Acorde a la red vial registrada del CIV y Caminos, son once los principales accesos a la Ciudad de Guatemala. Los mismos se identifican a continuación:

- CA-1 Occidente
- CA-1 Oriente
- CA-9 Norte
- CA-9 Sur
- RN-5
- RD GUA 1
- RD GUA 4
- RD GUA 14

- RD GUA 15
- RD GUA 21
- RD GUA 22

De los mismos, únicamente se analizarán ocho ingresos, siendo descartados RD GUA-21, RD GUA-22 y RD GUA-15. El tramo RD GUA-21, no se tomará en cuenta dada su corta extensión y escasa conexión con lugares poblados, únicamente conecta la cabecera de Santa Catarina Pinula. Los tramo RD GUA-15 y RD GUA-22 no se tomarán en cuenta debido a que ambos convergen en el mismo poblado, San Pedro Ayampuc, y desembocan sobre la CA-9 Norte. En el caso de la RD GUA-4 también desemboca en la CA-9 Norte pero cuenta con mayor longitud y conecta dos cabeceras municipales.

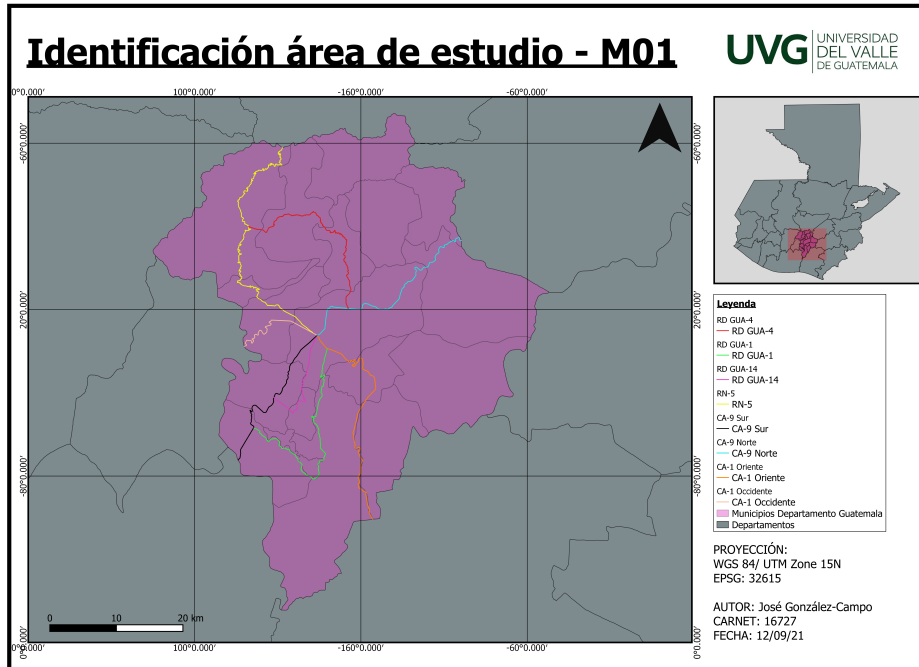
Figura 27: Mapa red vial departamento de Guatemala.



Fuente: (Camino, 2020)

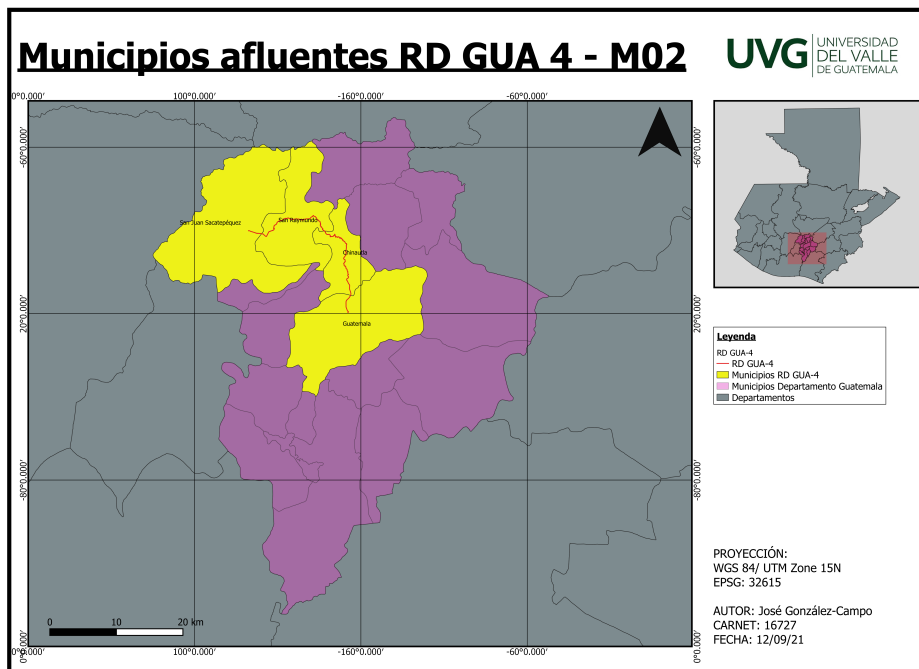
En la Figura 28 se muestra un mapa de los ingresos a analizar. La longitud de un tramo se considera hasta el intercepto con otro. Para el caso de las Rutas Centroamericanas, se consideró el Trébol como el punto de intersección. También se detallan los municipios que atraviesa cada tramo, Figuras 29 a la 36, información que será utilizada posteriormente para el análisis de estadísticas.

Figura 28: Ingresos a Ciudad de Guatemala seleccionados para estudio.



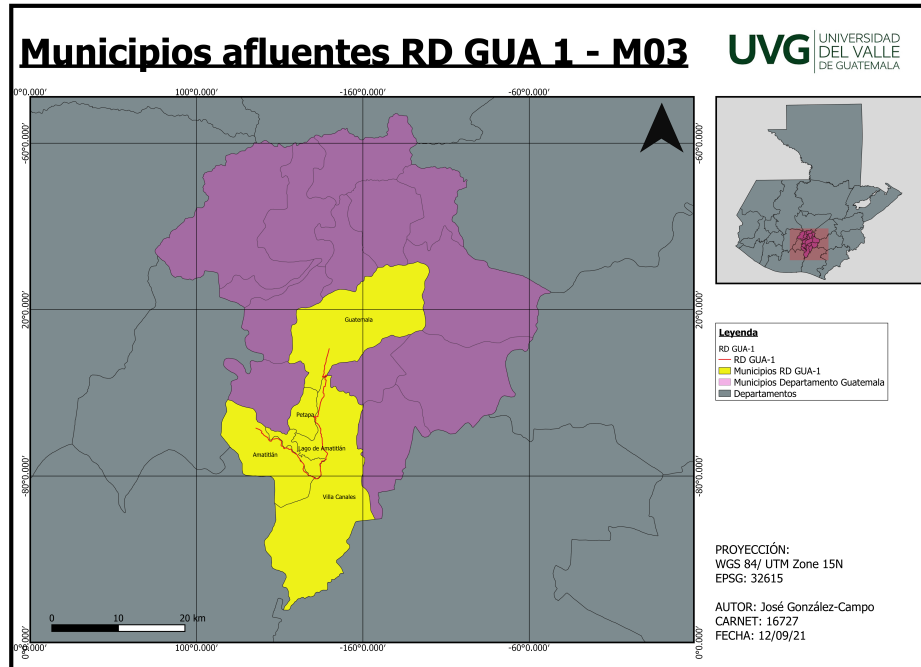
Fuente: Elaboración propia.

Figura 29: Municipios afluentes tramo RD GUA-4.



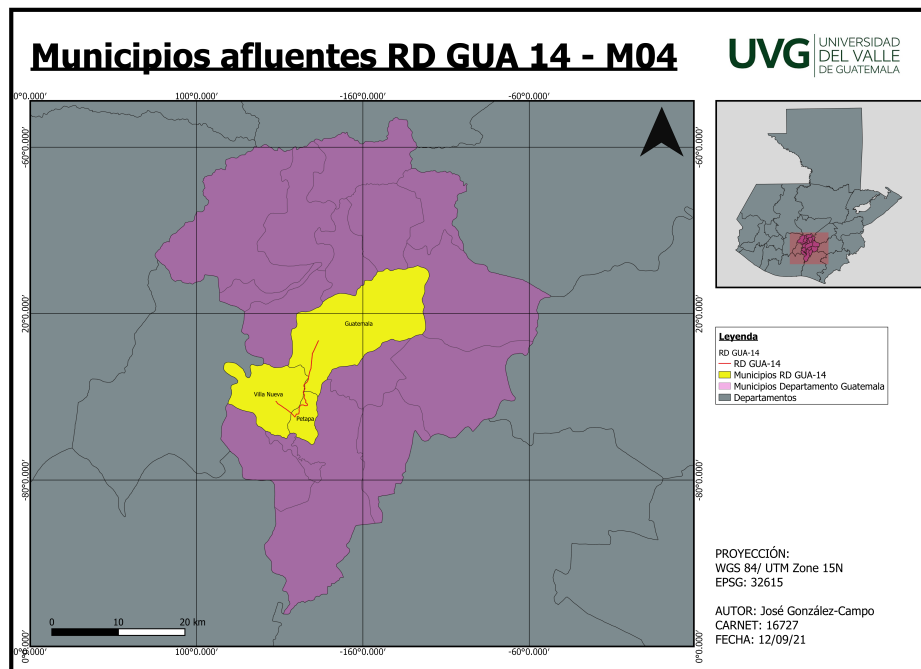
Fuente: Elaboración propia.

Figura 30: Municipios afluentes tramo RD GUA-1.



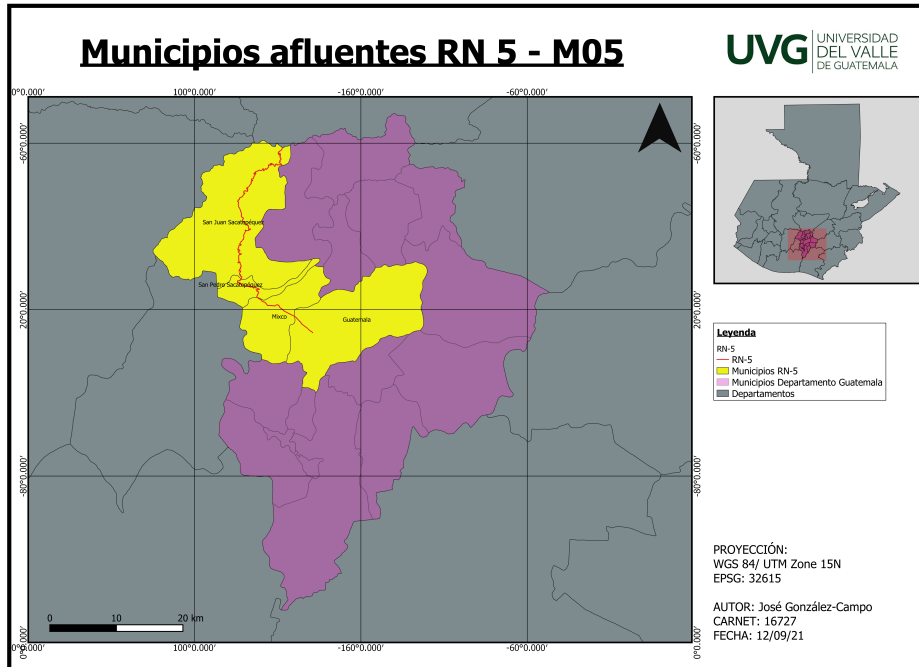
Fuente: Elaboración propia.

Figura 31: Municipios afluentes tramo RD GUA-14.



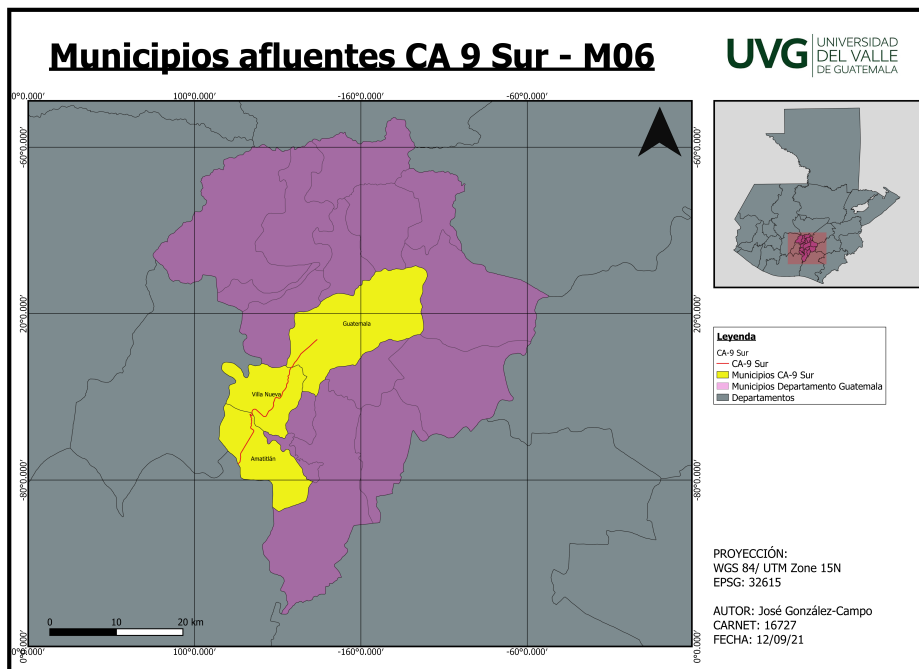
Fuente: Elaboración propia.

Figura 32: Municipios afluentes tramo RN-5.



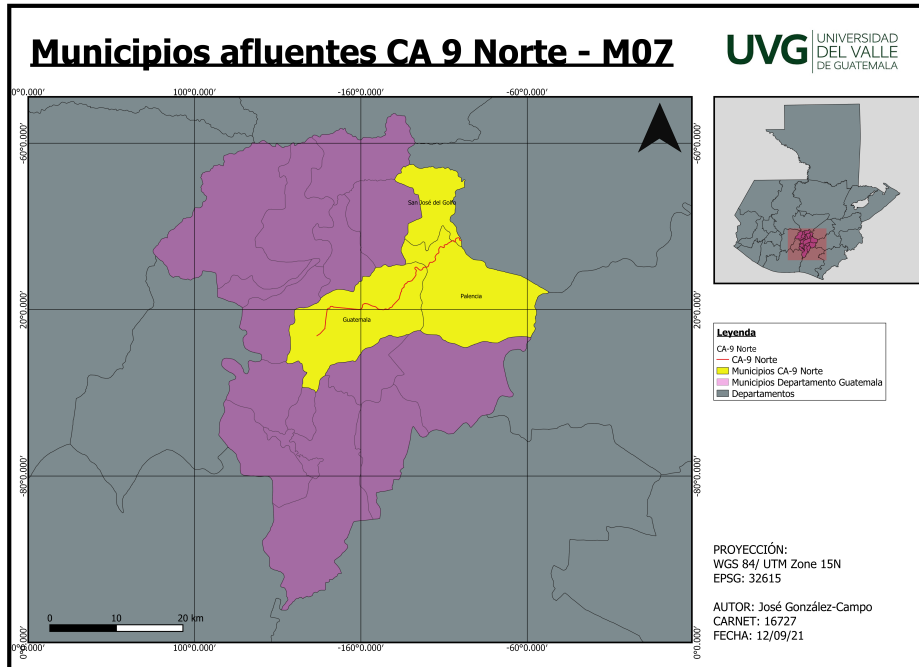
Fuente: Elaboración propia.

Figura 33: Municipios afluentes tramo CA-9 Sur.



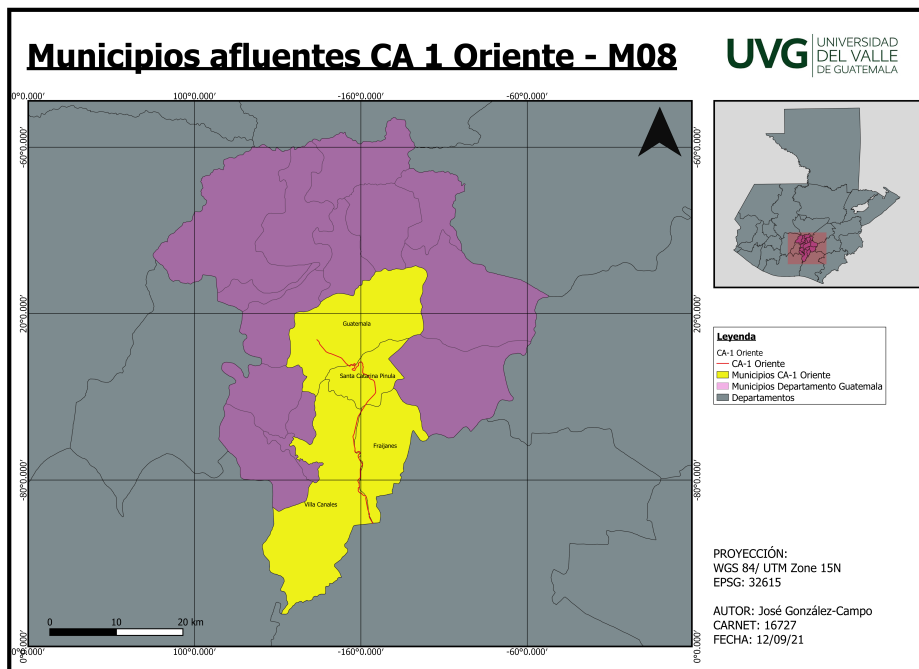
Fuente: Elaboración propia.

Figura 34: Municipios afluentes tramo CA-9 Norte.



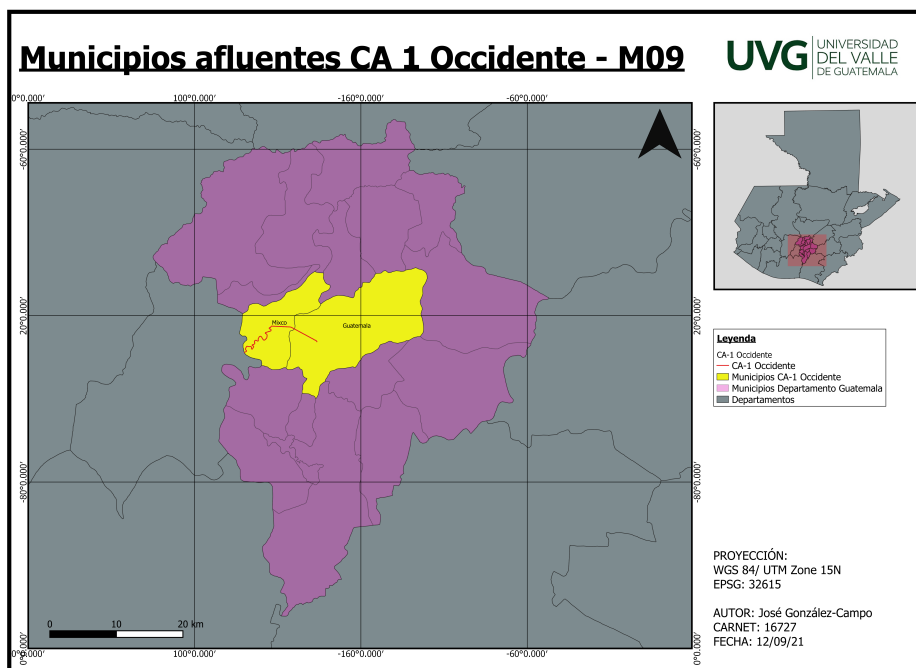
Fuente: Elaboración propia.

Figura 35: Municipios afluentes tramo CA-1 Oriente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36: Municipios afluentes tramo CA-1 Occidente.



Fuente: Elaboración propia.

7.14.4. Marco legal

El departamento de Guatemala cuenta con un total de diecisiete municipios, y cada uno cuenta con sus propias normativas y reglamentos. El caso de los reglamentos o las licencias de construcción es el mejor ejemplo, cada municipio puede contar con distintos requisitos, trámites, limitantes, entre otros.

Uno de los reglamentos más importantes en los municipios es el de construcción, comúnmente publicado como “Reglamento de Construcción y Urbanismo”, y en este usualmente se rigen actividades de excavación, movimiento de tierras, urbanización, nivelación, construcción, ampliación, modificación, reparación, entre otros. Este, a grandes rasgos, dictamina el orden físico de la infraestructura del municipio.

Si bien el estudio abarca todo el departamento de Guatemala, únicamente se detalla a profundidad el marco del Municipio de Guatemala tomando en cuenta su predominio económico y poblacional. Los planes de ordenamiento territorial en otros municipios, la mayoría de ellos actualmente se están desarrollando junto a la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia (SEGEPLAN) cuentan con similitudes. La relación entre los reglamentos de construcción y los planes de ordenamiento territorial consiste en que el segundo define qué hacer y cómo, el primero se adapta a las medidas establecidas. Las diferencias entre los municipios se basarán principalmente en el contexto del mismo, por ejemplo la cantidad de metros cuadrados edificables se ve afectada por las alturas permitidas, entre otros.

Para las leyes y reglamentos aplicables para la autorización de fraccionamientos, obras y usos del suelo en el municipio de Guatemala, la municipalidad cuenta con las siguientes categorías: plan de ordenamiento territorial, impacto vial, reglamentos generales (urbanizaciones y fraccionamientos, reglamentos de construcción, condominios, vivienda de interés social, áreas residenciales, entre otros), centro histórico y conjuntos históricos (estos hacen énfasis principalmente en la protección del patrimonio cultural de la nación), zonas de régimen especial, costos por metro cuadrado para cálculo de licencias, vía pública, agua y drenajes y medio ambiente. Respecto al objeto de estudio del presente trabajo, únicamente se detallarán las categorías de plan de ordenamiento territorial e impacto vial.

Plan de ordenamiento territorial

El plan de ordenamiento, conocido bajo sus siglas como POT, tiene como función el promover y orientar el desarrollo integral del municipio, así como mejorar la calidad de vida de sus habitantes a través de la transformación, utilización y ocupación racional y sostenible de su territorio. Es el instrumento básico constituido por las normas técnicas, legales y administrativas establecidas para regular y orientar el desarrollo del municipio dentro de su respectiva jurisdicción. Dicho reglamento fue publicado bajo el acuerdo COM-0.30-08 el 10 de diciembre de 2008. En cuanto los alcances del mismo, al ordenamiento territorial comprende (Concejo Municipal de la Ciudad de Guatemala, 2008):

- La división territorial administrativa del Municipio en zonas municipales, delegaciones y barrios, así como los criterios de delimitación espacial de los mismos.
- La definición del sistema vial proyectado para el Municipio que propie una movilidad balanceada entre las distintas áreas de su jurisdicción.
- La caracterización del Municipio en zonas generales y en otras áreas, de acuerdo con la vocación de desarrollo de cada una, según las características topográficas y su ubicación respecto al sistema vial de los mismos.
- La determinación, para cada una de las zonas generales, de los parámetros normativos de fraccionamiento, realización de obras, uso del suelo y localización de establecimientos abiertos al público.
- La identificación e integración de las áreas de servicio público de conformidad con las necesidades municipales y Plurales.
- La determinación de los criterios para orientar el desarrollo de áreas urbanizadas, suburbanizadas o que estén en proceso de urbanización a través de la realización de los Planes Parciales de Ordenamiento Territorial.
- La realización de los planes locales de ordenamiento territorial y los planes parciales de ordenamiento territorial.
- La extensión de licencias y otras autorizaciones municipales.
- La regulación y el control del fraccionamiento, realización de obras, uso del suelo y de localización de establecimientos abiertos al público que se realicen dentro del Municipio.

Reglamento evaluación impacto vial

El impacto vial en una construcción se puede dividir en dos categorías, una durante y otra posterior a su construcción. El impacto vial durante su construcción hace referencia a la posible interferencia a la vía pública por las actividades constructivas. Entre estas se podrían mencionar el estacionamiento de camiones de concreto, descarga de materiales, construcción de aceras, entre otros. El impacto posterior hace referencia a cómo la nueva construcción modifica la circulación de la vía pública. Por ejemplo si ocasiona paradas, entrada/salida de vehículos, se colocan semáforos, entre otros.

En el caso de los reglamentos municipales, únicamente la municipalidad de Guatemala cuenta con uno específico de impacto vial, los otros solo hacen menciones en artículos. Dicho reglamento recibe el nombre de “Reglamento específico de evaluaciones de impacto vial para el municipio de Guatemala (RE-10)”.

El artículo 2, denominado “Autoridad”, establece que la entidad encargada de realizar las evaluaciones de impacto vial es el Departamento de Planificación y Diseño de la Dirección de Infraestructura de la Municipalidad de Guatemala. (Concejo Municipal de la Ciudad de Guatemala, 2004)

En el artículo 6 se distinguen los tipos de evaluaciones de impacto vial, los cuales dependen según su repercusión de la magnitud y ubicación de un proyecto sobre las condiciones del tránsito, siendo estos una revisión de impacto vial y un estudio de impacto vial. Una revisión constituye la menor escala de evaluación, donde a través de una revisión de planos se determina si potencialmente existen impactos negativos al tránsito local. Por otro lado, un estudio constituye un tipo de evaluación más detallada, donde a través de conteos vehiculares en la vía pública se establece si potencialmente existirían impactos negativos al tránsito local. (Concejo Municipal de la Ciudad de Guatemala, 2004)

En el artículo 9 se estipulan las tres situaciones posibles para una evaluación o revisión de impacto vial (Concejo Municipal de la Ciudad de Guatemala, 2004):

- Los proyectos residenciales que requieran al menos (50) plazas de estacionamiento o que, aunque no les sean requeridas, las posean, obligatoriamente requieren de un estudio de impacto vial.
- Los proyectos no residenciales o de uso mixto que requieren al menos veinticinco (25) plazas de estacionamiento o que, aunque no les sean requeridas, las posean.
- El resto de los proyectos afectos únicamente se les realizará una revisión de impacto vial. Sin embargo, ante la posibilidad de un potencial impacto negativo, se puede solicitar un estudio de impacto vial.

Los componentes utilizados en dicho reglamento para medir el impacto vial en una localidad son los siguientes (Concejo Municipal de la Ciudad de Guatemala, 2004):

- Plazas de estacionamiento
- Entradas y salidas vehiculares

- Controles de ingreso
- Funcionamiento interno del estacionamiento
- Operaciones de carga y descarga
- Derecho de vía que respeta el proyecto
- Facilidades para otros modos de transporte (transporte público, peatones, ciclistas, etc.)
- Los niveles de servicio de las intersecciones más próximas y/o las vías que sirvan al proyecto.

Son tres los escenarios que se consideran en el reglamento; para cada uno se establece su nivel de servicio y rangos de niveles de servicio aceptables. Los niveles de servicio deben de ser obtenidos de acuerdo al Manual de Capacidad (Highway Capacity Manual) elaborado por el Transportation Research Board del National Research Council de los Estados Unidos de Norteamérica.(Concejo Municipal de la Ciudad de Guatemala, 2004)

- Escenario 1: Niveles de servicio sin el proyecto construido. Para dicho escenario se consideran los volúmenes obtenidos en campo por medio de conteos vehiculares.
- Escenario 2: Niveles de servicio con el proyecto construido. Para dicho escenario se considera la suma del volumen del escenario 1 y el análisis de generación, distribución direccional y asignación de viajes del proyecto. Como mínimo, se requiere de un nivel de servicio C o superior para todas las facilidades analizadas.
- Escenario 3: Niveles de servicio si todos los propietarios del área de análisis desarrollasen sus terrenos a la misma intensidad y con el mismo uso que el proyecto propuesto. Para dicho escenario se considera la suma de los volúmenes del escenario 1, los datos de generación de viajes del escenario 2 asignados a todos los lotes del área proporcionalmente a la superficie del terreno útil de cada uno de ellos.

La aprobación únicamente podrá condicionársela en lo concerniente a que se mantenga el mismo nivel de servicio que en la actualidad tiene la facilidad en cuestión. En dado caso no cumplir, se pueden proponer cambios internos o externos. Dentro de los cambios externos se pueden mencionar ampliación de vías, creación de carriles de aceleración o desalación, instalación de semáforos, construcción de distribuidores viales, creación de un carril de viraje continuo, eliminación de estacionamiento, construcción de una parada de bus, construcción de aceras, otros trabajos de mejoramiento de la infraestructura vial, entre otros. (Concejo Municipal de la Ciudad de Guatemala, 2004)

7.15. Teoría de las decisiones

Como se identificó en la sección de “Principales Accesos a la Ciudad de Guatemala”, son 11 los accesos principales y 8 de ellos serán analizados. El fin del presente trabajo es el

análisis general de los ingresos, el identificar las rutas más críticas y luego analizar posibles soluciones para las mismas. El identificar las rutas más críticas cuenta con un alto nivel de dificultad debido a que son diversas y numerosas las variables que pueden influir en el nivel de servicio de una carretera. Por lo tanto, en base a la teoría de decisiones, específicamente una matriz de decisiones, se llevará a cabo el análisis al establecer rangos de ponderación a las variables.

La teoría de la decisión es un área de distintas disciplinas de estudio, relacionada con casi todos los participantes en ramas de la ciencia, ingeniería y otras actividades sociales. Hace referencia a la forma y estudio del comportamiento y fenómeno psíquicos de aquellos que toman las decisiones, así como las condiciones por las que deben ser tomadas las decisiones óptimas.

Un proceso de decisión presenta las siguientes características principales:

- Existen al menos dos posibles alternativas, excluyentes entre sí, de manera que la actuación de una imposibilita cualquiera de las restantes.
- Mediante un proceso de decisión se identifica una alternativa, la cual se llevará a cabo.
- La elección de la alternativa debe hacerse con el fin de cumplir el criterio determinado.

El proceso de decisión consta de las siguientes fases fundamentales:

- Predicción de las consecuencias de cada actuación, la misma deberá basarse en la experiencia así como también inducción sobre un conjunto de datos. La recopilación y la interpretación correcta de los datos recae en el campo de la estadística.
- Valoración de las consecuencias de acuerdo a una escala de bondad, deseabilidad o importancia. Dicha escala dará lugar a un sistema de preferencias.
- Elección de una alternativa mediante un criterio de decisión adecuado. Una regla o criterio de decisión es una aplicación que asocia a cada alternativa un número, que expresa las preferencias del operario por los resultados asociados a dicha alternativa.

La tabla de decisión es una matriz de renglones y columnas que indican condiciones y acciones. Las reglas de decisión, incluidas en una tabla de decisión, establecen el procedimiento a seguir cuando existen ciertas condiciones. La tabla de decisión es un instrumento para dar respuesta al problema en cuestión. Por simplicidad, siempre se asume la existencia de un número finito de estados y alternativas. Los elementos de dicha tabla son los diferentes estados que puede presentar la naturaleza, las acciones o alternativas y sus consecuencias, probabilidades o importancia.

Figura 37: Ejemplo de matriz de decisiones.

| | | Estados de la naturaleza | | | |
|--------------|----------|--------------------------|----------|-----|----------|
| Alternativas | | e_1 | e_2 | ... | e_n |
| | a_1 | x_{11} | x_{12} | ... | x_{1n} |
| | a_2 | x_{21} | x_{22} | ... | x_{2n} |
| | \vdots | \vdots | \vdots | ... | \vdots |
| | a_m | x_{m1} | x_{m2} | ... | x_{mn} |

7.16. Herramientas software

7.16.1. QGIS

Para definir el programa, primero es necesario definir qué es un Sistema de Información Geográfica (SIG) y algunos conceptos importantes. Los programas SIG son herramientas que permiten procesar geoinformación, referencia espacial a un determinado sistema de coordenadas geográficas, con el fin de visualizar, editar, gestionar y analizar la información geográfica para resolver problemas complejos. Es un sistema complejo de mapas, base de datos, información básica y temática, y una novedosa tecnología que permite consultar y manipular la información para realizar análisis según los requerimientos de la aplicación de los datos. (Dirección Provincial de Ordenamiento Urbano y Territorial, 2011) Entre los softwares más reconocidos se encuentran: ArcView, Mapinfo, Genasys, GRASS, ArcCad, QGIS, entre otros.

Básicamente, un SIG ha de permitir la realización de las siguientes operaciones (Olaya, 2014):

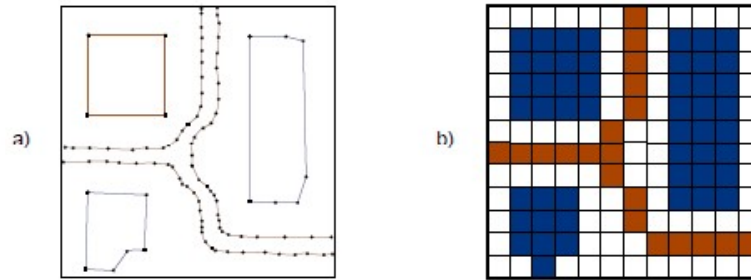
- Lectura, manipulación, almacenamiento y gestión de datos espaciales.
- Análisis de los datos. Desde análisis sencillos hasta la elaboración de modelos complejos. Esto puede llevarse a cabo tanto sobre la componente espacial de los datos (localización de cada valor o elemento) como sobre la componente temática (el valor o el elemento en sí).
- Generación de resultados de carácter infográficos, tales como mapas, informes, gráficos, entre otros.

El éxito de las herramientas SIG radica en que permite separar y almacenar la información en diferentes layers o capas temáticas y la combinación de diferentes capas de información permite de manera rápida y sencilla visualizar distintos mapas, a la vez, permitiendo así producir información nueva mediante la fusión de las fuentes originales. Por ende, al profesional se le facilita identificar y establecer relaciones entre las distintas coberturas por medio de distintas metodologías de análisis de datos. (Dirección Provincial de Ordenamiento

Urbano y Territorial, 2011) Resultaría muy complicado identificar dichas relaciones por medio del método tradicional al analizar mapas simples, bases de datos, inventarios o gráficos, todos de manera individual.

Los SIG utilizan básicamente dos formatos de codificación de datos geográficos, vectorial y raster. La representación vectorial utiliza como elementos principales los puntos, líneas y polígonos, para representar los rasgos de la superficie terrestre. La representación raster se basa en una unidad fundamental llamada celda o pixel. (Dirección Provincial de Ordenamiento Urbano y Territorial, 2011) A continuación, se brinda una imagen que facilita la interpretación de los conceptos, así como también la diferencia entre ambos.

Figura 38: Diferencia entre un modelo vectorial (a) y un modelo raster (b).

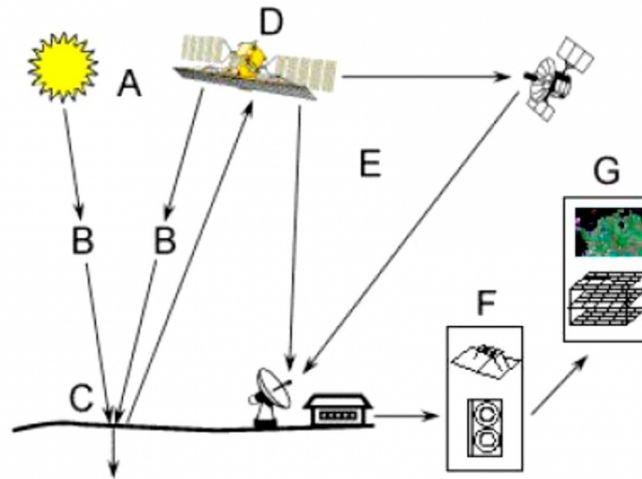


Fuente: (Olaya, 2014)

Un SIG implica una aplicación informática, y esta se alimenta en última instancia exclusivamente de datos digitales. En comparación a la aplicación tradicional de datos análogos, las ventajas de datos digitales se pueden resumir en sencillez de actualización, facilidad de distribución, espacio de almacenamiento, facilidad y precisión de análisis y por último, facilidad de mantenimiento y conservación. Los principales métodos para obtener información para su empleo en un SIG son las siguientes (Olaya, 2014):

- Teledetección: Estudio y medida de las características de una serie de objetos, en este caso superficie terrestre, sin que exista contacto físico. Las fotografías aéreas fueron el primer producto de la teledetección por ejemplo. Su uso radica principalmente en satélites, en donde se pueden encontrar los programas más comunes como LANDSAT, IKONOS, Aqua y Terra, SPOT, entre otros programas o satélites.

Figura 39: Esquema de funcionamiento de generación de información por medio de la herramienta de teledetección.



Fuente: (Olaya, 2014)

- Digitalización: fuente secundaria de datos, en donde se digitaliza información sobre una fuente ya existente. Por ejemplo, dibujar un polígono sobre un ráster obtenido por medio de teledetección. Dentro de esta fuente se puede mencionar la fotogrametría y el escaneo.
- GPS: sistema que permite obtener la ubicación exacta de cualquier punto en base a la triangulación de la posición mediante las señales procedentes de un cierto número de satélites. Brinda coordenadas en los ejes X, Y y Z.

QGIS (o Quantum GIS) es un sistema de información geográfica de código abierto, lo que significa que se puede descargar e instalar en su escritorio de forma gratuita. Funciona en Windows, Mac OS X y Linux. También hay numerosos complementos que amplían la funcionalidad de QGIS. La versión utilizada para el presente trabajo es la 3.12.2-Bucaresti. Las herramientas utilizadas para el análisis, específicamente herramientas de geoprocementos de vectores, fueron: buffer e intersección.

7.16.2. Google Earth

Google Earth es un navegador geográfico que accede a imágenes aéreas y satelitales, información topográfica, batimetría y otros datos geográficos a través de internet para representar la tierra como un globo tridimensional. Otros ejemplos de geobrowsers son World Wind de NASA, Explorer por ArcGIS de ESRI y GeoPlayer de GeoFusiones. Google Earth cuenta con distintas versiones, todas gratuitas, la versión actual para ordenadores es Google Earth Pro, cuentan con una versión en línea (Google Earth for Web), otra en aplicaciones para móviles y una versión para la combinación de imágenes satelitales y algoritmos propios del usuario (Earth Engine).(SERC, 2020)

Dentro de las herramientas más importantes en el software destacan las siguientes mediciones: posición, elevación y distancias. La posición se puede obtener a partir de la longitud y latitud de un punto. La información de la elevación es obtenida del programa de la NASA “Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)”. Y las distancias permite medir distancia entre dos puntos, tramos enteros e incluso definir polígonos.(SERC, 2020)

El formato de archivo que utiliza es “.kml” (Keyhole Markup Language) y “.kmz” (Keyhole Markup Language Zipped). Es importante mencionar que Google Earth no se considera como un Sistema de Información Geográfica (SIG) al no contar con las extensas capacidades analíticas que caracterizan a dichos sistemas. Sin embargo, es una herramienta con una interfaz más amigable y sencilla para el usuario.(SERC, 2020)

Una característica muy interesante del programa es que recopila imágenes satelitales a través de los años por lo que uno puede realizar comparaciones de ubicaciones. Como un aspecto negativo, algunas ubicaciones cuentan con una mayor resolución en las imágenes que otras, limitando el análisis. Los Archivos Internacionales de Fotogrametría, Teledetección e Información Espacial (ISPRS siglas en inglés), identificó que en promedio Google Earth cuenta con una precisión de ± 4.38 metros (ISPRS, 2021). Otra herramienta utilizada es “StreetView” la que permite ver imágenes desde el punto de vista de la carretera.

7.16.3. Power BI

Power BI es un programa desarrollado por Microsoft en el año 2015 que permite conectar y transformar información, crear cálculos avanzados y reportes interactivos conocidos como dashboards. En comparación a Microsoft Excel, Power BI está diseñado para tareas más avanzadas y cuenta con una mayor capacidad de datos. A diferencia de otros softwares en el mercado de análisis masivo de datos, R Studio por ejemplo, Power BI no requiere el uso de código o sintaxis para manipular los datos. El éxito de la herramienta radica en la capacidad de utilizar inteligencia artificial para analizar la información, buscando patrones interesantes.(Ferrari, 2016)

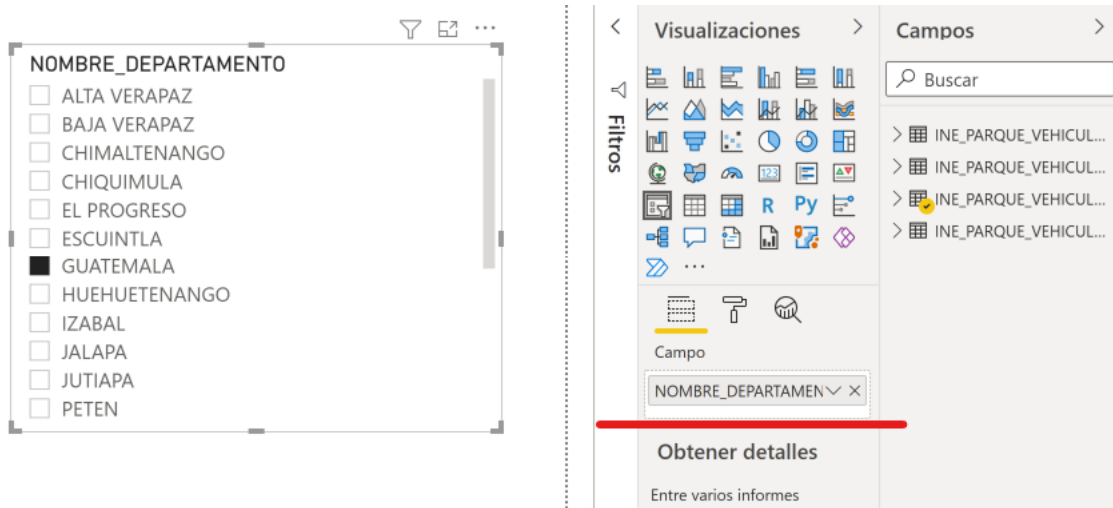
El programa se puede dividir en tres componentes generales, dashboards, reportes y bases de datos, siendo este último la base y origen de los otros dos. La interfaz del usuario de los reportes combina distintas características en una sola ventana: panel central, panel de visualizaciones y panel de campos. El panel de visualizaciones contiene el set entero de las distintas herramientas que se pueden utilizar y para la base de datos se utilizaron dos, matriz y segmentación de datos.(Ferrari, 2016)

La matriz es un tipo de objeto visual de tabla que admite un diseño escalonado. Una tabla admite dos dimensiones, pero una matriz facilita la visualización de datos de manera significativa en múltiples dimensiones. A menudo, los diseñadores de informes incluyen matrices en informes y paneles para permitir a los usuarios seleccionar uno o más elementos (filas, columnas, celdas) en la matriz.(Microsoft, 2021)

La herramienta de segmentación de datos es un gráfico independiente que se puede usar para filtrar los demás elementos visuales de la página. Las segmentaciones vienen en muchos formatos diferentes (categoría, rango, fecha, etc.) y se pueden formatear para permitir la selección de solo uno, muchos o todos los valores disponibles.(Microsoft, 2021)

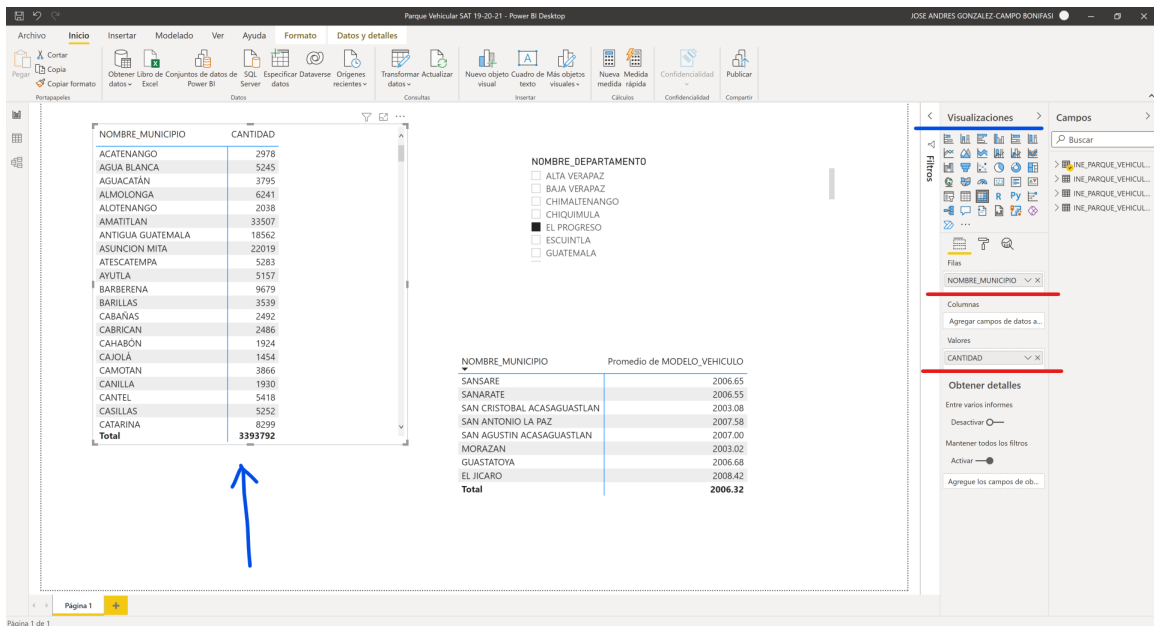
En el caso de la base de datos, para identificar la cantidad de vehículos en cada departamento, parque vehicular, primero se utilizó la segmentación de datos para únicamente considerar el departamento de Guatemala, colocando la columna de “Nombre Departamento” como campo. Luego, con la matriz, se seleccionó como filas la columna de “Nombre Municipio” y en el apartado de valores se colocó la cantidad expresada como suma total. A continuación se detallan capturas de pantalla del proceso.

Figura 40: Uso de la herramienta segmentación de datos con el campo de información utilizado.



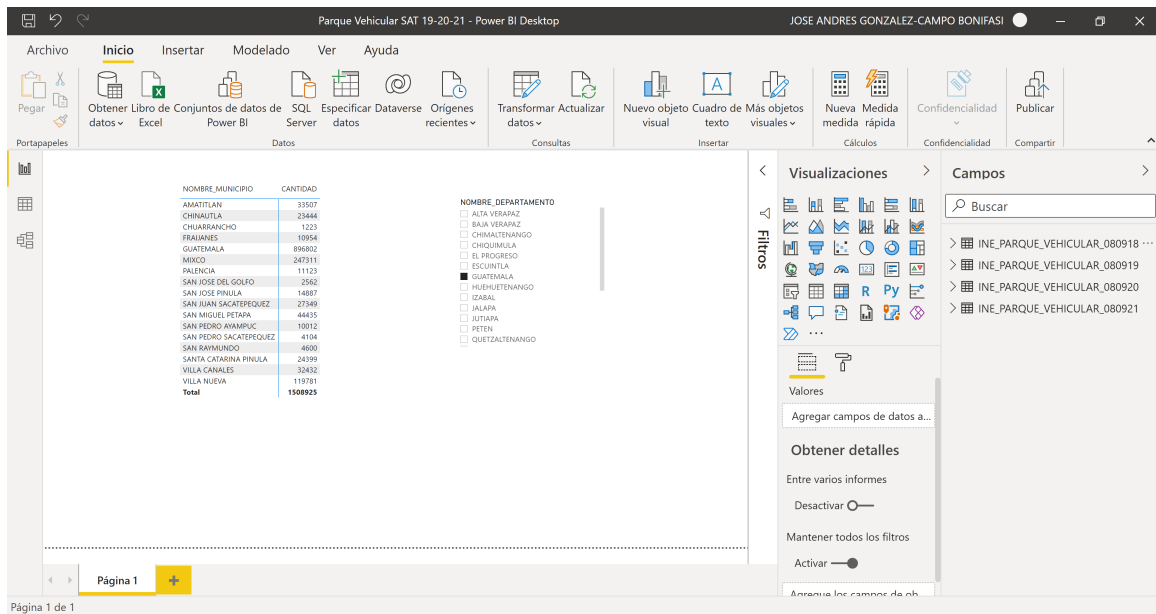
Fuente: Elaboración propia.

Figura 41: Uso de la herramienta matriz con el campo de información utilizado y su valor.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 42: Demostración de tablero de datos utilizados, parque vehicular departamento de Guatemala por municipio para el mes de agosto 2018, 2019, 2020 y 2021. En la sección derecha de campos se puede evidenciar las cuatro bases de datos cargadas en el mismo archivo.



Fuente: Elaboración propia.

7.16.4. Infracworks

El software de diseño conceptual InfraWorks es compatible con BIM (modelado de información para la construcción) y permite a los profesionales de la arquitectura, la ingeniería y la construcción modelar, analizar y visualizar conceptos de diseño de infraestructura en el contexto del entorno construido y natural, lo que ayuda a tomar mejores decisiones y agilizar las aprobaciones del proyecto. (Autodesk, 2021b)

Dentro de sus cualidades destaca el que crea un modelo en el contexto del mundo real al modelar las condiciones existentes que representan el entorno construido y natural. Esto lo hace posible al integrar el diseño con los datos espaciales de Sistemas de Información Geográfica (SIG). En esa misma línea, agrega cantidades de datos para generar un modelo contextual enriquecido. (Autodesk, 2021b)

Por último, optimiza los diseños y los comunica con visualizaciones envolventes, utiliza herramientas de análisis y simulación para explorar aspectos importantes del proyecto. Así mismo, genera experiencias visuales atractivas para comunicar la intención del diseño. (Autodesk, 2021b)

7.16.5. Civil 3D

El software de diseño para ingeniería civil Civil 3D es compatible con BIM (modelado de información para la construcción) y proporciona características integradas para mejorar los

bocetos, el diseño y la documentación de construcción. Permite flujos de trabajo más eficaces para el modelado de superficies y carriles, el diseño de emplazamientos, el análisis de aguas pluviales y sanitarias, además de la producción y la documentación de planos.(Autodesk, 2021a)

En cuanto el diseño de carreteras, Civil 3D facilita el descargar, crear, analizar y ajustar datos topográficos. Crea modelos 3D dinámicos y flexibles de carriles de carreteras, simula la condición a través del carril y evalúa visualmente la distancia de vista y el análisis de influencia. Permite diseñar intersecciones, diseñar drenajes, automatiza la generación de ensamblajes para el modelo de diseño de carriles de rehabilitación, utiliza la información de materiales para crear informes de cantidades y facilita la producción y documentación de planos. (Autodesk, 2021a)

La ponderación de cada variable cuantitativa se hizo a partir de una comparación jerárquica según el valor observado, en donde siempre se consideró que una mayor ponderación se traduce en peores condiciones o mayor desventaja. Considerándose la puntuación por medio de jerarquía, cada tramo tendrá un valor individual del 1 al 8, siendo ocho los tramos analizados. En cuanto la variable cualitativa, siendo el nivel de servicio la única, se asigna una puntuación a cada nivel, en este caso sí pueden existir puntuaciones repetidas. En cada variable se especificará con mayor detalle cada criterio.

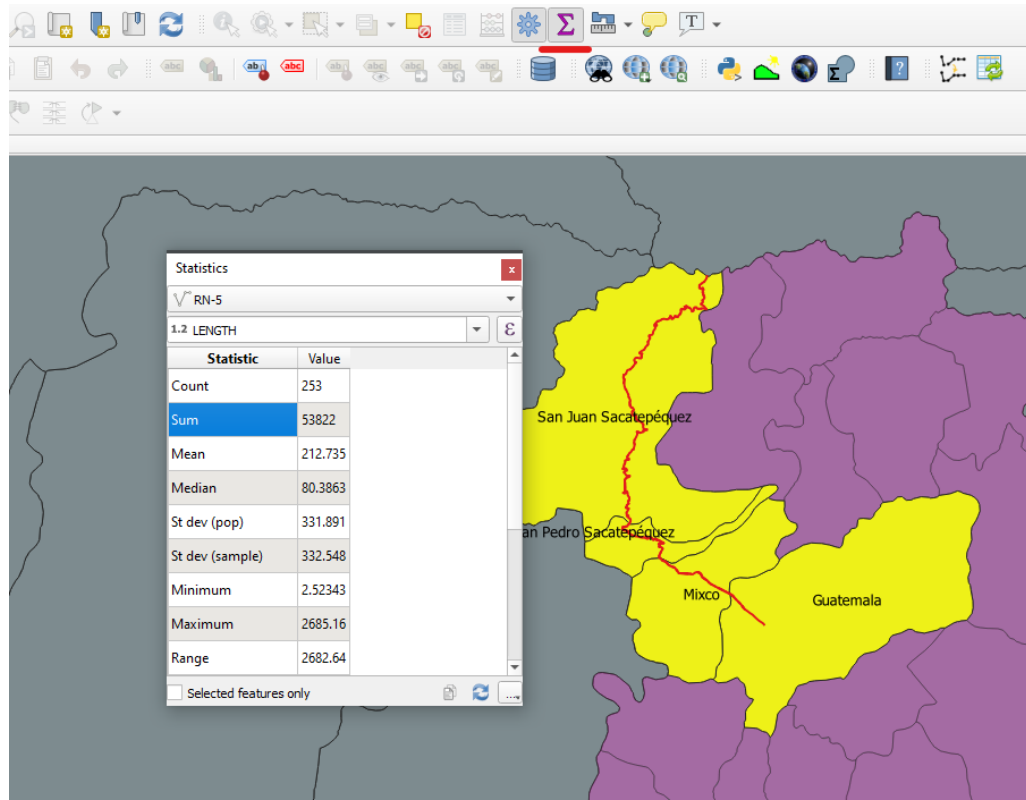
8.1. Variables geométricas

8.1.1. Longitud tramo

La longitud no tiene una relación directa con el tráfico como tal, sin embargo, mientras más extenso sea un tramo carretero, mayor son las probabilidades que se presenten factores que tengan impacto sobre el tránsito. Desde más puntos de actividad económica, cruces, entradas hacia el tramo, entre otros. La importancia de esta variable también radica en el hecho que será utilizada como base para identificar densidades por kilómetros de otras variables.

Para identificar la longitud de cada tramo, se utilizó el software de QGIS por medio de la herramienta “Statistics”, en la Figura 43 se detalla una imagen como muestra. Como observación, la longitud en el archivo originalmente se encontraba en metros, luego convirtiéndose a kilómetros.

Figura 43: Muestra del uso de la herramienta Statistics en QGIS, se subraya con color rojo la ubicación de la misma en la barra de herramientas.



Fuente: Elaboración propia.

Para esta variable se consideró una jerarquía ascendente, en donde una mayor longitud significa una peor calificación.

Cuadro 1: Tabla Variable 1 - Longitud.

| Tramo | Longitud total (kms) | Ranking |
|----------------|----------------------|---------|
| CA-1 Oriente | 34.823 | 7 |
| CA-1 Occidente | 17.484 | 2 |
| CA-9 Sur | 27.326 | 6 |
| CA-9 Norte | 27.262 | 5 |
| RD GUA-1 | 25.982 | 3 |
| RD GUA-14 | 10.398 | 1 |
| RD GUA-4 | 26.707 | 4 |
| RN-5 | 53.822 | 8 |
| | 223.8038 | |

Fuente: Elaboración propia.

8.2. Variables demográficas

8.2.1. Parque vehicular actual

Esta variable tiene una relación directa con la afluencia o congestión vehicular al referirse a la densidad de los tramos. Un mayor parque vehicular significa una mayor demanda y ante la misma oferta en el mismo periodo de tiempo, se da lugar a la congestión. El análisis de esta variable se tomó en cuenta a partir de los municipios afluentes de cada tramo, sumando el valor de cada municipio para contar con el total, como se detalló en el apartado de “Principales Accesos”.

La información fue obtenida de la página web “Análisis Estadístico del Parque Vehicular” de la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT) para el mes de agosto 2021. Es de vital importancia indicar que como se trata de una base de datos tributaria, se reporta la ubicación de un vehículo en el municipio que se inscribe legalmente. Por lo tanto, eso no significa que únicamente transite en el mismo o que incluso la persona viva en dicho municipio. Por ejemplo, un vehículo inscrito en el municipio de San Jose Pinula puede ser operado en Cuilapa, Santa Rosa. Dado la falta de información disponible del parque vehicular del departamento de Guatemala, se consideró esta base de datos como la más representativa y completa tomando en cuenta el hecho mencionado anteriormente. Haciendo referencia a la demanda de vehículos y oferta de tramos viales, se consideró una jerarquía ascendente en donde un mayor parque vehicular significa una peor calificación.

Con el fin de contar con los peores escenarios posibles o escenarios críticos, se consideró todo el parque vehicular de cada municipio teniendo en cuenta que físicamente no es posible pero que una saturación al sistema general, no necesariamente el tramo estudiado, tiene un impacto sobre el tramo.

Cuadro 2: Tabla Variable 2 - Parque vehicular actual desglosado.

| Tramo | Municipios afluentes | Agosto 2021 | Total 2021 |
|----------------|------------------------|-------------|------------|
| CA-1 Oriente | Guatemala | 1,081,512 | 1,169,725 |
| | Santa Catarina Pinula | 31,085 | |
| | Fraijanes | 15,266 | |
| | Villa Canales | 41,862 | |
| CA-1 Occidente | Guatemala | 1,081,512 | 1,384,054 |
| | Mixco | 302,542 | |
| CA-9 Sur | Guatemala | 1,081,512 | 1,282,385 |
| | Villa Nueva | 156,452 | |
| | Amatitlán | 44,421 | |
| CA-9 Norte | Guatemala | 1,081,512 | 1,099,507 |
| | Palencia | 15,012 | |
| | San José del Golfo | 2,983 | |
| RD GUA-1 | Guatemala | 1,081,512 | 1,182,807 |
| | Petapa | 15,012 | |
| | Amatitlán | 44,421 | |
| | Villa Canales | 41,862 | |
| RD GUA-14 | Guatemala | 1,081,512 | 1,252,976 |
| | Villa Nueva | 156,452 | |
| | Petapa | 15,012 | |
| RD GUA-4 | Guatemala | 1,081,512 | 1,156,861 |
| | Chinautla | 31,063 | |
| | San Raymundo | 5,897 | |
| | San Juan Sacatepéquez | 38,389 | |
| RN-5 | Guatemala | 1,081,512 | 1,427,978 |
| | Mixco | 302,542 | |
| | San Pedro Sacatepéquez | 5,535 | |
| | San Juan Sacatepéquez | 38,389 | |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3: Tabla Variable 2 - Parque vehicular actual resumido.

| Tramo | Total parque vehicular | Ranking |
|----------------|------------------------|---------|
| CA-1 Oriente | 1,169,725 | 3 |
| CA-1 Occidente | 1,384,054 | 7 |
| CA-9 Sur | 1,282,385 | 6 |
| CA-9 Norte | 1,099,507 | 1 |
| RD GUA-1 | 1,182,807 | 4 |
| RD GUA-14 | 1,252,976 | 5 |
| RD GUA-4 | 1,156,861 | 2 |
| RN-5 | 1,427,978 | 8 |

Fuente: Elaboración propia.

8.2.2. Proyecciones parque vehicular

A diferencia de la variable anterior, en este caso no se pretende analizar el parque vehicular por cantidad sino por tasas de crecimiento anual. De esta manera se puede analizar qué municipios proyectan una mayor demanda a largo plazo. Para este análisis nuevamente la información fue obtenida de la página web “Análisis Estadístico del Parque Vehicular” de la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT) para el mes de agosto de los años 2018, 2019, 2020 y 2021. Con estos datos se obtuvieron 3 distintas tasas por tramo y se consideró la tasa promedio para identificar la jerarquía o puntuación.

Al igual que la variable anterior, se consideró una jerarquía ascendente en donde una mayor tasa de crecimiento del parque vehicular significa una peor calificación.

Cuadro 4: Tabla Variable 3 - Proyecciones parque vehicular resumido.

| Tramo | Tasa promedio | Ranking |
|----------------|---------------|---------|
| CA-1 Oriente | 6.64% | 3 |
| CA-1 Occidente | 6.56% | 2 |
| CA-9 Sur | 6.89% | 8 |
| CA-9 Norte | 6.50% | 1 |
| RD GUA-1 | 6.70% | 4 |
| RD GUA-14 | 6.83% | 7 |
| RD GUA-4 | 6.71% | 6 |
| RN-5 | 6.70% | 5 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 5: Tabla Variable 3 - Proyecciones parque vehicular desglosado.

| Tramo | Municipios afluentes | Agosto 2018 | | Agosto 2019 | | Total 2019 | | Agosto 2020 | | Total 2020 | | Agosto 2021 | | Total 2021 | |
|----------------|------------------------|-------------|---------|-------------|---------|------------|-----------|-------------|---------|------------|-----------|-------------|-----------|------------|--|
| | | 896,802 | 24,399 | 964,587 | 941,054 | 26,655 | 1,015,598 | 1,001,330 | 28,929 | 1,082,724 | 1,081,512 | 31,085 | 1,169,725 | | |
| CA-1 Oriente | Guatemala | 896,802 | 24,399 | 964,587 | 941,054 | 1,001,330 | 1,081,512 | 1,081,512 | 31,085 | 1,169,725 | 1,081,512 | 31,085 | 1,169,725 | | |
| | Santa Catarina Pinula | 24,399 | 10,954 | 964,587 | 26,655 | 13,591 | 1,082,724 | 13,591 | 15,266 | 1,169,725 | 15,266 | 15,266 | 1,169,725 | | |
| | Fraijanes | 10,954 | 32,432 | 964,587 | 12,280 | 38,874 | 1,082,724 | 38,874 | 41,862 | 1,169,725 | 41,862 | 41,862 | 1,169,725 | | |
| CA-1 Occidente | Villa Canales | 32,432 | 896,802 | 1,144,113 | 941,054 | 1,207,502 | 1,287,243 | 1,001,330 | 302,542 | 1,384,054 | 1,081,512 | 302,542 | 1,384,054 | | |
| | Guatemala | 896,802 | 247,311 | 1,144,113 | 266,448 | 1,207,502 | 1,287,243 | 285,913 | 302,542 | 1,384,054 | 1,081,512 | 302,542 | 1,384,054 | | |
| | Mixco | 247,311 | 896,802 | 1,144,113 | 941,054 | 1,207,502 | 1,287,243 | 1,001,330 | 302,542 | 1,384,054 | 1,081,512 | 302,542 | 1,384,054 | | |
| CA-9 Sur | Guatemala | 896,802 | 119,781 | 1,050,090 | 941,054 | 1,110,307 | 1,187,036 | 1,001,330 | 156,452 | 1,282,385 | 1,081,512 | 156,452 | 1,282,385 | | |
| | Villa Nueva | 119,781 | 33,507 | 1,050,090 | 132,152 | 40,997 | 1,187,036 | 144,709 | 44,421 | 1,282,385 | 1,081,512 | 44,421 | 1,282,385 | | |
| | Amatitlán | 33,507 | 896,802 | 1,050,090 | 37,101 | 40,997 | 1,187,036 | 40,997 | 44,421 | 1,282,385 | 1,081,512 | 44,421 | 1,282,385 | | |
| CA-9 Norte | Guatemala | 896,802 | 11,123 | 910,487 | 941,054 | 955,982 | 1,017,877 | 1,001,330 | 15,012 | 1,099,507 | 1,081,512 | 15,012 | 1,099,507 | | |
| | Palencia | 11,123 | 2,562 | 910,487 | 12,220 | 2,708 | 1,017,877 | 13,678 | 2,983 | 1,099,507 | 1,081,512 | 2,983 | 1,099,507 | | |
| | San José del Golfo | 2,562 | 896,802 | 910,487 | 941,054 | 955,982 | 1,017,877 | 1,001,330 | 15,012 | 1,099,507 | 1,081,512 | 15,012 | 1,099,507 | | |
| RD GUA-1 | Guatemala | 896,802 | 11,123 | 973,864 | 941,054 | 1,025,984 | 1,094,879 | 1,001,330 | 15,012 | 1,182,807 | 1,081,512 | 15,012 | 1,182,807 | | |
| | Petapa | 11,123 | 33,507 | 973,864 | 12,220 | 40,997 | 1,094,879 | 13,678 | 44,421 | 1,182,807 | 1,081,512 | 44,421 | 1,182,807 | | |
| | Amatitlán | 33,507 | 32,432 | 973,864 | 37,101 | 38,874 | 1,094,879 | 40,997 | 41,862 | 1,182,807 | 1,081,512 | 41,862 | 1,182,807 | | |
| RD GUA-14 | Villa Canales | 32,432 | 896,802 | 1,027,706 | 941,054 | 1,085,426 | 1,159,717 | 1,001,330 | 156,452 | 1,252,976 | 1,081,512 | 156,452 | 1,252,976 | | |
| | Guatemala | 896,802 | 119,781 | 1,027,706 | 132,152 | 144,709 | 1,159,717 | 144,709 | 15,012 | 1,252,976 | 1,081,512 | 15,012 | 1,252,976 | | |
| | Villa Nueva | 119,781 | 11,123 | 1,027,706 | 12,220 | 13,678 | 1,159,717 | 13,678 | 15,012 | 1,252,976 | 1,081,512 | 15,012 | 1,252,976 | | |
| RD GUA-4 | Petapa | 11,123 | 896,802 | 952,195 | 941,054 | 1,003,215 | 1,070,598 | 1,001,330 | 31,063 | 1,156,861 | 1,081,512 | 31,063 | 1,156,861 | | |
| | Guatemala | 896,802 | 23,444 | 952,195 | 26,242 | 29,178 | 1,070,598 | 29,178 | 5,897 | 1,156,861 | 1,081,512 | 5,897 | 1,156,861 | | |
| | Chinautla | 23,444 | 4,600 | 952,195 | 5,028 | 5,476 | 1,070,598 | 5,476 | 38,389 | 1,156,861 | 1,081,512 | 38,389 | 1,156,861 | | |
| RN-5 | San Raymundo | 4,600 | 27,349 | 1,175,566 | 30,891 | 34,614 | 1,326,928 | 34,614 | 5,535 | 1,427,978 | 1,081,512 | 5,535 | 1,427,978 | | |
| | San Juan Sacatepéquez | 27,349 | 896,802 | 1,175,566 | 941,054 | 1,242,976 | 1,326,928 | 1,001,330 | 302,542 | 1,427,978 | 1,081,512 | 302,542 | 1,427,978 | | |
| | Guatemala | 896,802 | 4,104 | 1,175,566 | 266,448 | 5,071 | 1,326,928 | 285,913 | 5,071 | 1,427,978 | 1,081,512 | 5,071 | 1,427,978 | | |
| RD GUA-4 | Mixco | 247,311 | 27,349 | 1,175,566 | 941,054 | 1,242,976 | 1,326,928 | 1,001,330 | 34,614 | 1,427,978 | 1,081,512 | 34,614 | 1,427,978 | | |
| | San Pedro Sacatepéquez | 4,104 | 27,349 | 1,175,566 | 30,891 | 34,614 | 1,326,928 | 34,614 | 5,535 | 1,427,978 | 1,081,512 | 5,535 | 1,427,978 | | |
| RD GUA-4 | San Juan Sacatepéquez | 27,349 | 27,349 | 1,175,566 | 30,891 | 34,614 | 1,326,928 | 34,614 | 5,535 | 1,427,978 | 1,081,512 | 5,535 | 1,427,978 | | |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 6: Tabla Variable 3 - Proyecciones parque vehicular desglose promedios de tasas.

| Tramo | Municipios afluentes | Tasa 2018-2019 | | Tasa 2019-2020 | Tasa 2020-2021 | Tasa promedio |
|----------------|------------------------|----------------|-------|----------------|----------------|---------------|
| | | | | | | |
| CA-1 Oriente | Guatemala | 5.29% | 6.61% | 8.04% | 6.64% | |
| | Santa Catarina Pinula | | | | | |
| | Frajanes | | | | | |
| | Villa Canales | | | | | |
| CA-1 Occidente | Guatemala | 5.54% | 6.60% | 7.52% | 6.56% | |
| | Mixco | | | | | |
| CA-9 Sur | Guatemala | 5.73% | 6.91% | 8.03% | 6.89% | |
| | Villa Nueva | | | | | |
| | Amatitlán | | | | | |
| CA-9 Norte | Guatemala | 5.00% | 6.47% | 8.02% | 6.50% | |
| | Palencia | | | | | |
| | San José del Golfo | | | | | |
| | Guatemala | | | | | |
| RD GUA-1 | Guatemala | 5.35% | 6.72% | 8.03% | 6.70% | |
| | Petapa | | | | | |
| | Amatitlán | | | | | |
| | Villa Canales | | | | | |
| RD GUA-14 | Guatemala | 5.62% | 6.84% | 8.04% | 6.83% | |
| | Villa Nueva | | | | | |
| | Petapa | | | | | |
| RD GUA-4 | Guatemala | 5.36% | 6.72% | 8.06% | 6.71% | |
| | Chinautla | | | | | |
| | San Raymundo | | | | | |
| | San Juan Sacatepéquez | | | | | |
| RN-5 | Guatemala | 5.73% | 6.75% | 7.62% | 6.70% | |
| | Mixco | | | | | |
| | San Pedro Sacatepéquez | | | | | |
| | San Juan Sacatepéquez | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

8.2.3. Año promedio vehículo del parque vehicular

Esta variable hace referencia al año de los modelos en promedio del parque vehicular de cada uno de los tramos analizados. Conforme se tengan vehiculos de mayor antigüedad el rendimiento del mismo se puede ver afectado, aumenta la probabilidad de desperfectos y aumenta las emisiones de carbono hacia la atmósfera.

La información fue obtenida de la página web “Análisis Estadístico del Parque Vehicular” de la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT) para el mes de agosto 2021. Se consideró una jerarquía descendente en donde un menor año promedio de vehiculas significa una peor calificación.

Cuadro 7: Tabla Variable 4 - Año promedio parque vehicular desglose.

| Tramo | Municipios afluentes | Promedio año modelo | Promedio |
|----------------|------------------------|---------------------|----------|
| CA-1 Oriente | Guatemala | 2,002.35 | 2,007 |
| | Santa Catarina Pinula | 2,008.50 | |
| | Fraijanes | 2,009.41 | |
| | Villa Canales | 2,006.83 | |
| CA-1 Occidente | Guatemala | 2,002.35 | 2,003 |
| | Mixco | 2,003.81 | |
| CA-9 Sur | Guatemala | 2,002.35 | 2,005 |
| | Villa Nueva | 2,004.87 | |
| | Amatitlán | 2,006.97 | |
| CA-9 Norte | Guatemala | 2,002.35 | 2,004 |
| | Palencia | 2,006.19 | |
| | San José del Golfo | 2,004.70 | |
| RD GUA-1 | Guatemala | 2,002.35 | 2,006 |
| | Petapa | 2,006.19 | |
| | Amatitlán | 2,006.97 | |
| | Villa Canales | 2,006.83 | |
| RD GUA-14 | Guatemala | 2,002.35 | 2,004 |
| | Villa Nueva | 2,004.87 | |
| | Petapa | 2,006.19 | |
| RD GUA-4 | Guatemala | 2,002.35 | 2,005 |
| | Chinautla | 2,006.87 | |
| | San Raymundo | 2,005.03 | |
| | San Juan Sacatepéquez | 2,005.81 | |
| RN-5 | Guatemala | 2,002.35 | 2,005 |
| | Mixco | 2,003.81 | |
| | San Pedro Sacatepéquez | 2,007.97 | |
| | San Juan Sacatepéquez | 2,005.81 | |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 8: Tabla Variable 4 - Año promedio parque vehicular resumen.

| Tramo | Año promedio | Ranking |
|----------------|--------------|---------|
| CA-1 Oriente | 2007 | 1 |
| CA-1 Occidente | 2003 | 8 |
| CA-9 Sur | 2005 | 5 |
| CA-9 Norte | 2004 | 7 |
| RD GUA-1 | 2006 | 2 |
| RD GUA-14 | 2004 | 6 |
| RD GUA-4 | 2005 | 3 |
| RN-5 | 2005 | 4 |

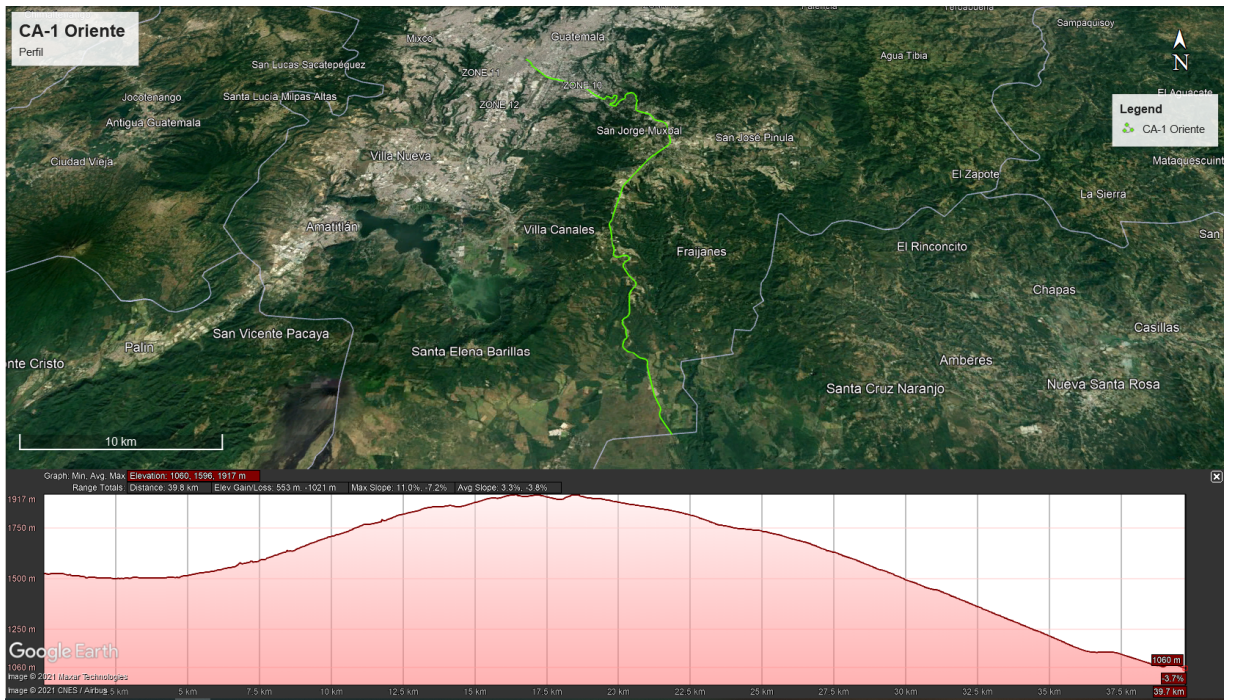
Fuente: Elaboración propia.

8.3. Variables topográficas

La topografía tiene un impacto directo en la velocidad a la que se puede viajar. Para pendientes positivas el motor de los vehículos tiene una mayor exigencia, disminuyendo así la velocidad, y para pendientes negativas, por seguridad, es necesario disminuir la velocidad.

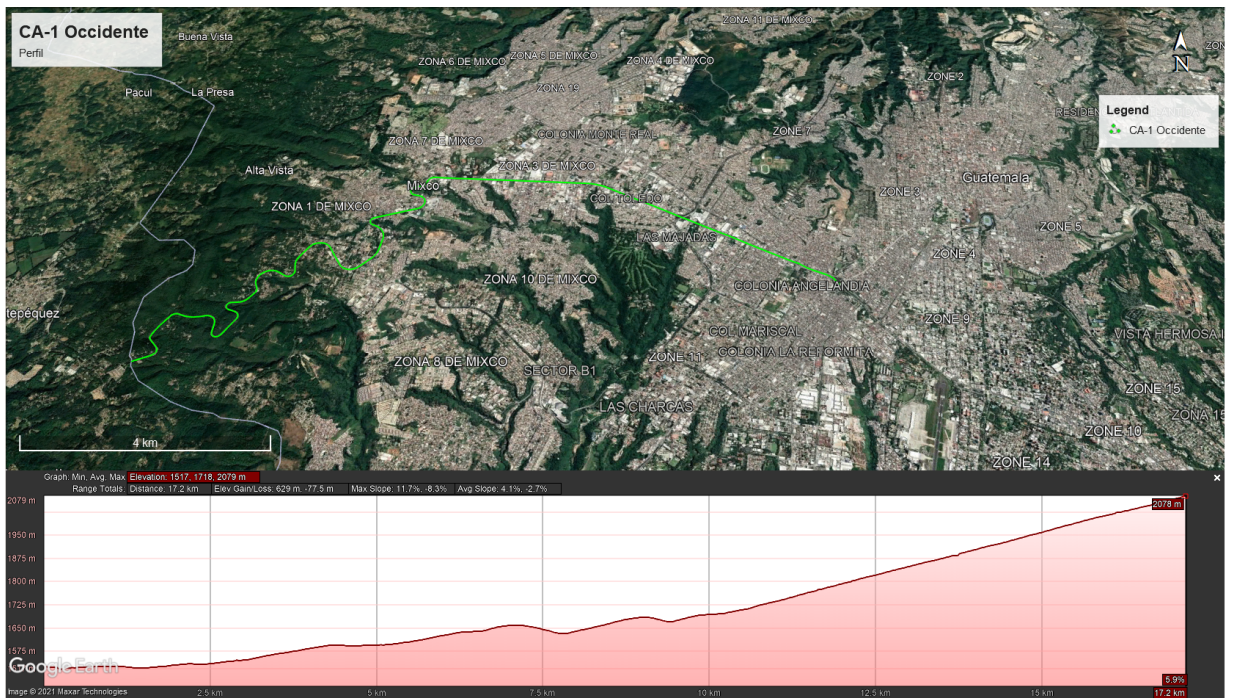
Se analizaron 5 variables por medio del software Google Earth para esta sección, siendo estas: alturas, pendiente máxima positiva, pendiente máxima negativa, pendiente promedio positiva, pendiente promedio negativa. Contando con los archivos shapefiles de QGIS, estos se exportaron hacia Google Earth y se dibujó encima de los mismos para utilizar la herramienta de “Perfil de Elevación”. El programa no permite la lectura de perfiles de archivos shapefile, únicamente la extensión “.kmz”, propia del software, por lo que fue necesario dibujar encima del trazo original. En las Figuras 44 a 51, se detallan los recorridos y perfiles de cada tramo; en los mismos, en la parte superior del perfil, se puede identificar los datos obtenidos. Todos los perfiles, de izquierda a derecha, inician en el Municipio de Guatemala.

Figura 44: Mapa perfil de tramo CA-1 Oriente.



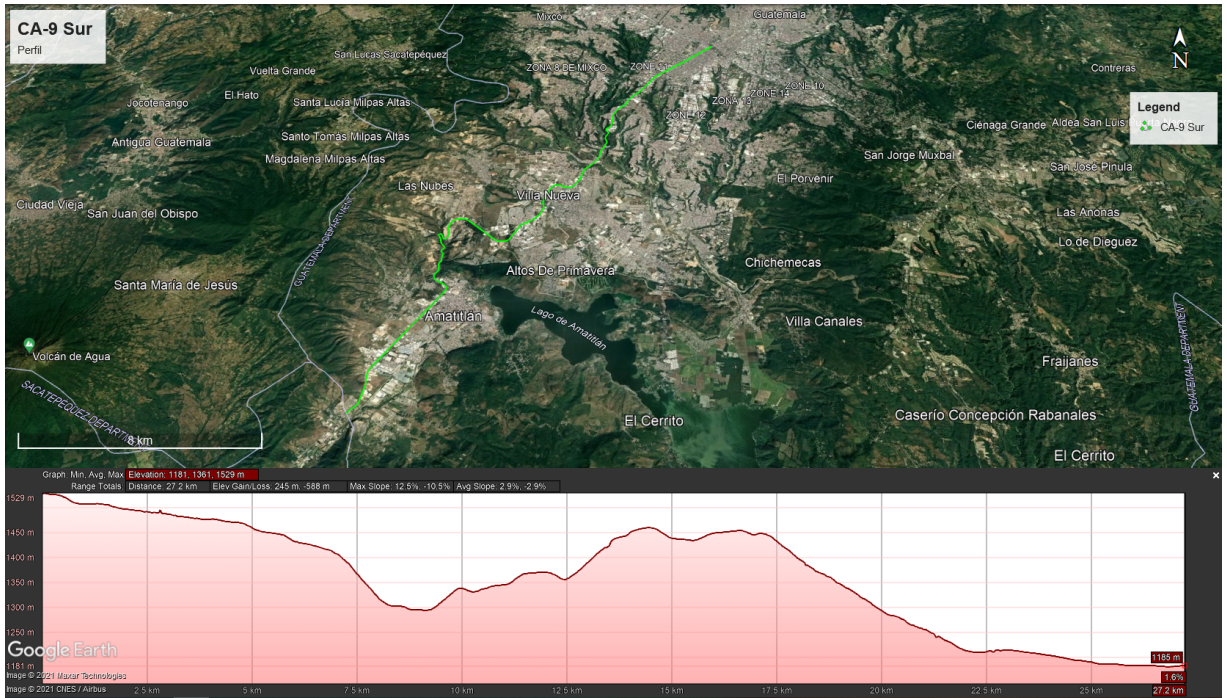
Fuente: Elaboración propia.

Figura 45: Mapa perfil de tramo CA-1 Occidente.



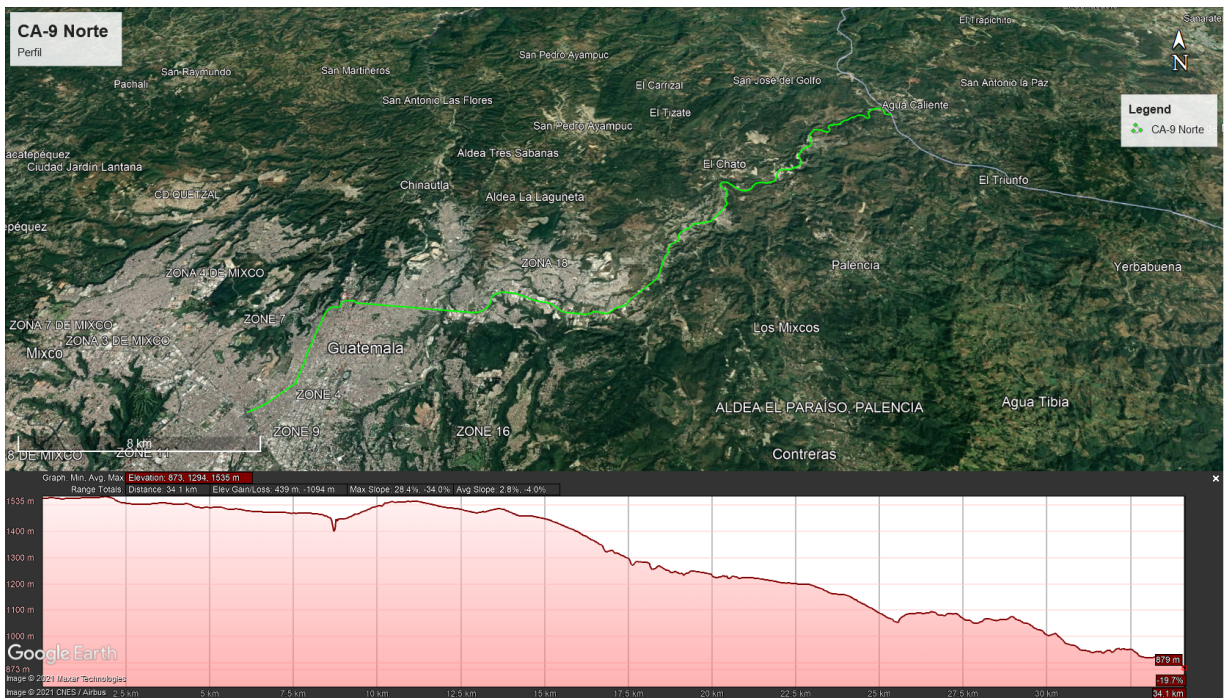
Fuente: Elaboración propia.

Figura 46: Mapa perfil de tramo CA-9 Sur.



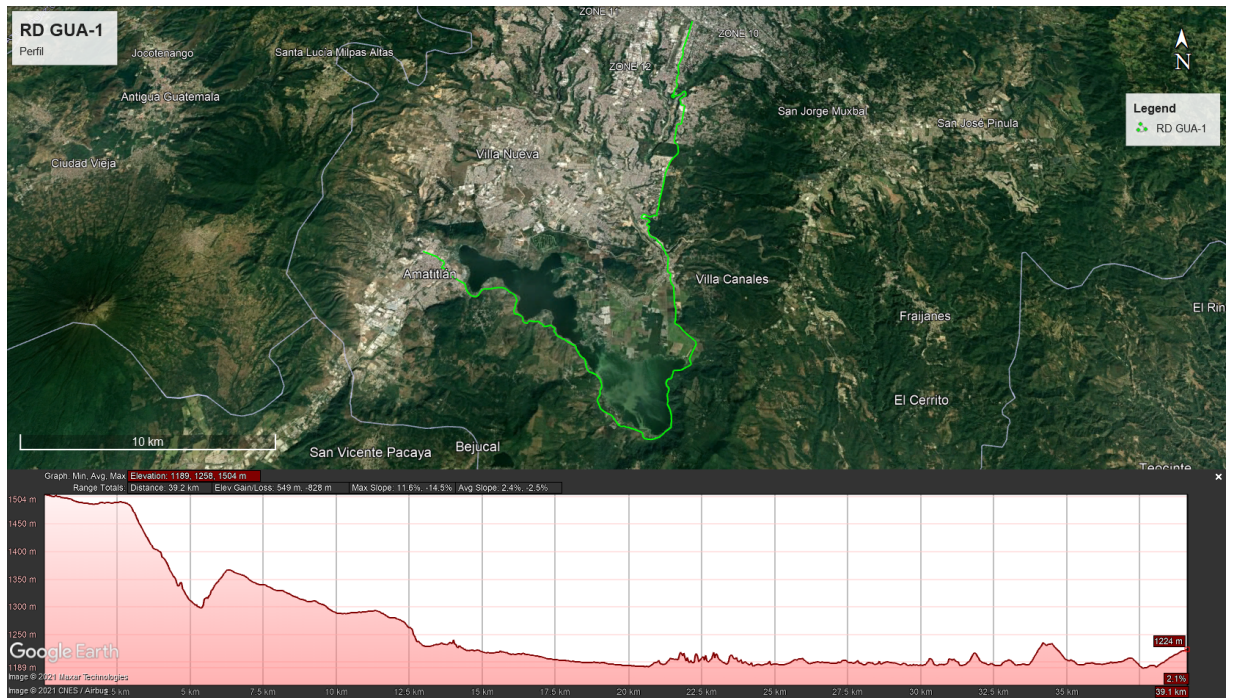
Fuente: Elaboración propia.

Figura 47: Mapa perfil de tramo CA-9 Norte.



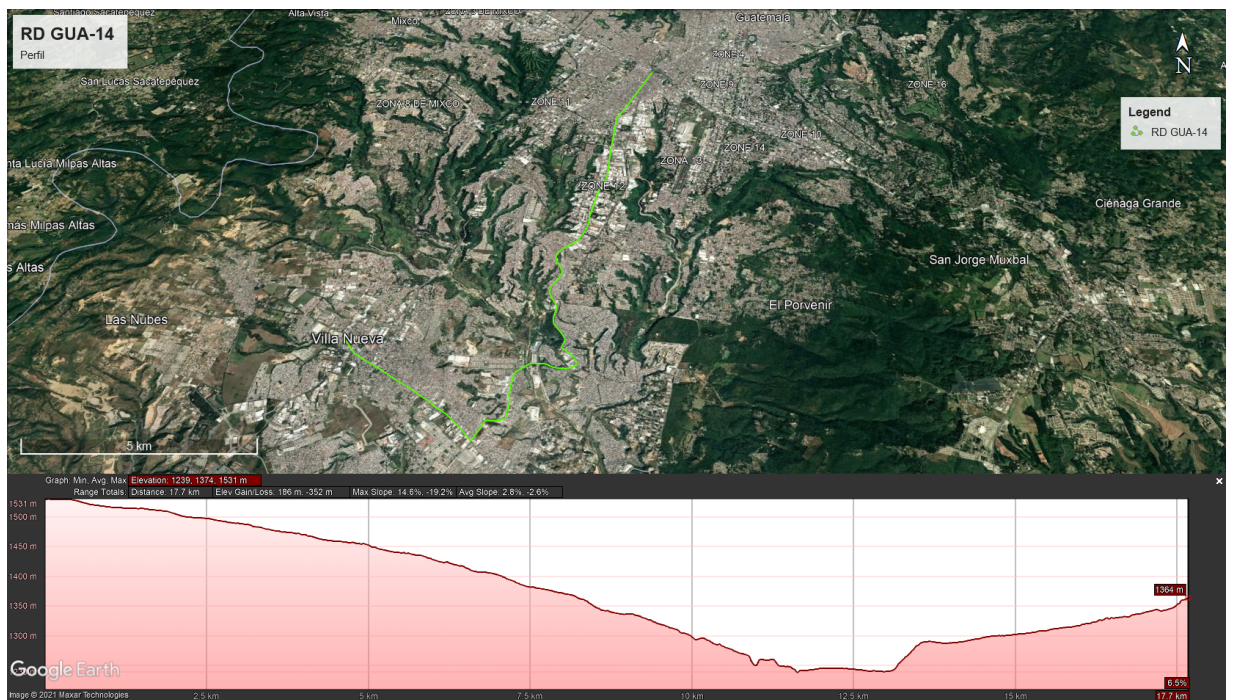
Fuente: Elaboración propia.

Figura 48: Mapa perfil de tramo RD GUA-1.



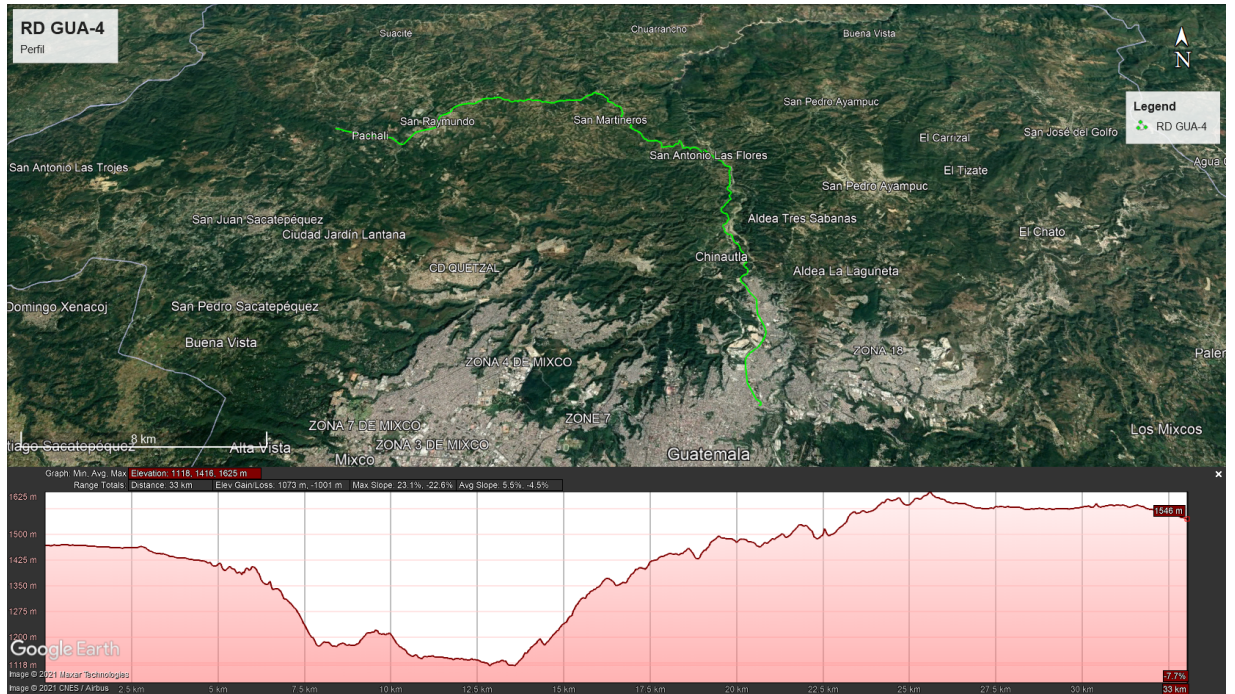
Fuente: Elaboración propia.

Figura 49: Mapa perfil de tramo RD GUA-14.



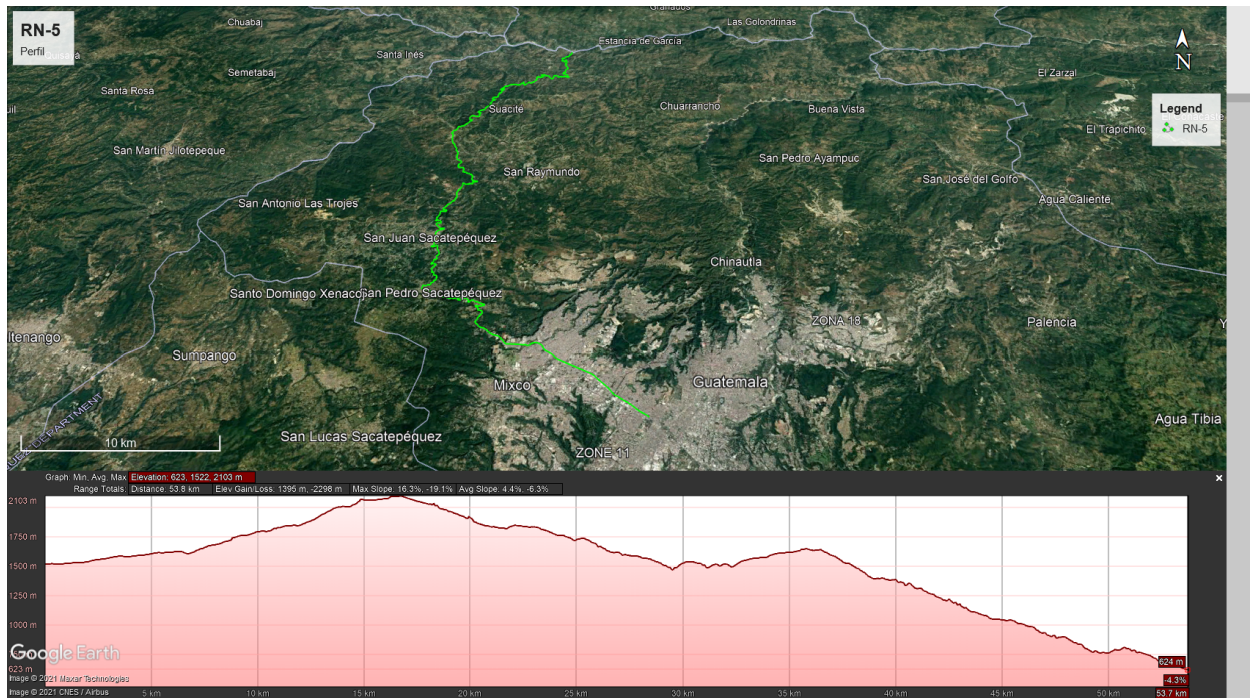
Fuente: Elaboración propia.

Figura 50: Mapa perfil de tramo RD GUA-4.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 51: Mapa perfil de tramo RN-5.



Fuente: Elaboración propia.

8.3.1. Alturas

El criterio que se consideró fue una jerarquía ascendente, en donde un mayor diferencial de altura significa una peor calificación.

Cuadro 9: Tabla Variable 5 - Diferencias de alturas entre puntos máximos y mínimos.

| Tramo | Altura máxima | Áltura mínima | Diferencia | Ranking |
|----------------|---------------|---------------|------------|---------|
| CA-1 Oriente | 1917.00 | 1060.00 | 857.00 | 7 |
| CA-1 Occidente | 2079.00 | 1517.00 | 562.00 | 5 |
| CA-9 Sur | 1529.00 | 1181.00 | 348.00 | 3 |
| CA-9 Norte | 1535.00 | 873.00 | 662.00 | 6 |
| RD GUA-1 | 1504.00 | 1189.00 | 315.00 | 2 |
| RD GUA-14 | 1531.00 | 1239.00 | 292.00 | 1 |
| RD GUA-4 | 1625.00 | 1118.00 | 507.00 | 4 |
| RN-5 | 2103.00 | 623.00 | 1480.00 | 8 |

Fuente: Elaboración propia.

8.3.2. Pendiente máxima positiva

El criterio que se consideró fue una jerarquía ascendente, en donde un mayor diferencial de altura significa una peor calificación.

Cuadro 10: Tabla Variable 6 - Pendiente máxima positiva.

| Tramo | Pendiente máxima positiva | Ranking |
|----------------|---------------------------|---------|
| CA-1 Oriente | 11.00% | 1 |
| CA-1 Occidente | 11.70% | 3 |
| CA-9 Sur | 12.50% | 4 |
| CA-9 Norte | 16.50% | 7 |
| RD GUA-1 | 11.60% | 2 |
| RD GUA-14 | 14.60% | 5 |
| RD GUA-4 | 23.10% | 8 |
| RN-5 | 16.33% | 6 |

Fuente: Elaboración propia.

8.3.3. Pendiente máxima negativa

El criterio que se consideró fue una jerarquía ascendente, en donde un mayor diferencial de altura significa una peor calificación.

Cuadro 11: Tabla Variable 7 - Pendiente máxima negativa.

| Tramo | Pendiente máxima negativa | Ranking |
|----------------|---------------------------|---------|
| CA-1 Oriente | 7.20% | 1 |
| CA-1 Occidente | 8.30% | 2 |
| CA-9 Sur | 10.50% | 3 |
| CA-9 Norte | 19.80% | 7 |
| RD GUA-1 | 14.50% | 4 |
| RD GUA-14 | 19.20% | 6 |
| RD GUA-4 | 22.60% | 8 |
| RN-5 | 19.10% | 5 |

Fuente: Elaboración propia.

8.3.4. Pendiente promedio positiva

El criterio que se consideró fue una jerarquía ascendente, en donde un mayor diferencial de altura significa una peor calificación.

Cuadro 12: Tabla Variable 8 - Pendiente promedio positiva.

| Tramo | Pendiente promedio positiva | Ranking |
|----------------|-----------------------------|---------|
| CA-1 Oriente | 3.30% | 5 |
| CA-1 Occidente | 4.10% | 6 |
| CA-9 Sur | 2.90% | 4 |
| CA-9 Norte | 2.80% | 2 |
| RD GUA-1 | 2.40% | 1 |
| RD GUA-14 | 2.80% | 2 |
| RD GUA-4 | 5.50% | 8 |
| RN-5 | 4.40% | 7 |

Fuente: Elaboración propia.

8.3.5. Pendiente promedio negativa

El criterio que se consideró fue una jerarquía ascendente, en donde un mayor diferencial de altura significa una peor calificación.

Cuadro 13: Tabla Variable 9 - Pendiente promedio negativa.

| Tramo | Pendiente promedio negativa | Ranking |
|----------------|-----------------------------|---------|
| CA-1 Oriente | 3.80% | 5 |
| CA-1 Occidente | 2.70% | 3 |
| CA-9 Sur | 2.90% | 4 |
| CA-9 Norte | 4.00% | 6 |
| RD GUA-1 | 2.50% | 1 |
| RD GUA-14 | 2.60% | 2 |
| RD GUA-4 | 4.50% | 7 |
| RN-5 | 6.30% | 8 |

Fuente: Elaboración propia.

8.4. Variables económicas

8.4.1. Distribuidores viales y puentes

Esta variable tiene una relación directa con la afluencia vehicular en el sentido que el objetivo de un distribuidor vial es solucionar la conflictividad vial en una intersección o cruce, evidenciando la existencia de una problemática anterior. Este tipo de infraestructura vial también representa desarrollo económico ya que estos únicamente son construidos en donde la inversión sea justificada. En el caso de un puente la situación es ligeramente diferente, su objetivo no es solucionar una problemática existente sino comunicar dos puntos en donde la geografía del lugar no lo permita. En algunos casos, principalmente al hablar del tamaño y capacidad de afluencia, también se podría argumentar que los puentes reflejan desarrollo económico.

Un aspecto negativo que ambas estructuras comparten es la limitación a alternativas hacia el futuro. Si bien estos resuelven una problemática en su momento y contexto de construcción, deben considerarse opciones a futuro dentro del diseño para que la estructura como tal no resulte contraproducente a largo plazo. El mejor ejemplo es el posible embotellamiento que pueda resultar a la hora de ampliar o añadir carriles, asignar un carril exclusivo para el transporte público, entre otros. Es la falta de opciones de poder generar más carriles, no se pueden realizar modificaciones y no permite alternativas de solución.

La información fue creada a partir de Google Earth, se analizó por medio de imágenes satelitales cada tramo en la búsqueda de distribuidores viales y puentes. A la hora de encontrar uno, se establecía una marca de posición sobre el mismo hasta lograr identificar todos. Una vez determinados los puntos, estos se agruparon en una carpeta y esta se exportó bajo la extensión “.kmz”. Previo a la importación a QGIS, se realizó un buffer de 50 metros para cada tramo. Este se hizo con el fin de realmente representar todos los carriles del tramo ya que usualmente las líneas del trazo se encontraban sobre el camellón central. Contando con el buffer y los puntos importados, por medio de la herramienta de geoprocamiento “Intersecto” se identificó que puntos cruzaban sobre el buffer. Por último, contando con distintas longitudes de tramo, se dividió la cantidad total encontrada dentro de la longitud

para utilizar la densidad como parámetro de comparación. A continuación se detalla una muestra de los puntos sobre el tramo CA-1 Oriente, el de mayor densidad.

Para esta variable se consideró una jerarquía ascendente, en donde una mayor densidad de pasos a desnivel y puentes significa una peor calificación.

Cuadro 14: Tabla Variable 10 - Cantidad de pasos a desnivel y puentes por tramo.

| Tramo | Cantidad | Densidad / km | Ranking |
|----------------|----------|---------------|---------|
| CA-1 Oriente | 21 | 0.60 | 8 |
| CA-1 Occidente | 10 | 0.57 | 7 |
| CA-9 Sur | 13 | 0.48 | 5 |
| CA-9 Norte | 14 | 0.51 | 6 |
| RD GUA-1 | 2 | 0.08 | 2 |
| RD GUA-14 | 2 | 0.19 | 4 |
| RD GUA-4 | 3 | 0.11 | 3 |
| RN-5 | 2 | 0.04 | 1 |

Fuente: Elaboración propia.

8.4.2. Actividad económica

En esta variable se resumieron puntos significativos de actividad económica bajo las categorías de supermercados, gasolineras, restaurantes y centros comerciales. La misma tiene una relación directa con la congestión al afectar dos variables de la congestión, velocidad y densidad. La velocidad es afectada en dos sentidos, el primero sería para el usuario que entra a la ubicación y tiene que disminuir su velocidad y el segundo sería para los usuarios que no acceden al punto, pero tienen que disminuir su velocidad por la salida de usuarios. Para ambos escenarios, el efecto que ocurre sobre los demás usuarios es una disminución de velocidad en fila o consecutiva y la reducción de distancia entre cada vehículo, afectando así la densidad.

Para la información se realizó el mismo procedimiento que la variable anterior y se utilizó el mismo buffer, 50 metros. La diferencia en esta variable es que los puntos fueron identificados con la ayuda de la visualización de los lugares registrados en Google Earth. Este criterio fue tomar en cuenta restaurantes de comida rápida populares, centros comerciales y plazas con extensión de parqueo significativa (aproximadamente mayor que 10 carros) y todo tipo de gasolineras. En este caso se agruparon los puntos en cuatro carpetas, una para cada categoría, y ya importadas en QGIS estas fueron agrupadas como un solo shapefile utilizando la herramienta “Merge” para vectores.

El criterio considerado fue una jerarquía ascendente, en donde una mayor densidad de puntos de actividad económica resulta en más interrupciones, afectando la afluencia y por lo tanto significa una peor calificación.

Cuadro 15: Tabla Variable 11 - Actividad económica.

| Tramo | Cantidad | Densidad / km | Ranking |
|----------------|----------|---------------|---------|
| CA-1 Oriente | 72 | 2.07 | 6 |
| CA-1 Occidente | 42 | 2.40 | 7 |
| CA-9 Sur | 40 | 1.46 | 4 |
| CA-9 Norte | 52 | 1.91 | 5 |
| RD GUA-1 | 30 | 1.15 | 3 |
| RD GUA-14 | 31 | 2.98 | 8 |
| RD GUA-4 | 9 | 0.34 | 1 |
| RN-5 | 48 | 0.89 | 2 |

Fuente: Elaboración propia.

8.4.3. Construcción

En esta variable se pretende evidenciar el desarrollo de cada municipio reflejado en las tasas de crecimiento de construcción anual por medio de metros cuadrados. El impacto de esta variable sobre afluencia vial es el mismo que la variable pasada, actividad económica, el afectar el comportamiento de la densidad y velocidad en el tramo.

La información fue obtenida del portal del Instituto Nacional de Estadística de Guatemala (INE) en la categoría de “Estadísticas de Transporte y Servicio” y “Construcciones Particulares Autorizadas” de los años 2016, 2017, 2018 y 2019. Con dichos años se obtuvieron 3 distintas tasas de crecimiento obteniéndose una tasa de crecimiento promedio para cada tramo, considerando sus municipios afluentes. La cantidad mostrada son metros cuadrados de construcción.

El criterio que se consideró fue una jerarquía ascendente, en donde una mayor tasa de crecimiento en construcción significa una peor calificación.

Cuadro 16: Tabla Variable 12 - Construcción resumida.

| Tramo | Tasa promedio | Ranking |
|----------------|---------------|---------|
| CA-1 Oriente | -11.56% | 1 |
| CA-1 Occidente | 5.87% | 6 |
| CA-9 Sur | 7.66% | 8 |
| CA-9 Norte | -3.37% | 2 |
| RD GUA-1 | -2.65% | 3 |
| RD GUA-14 | 2.61% | 5 |
| RD GUA-4 | -1.63% | 4 |
| RN-5 | 6.61% | 7 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 17: Tabla Variable 12 - Construcción desglosada.

| Tramo | Municipios afluentes | 2016 | | | Total 2016 | 2017 | | | Total 2017 | 2018 | | | Total 2018 | 2019 | | | Total 2019 | | | | |
|----------------|------------------------|--------------|--|--|--------------|--------------|--|--|--------------|--------------|--|--|--------------|------------|--|--|--------------|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CA-1 Oriente | Guatemala | 1,115,670.00 | | | 1,885,817.00 | 1,081,038.00 | | | 1,364,106.39 | 1,940,152.50 | | | 2,249,218.14 | 287,436.28 | | | 631,985.02 | | | | |
| | Santa Catarina Pinula | 96,116.00 | | | | 74,482.44 | | | | 85,071.62 | | | | 141,816.15 | | | | | | | |
| | Frajanes | 481,696.00 | | | | 130,527.33 | | | | 142,762.75 | | | | 157,124.27 | | | | | | | |
| | Villa Canales | 192,335.00 | | | | 78,058.62 | | | | 81,231.27 | | | | 45,608.32 | | | | | | | |
| CA-1 Occidente | Guatemala | 1,115,670.00 | | | 1,458,083.00 | 1,081,038.00 | | | 1,750,333.87 | 1,940,152.50 | | | 2,861,530.47 | 287,436.28 | | | 975,178.09 | | | | |
| | Mixco | 342,413.00 | | | | 669,295.87 | | | | 921,377.98 | | | | 687,741.81 | | | | | | | |
| CA-9 Sur | Guatemala | 1,115,670.00 | | | 1,314,318.00 | 1,081,038.00 | | | 1,881,739.46 | 1,940,152.50 | | | 2,893,560.99 | 287,436.28 | | | 753,623.85 | | | | |
| | Villa Nueva | 149,695.00 | | | | 580,945.14 | | | | 587,624.00 | | | | 365,423.48 | | | | | | | |
| | Amatitlán | 48,953.00 | | | | 219,756.32 | | | | 365,784.50 | | | | 100,764.09 | | | | | | | |
| CA-9 Norte | Guatemala | 1,115,670.00 | | | 1,154,602.00 | 1,081,038.00 | | | 1,127,846.95 | 1,940,152.50 | | | 1,966,944.58 | 287,436.28 | | | 350,168.47 | | | | |
| | Palencia | 37,515.00 | | | | 46,047.95 | | | | 24,304.24 | | | | 60,463.69 | | | | | | | |
| | San José del Golfo | 1,417.00 | | | | 761.00 | | | | 2,487.84 | | | | 2,268.50 | | | | | | | |
| RD GUA-1 | Guatemala | 1,115,670.00 | | | 1,389,482.00 | 1,081,038.00 | | | 1,395,934.89 | 1,940,152.50 | | | 2,403,509.23 | 287,436.28 | | | 466,110.27 | | | | |
| | Petapa | 32,524.00 | | | | 17,081.95 | | | | 16,340.97 | | | | 32,301.58 | | | | | | | |
| | Amatitlán | 48,953.00 | | | | 219,756.32 | | | | 365,784.50 | | | | 100,764.09 | | | | | | | |
| | Villa Canales | 192,335.00 | | | | 78,058.62 | | | | 81,231.27 | | | | 45,608.32 | | | | | | | |
| RD GUA-14 | Guatemala | 1,115,670.00 | | | 1,297,889.00 | 1,081,038.00 | | | 1,679,065.09 | 1,940,152.50 | | | 2,544,117.47 | 287,436.28 | | | 685,161.34 | | | | |
| | Villa Nueva | 149,695.00 | | | | 580,945.14 | | | | 587,624.00 | | | | 365,423.48 | | | | | | | |
| RD GUA-4 | Petapa | 32,524.00 | | | 1,151,276.00 | 17,081.95 | | | 1,114,512.07 | 16,340.97 | | | 1,976,948.44 | 32,301.58 | | | 413,725.30 | | | | |
| | Guatemala | 1,115,670.00 | | | | 1,081,038.00 | | | | 1,940,152.50 | | | | 287,436.28 | | | | | | | |
| | Chinautla | 22,837.00 | | | | 8,596.79 | | | | 26,935.94 | | | | 9,399.53 | | | | | | | |
| | San Raymundo | 2,483.00 | | | | 1,166.50 | | | | 1,268.00 | | | | 2,195.20 | | | | | | | |
| RN-5 | San Juan Sacatepéquez | 10,286.00 | | | 1,482,206.00 | 23,710.78 | | | 1,782,700.68 | 8,592.00 | | | 2,876,444.00 | 114,694.29 | | | 1,098,525.45 | | | | |
| | Guatemala | 1,115,670.00 | | | | 1,081,038.00 | | | | 1,940,152.50 | | | | 287,436.28 | | | | | | | |
| | Mixco | 342,413.00 | | | | 669,295.87 | | | | 921,377.98 | | | | 687,741.81 | | | | | | | |
| | San Pedro Sacatepéquez | 13,837.00 | | | | 8,656.03 | | | | 6,321.53 | | | | 8,653.07 | | | | | | | |
| | San Juan Sacatepéquez | 10,286.00 | | | | 23,710.78 | | | | 8,592.00 | | | | 114,694.29 | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 18: Tabla Variable 12 - Construcción promedio tasas.

| Tramo | Municipios afluentes | Tasa 2016-2017 | | | Tasa 2017-2018 | | | Tasa 2018-2019 | | | Tasa promedio |
|----------------|------------------------|----------------|--|--|----------------|--|--|----------------|--|--|---------------|
| | | | | | | | | | | | |
| CA-1 Oriente | Guatemala | | | | | | | | | | |
| | Santa Catarina Pinula | | | | | | | | | | |
| | Fraijanes | | | | | | | | | | |
| | Villa Canales | | | | | | | | | | |
| CA-1 Occidente | Guatemala | | | | | | | | | | |
| | Mixco | | | | | | | | | | |
| CA-9 Sur | Guatemala | | | | | | | | | | |
| | Villa Nueva | | | | | | | | | | |
| | Amatitlán | | | | | | | | | | |
| CA-9 Norte | Guatemala | | | | | | | | | | |
| | Palencia | | | | | | | | | | |
| | San José del Golfo | | | | | | | | | | |
| RD GUA-1 | Guatemala | | | | | | | | | | |
| | Petapa | | | | | | | | | | |
| | Amatitlán | | | | | | | | | | |
| | Villa Canales | | | | | | | | | | |
| RD GUA-14 | Guatemala | | | | | | | | | | |
| | Villa Nueva | | | | | | | | | | |
| | Petapa | | | | | | | | | | |
| RD GUA-4 | Guatemala | | | | | | | | | | |
| | Chinautla | | | | | | | | | | |
| | San Raymundo | | | | | | | | | | |
| | San Juan Sacatepéquez | | | | | | | | | | |
| RN-5 | Guatemala | | | | | | | | | | |
| | Mixco | | | | | | | | | | |
| | San Pedro Sacatepéquez | | | | | | | | | | |
| | San Juan Sacatepéquez | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia.

8.5. Variables afluencia

8.5.1. Nivel de servicio

Esta variable, como ya se detalló en la sección del marco teórico, hace referencia a la capacidad de operación de un tramo carretero. En este caso se analizó únicamente un segmento del tramo, específicamente el límite con el municipio de Guatemala y el punto próximo en donde la geometría de la carretera cuenta con cambios. Por ejemplo, de tres carriles se reducen a dos. Se tomó en cuenta el límite municipal dada la cercanía a los puntos de medición de los conteos vehiculares proporcionados.

Para el desarrollo de las plantillas de cálculo, Anexo 15.1, la información se obtuvo de distintas fuentes. Los primeros datos necesarios (ancho carril, longitud arce carril derecho, longitud mediana entre carriles y puntos de acceso) se obtuvieron por medio de mediciones y observaciones en imágenes satelitales por medio del software Google Earth. La composición del tránsito (camiones), volumen de hora pico y volumen del periodo se obtuvo a través de la información proporcionada por la Dirección de Movilidad Urbana de la Municipalidad de Guatemala. El procedimiento fue obtenido del Highway Capacity Manual Volumen bajo el nombre de metodología mencionado al inicio de cada tramo.

Siendo esta variable la única cualitativa, se asignó una ponderación según el nivel, donde la mayor puntuación (6) se destinó al nivel de servicio de menor afluencia (F). A continuación, se muestra la tabla de ponderación y la matriz resultante de la variable.

Cuadro 19: Tabla Variable 13 - Ponderación según nivel de servicio.

| Nivel servicio | Puntuación |
|-----------------------|-------------------|
| A | 1 |
| B | 2 |
| C | 3 |
| D | 4 |
| E | 5 |
| F | 6 |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 20: Tabla Variable 13 - Nivel de servicio.

| Tramo | Nivel servicio | Puntuación |
|----------------|----------------|------------|
| CA-1 Oriente | F | 6 |
| CA-1 Occidente | F | 6 |
| CA-9 Sur | F | 6 |
| CA-9 Norte | C | 3 |
| RD GUA-1 | F | 6 |
| RD GUA-14 | F | 6 |
| RD GUA-4 | F | 6 |
| RN-5 | F | 6 |

Fuente: Elaboración propia.

8.5.2. Capacidad excedida

Esta variable se obtuvo bajo la misma metodología que la anterior, con la diferencia en que en esta se hace una comparación entre la capacidad teórica del tramo y la densidad del mismo. Cuando el valor supera el número 1 significa que la capacidad está excedida, lo cual aplica para los tramos con nivel de servicio F.

El criterio que se consideró fue una jerarquía ascendente, en donde un mayor factor de capacidad excedida significa una peor calificación.

Cuadro 21: Tabla Variable 14 - Capacidad excedida.

| Tramo | Capacidad excedida | Ranking |
|----------------|--------------------|---------|
| CA-1 Oriente | 2.64 | 7 |
| CA-1 Occidente | 2.27 | 6 |
| CA-9 Sur | 2.88 | 8 |
| CA-9 Norte | 0.57 | 1 |
| RD GUA-1 | 2.26 | 5 |
| RD GUA-14 | 1.66 | 3 |
| RD GUA-4 | 1.12 | 2 |
| RN-5 | 1.93 | 4 |

Fuente: Elaboración propia.

8.5.3. Conteos vehiculares

Esta variable hace referencia a la cantidad de vehículos totales que transitan en cada tramo a lo largo del día. La información fue proporcionada por la Dirección de Movilidad Urbana de la Municipalidad de Guatemala.

El criterio que se consideró fue una jerarquía ascendente, en donde una mayor cantidad de carros significa una peor calificación.

Cuadro 22: Tabla Variable 15 - Conteos vehiculares.

| Tramo | Total conteo diario | Ranking |
|----------------|---------------------|---------|
| CA-1 Oriente | 69,429 | 6 |
| CA-1 Occidente | 110,948 | 7 |
| CA-9 Sur | 115,001 | 8 |
| CA-9 Norte | 27,535 | 1 |
| RD GUA-1 | 46,822 | 3 |
| RD GUA-14 | 52,891 | 4 |
| RD GUA-4 | 36,533 | 2 |
| RN-5 | 63,704 | 5 |

Fuente: Elaboración propia.

8.6. Variables seguridad vial

Bazant definió que uno de los objetivos básicos de un sistema de movilidad consiste en hacer eficiente la movilidad intraurbana de la población para reducir tiempos de traslado, comodidad y seguridad de recorridos en transporte. Dado que la variable de niveles de servicio no considera los accidentes, ni personas fallecidas por hechos viales, se consideró oportuno tomarse en cuenta como una variable aparte. Así mismo, esta variable afecta directamente la velocidad y densidad ya que un accidente obstruye el paso en uno o varios carriles, dependiendo de la magnitud.

La información fue obtenida a través del Observatorio Nacional de Seguridad de Tránsito de la PNC, en donde únicamente se consideró el departamento de Guatemala para las estadísticas. Al tratarse de vidas humanas, para esta variable no se utilizó la densidad por km sino valores absolutos ya que una carretera debe de optar a cero accidentes sin importar la longitud. El criterio que se consideró fue una jerarquía ascendente, en donde una mayor cantidad de accidentes o fallecidos significa una peor calificación.

8.6.1. Cantidad de accidentes

Cuadro 23: Tabla Variable 16 - Total accidentes.

| Tramo | 2019 | 2020 | Total | Ranking |
|----------------|------|------|-------|---------|
| CA-1 Oriente | 103 | 103 | 206 | 5 |
| CA-1 Occidente | 319 | 257 | 576 | 8 |
| CA-9 Sur | 233 | 239 | 472 | 6 |
| CA-9 Norte | 269 | 251 | 520 | 7 |
| RD GUA-1 | 22 | 31 | 53 | 4 |
| RD GUA-14 | 4 | 1 | 5 | 1 |
| RD GUA-4 | 9 | 6 | 15 | 2 |
| RN-5 | 20 | 23 | 43 | 3 |

Fuente: Elaboración propia.

8.6.2. Cantidad de fallecidos

Cuadro 24: Tabla Variable 17 - Total fallecidos.

| Tramo | 2019 | 2020 | Total | Ranking |
|----------------|------|------|-------|---------|
| CA-1 Oriente | 35 | 44 | 79 | 5 |
| CA-1 Occidente | 159 | 68 | 227 | 8 |
| CA-9 Sur | 78 | 97 | 175 | 6 |
| CA-9 Norte | 118 | 101 | 219 | 7 |
| RD GUA-1 | 8 | 10 | 18 | 4 |
| RD GUA-14 | 3 | 0 | 3 | 1 |
| RD GUA-4 | 2 | 1 | 3 | 1 |
| RN-5 | 4 | 5 | 9 | 3 |

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 9

Matriz general

Contando con los valores de puntuación para cada variable, estos se resumen en el cuadro 25 y 26 bajo las seis categorías consideradas. La abreviación de la letra “V” seguido por un número hace referencia al número de variable, se adjunta el listado como referencia.

Con el fin de identificar la significancia individual de las categorías consideradas, se realizó una matriz de relaciones. La misma consistió en asignar tres niveles de relación en donde el valor 1 significa relación baja, 2 relación media y 3 relación alta. Una vez realizadas las comparaciones directas, se sumaron los valores en sentido vertical (valores pasivos) y horizontal (valores activos). Luego, tanto para los valores activos como pasivos, se obtuvo la razón con el valor total (64) y por último se calculó el promedio entre ambos porcentajes. La columna “Promedio”, Cuadro 25, resaltada de color amarillo representa los valores de ponderación para cada categoría.

Cuadro 25: Tabla ponderación considera según categoría de variable.

| | Variables Geometrica | Variables Demografica | Variables Topografica | Variables Economica | Variables Afluencia | Variables Seguridad Vial | Valores activos | |
|--------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|--------------------------|-----------------|--------|
| Variables Geometrica | | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 10 | 15.63% |
| Variables Demografica | 2 | | 1 | 3 | 3 | 2 | 11 | 17.19% |
| Variables Topografica | 3 | 2 | | 2 | 3 | 3 | 13 | 20.31% |
| Variables Economica | 3 | 3 | 1 | | 3 | 1 | 11 | 17.19% |
| Variables Afluencia | 1 | 2 | 1 | 3 | | 3 | 10 | 15.63% |
| Variables Seguridad Vial | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | | 9 | 14.06% |
| Valores pasivos | 10 | 11 | 6 | 13 | 13 | 11 | 64 | |
| | 15.63% | 17.19% | 9.38% | 20.31% | 20.31% | 17.19% | | |

| Variable | Porcentaje valor activo | Porcentaje valor pasivo | Promedio |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------|----------|
| Variables Geometrica | 15.63% | 15.63% | 15.63% |
| Variables Demografica | 17.19% | 17.19% | 17.19% |
| Variables Topografica | 20.31% | 9.38% | 14.84% |
| Variables Economica | 17.19% | 20.31% | 18.75% |
| Variables Afluencia | 15.63% | 20.31% | 17.97% |
| Variables Seguridad Vial | 14.06% | 17.19% | 15.63% |
| | | | 100.00% |

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 26: Tabla de variables consideras en estudio.

| Variables | Número | Descripción |
|--------------------------|--------|---|
| Variables Geométricas | V1 | Longitud tramo |
| Variables Demográficas | V2 | Parque vehicular actual |
| | V3 | Parque vehicular proyecciones |
| | V4 | Año promedio vehiculo parque vehicular |
| Variables Topográficas | V5 | Alturas (perfiles) |
| | V6 | Pendiente máxima positiva |
| | V7 | Pendiente máxima negativa |
| | V8 | Pendiente promedio positiva |
| | V9 | Pendiente promedio negativa |
| Variables Económicas | V10 | Distribuidores viales y puentes |
| | V11 | Actividad económica (supermercados, restaurantes, parqueos y gasolineras) |
| | V12 | Construcción |
| Variables Afluencia | V13 | Nivel de servicio |
| | V14 | Capacidad excedida |
| | V15 | Conteos vehiculares Municipalidad de Guatemala |
| Variables Seguridad Vial | V16 | Cantidad de accidentes |
| | V17 | Cantidad de fallecidos |

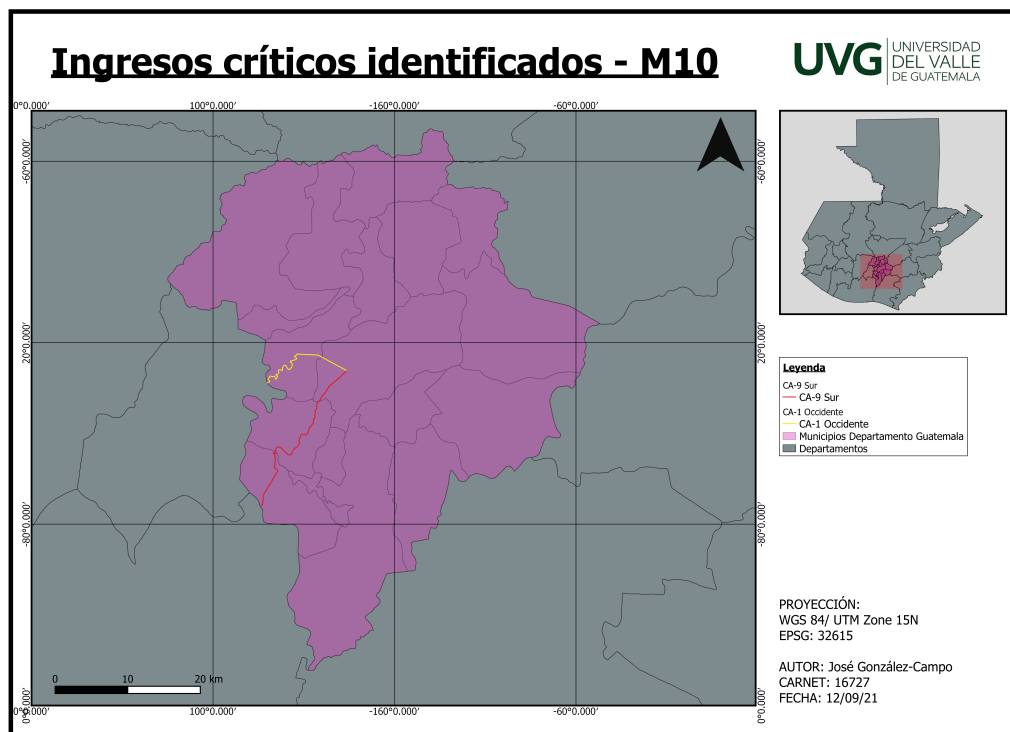
Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 27, se incluye la matriz desglosada en donde se detalla la puntuación de cada variable, la matriz en donde se suman los valores según la categoría y, por último, la matriz ponderada en donde se multiplica los valores totales por la ponderación de las categorías. Las casillas con color verde representan los ingresos con mayor puntuación.

Como se puede identificar a partir de la matriz ponderada, el tramo CA-9 Sur recibió la mayor puntuación lo cual significa que es el ingreso más crítico del estudio. Tomando en cuenta que el segundo ingreso o tramo más crítico es el CA-1 Occidente, dada su cercanía con el tramo CA-9 Sur, la propuesta se aterizará en la conexión entre ambos fuera del centro de la ciudad planteando una carretera de circunvalación. En la Figura 52 se detalla un mapa con el intersección entre ambos tramos.

La propuesta se plantea bajo el esquema de una autopista, con un acceso controlado y no interrumpido. Se plantea que la unión entre ambos tramos representará una alternativa de conexión entre dos ejes cardinales del Municipio de Guatemala sin la necesidad de ingresar a la misma. De esta manera se reduciría el tiempo y distancia de los usuarios.

Figura 52: Ingresos críticos identificados a través de matriz ponderada.

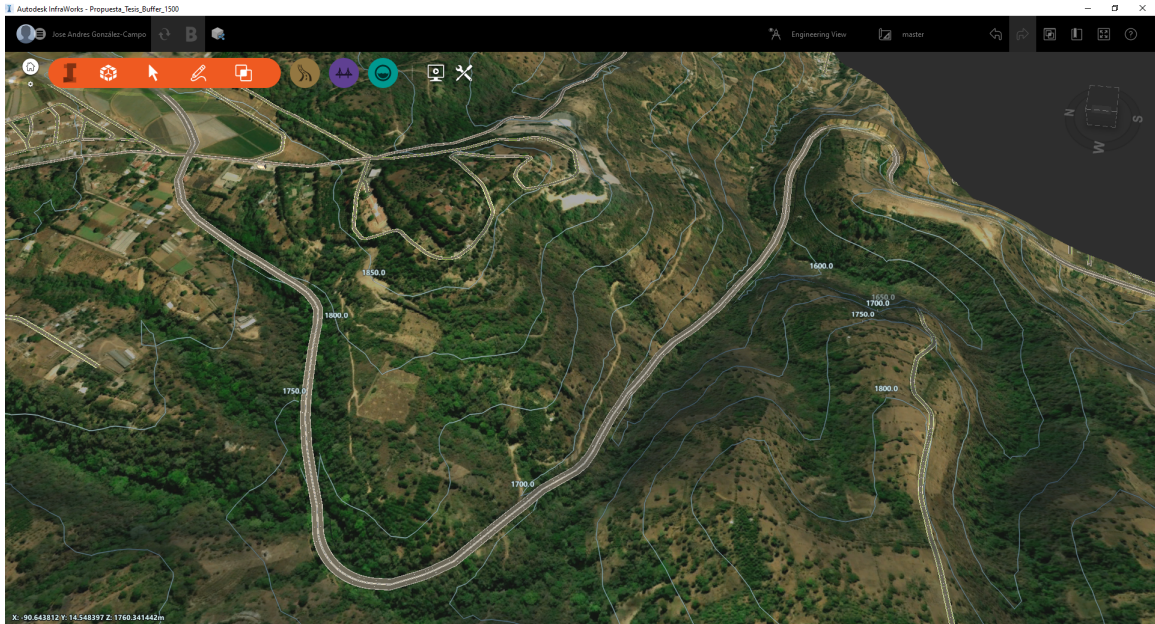


Fuente: Elaboración propia.

10.1. Infracworks

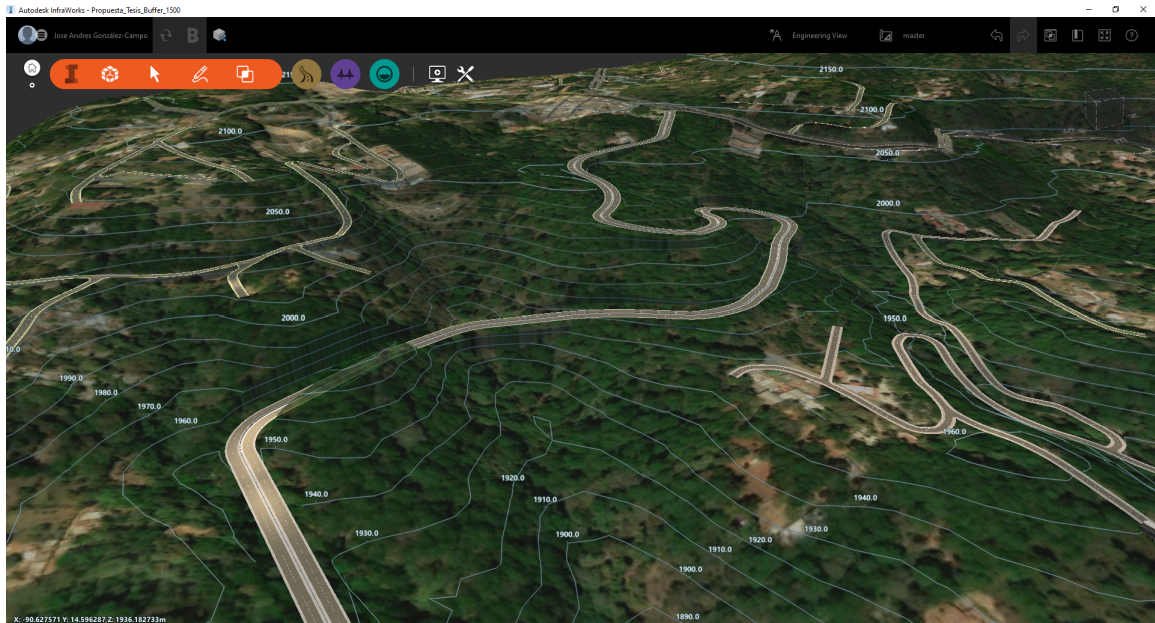
Dado que el software permite una visualización del terreno e imagen satelital, la herramienta permite realizar una primera propuesta de trazo. Uno de las características más importantes es que permite ver el uso de suelo, por lo que el tramo se puede plantear en terrenos no ocupados. A continuación se muestran unas imágenes del proceso. Al final, se exporta el archivo con la extensión “.IMX” a Civil 3D.

Figura 53: Ejemplo de trazo por medio del software Infracworks.



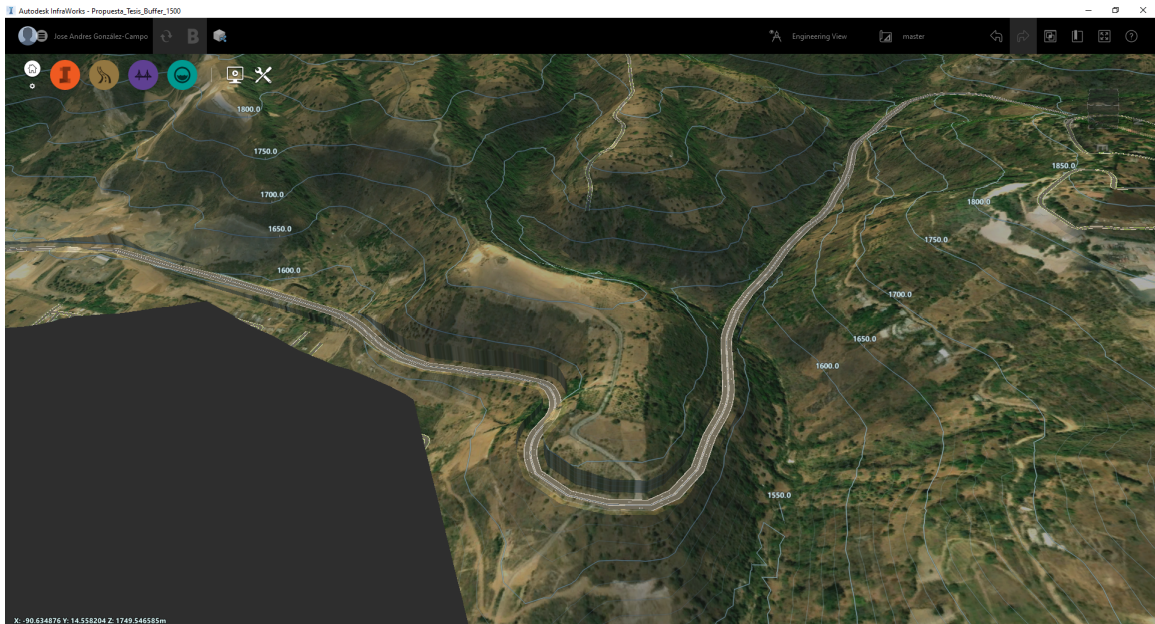
Fuente: Elaboración propia.

Figura 54: Ejemplo de trazo por medio del software Infracworks.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 55: Ejemplo de trazo por medio del software Infracworks.



Fuente: Elaboración propia.

10.2. Civil 3D

Contando con curvas de nivel, se plantea un nuevo trazo que se asemeje al planteado en InfraWorks pero uno más aterrizado y fino. Los pasos que se tomaron fueron los siguientes en el orden mencionado:

- Se modificó la superficie para contar con curvas de nivel con contornos de 5m y 25m.
- Se planteó el trazo por medio de una polilínea y luego esta fue convertida en un alineamiento. Desde el inicio se pudo ver una diferencia significativa de altura entre el punto inicial y el punto final, lo cual representaría un reto respetando el no contar con pendientes mayores de 12 por ciento. Por lo tanto, en la medida de lo posible, se aprovecharon las cuencas y bordes de las montañas para evitar excesivos rellenos o cortes. Al no contar con las curvas de nivel en Infracworks, sí se realizaron varias modificaciones de dirección. Al hacer el alineamiento también se crearon estaciones cada 20 metros.
- Se procedió con la creación del perfil y luego la corrección de la rasante y líneas tangentes respecto a las curvas, en donde se verificarían que ninguna pendiente supere el 12 por ciento.
- Contando ya con el perfil y la rasante definida, se prosiguió a definir la sección transversal. Se consideró una barrera New Jersey como separación, 7 m para cada sentido (3.5 m cada carril) con una inclinación del 3 por ciento, una relación 2:1 de corte y 4:1 de relleno.

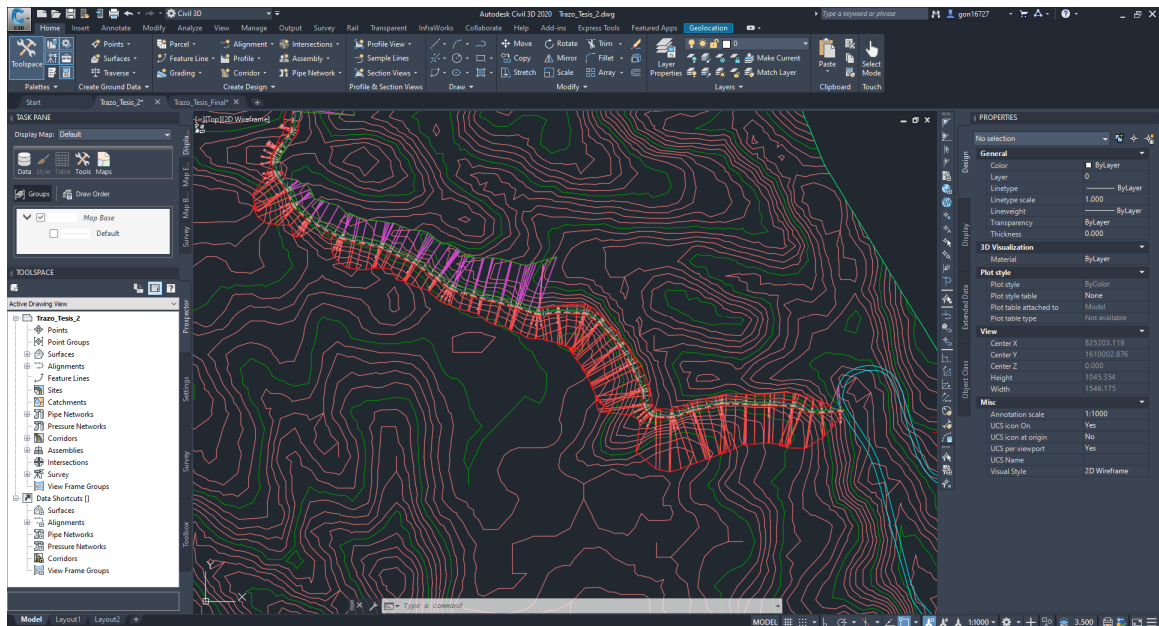
- Luego se creó un corredor, que consiste en aplicar la sección transversal en todo el recorrido resultando así en las áreas de corte y relleno.
- Debido al derecho de vía definido para una ruta nacional, en el corte y relleno se hizo una corrección para cumplir con estos parametros considerando 40 metros y actualizando los volúmenes de corte y relleno.
- Por último, se obtuvieron las cortes transversales a cada 20 metros.

Para hacer el antepresupuesto, los datos obtenidos de Civil 3D fueron los siguientes y estos son reflejados en el reporte adjunto en la sección anexos:

- Longitud total tramo.
- Volumen de corte
- Volumen de relleno
- Área total de tramo

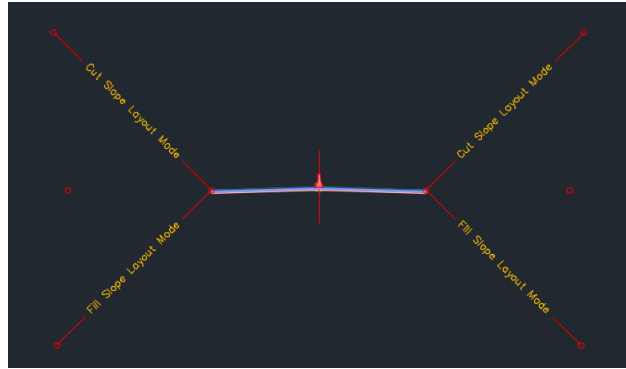
A continuación se detallan algunas evidencias del proceso.

Figura 56: Ejemplo de visualización de curvas de nivel y áreas de corte y relleno. Las áreas de color rojo representan corte y de color morado relleno.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 57: Definición de sección transversal utilizada.



Fuente: Elaboración propia.

Antepresupuesto

Para la elaboración del antepresupuesto, se consultaron tres distintos proyectos, de tres distintos contratistas, para tomar como referencia de precios y cantidades de materiales. Para tal efecto primero se desarrollaron índices de cantidades de trabajo por kilómetro de elementos como drenaje, señalización y aspectos generales. Por último se consideró el promedio de precios entre los tres proyectos para los precios actuales. Para contar con dos alternativas de diseño, se consideró una oferta de pavimento flexible (asfalto) y otra de pavimento rígido (concreto).

Los proyectos consultados fueron los siguientes:

- Libramiento Cabecera Departamental de Chimaltenango, Constructura Nacional Sociedad Anonima, 2014. Longitud: 15.32 kilómetros. Anexo 15.2.
- Ampliación a cuatro carriles de la ruta CA-2 Oriente: Escuintla – Ciudad Pedro de Alvarado, Sigma Constructores Sociedad Anónima, 2014. Longitud: 100.60 kilómetros. Anexo 15.3.
- Ampliación a cuatro carriles de la Ruta Centroamericana 01: Nahuala – Cuatro Caminos, SBI International Holdings AG, 2006. Longitud: 30.00 kilómetros. Anexo 15.4.

Los renglones de trabajos fueron seleccionados al considerarse insumos esenciales y también al encontrar semejanzas entre los tres proyectos consultados. Debido a las complicaciones de adquisición de terreno y la especulación que conlleva, no se contempló la adquisición de los terrenos para el paso del tramo dado las complicaciones legales que conlleva y falta de conocimiento sobre las mismas.

En la sección de anexos se encuentran los planos del trazo del tramo propuesto.

11.1. Índices cantidades

Para identificar la cantidad de los insumos necesarias para el proyecto, se recurrió a consultar los proyectos mencionados anteriormente para calcular cantidades por kilómetros. Los datos de los siguientes insumos no fueron considerados de los índices de cantidad por kilómetros sino por cálculo individual.

- Trabajos por administración por plano, considerado como cantidad unitaria.
- Replanteo topográfico del diseño, dato obtenido de longitud total de tramo.
- Limpia, chapeo y destronque, dato obtenido de reporte de volúmenes.
- Excavación no clasificada, dato obtenido de reporte de volúmenes.
- Relleno estructural, dato obtenido de reporte de volúmenes.
- Acarreo, dato obtenido del diferencia entre excavación y relleno multiplicado por una distancia de 8 kilometros a un banco de materiales.
- Metros cúbicos pavimento de concreto, monto obtenido tras cálculo de sección típica y espesores indicados.
- Bases y subbases para ambos pavimentos, monto obtenido tras cálculo de sección típica y espesores indicados.
- Riego de imprimación, monto obtenido al considerar un rendimiento de 0.3 galones por metro cuadrado del área de la capa de rodadura.
- Riego de liga, monto obtenido al considerar un rendimiento de 0.15 galones por metro cuadrado del área de la capa de rodadura.
- Concretos asfálticos, tanto el modificado como el binder, monto obtenido al considerar una conversión de 2.33 metros cúbicos por tonelada, siendo los metros cúbicos previamente obtenidos tras cálculo de sección típica y espesores.
- Cementos asfálticos, tanto el modificado como el binder, monto obtenido al considerar un rendimiento de 14 galones por tonelada del concreto asfáltico que corresponde.

Bajo la columna de cantidades tramo se multiplica el promedio de la cantidad por kilómetros de cada proyecto por la cantidad total de kilómetros del tramo planteado.

Cuadro 28: Tabla índices de cantidades por kilómetro.

| UNIDAD | Libramiento Chimaltenango Cantidad Global | Escuintla - Ciudad Pedro de Alvarado Cantidad por km | Nahuala - Cuatro Caminos Cantidad Global | PROMEDIOS | CANTIDADES TRAMO |
|---|--|---|---|------------|------------------|
| 1.00 TRABAJOS PRELIMINARES | | | | | |
| 1.01 Trabajos por administración y por planos | - | - | - | N/A | N/A |
| 1.02 Replanteo topográfico del diseño | - | - | - | N/A | N/A |
| 2.00 MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | | |
| 2.01 Limpia, Chapeo y Destronque | - | - | - | N/A | N/A |
| 2.02 Excavación no clasificada | - | - | - | N/A | N/A |
| 2.03 Excavación de canales varios | 2,500.00 | 124.25 | 2,160.00 | 119.81 | 2,412.00 |
| 2.04 Excavación estructural para alcantarillas | - | 188.87 | 7,155.00 | 213.68 | 4,302.00 |
| 2.05 Excavación estructural para subdrenaje | 30,000.00 | 367.50 | 5,400.00 | 835.24 | 16,816.00 |
| 2.06 Relleno estructural | - | - | - | N/A | N/A |
| 2.07 Acarreo | - | - | - | N/A | N/A |
| 3.00 DRENAJE MENOR | | | | | |
| 3.01 Alcantarilla de metal corrugado d=30" | 644.00 | 23.86 | 1,336.00 | 36.81 | 741.00 |
| 3.02 Alcantarilla de metal corrugado d=36" | - | 3.68 | 287.00 | 6.62 | 133.00 |
| 3.03 Alcantarilla de metal corrugado d=42" | - | 0.80 | 96.00 | 2.00 | 40.00 |
| 3.04 Alcantarilla de metal corrugado d=48" | 72.00 | 2.88 | 96.00 | 3.20 | 72.00 |
| 3.05 Alcantarilla de metal corrugado d=60" | - | 3.08 | 96.00 | 3.14 | 63.00 |
| 4.00 DRENAJE MAYOR | | | | | |
| 4.01 Concreto ciclopeo para bóvedas | 490.00 | 13.32 | 260.00 | 17.99 | 362.00 |
| 4.02 Excavación estructural para cimentación de bóvedas | 375.00 | 23.86 | 950.00 | 26.67 | 537.00 |
| 4.03 Relleno estructural para cimentación de bóvedas | 13,540.00 | 20.87 | 240.00 | 304.23 | 6,125.00 |
| 5.00 PAVIMENTO RÍGIDO | | | | | |
| 5.01 Pavimento de concreto de cemento hidráulico para pavimento, 4000 PSI de 18 cms de espesor. | - | - | - | - | N/A |
| 5.02 Reacondicionamiento de sub-rasante existente | 50,000.00 | 3,263.71 | - | 3,263.71 | 65,708.00 |
| 5.03 Sub-base común (20 cms) | - | - | - | - | N/A |
| 5.04 Capa de base estabilizada con cemento hidráulico de 20 cms de espesor. | - | - | - | - | N/A |
| 5.05 Cemento hidráulico para base estabilizada | 4,015,389.00 | 262,101.11 | - | 262,101.11 | 5,276,882.00 |
| 5.00 PAVIMENTO FLEXIBLE | | | | | |
| 5.01 Riego de Imprimación | - | - | - | - | N/A |
| 5.02 Riego de liga | - | - | - | - | N/A |
| 5.03 Capa de sub base de suelo cemento | - | - | - | - | N/A |
| 5.04 Capa de base de suelo cemento | - | - | - | - | N/A |
| 5.05 Concreto asfáltico de rodadura (modificado) | - | - | - | - | N/A |
| 5.06 Cemento asfáltico modificado | - | - | - | - | N/A |
| 5.07 Concreto asfáltico (Binder) | - | - | - | - | N/A |
| 5.08 Cemento asfáltico binder | - | - | - | - | N/A |
| 6.00 SEÑALIZACIÓN | | | | | |
| 6.01 Pintura termoplástica p/ líneas longitudinales centrales | - | - | - | - | N/A |
| 6.02 Pintura termoplástica p/ líneas longitudinales no centrales | - | - | - | - | N/A |
| 6.03 Señales de tránsito | 180.00 | 11.75 | 125.00 | 9.79 | 197.00 |
| 6.04 Dispositivos de señalización nocturna | 7,500.00 | 399.60 | 14,400.00 | 456.39 | 9,188.00 |
| 7.00 ASPECTOS AMBIENTALES | | | | | |
| 7.01 Ejecutor ambiental | 24.00 | 0.36 | 24.00 | 0.80 | 18.00 |
| 7.02 Revegetación de taludes | 20,000.00 | 248.51 | 71,000.00 | 1,306.89 | 26,312.00 |
| 7.03 Reforestación | - | 994.04 | 26,957.00 | 946.30 | 19,052.00 |

11.2. Precios promediados

Para los precios se realizó el mismo ejercicio de las cantidades pero únicamente conservando los precios unitarios según cada renglón de trabajo. Dado que los proyectos fueron presupuestados en distintos años y los precios son reflejo de la economía del momento de elaboración de la oferta, por medio del Índice de Precios de Materiales de Construcción (IPMC) del INE se hizo la proyección a precios actuales. Esto se hizo por medio de la fórmula de interés compuesto, tomando en cuenta el periodo como la diferencia de años y la tasa como el IPMC promedio histórico, el cual es de 3.15 por ciento.

Cuadro 29: Tabla precios promedios y precios ajustados.

| | UNIDAD | Libramiento Chimaltenango | | Escuintla - Ciudad Pedro de Alvarado | | Nahuala - Cuatro Caminos | | PRECIO PROMEDIO |
|---|--------|---------------------------|-------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|-----------------|
| | | PRECIOS UNITARIOS | PRECIO U AJUSTADO | PRECIOS UNITARIOS | PRECIO U AJUSTADO | PRECIOS UNITARIOS | PRECIO U AJUSTADO | |
| 1.00 TRABAJOS PRELIMINARES | | | | | | | | |
| 1.01 Trabajos por administración y por planos | U | 3,000,000.00 Q | 3,727,398.97 Q | - | 4,304,924.65 Q | - | - | 4,016,162.00 Q |
| 1.02 Replanteo topográfico del diseño | km | 53,280.00 Q | 66,198.61 Q | - | - | - | - | 52,867.00 Q |
| 2.00 MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | | | | | |
| 2.01 Limpia, Chapeo y Destronque | ha | 128,000.00 Q | 159,035.69 Q | 6,883.26 Q | 6,883.26 Q | 35,597.60 Q | 56,683.83 Q | 74,201.00 Q |
| 2.02 Excavación no clasificada | m³ | 52.76 Q | 65.55 Q | 7.00 Q | 8.70 Q | 38.42 Q | 61.18 Q | 45.00 Q |
| 2.03 Excavación de canales varios | m³ | 86.40 Q | 107.35 Q | 30.00 Q | 37.27 Q | 68.15 Q | 108.52 Q | 84.00 Q |
| 2.04 Excavación estructural para alcantarillas | m³ | 136.00 Q | 168.98 Q | 22.40 Q | 27.83 Q | 108.90 Q | 173.41 Q | 103.00 Q |
| 2.05 Excavación estructural para subdrenaje | m³ | 72.00 Q | 89.46 Q | 16.60 Q | 20.62 Q | 72.85 Q | 116.00 Q | 102.00 Q |
| 2.06 Relleno estructural | m³ | 7.95 Q | 9.88 Q | 0.90 Q | 1.12 Q | - | - | 60.00 Q |
| 2.07 Acarreo | m²-km | 1,674.00 Q | 2,079.89 Q | 220.00 Q | 273.34 Q | 3.64 Q | 5.80 Q | 6.00 Q |
| 3.00 DRENAJE MENOR | | | | | | | | |
| 3.01 Alcantarilla de metal corrugado d=30" | m | - | - | 240.00 Q | 298.19 Q | 1,108.26 Q | 1,764.74 Q | 1,373.00 Q |
| 3.02 Alcantarilla de metal corrugado d=36" | m | - | - | 360.00 Q | 447.29 Q | 1,429.02 Q | 2,275.50 Q | 1,787.00 Q |
| 3.03 Alcantarilla de metal corrugado d=42" | m | - | - | 580.00 Q | 720.63 Q | 1,609.34 Q | 2,562.63 Q | 2,563.00 Q |
| 3.04 Alcantarilla de metal corrugado d=48" | m | - | - | 1,340.00 Q | 1,664.90 Q | 1,855.23 Q | 2,954.18 Q | 2,560.00 Q |
| 3.05 Alcantarilla de metal corrugado d=60" | m | - | - | 35.60 Q | 44.23 Q | 2,795.33 Q | 4,447.96 Q | 2,584.00 Q |
| 4.00 DRENAJE MAYOR | | | | | | | | |
| 4.01 Concreto cíclopeo para bovedas | m³ | 2,000.00 Q | 2,484.93 Q | 1,340.00 Q | 1,664.90 Q | 1,547.27 Q | 2,463.80 Q | 2,205.00 Q |
| 4.02 Excavación estructural para cimentación de bovedas | m³ | 86.40 Q | 107.35 Q | 37.90 Q | 47.09 Q | 67.81 Q | 107.98 Q | 87.00 Q |
| 4.03 Relleno estructural para cimentación de bovedas | m³ | 72.00 Q | 89.46 Q | 35.60 Q | 44.23 Q | 171.83 Q | 273.61 Q | 136.00 Q |
| 5.00 PAVIMENTO RIGIDO | | | | | | | | |
| 5.01 Pavimento de concreto de cemento hidráulico para pavimento, 4000 PSI de 18 cms de espesor. | m³ | 2,200.00 Q | 2,733.43 Q | - | - | - | - | 2,733.00 Q |
| 5.02 Recondicionamiento de sub-risante existente | m² | 20.00 Q | 24.85 Q | - | - | - | - | 25.00 Q |
| 5.03 Sub-base común (20 cms) | m³ | 180.00 Q | 223.64 Q | - | - | - | - | 224.00 Q |
| 5.04 Caja de base estabilizada con cemento hidráulico de 20 cms de espesor. | m³ | 413.00 Q | 513.14 Q | - | - | - | - | 513.00 Q |
| 5.05 Cemento hidráulico para base estabilizada | kg | 2.40 Q | 2.98 Q | - | - | - | - | 3.00 Q |
| 5.00 PAVIMENTO FLEXIBLE | | | | | | | | |
| 5.01 Riego de imprimación | GL | - | - | 11.00 Q | 13.67 Q | 32.10 Q | 51.11 Q | 32.00 Q |
| 5.02 Riego de liga | GL | - | - | 6.00 Q | 7.45 Q | 27.97 Q | 44.54 Q | 26.00 Q |
| 5.03 Caja de sub base de suelo cemento | m³ | - | - | 11.45 Q | 14.23 Q | 280.54 Q | 446.72 Q | 230.00 Q |
| 5.04 Caja de base suelo cemento | m³ | - | - | 30.25 Q | 37.58 Q | 471.41 Q | 750.65 Q | 394.00 Q |
| 5.05 Concreto asfáltico de rodadura (modificado) | TO | - | - | - | - | 240.72 Q | 383.31 Q | 383.00 Q |
| 5.06 Cemento asfáltico modificado | GL | - | - | - | - | 30.34 Q | 48.31 Q | 48.00 Q |
| 5.07 Concreto asfáltico (blínder) | TO | - | - | - | - | 241.07 Q | 383.87 Q | 384.00 Q |
| 5.08 Cemento asfáltico blínder | GL | - | - | - | - | 17.51 Q | 27.88 Q | 28.00 Q |
| 6.00 SEÑALIZACIÓN | | | | | | | | |
| 6.01 Pintura termoplástica p/ líneas longitudinales centrales | ML | - | - | 2.20 Q | 2.73 Q | - | - | 3.00 Q |
| 6.02 Pintura termoplástica p/ líneas longitudinales no centrales | ML | - | - | 2.63 Q | 3.26 Q | - | - | 3.00 Q |
| 6.03 Señales de tránsito | U | 1,600.00 Q | 1,987.95 Q | 1,745.90 Q | 2,169.22 Q | 1,800.00 Q | 2,866.23 Q | 2,341.00 Q |
| 6.04 Dispositivos de señalización nocturna | U | 31.20 Q | 38.76 Q | 3.60 Q | 4.47 Q | 28.95 Q | 46.10 Q | 30.00 Q |
| 7.00 ASPECTOS AMBIENTALES | | | | | | | | |
| 7.01 Ejecutor ambiental | Mes | 25,600.00 Q | 31,807.14 Q | - | - | 23,736.17 Q | 37,796.29 Q | 23,201.00 Q |
| 7.02 Revegetación de taludes | m² | 42.00 Q | 52.18 Q | - | - | 45.80 Q | 72.93 Q | 42.00 Q |
| 7.03 Reforestación | U | - | - | - | - | 47.87 Q | 76.23 Q | 38.00 Q |

11.3. Ofertas

11.3.1. Oferta pavimento rígido

Cuadro 30: Oferta pavimento rígido.

| | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | MONTO TOTAL |
|---|--------------------|--------------|-----------------|-------------------------|
| 1.00 TRABAJOS PRELIMINARES | | | | |
| 1.01 Trabajos por administración y por planos | U | 1.00 | Q 4,016,162.00 | Q 4,016,162.00 |
| 1.02 Replanteo topográfico del diseño | km | 20.13 | Q 52,967.00 | Q 1,066,384.61 |
| 2.00 MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | |
| 2.01 Limpia, Chapeo y Destronque | ha | 65.11 | Q 74,201.00 | Q 4,831,227.00 |
| 2.02 Excavación no clasificada | m ³ | 842,131.60 | Q 45.00 | Q 37,895,922.00 |
| 2.03 Excavación de canales varios | m ³ | 2,412.00 | Q 84.00 | Q 202,608.00 |
| 2.04 Excavación estructural para alcantarillas | m ³ | 4,302.00 | Q 103.00 | Q 443,106.00 |
| 2.05 Excavación estructural para subdrenaje | m ³ | 16,816.00 | Q 102.00 | Q 1,715,232.00 |
| 2.06 Relleno estructural | m ³ | 378,382.30 | Q 60.00 | Q 22,702,938.00 |
| 2.07 Acarreo | m ³ -km | 3,709,994.40 | Q 6.00 | Q 22,259,966.00 |
| 3.00 DRENAJE MENOR | | | | |
| 3.01 Alcantarilla de metal corrugado d=30" | m | 741.00 | Q 1,373.00 | Q 1,017,393.00 |
| 3.02 Alcantarilla de metal corrugado d=36" | m | 133.00 | Q 1,287.00 | Q 171,171.00 |
| 3.03 Alcantarilla de metal corrugado d=42" | m | 40.00 | Q 2,563.00 | Q 102,520.00 |
| 3.04 Alcantarilla de metal corrugado d=48" | m | 72.00 | Q 2,260.00 | Q 162,720.00 |
| 3.05 Alcantarilla de metal corrugado d=60" | m | 63.00 | Q 2,584.00 | Q 162,792.00 |
| 4.00 DRENAJE MAYOR | | | | |
| 4.01 Concreto ciclopeo para bovedas | m ³ | 362.00 | Q 2,205.00 | Q 798,210.00 |
| 4.02 Excavación estructural para cimentación de bovedas | m ³ | 537.00 | Q 87.00 | Q 46,719.00 |
| 4.03 Relleno estructural para cimentación de bovedas | m ³ | 6,125.00 | Q 136.00 | Q 833,000.00 |
| 5.00 PAVIMENTO RÍGIDO | | | | |
| 5.01 Pavimento de concreto de cemento hidráulico para pavimento, 4000 PSI de 18 cms de espesor. | m ³ | 52,185.00 | Q 2,733.00 | Q 142,621,605.00 |
| 5.02 Reacondicionamiento de sub-rasante existente | m ² | 65,708.00 | Q 25.00 | Q 1,642,700.00 |
| 5.03 Sub-base común (20 cms) | m ³ | 63,419.00 | Q 224.00 | Q 14,205,856.00 |
| 5.04 Capa de base estabilizada con cemento hidráulico de 20 cms de espesor. | m ³ | 66,439.00 | Q 513.00 | Q 34,083,207.00 |
| 5.05 Cemento hidráulico para base estabilizada | kg | 5,276,882.00 | Q 3.00 | Q 15,830,646.00 |
| 6.00 SEÑALIZACIÓN | | | | |
| 6.01 Pintura termoplástica p/ líneas longitudinales centrales | ML | 20,133.00 | Q 3.00 | Q 60,399.00 |
| 6.02 Pintura termoplástica p/ líneas longitudinales no centrales | ML | 40,266.00 | Q 3.00 | Q 120,798.00 |
| 6.03 Señales de tránsito | U | 197.00 | Q 2,341.00 | Q 461,177.00 |
| 6.04 Dispositivos de señalización nocturna | U | 9,188.00 | Q 30.00 | Q 275,640.00 |
| 7.00 ASPECTOS AMBIENTALES | | | | |
| 7.01 Ejecutor ambiental | Mes | 18.00 | Q 23,201.00 | Q 417,618.00 |
| 7.02 Revegetación de taludes | m ² | 26,312.00 | Q 42.00 | Q 1,105,104.00 |
| 7.03 Reforestación | U | 19,052.00 | Q 38.00 | Q 723,976.00 |
| SUB-TOTAL DE CONSTRUCCIÓN DE OBRA | | | | Q 309,976,796.61 |
| TOTAL CON IVA 12% | | | | Q 347,174,012.20 |
| COSTO POR KILÓMETRO | | | | Q 17,244,027.83 |

Fuente: Elaboración propia.

11.3.2. Oferta pavimento flexible

Cuadro 31: Oferta pavimento rígido.

| | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | MONTO TOTAL |
|--|--------------------|--------------|-----------------|-----------------------|
| 1.00 TRABAJOS PRELIMINARES | | | | |
| 1.01 Trabajos por administración y por planos | U | 1.00 | 4,016,162.00 | 4,016,162.00 |
| 1.02 Replanteo topográfico del diseño | km | 20.13 | 52,967.00 | 1,066,385.00 |
| 2.00 MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | |
| 2.01 Limpia, Chapeo y Destronque | ha | 65.11 | 74,201.00 | 4,831,227.00 |
| 2.02 Excavación no clasificada | m ³ | 842,131.60 | 45.00 | 37,895,922.00 |
| 2.03 Excavación de canales varios | m ³ | 2,412.00 | 84.00 | 202,608.00 |
| 2.04 Excavación estructural para alcantarillas | m ³ | 4,302.00 | 103.00 | 443,106.00 |
| 2.05 Excavación estructural para subdrenaje | m ³ | 16,816.00 | 102.00 | 1,715,232.00 |
| 2.06 Relleno estructural | m ³ | 378,382.30 | 60.00 | 22,702,938.00 |
| 2.07 Acarreo | m ³ -km | 3,709,994.40 | 6.00 | 22,259,966.00 |
| 3.00 DRENAJE MENOR | | | | |
| 3.01 Alcantarilla de metal corrugado d=30" | m | 741.00 | 1,373.00 | 1,017,393.00 |
| 3.02 Alcantarilla de metal corrugado d=36" | m | 133.00 | 1,287.00 | 171,171.00 |
| 3.03 Alcantarilla de metal corrugado d=42" | m | 40.00 | 2,563.00 | 102,520.00 |
| 3.04 Alcantarilla de metal corrugado d=48" | m | 72.00 | 2,260.00 | 162,720.00 |
| 3.05 Alcantarilla de metal corrugado d=60" | m | 63.00 | 2,584.00 | 162,792.00 |
| 4.00 DRENAJE MAYOR | | | | |
| 4.01 Concreto ciclopeo para bovedas | m ³ | 362.00 | 2,205.00 | 798,210.00 |
| 4.02 Excavación estructural para cimentación de bovedas | m ³ | 537.00 | 87.00 | 46,719.00 |
| 4.03 Relleno estructural para cimentación de bovedas | m ³ | 6,125.00 | 136.00 | 833,000.00 |
| 5.00 PAVIMENTO FLEXIBLE | | | | |
| 5.01 Riego de imprimación | GL | 93,014.46 | 32.00 | 2,976,463.00 |
| 5.02 Riego de liga | GL | 46,507.23 | 26.00 | 1,209,188.00 |
| 5.03 Capa de sub base de suelo cemento | m ³ | 63,419.00 | 230.00 | 14,586,370.00 |
| 5.04 Capa de base suelo cemento | m ³ | 66,439.00 | 394.00 | 26,176,966.00 |
| 5.05 Concreto asfáltico de rodadura (modificado) | TO | 50,568.86 | 383.00 | 19,367,874.00 |
| 5.06 Cemento asfáltico modificado | GL | 707,964.06 | 48.00 | 33,982,275.00 |
| 5.07 Concreto asfáltico (Binder) | TO | 57,792.98 | 384.00 | 22,192,506.00 |
| 5.08 Cemento asfáltico binder | GL | 809,101.78 | 28.00 | 22,654,850.00 |
| 6.00 SEÑALIZACIÓN | | | | |
| 6.01 Pintura termoplástica p/ líneas longitudinales centrales | ML | 20,133.00 | 3.00 | 60,399.00 |
| 6.02 Pintura termoplástica p/ líneas longitudinales no centrales | ML | 40,266.00 | 3.00 | 120,798.00 |
| 6.03 Señales de tránsito | U | 197.00 | 2,341.00 | 461,177.00 |
| 6.04 Dispositivos de señalización nocturna | U | 9,188.00 | 30.00 | 275,640.00 |
| 7.00 ASPECTOS AMBIENTALES | | | | |
| 7.01 Ejecutor ambiental | Mes | 18.00 | 23,201.00 | 417,618.00 |
| 7.02 Revegetación de taludes | m ² | 26,312.00 | 42.00 | 1,105,104.00 |
| 7.03 Reforestación | U | 19,052.00 | 38.00 | 723,976.00 |
| SUB-TOTAL DE CONSTRUCCIÓN DE OBRA | | | | 244,739,275.00 |
| TOTAL CON IVA 12% | | | | 274,107,988.00 |
| COSTO POR KILÓMETRO | | | | 13,614,860.58 |

Fuente: Elaboración propia.

11.3.3. Relación costos ofertas

Cuadro 32: Comparativa costo oferta pavimento rígido respecto a flexible.

| TIPO DE PAVIMENTO | | COSTO TOTAL | RELACIÓN |
|-------------------|---|----------------|----------|
| Rígido | Q | 347,174,012.20 | 126.66% |
| Flexible | Q | 274,107,988.00 | |

Fuente: Elaboración propia.

1. No existe una solución única a la congestión vehicular, es un proceso multidisciplinario pero se podría simplificar en un tema de demanda y oferta. Por un lado se puede incentivar el disminuir la demanda de transporte particular o individual promoviendo el transporte colectivo. Y por otro lado, se puede aumentar la oferta de infraestructura, siendo este el enfoque del presente trabajo.
2. A partir del análisis sobre los 8 ingresos principales a la Ciudad de Guatemala, las 17 variables estudiadas y el resumen en la matriz general, se identificó el tramo de CA-9 Sur como el ingreso más crítico. Tomando en cuenta que el tramo CA-1 Occidente representa el segundo ingreso más crítico y la colindancia entre ambos, la propuesta giró a una carretera de circunvalación entre los mismos.
3. El tramo propuesto cuenta con una extensión total de 20.133 kilómetros. Dado que conecta rutas centroamericanas, acorde al CIV, se clasificaría como una ruta nacional dentro de la red vial registrada de Guatemala.
4. Como beneficio principal, el tramo propuesto plantea una alternativa de conexión entre dos ejes cardinales del Municipio de Guatemala sin la necesidad de ingresar a la Ciudad, reduciendo tiempo y distancia. El tramo se propone bajo el esquema de una autopista, con un acceso controlado y no interrumpido.
5. Con un diseño de pavimento rígido, el costo total aproximado del proyecto es de Q347,174,012.20, siendo Q17,244,027.83 por kilómetro, sin tomar en cuenta la adquisición del derecho de vía e incluyendo IVA.
6. Con un diseño de pavimento flexible, el costo total aproximado del proyecto es de Q274,107,988.00, siendo Q13,614,860.58 por kilómetro, sin tomar en cuenta la adquisición del derecho de vía e incluyendo IVA.
7. Comparando las ofertas de pavimento rígido y flexible, la primera representa una relación de 1.27 veces, o el 27 por ciento, más costosa que el pavimento flexible. Por la durabilidad y poco mantenimiento se recomienda optar por la opción de pavimento rígido.

8. Uno de los productos del presente trabajo fue la sistematización del procedimiento del nivel de servicio del Highway Capacity Manual (HCM).

Para futuras investigaciones en la misma línea del presente trabajo, se recomienda el uso de estudios de origen-destino. Esta información es de suma importancia que se tome en cuenta ya que el mismo permite conocer comportamientos de movilidad que otros estudios, como los conteos vehiculares, no lo permiten. La congestión vial es un fenómeno social y se podría indagar más en esa línea. Por limitaciones de la investigación, falta de acceso a la información, así como la falta de este tipo de estudios, no se consideró este tipo de análisis.

Para las municipalidades de la región metropolitana, se recomienda utilizar la metodología planteada en la presente investigación para el análisis de tramos existentes para identificar puntos de mejora. Las brechas por falta de información se pueden reducir al crear información propia sin alto grado de dificultad y el usar información disponible de otras entidades, como fue el caso del parque vehicular con la base de datos de la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT). Así mismo, para las entidades encargadas de la red vial nacional, Caminos y Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda (CIV), se recomienda aplicar el uso de la metodología del Highway Capacity Manual (HCM) para identificar el nivel de servicio de tramos existentes y ser considerado como un parámetro en la toma de decisiones. Esta también puede ser tomada en cuenta en el proceso de diseño para identificar las características necesarias para alcanzar un nivel de servicio objetivo.

Para las municipalidades de regiones urbanas, se recomienda que el enfoque hacía la problemática de la congestión vial no se tome de manera aislada en sus propios municipios. Decisiones más grandes y en conjunto garantizarán mejores resultados. Dentro de estas decisiones, se recomienda siempre promover el transporte público y el hecho que aumentar las alternativas e infraestructura vial no son mutuamente excluyentes. Aumentar la infraestructura disminuyendo el parque vehicular garantiza una mayor locomoción.

Para futuros proyectos de nuevos tramos carreteros, al Ministerio de Comunicaciones Infraestructura y Vivienda (CIV), se recomienda velar por el cumplimiento del derecho de vía según la clasificación de la red vial. Esto no solamente impediría el desarrollo al costado de la carretera, el cual afectaría la afluencia vehicular, pero también permitiría realizar futuras ampliaciones en el futuro. Como se mencionó en las conclusiones, el tramo se plantea bajo el

esquema de autopista con acceso controlado y no interrumpido. Por lo tanto, para garantizar el efecto deseado a largo plazo es necesario controlar el desarrollo en las periferias.

Por último, en la toma de decisiones, específicamente para proyectos viales de nuevos tramos carreteros, se recomienda plantear estructuras legales más directas dando prioridad a los gobiernos locales, municipalidades, y disminuir la influencia del gobierno central. Las estructuras existentes se caracterizan por escasos proyectos autorizados, poca capacidad de reacción y ejecución a problemáticas actuales y estar influenciadas por corrupción. Las municipalidades tienen contacto directo con las problemáticas y tendrán mejor criterio desde el planteamiento hasta la ejecución del proyecto.

- AASHTO. (2011). *A policy on Geometric Design of Highway and Streets*. AASHTO.
- Alcántara, E. (2010). *Análisis de la Movilidad Urbana: Espacio, Medio Ambiente y Equidad*. CAF - Corporación Andina de Fomento.
- Autodesk. (2021a). *Civil 3D - Software de documentación y diseño para ingeniería civil*. <https://latinoamerica.autodesk.com/products/civil-3d/features>
- Autodesk. (2021b). *InfraWorks - Software de diseño conceptual de infraestructura civil*. <https://latinoamerica.autodesk.com/products/infraworks/overview#improved-designs>
- Bazant, J. (2014). *Planeación Urbana Estratégica*. Trillas.
- Blásquez, L. B. (2000). *Manual de Carreteras* (1.^a ed.). Ortiz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.
- BOE. (2015). *Ley 37/2015. de 29 de septiembre, de carreteras*. <https://boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-10439#ani>
- Bull, A. (2003). *Congestión de Tránsito: El problema y cómo enfrentarlo*. CEPAL.
- Caminos. (2020). *Plan Operativo Anual 2021 Dirección General de Caminos*.
- CIV. (2016). *Plan Estratégico Institucional 2016-2023*. 1(1), 182.
- Concejo Municipal de la Ciudad de Guatemala. (2004). *Acuerdo No. COM-003-04, Reglamento Específico de Evaluaciones de Impacto Vial para el Municipio de Guatemala*. 1(1), 4.
- Concejo Municipal de la Ciudad de Guatemala. (2008). *Acuerdo No. COM-030-08, Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Guatemala*. 1(1), 4.
- Córdoba, E. (2019). *Diagnóstico Corredores Económicos (Resúmenes) para el Proyecto Creando Oportunidades Económicas*. <https://www.pronacom.org/wp-content/uploads/2019/12/Resu%CC%81menes-CE%C2%B4s.pdf>
- COVIAL. (2008). *Historia de la Dirección General de Caminos*. <https://www.caminos.gob.gt/historia.html>

- COVIAL. (2015). *Red Vial de Guatemala Año 2014*.
- COVIAL. (2017). *Especificaciones Técnicas COVIAL 2017*.
- de Solminihac, H. (2018). *Gestión de infraestructura vial*. Educiones UC.
- Dirección Provincial de Ordenamiento Urbano y Territorial. (2011). *Sistemas de Información Geográfica para el ordenamiento territorial* (1.ª ed.). Creative Commons.
- Elke Hermans. (2007). *The impact of weather conditions on road safety investigated on an hourly basis*. 1(1), 1-18.
- Ferrari, A. (2016). *Introducing Microsoft Power BI*. Microsoft.
- Frick, D. (2014). *Una teoría del urbanismo*. Universidad del Rosario.
- FUNDESA. (2017). *¿Qué hacer para contar con una Mejor Infraestructura Vial? Infraestructura para el desarrollo, Mejoremos Guate*. http://www.mejoremosguate.org/cms/content/files/publicaciones/MG_-_Revista_Ed-16.pdf
- Geller, G. (1995). *Ciudad de Guatemala: factores determinantes en su desarrollo urbano (desde la fundación hasta la actualidad)*. Flacso Guatemala.
- HCM, T. (2016a). *Highway Capacity Manual*. 1, 330.
- HCM, T. (2016b). *Highway Capacity Manual*. 2, 342.
- ISPRS. (2021). *The precision of Google Earth Map Analysis with the coordinates of IGS Stations*. <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-3-W10/1053/2020/>
- López, M. V. (2019). *Análisis del costo de congestión por acceso vehicular a la Ciudad Universitaria, por el Anillo Periférico del Boulevard Universitario de la Zona 12*. http://www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/03/03_6144.pdf
- Microsoft. (2021). *Visualization types in Power BI*. <https://docs.microsoft.com/en-us/power-bi/visuals/power-bi-visualization-types-for-reports-and-q-and-a>
- Mohad Musa. (2020). *The impact of roadway conditions towards accident severity on federal roads in Malaysia*. 1(1), 1-12.
- Montezuma, R. (2003). *La Ciudad Inclusiva: Ciudad y Transporte, la movilidad urbana*. CEPAL.
- Montoya, G. (2005). *Ingeniería de Tránsito*. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú.
- Municipalidad de Guatemala. (2019). *Conteos Vehiculares Ciudad de Guatemala 2019*.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. Creative Commons. N/D
- Peláez, R. M. (2017). *Infraestructura Vial en Ciudad de Guatemala: Congestionamiento y Movilidad*. CEUR, Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Pronacom. (2018). *Resumen Ejecutivo - Reformulación y actualización del Plan de Desarrollo Vial 2018-2032*.
- Ricardo Miranda. (2010). *Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos*. 1(1), 21-24.
- SERC, C. (2020). *What is Google Earth?* https://serc.carleton.edu/introgeo/google_earth/what.html
- Torres, A. (2016). *Tasas de crecimiento poblacional (r): Una mirada desde el modelo matemático lineal, geométrico y exponencial*. (2), 143-162.
- Valladares, L. (2019). *Área de influencia urbana de la Ciudad de Guatemala*. CEUR, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Waze. (2016). *Waze Diver Satisfaction Index 2016*. *Bioinspiration & biomimetics*, 1(1), 24.

CAPÍTULO 15

Anexos

15.1. Hojas de cálculo niveles de servicio

HOJA DE CÁLCULO - NIVEL DE SERVICIO

TRAMO: CA-1 Occidente
 METODOLOGÍA: Multilane Highway Segment LOS (HCM)

DATOS INICIALES

Ancho carril: $A_C := 3.65 \text{ m} = 11.975 \text{ ft}$
 Longitud arcen carril derecho: $L_A := 0 \text{ m}$
 Longitud mediana entre carriles: $L_M := 5.13 \text{ m} = 16.831 \text{ ft}$
 Composición de tránsito % (camiones): $C_{CAMIONES} := 4.13\%$
 Puntos de accesos $P_A := 18$

CONSIDERACIONES:

- Se asume que el tráfico es de usuarios regulares.
- Se asume el tramo desde el limite municipal del Municipio de Guatemala hasta el puente hacia El Encinal, 3.37 kilómetros de longitud.
- Se asume que el tramo opera bajo condiciones ideales: sin accidentes, trabajos en obra o problemas climáticos.
- Se considera como punto de acceso a retornos en U y toda vía o calle que incorpore vehículos en el tramo analizado, únicamente en dirección hacia la ciudad.

CONTEO VEHICULAR

Los datos a continuación pertenecen a conteos vehiculares promediados del año 2019.

| Roosevelt 39 | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------|---------------|---------------------|----------------|-------|
| Hora | Modo de Transporte | | | | | | | | Total |
| | Livianos | Urbano | Buses Extra Urbano | Escolar | Bicicletas | Motoc | Camiones Trailer | Total | |
| 5.00 a 6.00 | 6173 | 88 | 157 | 81 | 14 | 782 | 226 | 7,521 | |
| 6.00 a 7.00 | 6242 | 111 | 148 | 37 | 9 | 1803 | 170 | 8,520 | |
| 7.00 a 8.00 | 4237 | 102 | 166 | 18 | 3 | 2634 | 158 | 7,317 | |
| 8.00 a 9.00 | 5189 | 86 | 161 | 10 | 1 | 1441 | 260 | 7,148 | |
| 9.00 a 10.00 | 5087 | 111 | 149 | 10 | 5 | 1255 | 602 | 7,218 | |
| 10.00 a 11.00 | 4715 | 85 | 97 | 9 | 8 | 1227 | 376 | 6,517 | |
| 11.00 a 12.00 | 4961 | 92 | 97 | 14 | 3 | 1251 | 447 | 6,865 | |
| Total mañana | 36,604 | 675 | 975 | 179 | 43 | 10,393 | 2,239 | 51,106 | |
| 12.00 a 13.00 | 5043 | 89 | 109 | 32 | 3 | 1067 | 386 | 6,727 | |
| 13.00 a 14.00 | 5651 | 89 | 87 | 40 | 4 | 924 | 345 | 7,140 | |
| 14.00 a 15.00 | 5056 | 90 | 105 | 47 | 5 | 1159 | 415 | 6,876 | |
| Total medio día | 15,749 | 267 | 301 | 119 | 12 | 3,149 | 1,146 | 20,742 | |
| 15.00 a 16.00 | 4919 | 88 | 119 | 36 | 7 | 1205 | 481 | 6,855 | |
| 16.00 a 17.00 | 4743 | 85 | 139 | 29 | 9 | 1288 | 245 | 6,538 | |
| 17.00 a 18.00 | 4705 | 97 | 134 | 14 | 19 | 1926 | 178 | 7,072 | |
| Total tarde | 14,367 | 270 | 392 | 79 | 35 | 4,419 | 904 | 20,465 | |
| 18.00 a 19.00 | 4492 | 84 | 151 | 5 | 14 | 2030 | 92 | 6,868 | |
| 19.00 a 20.00 | 4359 | 90 | 108 | 9 | 6 | 1297 | 105 | 5,974 | |
| 20.00 a 21.00 | 4228 | 87 | 105 | 9 | 6 | 1258 | 102 | 5,794 | |
| Total noche | 13,078 | 261 | 364 | 23 | 26 | 4,585 | 299 | 18,636 | |
| Total todo el día | 79,798 | 1,473 | 2,031 | 398 | 115 | 22,545 | 4,587 | 110,948 | |
| Porcentaje | 71.92% | 1.33% | 1.83% | 0.36% | 0.10% | 20.32% | 4.13% | 100.00% | |

FUENTE: Municipalidad de Guatemala, Dirección de Movilidad Urbana.

1. CÁLCULO VOLÚMENES HORA PICO

1. Volumen de demanda hora pico

Volumen hora pico (veh/h): $V := 8520$

Volumen periodo: $V_3 := 7521 + V + 7317 = 23358$

Dado que los intervalos de tiempo del conteo son por cada hora, el volumen del periodo pico se considerará una hora anterior y posterior a la hora pico para contar con un período de tres horas.

Ecuación 4-1

$$PHF = \frac{\text{hourly volume}}{\text{peak flow rate (within the hour)}}$$

Factor hora pico: $PHF := \frac{V_3}{3 \cdot V} = 0.914$

2. CÁLCULO VELOCIDAD DE FLUJO LIBRE

Ecuación 12-3

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{TLC} - f_M - f_A$$

where

FFS = free-flow speed of the multilane highway segment (mi/h);

$BFFS$ = base FFS for the multilane highway segment (mi/h);

f_{LW} = adjustment for lane width, from Exhibit 12-20 (mi/h);

f_{TLC} = adjustment for total lateral clearance, from Exhibit 12-22 (mi/h);

f_M = adjustment for median type, from Exhibit 12-23 (mi/h); and

f_A = adjustment for access point density, from Exhibit 12-24 (mi/h).

Se considera una velocidad base de 80 km/h, equivalente a 50 mi/h.

$$BFFS := 50$$

Tabla 12-20

| Average Lane Width (ft) | Reduction in FFS, f_{LW} (mi/h) |
|-------------------------|-----------------------------------|
| ≥12 | 0.0 |
| ≥11-12 | 1.9 |
| ≥10-11 | 6.6 |

$$A_C = 11.975 \text{ ft}$$

$$f_{LW} := 1.9$$

$$TLC = LC_R + LC_L$$

where

Ecuación 12-4

TLC = total lateral clearance (ft) (maximum value 12 ft),

LC_R = right-side lateral clearance (ft) (maximum value 6 ft), and

LC_L = left-side lateral clearance (ft) (maximum value 6 ft).

$$LC_R := L_A$$

$$LC_L := L_M$$

$$TLC := LC_R + LC_L = 16.831 \text{ ft}$$

Tabla 12-22

| Four-Lane Highways | | Six-Lane Highways | |
|--------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|
| TLC (ft) | Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h) | TLC (ft) | Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h) |
| 12 | 0.0 | 12 | 0.0 |
| 10 | 0.4 | 10 | 0.4 |
| 8 | 0.9 | 8 | 0.9 |
| 6 | 1.3 | 6 | 1.3 |
| 4 | 1.8 | 4 | 1.7 |
| 2 | 3.6 | 2 | 2.8 |
| 0 | 5.4 | 0 | 3.9 |

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

$$f_{TLC} := 0$$

Tabla 12-23

| Median Type | Reduction in FFS, f_M (mi/h) |
|-------------|--------------------------------|
| Undivided | 1.6 |
| TWLT | 0.0 |
| Divided | 0.0 |

$$f_M := 0$$

Tabla 12-24

| Access Point Density (access points/mi) | Reduction in FFS, f_A (mi/h) |
|---|--------------------------------|
| 0 | 0.0 |
| 10 | 2.5 |
| 20 | 5.0 |
| 30 | 7.5 |
| ≥40 | 10.0 |

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

$$P_A = 18$$

Interpolación

$$f_A := 2.5 + \left(\frac{5 - 2.5}{20 - 10} \right) (18 - 10) = 4.5$$

$$FFS := BFFS - f_{LW} - f_{TLC} - f_M - f_A = 43.6 \text{ mi/h}$$

Dado que se considera el tramo bajo condiciones ideales:

$$FFS_{ADJ} := FFS$$

3. AJUSTE DE CAPACIDAD

Ecuación 12-6

$$c \text{ (basic freeway segment)} = 2,200 + 10 \times (FFS_{adj} - 50)$$

Ecuación 12-7

$$c \text{ (multilane highway segment)} = 1,900 + 20 \times (FFS_{adj} - 45)$$

$$c := 1900 + 20 \cdot (FFS_{ADJ} - 45) = 1872 \text{ pc/h/ln}$$

pc/h/ln = Passenger cars per hour per lane

Dado que se considera el tramo bajo condiciones ideales:

$$c_{ADJ} := c$$

4. AJUSTE DEMANDA DE VOLUMEN

Ecuación 12-9

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV}}$$

where

v_p = demand flow rate under equivalent base conditions (pc/h/ln),

V = demand volume under prevailing conditions (veh/h),

PHF = peak hour factor (decimal),

N = number of lanes in analysis direction (ln), and

f_{HV} = adjustment factor for presence of heavy vehicles (decimal).

Número de carriles

$$N_L := 3$$

Ecuación 12-10

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

where

f_{HV} = heavy vehicle adjustment factor (decimal),

P_T = proportion of SUTs and TTs in traffic stream (decimal), and

E_T = passenger car equivalent of one heavy vehicle in the traffic stream (PCEs).

Tabla 12-25

| Passenger Car Equivalent | Terrain Type | |
|--------------------------|--------------|---------|
| | Level | Rolling |
| E_T | 2.0 | 3.0 |

$$E_T := 2$$

$$P_T := C_{CAMIONES} = 0.041$$

$$f_{HV} := \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1)} = 0.96$$

$$v_p := \frac{V}{PHF \cdot N_L \cdot f_{HV}} = 3236.081 \quad \text{pc/h/ln}$$

5. CÁLCULO VELOCIDAD Y DENSIDAD

Tabla 12-6

| Parameter | Definition and Units | Basic Freeway Segments | Multilane Highway Segments |
|-------------|--|---|---|
| FFS | Base segment free-flow speed (mi/h) | Measured OR predicted with Equation 12-2 | Measured OR predicted with Equation 12-3 |
| FFS_{adj} | Adjusted free-flow speed (mi/h) | $FFS_{adj} = FFS \times SAF$ | No adjustments |
| SAF | Speed adjustment factor (decimal) | Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $SAF = 1.00$ for base conditions | 1.00 |
| c | Base segment capacity (pc/h/ln) | $c = 2,200 + 10(FFS - 50)$ $c \leq 2,400$ $55 \leq FFS \leq 75$ | $c = 1,900 + 20(FFS - 45)$ $c \leq 2,300$ $45 \leq FFS \leq 70$ |
| c_{adj} | Adjusted segment capacity (pc/h/ln) | $c_{adj} = c \times CAF$ | No adjustments |
| CAF | Capacity adjustment factor (decimal) | Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $CAF = 1.00$ for base conditions | 1.00 |
| D_c | Density at capacity (pc/mi/ln) | 45 | 45 |
| BP | Breakpoint (pc/h/ln) | $BP_{adj} = [1,000 + 40 \times (75 - FFS_{adj})] \times CAF^2$ | 1,400 |
| a | Exponent calibration parameter (decimal) | 2.00 | 1.31 |

$$BP := 1400 \quad \text{pc/h/ln}$$

Ecuación 12-1

$$S = FFS_{adj} \quad v_p \leq BP$$

$$S = FFS_{adj} - \frac{\left(FFS_{adj} - \frac{c_{adj}}{D_c} \right) (v_p - BP)^a}{(c_{adj} - BP)^a} \quad BP < v_p \leq c$$

if ($v_p < BP$, “Cumple, S1”, “No cumple”) = “No cumple”

if ($v_p < BP < c$, “Cumple, S2”, “No cumple”) = “No cumple”

if ($v_p > c$, “Cumple”, “No cumple”) = “Cumple”

$$S_1 := FFS_{ADJ}$$

$$S_2 := FFS_{ADJ} - \frac{\left(FFS_{ADJ} - \frac{c_{ADJ}}{45} \right) (v_p - BP)^{1.31}}{(c_{ADJ} - BP)^{1.31}} = 31.746$$

Dado que ninguna de las primeras dos condiciones cumplen, se demuestra que la demanda supera la capacidad. De igual manera se procede a la siguiente ecuación para comprobar el nivel de servicio F por medio de la gráfica y valores.

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

where

D = density (pc/mi/ln),

v_p = demand flow rate (pc/h/ln), and

S = mean speed of traffic stream under base conditions (mi/h).

Ecuación 12-11

$$D := \frac{v_p}{S_2} = 101.937 \text{ pc/mi/ln}$$

Densidad a capacidad:

$$D_C := 45 \text{ pc/mi/ln}$$

Capacidad superada:

$$C_S := \frac{D}{D_C} = 2.265$$

Tabla 12-17

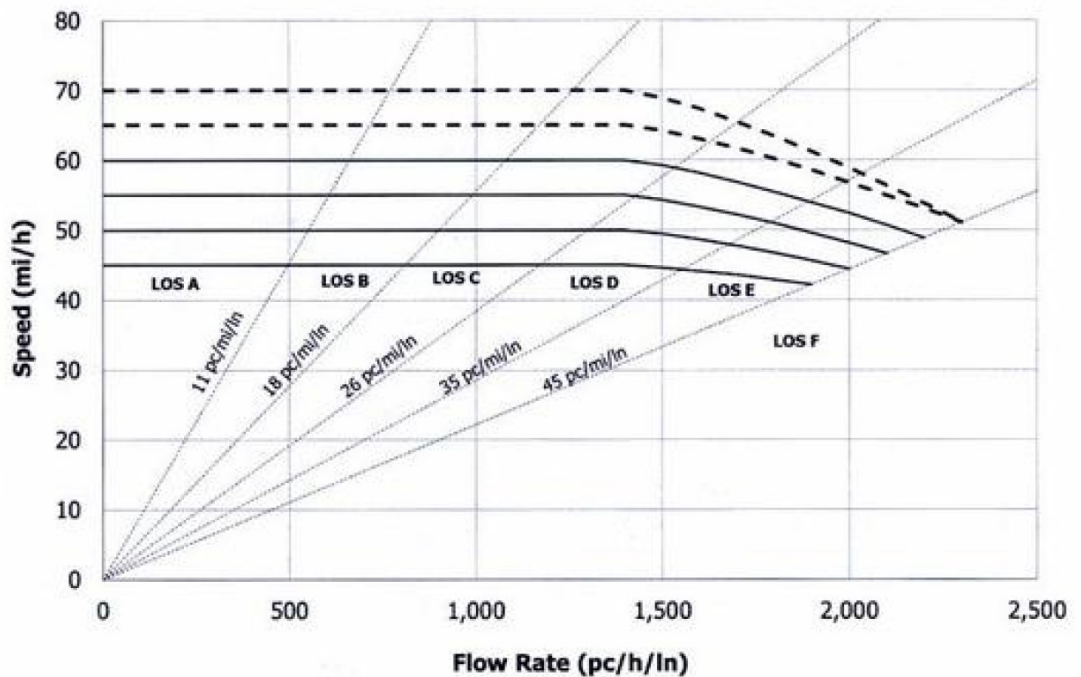


Tabla 12-15

| LOS | Density (pc/mi/ln) |
|-----|--|
| A | ≤11 |
| B | >11–18 |
| C | >18–26 |
| D | >26–35 |
| E | >35–45 |
| F | Demand exceeds capacity OR density > 45 |

Nivel de Servicio: F

HOJA DE CÁLCULO - NIVEL DE SERVICIO

TRAMO: CA-1 Oriente
 METODOLOGÍA: Four-Lane Highway LOS (HCM)

DATOS INICIALES

Ancho carril: $A_C := 3.62 \text{ m} = 11.877 \text{ ft}$
 Longitud arcen carril derecho: $L_A := 1.10 \text{ m} = 3.609 \text{ ft}$
 Longitud mediana entre carriles: $L_M := 0.9 \text{ m} = 2.953 \text{ ft}$
 Composición de tránsito % (camiones): $C_{CAMIONES} := 4.30\%$
 Puntos de accesos $P_A := 4$

CONSIDERACIONES:

- Se asume que el tráfico es de usuarios regulares.
- Se asume el tramo desde el limite municipal del Municipio de Guatemala hasta el desvio a Puerta Parada, 6.20 kilómetros de longitud.
- Se asume que el tramo opera bajo condiciones ideales: sin accidentes, trabajos en obra o problemas climáticos.
- Se considera como punto de acceso a retornos en U y toda vía o calle que incorpore vehículos en el tramo analizado, únicamente en dirección hacia la ciudad.

CONTEO VEHICULAR

Los datos a continuación pertenecen a conteos vehiculares promediados del año 2019.

| Los Próceres | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|------------|-----------------------|------------|------------|---------------|---------------------|---------------|-------|
| Hora | Modo de Transporte | | | | | | | | Total |
| | Livianos | Urbano | Buses Extra Urbano | Escolar | Bicicletas | Motos | Camiones Trailer | | |
| 5.00 a 6.00 | 2887 | 17 | 177 | 40 | 1 | 245 | 149 | 3,516 | |
| 6.00 a 7.00 | 4292 | 14 | 439 | 45 | 1 | 459 | 111 | 5,361 | |
| 7.00 a 8.00 | 3409 | 27 | 221 | 15 | 2 | 932 | 112 | 4,716 | |
| 8.00 a 9.00 | 4509 | 20 | 208 | 4 | 3 | 1137 | 149 | 6,030 | |
| 9.00 a 10.00 | 3852 | 16 | 192 | 0 | 3 | 721 | 332 | 5,114 | |
| 10.00 a 11.00 | 3128 | 13 | 102 | 1 | 2 | 790 | 317 | 4,353 | |
| 11.00 a 12.00 | 3088 | 13 | 104 | 5 | 2 | 748 | 322 | 4,282 | |
| Total mañana | 25,165 | 119 | 1,442 | 110 | 13 | 5,032 | 1,491 | 33,372 | |
| 12.00 a 13.00 | 3162 | 16 | 103 | 9 | 6 | 667 | 267 | 4,229 | |
| 13.00 a 14.00 | 3051 | 8 | 117 | 32 | 5 | 540 | 310 | 4,063 | |
| 14.00 a 15.00 | 2921 | 14 | 95 | 22 | 4 | 549 | 302 | 3,905 | |
| Total medio día | 9,134 | 38 | 315 | 63 | 15 | 1,756 | 878 | 12,197 | |
| 15.00 a 16.00 | 3655 | 14 | 119 | 26 | 2 | 1096 | 292 | 5,204 | |
| 16.00 a 17.00 | 3230 | 15 | 121 | 10 | 5 | 954 | 111 | 4,446 | |
| 17.00 a 18.00 | 2621 | 15 | 117 | 6 | 7 | 1214 | 80 | 4,058 | |
| Total tarde | 9,506 | 44 | 357 | 42 | 14 | 3,264 | 483 | 13,708 | |
| 18.00 a 19.00 | 2812 | 9 | 98 | 2 | 6 | 1031 | 74 | 4,032 | |
| 19.00 a 20.00 | 2862 | 3 | 60 | 3 | 9 | 695 | 35 | 3,666 | |
| 20.00 a 21.00 | 1918 | 2 | 40 | 2 | 6 | 465 | 23 | 2,456 | |
| Total noche | 7,592 | 14 | 198 | 6 | 20 | 2,191 | 132 | 10,153 | |
| Total todo el día | 51,396 | 214 | 2,312 | 221 | 61 | 12,241 | 2,984 | 69,429 | |
| Porcentaje | 74.03% | 0.31% | 3.33% | 0.32% | 0.09% | 17.63% | 4.30% | 100.00% | |

FUENTE: Municipalidad de Guatemala, Dirección de Movilidad Urbana.

1. CÁLCULO VOLÚMENES HORA PICO

1. Volumen de demanda hora pico

Volumen hora pico (veh/h): $V := 5361$

Volumen periodo: $V_3 := 3516 + V + 4716 = 13593$

Dado que los intervalos de tiempo del conteo son por cada hora, el volumen del periodo pico se considerará una hora anterior y posterior a la hora pico para contar con un período de tres horas.

Ecuación 4-1

$$PHF = \frac{\text{hourly volume}}{\text{peak flow rate (within the hour)}}$$

Factor hora pico: $PHF := \frac{V_3}{3 \cdot V} = 0.845$

2. CÁLCULO VELOCIDAD DE FLUJO LIBRE

Ecuación 12-3

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{TLC} - f_M - f_A$$

where

FFS = free-flow speed of the multilane highway segment (mi/h);

$BFFS$ = base FFS for the multilane highway segment (mi/h);

f_{LW} = adjustment for lane width, from Exhibit 12-20 (mi/h);

f_{TLC} = adjustment for total lateral clearance, from Exhibit 12-22 (mi/h);

f_M = adjustment for median type, from Exhibit 12-23 (mi/h); and

f_A = adjustment for access point density, from Exhibit 12-24 (mi/h).

Se considera una velocidad base de 80 km/h, equivalente a 50 mi/h.

$$BFFS := 50$$

Tabla 12-20

| Average Lane Width (ft) | Reduction in FFS, f_{LW} (mi/h) |
|-------------------------|-----------------------------------|
| ≥12 | 0.0 |
| ≥11-12 | 1.9 |
| ≥10-11 | 6.6 |

$$A_C = 11.877 \text{ ft}$$

$$f_{LW} := 1.9$$

$$TLC = LC_R + LC_L$$

where

Ecuación 12-4

TLC = total lateral clearance (ft) (maximum value 12 ft),

LC_R = right-side lateral clearance (ft) (maximum value 6 ft), and

LC_L = left-side lateral clearance (ft) (maximum value 6 ft).

$$LC_R := L_A$$

$$LC_L := L_M$$

$$TLC := LC_R + LC_L = 6.562 \text{ ft}$$

Tabla 12-22

| Four-Lane Highways | | | Six-Lane Highways | | |
|--------------------|------------------------------------|--|-------------------|------------------------------------|--|
| TLC (ft) | Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h) | | TLC (ft) | Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h) | |
| 12 | 0.0 | | 12 | 0.0 | |
| 10 | 0.4 | | 10 | 0.4 | |
| 8 | 0.9 | | 8 | 0.9 | |
| 6 | 1.3 | | 6 | 1.3 | |
| 4 | 1.8 | | 4 | 1.7 | |
| 2 | 3.6 | | 2 | 2.8 | |
| 0 | 5.4 | | 0 | 3.9 | |

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

Interpolación

$$f_{TLC} := 1.3 + \left(\frac{0.9 - 1.3}{8 - 6} \right) (6.562 - 6) = 1.188$$

Tabla 12-23

| Median Type | Reduction in FFS, f_M (mi/h) |
|-------------|--------------------------------|
| Undivided | 1.6 |
| TWLT | 0.0 |
| Divided | 0.0 |

$$f_M := 0$$

Tabla 12-24

| Access Point Density (access points/mi) | Reduction in FFS, f_A (mi/h) |
|---|--------------------------------|
| 0 | 0.0 |
| 10 | 2.5 |
| 20 | 5.0 |
| 30 | 7.5 |
| ≥40 | 10.0 |

$$P_A = 4$$

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

Interpolación

$$f_A := 0 + \left(\frac{2.5 - 0}{10 - 0} \right) (4 - 0) = 1$$

$$FFS := BFFS - f_{LW} - f_{TLC} - f_M - f_A = 45.912 \text{ mi/h}$$

Dado que se considera el tramo bajo condiciones ideales:

$$FFS_{ADJ} := FFS$$

3. AJUSTE DE CAPACIDAD

Ecuación 12-6

$$c \text{ (basic freeway segment)} = 2,200 + 10 \times (FFS_{adj} - 50)$$

Ecuación 12-7

$$c \text{ (multilane highway segment)} = 1,900 + 20 \times (FFS_{adj} - 45)$$

$$c := 1900 + 20 \cdot (FFS_{ADJ} - 45) = 1918.248 \text{ pc/h/ln}$$

pc/h/ln = Passenger cars per hour per lane

Dado que se considera el tramo bajo condiciones ideales:

$$c_{ADJ} := c$$

4. AJUSTE DEMANDA DE VOLUMEN

Ecuación 12-9

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV}}$$

where

v_p = demand flow rate under equivalent base conditions (pc/h/ln),

V = demand volume under prevailing conditions (veh/h),

PHF = peak hour factor (decimal),

N = number of lanes in analysis direction (ln), and

f_{HV} = adjustment factor for presence of heavy vehicles (decimal).

Número de carriles

$$N_L := 2$$

Ecuación 12-10

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

where

f_{HV} = heavy vehicle adjustment factor (decimal),

P_T = proportion of SUTs and TTs in traffic stream (decimal), and

E_T = passenger car equivalent of one heavy vehicle in the traffic stream (PCEs).

Tabla 12-25

| Passenger Car Equivalent | Terrain Type | |
|-----------------------------|--------------|---------|
| | Level | Rolling |
| E_T | 2.0 | 3.0 |

$$E_T := 2$$

$$P_T := C_{CAMIONES} = 0.043$$

$$f_{HV} := \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1)} = 0.959$$

$$v_p := \frac{V}{PHF \cdot N_L \cdot f_{HV}} = 3307.896 \quad \text{pc/h/ln}$$

5. CÁLCULO VELOCIDAD Y DENSIDAD

Tabla 12-6

| Parameter | Definition and Units | Basic Freeway Segments | Multilane Highway Segments |
|-------------|--|---|---|
| FFS | Base segment free-flow speed (mi/h) | Measured OR predicted with Equation 12-2 | Measured OR predicted with Equation 12-3 |
| FFS_{adj} | Adjusted free-flow speed (mi/h) | $FFS_{adj} = FFS \times SAF$ | No adjustments |
| SAF | Speed adjustment factor (decimal) | Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $SAF = 1.00$ for base conditions | 1.00 |
| c | Base segment capacity (pc/h/ln) | $c = 2,200 + 10(FFS - 50)$ $c \leq 2,400$ $55 \leq FFS \leq 75$ | $c = 1,900 + 20(FFS - 45)$ $c \leq 2,300$ $45 \leq FFS \leq 70$ |
| c_{adj} | Adjusted segment capacity (pc/h/ln) | $c_{adj} = c \times CAF$ | No adjustments |
| CAF | Capacity adjustment factor (decimal) | Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $CAF = 1.00$ for base conditions | 1.00 |
| D_c | Density at capacity (pc/mi/ln) | 45 | 45 |
| BP | Breakpoint (pc/h/ln) | $BP_{adj} = [1,000 + 40 \times (75 - FFS_{adj})] \times CAF^2$ | 1,400 |
| a | Exponent calibration parameter (decimal) | 2.00 | 1.31 |

$$BP := 1400 \quad \text{pc/h/ln}$$

Ecuación 12-1

$$S = FFS_{adj} \quad v_p \leq BP$$

$$S = FFS_{adj} - \frac{\left(FFS_{adj} - \frac{c_{adj}}{D_c} \right) (v_p - BP)^a}{(c_{adj} - BP)^a} \quad BP < v_p \leq c$$

if ($v_p < BP$, “Cumple, S1”, “No cumple”) = “No cumple”

if ($v_p < BP < c$, “Cumple, S2”, “No cumple”) = “No cumple”

if ($v_p > c$, “Cumple”, “No cumple”) = “Cumple”

$$S_1 := FFS_{ADJ}$$

$$S_2 := FFS_{ADJ} - \frac{\left(FFS_{ADJ} - \frac{c_{ADJ}}{45} \right) (v_p - BP)^{1.31}}{(c_{ADJ} - BP)^{1.31}} = 27.8$$

Dado que ninguna de las primeras dos condiciones cumplen, se demuestra que la demanda supera la capacidad. De igual manera se procede a la siguiente ecuación para comprobar el nivel de servicio F por medio de la gráfica y valores.

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

where

D = density (pc/mi/ln),

v_P = demand flow rate (pc/h/ln), and

S = mean speed of traffic stream under base conditions (mi/h).

Ecuación 12-11

$$D := \frac{v_P}{S_2} = 118.989 \text{ pc/mi/ln}$$

Densidad a capacidad:

$$D_C := 45 \text{ pc/mi/ln}$$

Capacidad superada:

$$C_S := \frac{D}{D_C} = 2.644$$

Tabla 12-17

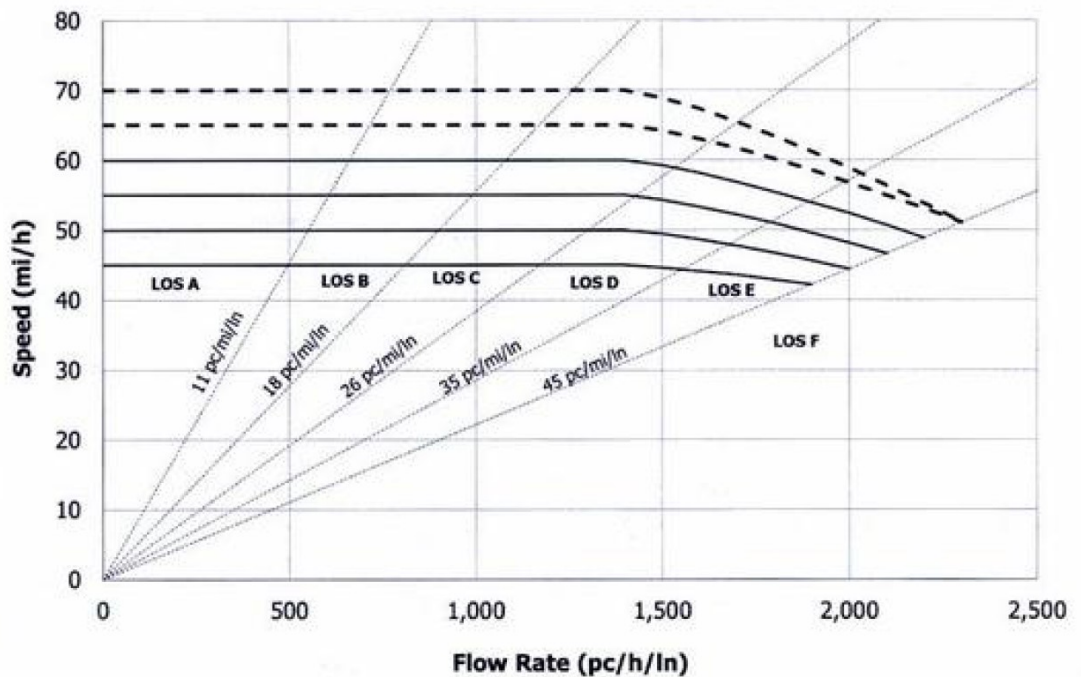


Tabla 12-15

| LOS | Density (pc/mi/ln) |
|-----|--|
| A | ≤11 |
| B | >11–18 |
| C | >18–26 |
| D | >26–35 |
| E | >35–45 |
| F | Demand exceeds capacity OR density > 45 |

Nivel de Servicio: F

HOJA DE CÁLCULO - NIVEL DE SERVICIO

TRAMO: CA-9 Norte

METODOLOGÍA: Four-Lane Highway LOS (HCM)

DATOS INICIALES

Ancho carril: $A_C := 3.70 \text{ m} = 12.139 \text{ ft}$

Longitud arcen carril derecho: $L_A := 1.90 \text{ m} = 6.234 \text{ ft}$

Longitud mediana entre carriles: $L_M := 0.9 \text{ m} = 2.953 \text{ ft}$

Composición de tránsito % (camiones): $C_{CAMIONES} := 13.13\%$

Puntos de accesos $P_A := 2$

CONSIDERACIONES:

- Se asume que el tráfico es de usuarios regulares.
- Se asume el tramo desde el limite municipal del Municipio de Guatemala hasta la fábrica de Megaproductos en Azacualpilla donde culmina un tercer carril, 3.60 kilómetros de longitud.
- Se asume que el tramo opera bajo condiciones ideales: sin accidentes, trabajos en obra o problemas climáticos.
- Se considera como punto de acceso a retornos en U y toda vía o calle que incorpore vehículos en el tramo analizado, únicamente en dirección hacia la ciudad.

CONTEO VEHICULAR

Los datos a continuación pertenecen a conteos vehiculares promediados del año 2019.

| Atlántico km16.5 | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|------------|-----------------------|------------|------------|--------------|---------------------|---------------|-------|
| Hora | Modo de Transporte | | | | | | | | Total |
| | Livianos | Urbano | Buses Extra Urbano | Escolar | Bicicletas | Motos | Camiones Trailer | | |
| 5.00 a 6.00 | 1029 | 28 | 43 | 20 | 1 | 252 | 118 | 1,491 | |
| 6.00 a 7.00 | 849 | 29 | 42 | 6 | 3 | 346 | 59 | 1,334 | |
| 7.00 a 8.00 | 1088 | 28 | 49 | 6 | 1 | 384 | 92 | 1,647 | |
| 8.00 a 9.00 | 1164 | 30 | 37 | 2 | 2 | 319 | 224 | 1,778 | |
| 9.00 a 10.00 | 1006 | 24 | 39 | 5 | 3 | 183 | 290 | 1,549 | |
| 10.00 a 11.00 | 885 | 14 | 65 | 5 | 3 | 322 | 394 | 1,688 | |
| 11.00 a 12.00 | 923 | 10 | 67 | 6 | 5 | 321 | 331 | 1,663 | |
| Total mañana | 6,944 | 163 | 341 | 50 | 18 | 2,127 | 1,508 | 11,150 | |
| 12.00 a 13.00 | 1070 | 17 | 69 | 18 | 4 | 295 | 357 | 1,828 | |
| 13.00 a 14.00 | 1118 | 18 | 66 | 20 | 3 | 301 | 326 | 1,852 | |
| 14.00 a 15.00 | 952 | 14 | 56 | 8 | 2 | 294 | 351 | 1,676 | |
| Total medio día | 3,140 | 48 | 191 | 46 | 9 | 890 | 1,034 | 5,356 | |
| 15.00 a 16.00 | 1280 | 18 | 47 | 2 | 5 | 278 | 449 | 2,079 | |
| 16.00 a 17.00 | 1444 | 16 | 53 | 4 | 8 | 298 | 306 | 2,129 | |
| 17.00 a 18.00 | 1379 | 13 | 61 | 2 | 4 | 332 | 103 | 1,893 | |
| Total tarde | 4,103 | 47 | 161 | 8 | 17 | 908 | 858 | 6,101 | |
| 18.00 a 19.00 | 1312 | 17 | 43 | 3 | 3 | 356 | 70 | 1,804 | |
| 19.00 a 20.00 | 1240 | 16 | 39 | 3 | 2 | 236 | 76 | 1,611 | |
| 20.00 a 21.00 | 1166 | 15 | 37 | 3 | 1 | 222 | 71 | 1,514 | |
| Total noche | 3,718 | 47 | 119 | 9 | 6 | 814 | 217 | 4,929 | |
| Total todo el día | 17,904 | 304 | 811 | 112 | 49 | 4,738 | 3,616 | 27,535 | |
| Porcentaje | 65.02% | 1.10% | 2.95% | 0.41% | 0.18% | 17.21% | 13.13% | 100.00% | |

FUENTE: Municipalidad de Guatemala, Dirección de Movilidad Urbana.

1. CÁLCULO VOLÚMENES HORA PICO

1. Volumen de demanda hora pico

Volumen hora pico (veh/h): $V := 2129$

Volumen periodo: $V_3 := 2079 + V + 1893 = 6101$

Dado que los intervalos de tiempo del conteo son por cada hora, el volumen del periodo pico se considerará una hora anterior y posterior a la hora pico para contar con un período de tres horas.

Ecuación 4-1

$$PHF = \frac{\text{hourly volume}}{\text{peak flow rate (within the hour)}}$$

Factor hora pico: $PHF := \frac{V_3}{3 \cdot V} = 0.955$

2. CÁLCULO VELOCIDAD DE FLUJO LIBRE

Ecuación 12-3

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{TLC} - f_M - f_A$$

where

FFS = free-flow speed of the multilane highway segment (mi/h);

$BFFS$ = base FFS for the multilane highway segment (mi/h);

f_{LW} = adjustment for lane width, from Exhibit 12-20 (mi/h);

f_{TLC} = adjustment for total lateral clearance, from Exhibit 12-22 (mi/h);

f_M = adjustment for median type, from Exhibit 12-23 (mi/h); and

f_A = adjustment for access point density, from Exhibit 12-24 (mi/h).

Se considera una velocidad base de 80 km/h, equivalente a 50 mi/h.

$$BFFS := 50$$

Tabla 12-20

| Average Lane Width (ft) | Reduction in FFS, f_{LW} (mi/h) |
|-------------------------|-----------------------------------|
| ≥ 12 | 0.0 |
| $\geq 11-12$ | 1.9 |
| $\geq 10-11$ | 6.6 |

$$A_C = 12.139 \text{ ft}$$

$$f_{LW} := 0$$

$$TLC = LC_R + LC_L$$

where

Ecuación 12-4

TLC = total lateral clearance (ft) (maximum value 12 ft),

LC_R = right-side lateral clearance (ft) (maximum value 6 ft), and

LC_L = left-side lateral clearance (ft) (maximum value 6 ft).

$$LC_R := L_A$$

$$LC_L := L_M$$

$$TLC := LC_R + LC_L = 9.186 \text{ ft}$$

Tabla 12-22

| Four-Lane Highways | | | Six-Lane Highways | | |
|--------------------|------------------------------------|--|-------------------|------------------------------------|--|
| TLC (ft) | Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h) | | TLC (ft) | Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h) | |
| 12 | 0.0 | | 12 | 0.0 | |
| 10 | 0.4 | | 10 | 0.4 | |
| 8 | 0.9 | | 8 | 0.9 | |
| 6 | 1.3 | | 6 | 1.3 | |
| 4 | 1.8 | | 4 | 1.7 | |
| 2 | 3.6 | | 2 | 2.8 | |
| 0 | 5.4 | | 0 | 3.9 | |

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

Interpolación

$$f_{TLC} := 0.9 + \left(\frac{0.4 - 0.9}{10 - 8} \right) (9.186 - 8) = 0.604$$

Tabla 12-23

| Median Type | Reduction in FFS, f_M (mi/h) |
|-------------|--------------------------------|
| Undivided | 1.6 |
| TWLTL | 0.0 |
| Divided | 0.0 |

$$f_M := 0$$

Tabla 12-24

| Access Point Density (access points/mi) | Reduction in FFS, f_A (mi/h) |
|---|--------------------------------|
| 0 | 0.0 |
| 10 | 2.5 |
| 20 | 5.0 |
| 30 | 7.5 |
| ≥40 | 10.0 |

$$P_A = 2$$

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

Interpolación

$$f_A := 0 + \left(\frac{2.5 - 0}{10 - 0} \right) (2 - 0) = 0.5$$

$$FFS := BFFS - f_{LW} - f_{TLC} - f_M - f_A = 48.897 \text{ mi/h}$$

Dado que se considera el tramo bajo condiciones ideales:

$$FFS_{ADJ} := FFS$$

3. AJUSTE DE CAPACIDAD

Ecuación 12-6

$$c \text{ (basic freeway segment)} = 2,200 + 10 \times (FFS_{adj} - 50)$$

Ecuación 12-7

$$c \text{ (multilane highway segment)} = 1,900 + 20 \times (FFS_{adj} - 45)$$

$$c := 1900 + 20 \cdot (FFS_{ADJ} - 45) = 1977.93 \text{ pc/h/ln}$$

pc/h/ln = Passenger cars per hour per lane

Dado que se considera el tramo bajo condiciones ideales:

$$c_{ADJ} := c$$

4. AJUSTE DEMANDA DE VOLUMEN

Ecuación 12-9

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV}}$$

where

v_p = demand flow rate under equivalent base conditions (pc/h/ln),

V = demand volume under prevailing conditions (veh/h),

PHF = peak hour factor (decimal),

N = number of lanes in analysis direction (ln), and

f_{HV} = adjustment factor for presence of heavy vehicles (decimal).

Número de carriles

$$N_L := 2$$

Ecuación 12-10

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

where

f_{HV} = heavy vehicle adjustment factor (decimal),

P_T = proportion of SUTs and TTs in traffic stream (decimal), and

E_T = passenger car equivalent of one heavy vehicle in the traffic stream (PCEs).

Tabla 12-25

| Passenger Car Equivalent | Terrain Type | |
|--------------------------|--------------|---------|
| | Level | Rolling |
| E_T | 2.0 | 3.0 |

$$E_T := 2$$

$$P_T := C_{CAMIONES} = 0.131$$

$$f_{HV} := \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1)} = 0.884$$

$$v_p := \frac{V}{PHF \cdot N_L \cdot f_{HV}} = 1260.722 \quad \text{pc/h/ln}$$

5. CÁLCULO VELOCIDAD Y DENSIDAD

Tabla 12-6

| Parameter | Definition and Units | Basic Freeway Segments | Multilane Highway Segments |
|-------------|--|---|---|
| FFS | Base segment free-flow speed (mi/h) | Measured OR predicted with Equation 12-2 | Measured OR predicted with Equation 12-3 |
| FFS_{adj} | Adjusted free-flow speed (mi/h) | $FFS_{adj} = FFS \times SAF$ | No adjustments |
| SAF | Speed adjustment factor (decimal) | Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $SAF = 1.00$ for base conditions | 1.00 |
| c | Base segment capacity (pc/h/ln) | $c = 2,200 + 10(FFS - 50)$ $c \leq 2,400$ $55 \leq FFS \leq 75$ | $c = 1,900 + 20(FFS - 45)$ $c \leq 2,300$ $45 \leq FFS \leq 70$ |
| c_{adj} | Adjusted segment capacity (pc/h/ln) | $c_{adj} = c \times CAF$ | No adjustments |
| CAF | Capacity adjustment factor (decimal) | Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $CAF = 1.00$ for base conditions | 1.00 |
| D_c | Density at capacity (pc/mi/ln) | 45 | 45 |
| BP | Breakpoint (pc/h/ln) | $BP_{adj} = [1,000 + 40 \times (75 - FFS_{adj})] \times CAF^2$ | 1,400 |
| a | Exponent calibration parameter (decimal) | 2.00 | 1.31 |

$$BP := 1400 \quad \text{pc/h/ln}$$

Ecuación 12-1

$$S = FFS_{adj} \quad v_p \leq BP$$

$$S = FFS_{adj} - \frac{\left(FFS_{adj} - \frac{c_{adj}}{D_c} \right) (v_p - BP)^a}{(c_{adj} - BP)^a} \quad BP < v_p \leq c$$

if ($v_p < BP$, “Cumple, S1”, “No cumple”) = “Cumple, S1”

if ($v_p < BP < c$, “Cumple, S2”, “No cumple”) = “Cumple, S2”

if ($v_p > c$, “Cumple”, “No cumple”) = “No cumple”

$$S_1 := FFS_{ADJ}$$

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

where

D = density (pc/mi/ln),

v_p = demand flow rate (pc/h/ln), and

S = mean speed of traffic stream under base conditions (mi/h).

Ecuación 12-11

$$D := \frac{v_p}{S_1} = 25.783 \quad \text{pc/mi/ln}$$

Densidad a capacidad:

$$D_C := 45 \quad \text{pc/mi/ln}$$

Capacidad superada:

$$C_S := \frac{D}{D_C} = 0.573$$

Tabla 12-17

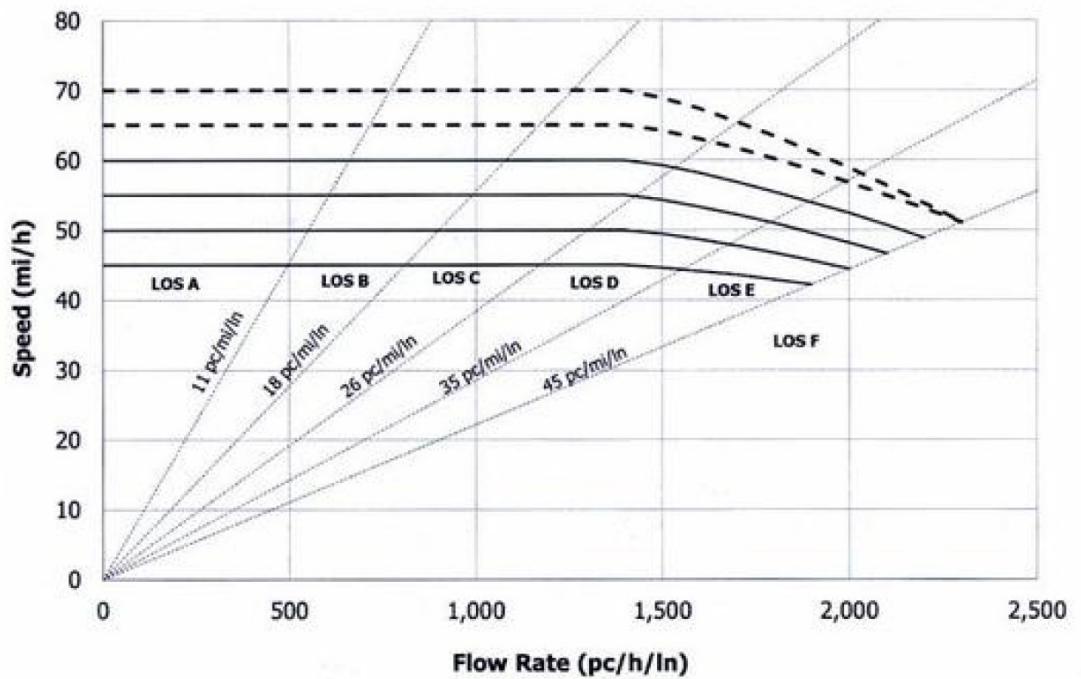


Tabla 12-15

| LOS | Density (pc/mi/ln) |
|-----|--|
| A | ≤ 11 |
| B | > 11–18 |
| C | > 18–26 |
| D | > 26–35 |
| E | > 35–45 |
| F | Demand exceeds capacity OR density > 45 |

Nivel de Servicio: C

HOJA DE CÁLCULO - NIVEL DE SERVICIO

TRAMO: CA-9 Sur
 METODOLOGÍA: Multilane Highway Segment LOS (HCM)

DATOS INICIALES

Ancho carril: $A_C := 3.35 \text{ m} = 10.991 \text{ ft}$
 Longitud arcen carril derecho: $L_A := 2.45 \text{ m}$
 Longitud mediana entre carriles: $L_M := 3.75 \text{ m} = 12.303 \text{ ft}$
 Composición de tránsito % (camiones): $C_{CAMIONES} := 7.55\%$
 Puntos de accesos $P_A := 1$

CONSIDERACIONES:

- Se asume que el tráfico es de usuarios regulares.
- Se asume el tramo desde el límite municipal del Municipio de Guatemala hasta la fábrica de Purina donde se reduce de 4 a 3 carriles, 1.12 kilómetros de longitud.
- Se asume que el tramo opera bajo condiciones ideales: sin accidentes, trabajos en obra o problemas climáticos.
- Se considera como punto de acceso a retornos en U y toda vía o calle que incorpore vehículos en el tramo analizado, únicamente en dirección hacia la ciudad.

CONTEO VEHICULAR

Los datos a continuación pertenecen a conteos vehiculares promediados del año 2019.

| Aguilar Batres 44c | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|--------------|-----------------------|------------|------------|---------------|---------------------|----------------|-------|
| Hora | Modo de Transporte | | | | | | | | Total |
| | Livianos | Urbano | Buses Extra Urbano | Escolar | Bicicletas | Motos | Camiones Trailer | | |
| 5.00 a 6.00 | 7371 | 76 | 41 | 56 | 9 | 1121 | 240 | 8,914 | |
| 6.00 a 7.00 | 5164 | 100 | 30 | 92 | 18 | 2582 | 181 | 8,167 | |
| 7.00 a 8.00 | 4981 | 92 | 14 | 18 | 10 | 4360 | 214 | 9,688 | |
| 8.00 a 9.00 | 6322 | 70 | 16 | 10 | 9 | 2542 | 322 | 9,291 | |
| 9.00 a 10.00 | 3534 | 64 | 12 | 4 | 13 | 1839 | 1207 | 6,670 | |
| 10.00 a 11.00 | 3377 | 68 | 23 | 4 | 2 | 1297 | 1097 | 5,868 | |
| 11.00 a 12.00 | 3469 | 60 | 22 | 4 | 2 | 1267 | 1077 | 5,901 | |
| Total mañana | 34,217 | 530 | 158 | 188 | 63 | 15,007 | 4,338 | 54,499 | |
| 12.00 a 13.00 | 3548 | 53 | 14 | 8 | 0 | 1168 | 920 | 5,709 | |
| 13.00 a 14.00 | 3686 | 58 | 20 | 38 | 0 | 1119 | 871 | 5,792 | |
| 14.00 a 15.00 | 3792 | 55 | 22 | 42 | 1 | 1361 | 886 | 6,157 | |
| Total medio día | 11,025 | 166 | 56 | 87 | 1 | 3,648 | 2,677 | 17,658 | |
| 15.00 a 16.00 | 3901 | 45 | 21 | 56 | 5 | 1397 | 663 | 6,088 | |
| 16.00 a 17.00 | 4823 | 65 | 31 | 38 | 7 | 2026 | 429 | 7,419 | |
| 17.00 a 18.00 | 4816 | 86 | 24 | 13 | 8 | 3001 | 184 | 8,131 | |
| Total tarde | 13,540 | 196 | 76 | 107 | 20 | 6,424 | 1,276 | 21,638 | |
| 18.00 a 19.00 | 5216 | 88 | 32 | 21 | 7 | 2855 | 171 | 8,400 | |
| 19.00 a 20.00 | 4682 | 59 | 41 | 4 | 4 | 1873 | 115 | 6,776 | |
| 20.00 a 21.00 | 4167 | 53 | 36 | 3 | 3 | 1667 | 102 | 6,031 | |
| Total noche | 14,065 | 200 | 109 | 28 | 14 | 6,405 | 387 | 21,207 | |
| Total todo el día | 72,847 | 1,091 | 398 | 409 | 97 | 31,483 | 8,677 | 115,001 | |
| Porcentaje | 63.34% | 0.95% | 0.35% | 0.36% | 0.08% | 27.38% | 7.55% | 100.00% | |

FUENTE: Municipalidad de Guatemala, Dirección de Movilidad Urbana.

1. CÁLCULO VOLÚMENES HORA PICO

1. Volumen de demanda hora pico

Volumen hora pico (veh/h): $V := 9688$

Volumen periodo: $V_3 := 8167 + V + 9291 = 27146$

Dado que los intervalos de tiempo del conteo son por cada hora, el volumen del periodo pico se considerará una hora anterior y posterior a la hora pico para contar con un período de tres horas.

Ecuación 4-1

$$PHF = \frac{\text{hourly volume}}{\text{peak flow rate (within the hour)}}$$

Factor hora pico: $PHF := \frac{V_3}{3 \cdot V} = 0.934$

2. CÁLCULO VELOCIDAD DE FLUJO LIBRE

Ecuación 12-3

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{TLC} - f_M - f_A$$

where

FFS = free-flow speed of the multilane highway segment (mi/h);

$BFFS$ = base FFS for the multilane highway segment (mi/h);

f_{LW} = adjustment for lane width, from Exhibit 12-20 (mi/h);

f_{TLC} = adjustment for total lateral clearance, from Exhibit 12-22 (mi/h);

f_M = adjustment for median type, from Exhibit 12-23 (mi/h); and

f_A = adjustment for access point density, from Exhibit 12-24 (mi/h).

Se considera una velocidad base de 80 km/h, equivalente a 50 mi/h.

$$BFFS := 50$$

Tabla 12-20

| Average Lane Width (ft) | Reduction in FFS, f_{LW} (mi/h) |
|-------------------------|-----------------------------------|
| ≥12 | 0.0 |
| ≥11-12 | 1.9 |
| ≥10-11 | 6.6 |

$$A_C = 10.991 \text{ ft}$$

$$f_{LW} := 6.6$$

$$TLC = LC_R + LC_L$$

where

Ecuación 12-4

TLC = total lateral clearance (ft) (maximum value 12 ft),

LC_R = right-side lateral clearance (ft) (maximum value 6 ft), and

LC_L = left-side lateral clearance (ft) (maximum value 6 ft).

$$LC_R := L_A$$

$$LC_L := L_M$$

$$TLC := LC_R + LC_L = 20.341 \text{ ft}$$

Tabla 12-22

| Four-Lane Highways | | Six-Lane Highways | |
|--------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|
| TLC (ft) | Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h) | TLC (ft) | Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h) |
| 12 | 0.0 | 12 | 0.0 |
| 10 | 0.4 | 10 | 0.4 |
| 8 | 0.9 | 8 | 0.9 |
| 6 | 1.3 | 6 | 1.3 |
| 4 | 1.8 | 4 | 1.7 |
| 2 | 3.6 | 2 | 2.8 |
| 0 | 5.4 | 0 | 3.9 |

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

$$f_{TLC} := 0$$

Tabla 12-23

| Median Type | Reduction in FFS, f_M (mi/h) |
|-------------|--------------------------------|
| Undivided | 1.6 |
| TWLT | 0.0 |
| Divided | 0.0 |

$$f_M := 0$$

Tabla 12-24

| Access Point Density (access points/mi) | Reduction in FFS, f_A (mi/h) |
|---|--------------------------------|
| 0 | 0.0 |
| 10 | 2.5 |
| 20 | 5.0 |
| 30 | 7.5 |
| ≥40 | 10.0 |

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

$$P_A = 1$$

Interpolación

$$f_A := 0 + \left(\frac{2.5 - 0}{10 - 0} \right) (1 - 0) = 0.25$$

$$FFS := BFFS - f_{LW} - f_{TLC} - f_M - f_A = 43.15 \text{ mi/h}$$

Dado que se considera el tramo bajo condiciones ideales:

$$FFS_{ADJ} := FFS$$

3. AJUSTE DE CAPACIDAD

Ecuación 12-6

Ecuación 12-7

$$c \text{ (basic freeway segment)} = 2,200 + 10 \times (FFS_{adj} - 50)$$

$$c \text{ (multilane highway segment)} = 1,900 + 20 \times (FFS_{adj} - 45)$$

$$c := 1900 + 20 \cdot (FFS_{ADJ} - 45) = 1863 \quad \text{pc/h/ln}$$

pc/h/ln = Passenger cars per hour per lane

Dado que se considera el tramo bajo condiciones ideales:

$$c_{ADJ} := c$$

4. AJUSTE DEMANDA DE VOLUMEN

Ecuación 12-9

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV}}$$

where

v_p = demand flow rate under equivalent base conditions (pc/h/ln),

V = demand volume under prevailing conditions (veh/h),

PHF = peak hour factor (decimal),

N = number of lanes in analysis direction (ln), and

f_{HV} = adjustment factor for presence of heavy vehicles (decimal).

Número de carriles

$$N_L := 3$$

Ecuación 12-10

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

where

f_{HV} = heavy vehicle adjustment factor (decimal),

P_T = proportion of SUTs and TTs in traffic stream (decimal), and

E_T = passenger car equivalent of one heavy vehicle in the traffic stream (PCEs).

Tabla 12-25

| Passenger Car Equivalent | Terrain Type | |
|--------------------------|--------------|---------|
| | Level | Rolling |
| E_T | 2.0 | 3.0 |

$$E_T := 2$$

$$P_T := C_{CAMIONES} = 0.076$$

$$f_{HV} := \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1)} = 0.93$$

$$v_p := \frac{V}{PHF \cdot N_L \cdot f_{HV}} = 3718.543 \quad \text{pc/h/ln}$$

5. CÁLCULO VELOCIDAD Y DENSIDAD

Tabla 12-6

| Parameter | Definition and Units | Basic Freeway Segments | Multilane Highway Segments |
|-------------|--|---|---|
| FFS | Base segment free-flow speed (mi/h) | Measured OR predicted with Equation 12-2 | Measured OR predicted with Equation 12-3 |
| FFS_{adj} | Adjusted free-flow speed (mi/h) | $FFS_{adj} = FFS \times SAF$ | No adjustments |
| SAF | Speed adjustment factor (decimal) | Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $SAF = 1.00$ for base conditions | 1.00 |
| c | Base segment capacity (pc/h/ln) | $c = 2,200 + 10(FFS - 50)$ $c \leq 2,400$ $55 \leq FFS \leq 75$ | $c = 1,900 + 20(FFS - 45)$ $c \leq 2,300$ $45 \leq FFS \leq 70$ |
| c_{adj} | Adjusted segment capacity (pc/h/ln) | $c_{adj} = c \times CAF$ | No adjustments |
| CAF | Capacity adjustment factor (decimal) | Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $CAF = 1.00$ for base conditions | 1.00 |
| D_c | Density at capacity (pc/mi/ln) | 45 | 45 |
| BP | Breakpoint (pc/h/ln) | $BP_{adj} = [1,000 + 40 \times (75 - FFS_{adj})] \times CAF^2$ | 1,400 |
| a | Exponent calibration parameter (decimal) | 2.00 | 1.31 |

$$BP := 1400 \quad \text{pc/h/ln}$$

Ecuación 12-1

$$S = FFS_{adj} \quad v_p \leq BP$$

$$S = FFS_{adj} - \frac{\left(FFS_{adj} - \frac{c_{adj}}{D_c} \right) (v_p - BP)^a}{(c_{adj} - BP)^a} \quad BP < v_p \leq c$$

if ($v_p < BP$, “Cumple, S1”, “No cumple”) = “No cumple”

if ($v_p < BP < c$, “Cumple, S2”, “No cumple”) = “No cumple”

if ($v_p > c$, “Cumple”, “No cumple”) = “Cumple”

$$S_1 := FFS_{ADJ}$$

$$S_2 := FFS_{ADJ} - \frac{\left(FFS_{ADJ} - \frac{c_{ADJ}}{45} \right) (v_p - BP)^{1.31}}{(c_{ADJ} - BP)^{1.31}} = 28.71$$

Dado que ninguna de las primeras dos condiciones cumplen, se demuestra que la demanda supera la capacidad. De igual manera se procede a la siguiente ecuación para comprobar el nivel de servicio F por medio de la gráfica y valores.

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

where

D = density (pc/mi/ln),

v_p = demand flow rate (pc/h/ln), and

S = mean speed of traffic stream under base conditions (mi/h).

Ecuación 12-11

$$D := \frac{v_p}{S_2} = 129.52 \quad \text{pc/mi/ln}$$

Densidad a capacidad:

$$D_C := 45 \quad \text{pc/mi/ln}$$

Capacidad superada:

$$C_S := \frac{D}{D_C} = 2.878$$

Tabla 12-17

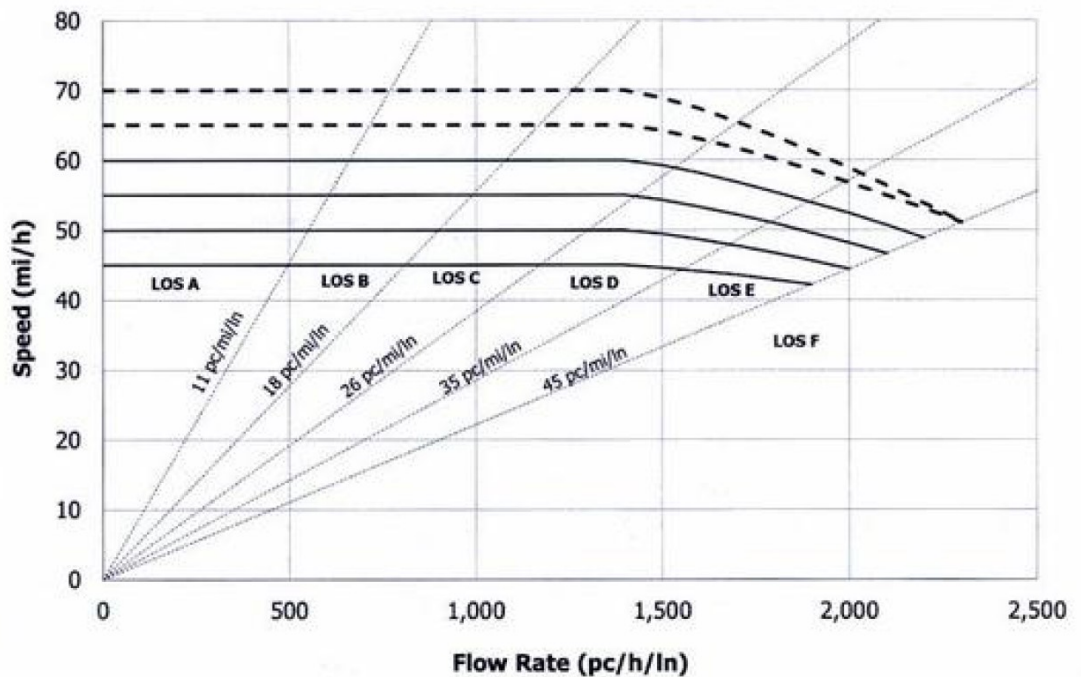


Tabla 12-15

| LOS | Density (pc/mi/ln) |
|-----|--|
| A | ≤11 |
| B | >11–18 |
| C | >18–26 |
| D | >26–35 |
| E | >35–45 |
| F | Demand exceeds capacity OR density > 45 |

Nivel de Servicio: F

HOJA DE CÁLCULO - NIVEL DE SERVICIO

TRAMO: RD GUA-1

METODOLOGÍA: Four-Lane Highway LOS (HCM)

DATOS INICIALES

Ancho carril: $A_C := 3.45 \text{ m} = 11.319 \text{ ft}$

Longitud arcen carril derecho: $L_A := 0.5 \text{ m} = 1.64 \text{ ft}$

Longitud mediana entre carriles: $L_M := 0 \text{ m} = 0 \text{ ft}$

Composición de tránsito % (camiones): $C_{CAMIONES} := 2.78\%$

Puntos de accesos $P_A := 0$

CONSIDERACIONES:

- Se asume que el tráfico es de usuarios regulares.
- Se asume el tramo desde el limite municipal del Municipio de Guatemala hasta la intersección entre la 1a Avenida y 1a Calle, 1.04 kilómetros de longitud.
- Se asume que el tramo opera bajo condiciones ideales: sin accidentes, trabajos en obra o problemas climáticos.
- Se considera como punto de acceso a retornos en U y toda vía o calle que incorpore vehículos en el tramo analizado, únicamente en dirección hacia la ciudad.

CONTEO VEHICULAR

Los datos a continuación pertenecen a conteos vehiculares promediados del año 2019.

| Hincapié | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|--------------|----------------|-------|
| Hora | Modo de Transporte | | | | | | | | Total |
| | Livianos | Buses | | Bicicletas | Motos | Camiones | | | |
| | | Urbano | Extra Urbano | Escolar | | | Trailer | | |
| 5.00 a 6.00 | 2229 | 7 | 113 | 20 | 4 | 587 | 12 | 2,972 | |
| 6.00 a 7.00 | 2825 | 7 | 99 | 7 | 2 | 1354 | 18 | 4,312 | |
| 7.00 a 8.00 | 3022 | 7 | 101 | 5 | 1 | 2342 | 19 | 5,495 | |
| 8.00 a 9.00 | 2743 | 7 | 165 | 2 | 0 | 1119 | 80 | 4,116 | |
| 9.00 a 10.00 | 1755 | 6 | 90 | 0 | 0 | 547 | 98 | 2,495 | |
| 10.00 a 11.00 | 1879 | 9 | 96 | 1 | 0 | 589 | 173 | 2,747 | |
| 11.00 a 12.00 | 1500 | 12 | 83 | 1 | 0 | 666 | 181 | 2,443 | |
| Total mañana | 15,953 | 55 | 747 | 36 | 7 | 7,204 | 581 | 24,580 | |
| 12.00 a 13.00 | 1744 | 12 | 92 | 3 | 1 | 763 | 194 | 2,808 | |
| 13.00 a 14.00 | 1485 | 11 | 74 | 9 | 1 | 565 | 182 | 2,327 | |
| 14.00 a 15.00 | 1645 | 11 | 90 | 35 | 1 | 650 | 148 | 2,578 | |
| Total medio día | 4,874 | 33 | 256 | 47 | 3 | 1,978 | 524 | 7,713 | |
| 15.00 a 16.00 | 1627 | 11 | 75 | 17 | 1 | 501 | 100 | 2,332 | |
| 16.00 a 17.00 | 2256 | 11 | 112 | 7 | 0 | 649 | 53 | 3,088 | |
| 17.00 a 18.00 | 1984 | 8 | 117 | 6 | 4 | 792 | 25 | 2,934 | |
| Total tarde | 5,867 | 30 | 304 | 30 | 5 | 1,942 | 178 | 8,354 | |
| 18.00 a 19.00 | 1484 | 6 | 90 | 0 | 0 | 812 | 13 | 2,405 | |
| 19.00 a 20.00 | 1392 | 5 | 53 | 0 | 0 | 501 | 3 | 1,954 | |
| 20.00 a 21.00 | 1295 | 5 | 49 | 0 | 0 | 466 | 3 | 1,817 | |
| Total noche | 4,171 | 16 | 191 | 0 | 0 | 1,779 | 19 | 6,175 | |
| Total todo el día | 30,863 | 133 | 1,497 | 113 | 14 | 12,902 | 1,301 | 46,822 | |
| Porcentaje | 65.92% | 0.28% | 3.20% | 0.24% | 0.03% | 27.56% | 2.78% | 100.00% | |

FUENTE: Municipalidad de Guatemala, Dirección de Movilidad Urbana.

1. CÁLCULO VOLÚMENES HORA PICO

1. Volumen de demanda hora pico

Volumen hora pico (veh/h): $V := 5495$

Volumen periodo: $V_3 := 4312 + V + 4116 = 13923$

Dado que los intervalos de tiempo del conteo son por cada hora, el volumen del periodo pico se considerará una hora anterior y posterior a la hora pico para contar con un período de tres horas.

Ecuación 4-1

$$PHF = \frac{\text{hourly volume}}{\text{peak flow rate (within the hour)}}$$

Factor hora pico: $PHF := \frac{V_3}{3 \cdot V} = 0.845$

2. CÁLCULO VELOCIDAD DE FLUJO LIBRE

Ecuación 12-3

$$FFS = BFSS - f_{LW} - f_{TLC} - f_M - f_A$$

where

FFS = free-flow speed of the multilane highway segment (mi/h);

$BFSS$ = base FFS for the multilane highway segment (mi/h);

f_{LW} = adjustment for lane width, from Exhibit 12-20 (mi/h);

f_{TLC} = adjustment for total lateral clearance, from Exhibit 12-22 (mi/h);

f_M = adjustment for median type, from Exhibit 12-23 (mi/h); and

f_A = adjustment for access point density, from Exhibit 12-24 (mi/h).

Se considera una velocidad base de 80 km/h, equivalente a 50 mi/h.

$$BFSS := 50$$

Tabla 12-20

| Average Lane Width (ft) | Reduction in FFS, f_{LW} (mi/h) |
|-------------------------|-----------------------------------|
| ≥12 | 0.0 |
| ≥11-12 | 1.9 |
| ≥10-11 | 6.6 |

$$A_C = 11.319 \text{ ft}$$

$$f_{LW} := 1.9$$

$$TLC = LC_R + LC_L$$

where

Ecuación 12-4

TLC = total lateral clearance (ft) (maximum value 12 ft),

LC_R = right-side lateral clearance (ft) (maximum value 6 ft), and

LC_L = left-side lateral clearance (ft) (maximum value 6 ft).

$$LC_R := L_A$$

$$LC_L := L_M$$

$$TLC := LC_R + LC_L = 1.64 \text{ ft}$$

Tabla 12-22

| Four-Lane Highways | | | Six-Lane Highways | | |
|--------------------|------------------------------------|--|-------------------|------------------------------------|--|
| TLC (ft) | Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h) | | TLC (ft) | Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h) | |
| 12 | 0.0 | | 12 | 0.0 | |
| 10 | 0.4 | | 10 | 0.4 | |
| 8 | 0.9 | | 8 | 0.9 | |
| 6 | 1.3 | | 6 | 1.3 | |
| 4 | 1.8 | | 4 | 1.7 | |
| 2 | 3.6 | | 2 | 2.8 | |
| 0 | 5.4 | | 0 | 3.9 | |

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

Interpolación

$$f_{TLC} := 5.4 + \left(\frac{3.6 - 5.4}{2 - 0} \right) (1.64 - 0) = 3.924$$

Tabla 12-23

| Median Type | Reduction in FFS, f_M (mi/h) |
|-------------|--------------------------------|
| Undivided | 1.6 |
| TWLTL | 0.0 |
| Divided | 0.0 |

$$f_M := 1.6$$

Tabla 12-24

| Access Point Density (access points/mi) | Reduction in FFS, f_A (mi/h) |
|--|-----------------------------------|
| 0 | 0.0 |
| 10 | 2.5 |
| 20 | 5.0 |
| 30 | 7.5 |
| ≥40 | 10.0 |

$$P_A = 0$$

$$f_A := 0$$

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

$$FFS := BFFS - f_{LW} - f_{TLC} - f_M - f_A = 42.576 \text{ mi/h}$$

Dado que se considera el tramo bajo condiciones ideales:

$$FFS_{ADJ} := FFS$$

3. AJUSTE DE CAPACIDAD

Ecuación 12-6

Ecuación 12-7

$$c \text{ (basic freeway segment)} = 2,200 + 10 \times (FFS_{adj} - 50)$$

$$c \text{ (multilane highway segment)} = 1,900 + 20 \times (FFS_{adj} - 45)$$

$$c := 1900 + 20 \cdot (FFS_{ADJ} - 45) = 1851.52 \text{ pc/h/ln}$$

pc/h/ln = Passenger cars per hour per lane

Dado que se considera el tramo bajo condiciones ideales:

$$C_{ADJ} := c$$

4. AJUSTE DEMANDA DE VOLUMEN

Ecuación 12-9

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV}}$$

where

v_p = demand flow rate under equivalent base conditions (pc/h/ln),

V = demand volume under prevailing conditions (veh/h),

PHF = peak hour factor (decimal),

N = number of lanes in analysis direction (ln), and

f_{HV} = adjustment factor for presence of heavy vehicles (decimal).

Número de carriles

$$N_L := 2$$

Ecuación 12-10

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

where

f_{HV} = heavy vehicle adjustment factor (decimal),

P_T = proportion of SUTs and TTs in traffic stream (decimal), and

E_T = passenger car equivalent of one heavy vehicle in the traffic stream (PCEs).

Tabla 12-25

| Passenger Car Equivalent | Terrain Type | |
|--------------------------|--------------|---------|
| | Level | Rolling |
| E_T | 2.0 | 3.0 |

$$E_T := 2$$

$$P_T := C_{CAMIONES} = 0.028$$

$$f_{HV} := \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1)} = 0.973$$

$$v_p := \frac{V}{PHF \cdot N_L \cdot f_{HV}} = 3343.509 \quad \text{pc/h/ln}$$

5. CÁLCULO VELOCIDAD Y DENSIDAD

Tabla 12-6

| Parameter | Definition and Units | Basic Freeway Segments | Multilane Highway Segments |
|-------------|--|---|---|
| FFS | Base segment free-flow speed (mi/h) | Measured OR predicted with Equation 12-2 | Measured OR predicted with Equation 12-3 |
| FFS_{adj} | Adjusted free-flow speed (mi/h) | $FFS_{adj} = FFS \times SAF$ | No adjustments |
| SAF | Speed adjustment factor (decimal) | Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $SAF = 1.00$ for base conditions | 1.00 |
| c | Base segment capacity (pc/h/ln) | $c = 2,200 + 10(FFS - 50)$ $c \leq 2,400$ $55 \leq FFS \leq 75$ | $c = 1,900 + 20(FFS - 45)$ $c \leq 2,300$ $45 \leq FFS \leq 70$ |
| c_{adj} | Adjusted segment capacity (pc/h/ln) | $c_{adj} = c \times CAF$ | No adjustments |
| CAF | Capacity adjustment factor (decimal) | Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $CAF = 1.00$ for base conditions | 1.00 |
| D_c | Density at capacity (pc/mi/ln) | 45 | 45 |
| BP | Breakpoint (pc/h/ln) | $BP_{adj} = [1,000 + 40 \times (75 - FFS_{adj})] \times CAF^2$ | 1,400 |
| a | Exponent calibration parameter (decimal) | 2.00 | 1.31 |

$$BP := 1400 \quad \text{pc/h/ln}$$

Ecuación 12-1

$$S = FFS_{adj} \quad v_p \leq BP$$

$$S = FFS_{adj} - \frac{\left(FFS_{adj} - \frac{c_{adj}}{D_c} \right) (v_p - BP)^a}{(c_{adj} - BP)^a} \quad BP < v_p \leq c$$

if ($v_p < BP$, “Cumple, S1”, “No cumple”) = “No cumple”

if ($v_p < BP < c$, “Cumple, S2”, “No cumple”) = “No cumple”

if ($v_p > c$, “Cumple”, “No cumple”) = “Cumple”

$$S_1 := FFS_{ADJ}$$

$$S_2 := FFS_{ADJ} - \frac{\left(FFS_{ADJ} - \frac{c_{ADJ}}{45} \right) (v_p - BP)^{1.31}}{(c_{ADJ} - BP)^{1.31}} = 32.891$$

Dado que ninguna de las primeras dos condiciones cumplen, se demuestra que la demanda supera la capacidad. De igual manera se procede a la siguiente ecuación para comprobar el nivel de servicio F por medio de la gráfica y valores.

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

where

D = density (pc/mi/ln),

v_p = demand flow rate (pc/h/ln), and

S = mean speed of traffic stream under base conditions (mi/h).

Ecuación 12-11

$$D := \frac{v_p}{S_2} = 101.654 \text{ pc/mi/ln}$$

Densidad a capacidad:

$$D_C := 45 \text{ pc/mi/ln}$$

Capacidad superada:

$$C_S := \frac{D}{D_C} = 2.259$$

Tabla 12-17

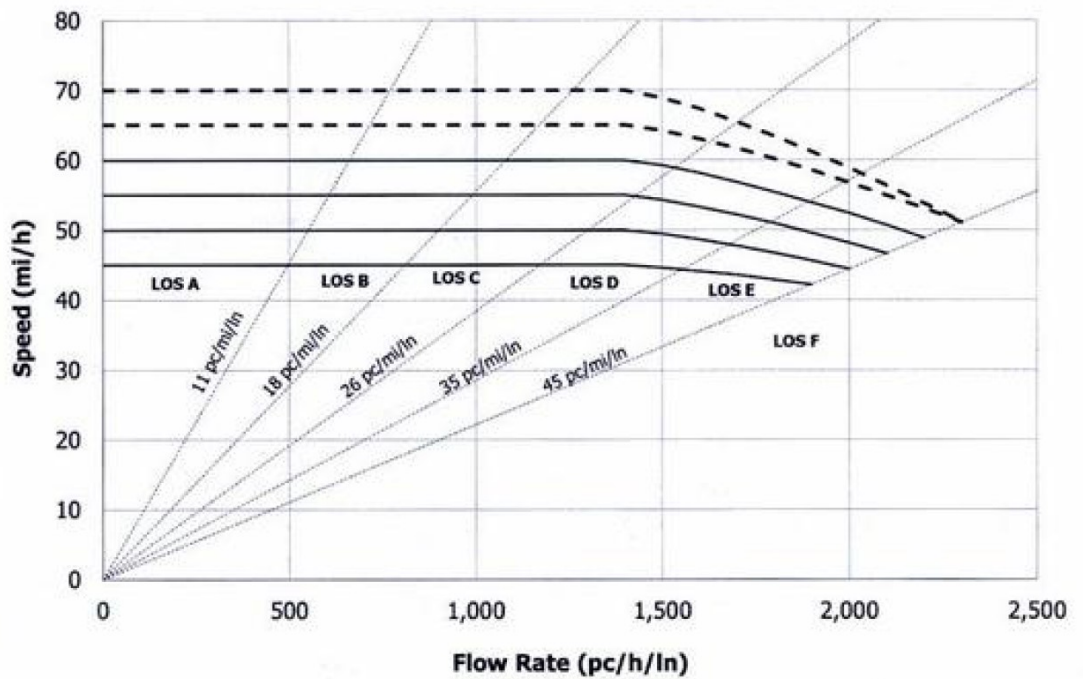


Tabla 12-15

| LOS | Density (pc/mi/ln) |
|-----|--|
| A | ≤11 |
| B | >11–18 |
| C | >18–26 |
| D | >26–35 |
| E | >35–45 |
| F | Demand exceeds capacity OR density > 45 |

Nivel de Servicio: F

HOJA DE CÁLCULO - NIVEL DE SERVICIO

TRAMO: RD GUA-4
 METODOLOGÍA: Four-Lane Highway LOS (HCM)

DATOS INICIALES

Ancho carril: $A_C := 4.10 \text{ m} = 13.451 \text{ ft}$
 Longitud arcen carril derecho: $L_A := 1.25 \text{ m} = 4.101 \text{ ft}$
 Longitud mediana entre carriles: $L_M := 0 \text{ m} = 0 \text{ ft}$
 Composición de tránsito % (camiones): $C_{CAMIONES} := 1.77\%$
 Puntos de accesos $P_A := 3$

CONSIDERACIONES:

- Se asume que el tráfico es de usuarios regulares.
- Se asume el tramo desde el limite municipal del Municipio de Guatemala hasta las canchas alternas Cementos Progreso, donde disminuye de 2 carriles a 1 carril en dirección a la ciudad, 0.84 kilómetros de longitud.
- Se asume que el tramo opera bajo condiciones ideales: sin accidentes, trabajos en obra o problemas climáticos.
- Se considera como punto de acceso a retornos en U y toda vía o calle que incorpore vehículos en el tramo analizado, únicamente en dirección hacia la ciudad.

CONTEO VEHICULAR

Los datos a continuación pertenecen a conteos vehiculares promediados del año 2019.

| Chinautla | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|------------|--------------|------------|------------|---------------|------------|---------------|-------|
| Hora | Modo de Transporte | | | | | | | | Total |
| | Livianos | Urbano | Buses | | Bicicletas | Motos | Camiones | Trailer | |
| | | | Extra Urbano | Escolar | | | | | |
| 5.00 a 6.00 | 1502 | 25 | 7 | 66 | 16 | 698 | 27 | 2,341 | |
| 6.00 a 7.00 | 2166 | 38 | 9 | 27 | 8 | 1219 | 15 | 3,482 | |
| 7.00 a 8.00 | 1699 | 22 | 4 | 21 | 9 | 1304 | 32 | 3,089 | |
| 8.00 a 9.00 | 1357 | 33 | 7 | 5 | 10 | 643 | 34 | 2,089 | |
| 9.00 a 10.00 | 1041 | 34 | 2 | 3 | 12 | 386 | 57 | 1,533 | |
| 10.00 a 11.00 | 1025 | 34 | 6 | 5 | 11 | 388 | 50 | 1,519 | |
| 11.00 a 12.00 | 1094 | 39 | 10 | 7 | 30 | 336 | 61 | 1,577 | |
| Total mañana | 9,883 | 225 | 45 | 134 | 95 | 4,974 | 275 | 15,630 | |
| 12.00 a 13.00 | 1121 | 35 | 14 | 23 | 15 | 350 | 69 | 1,625 | |
| 13.00 a 14.00 | 1164 | 26 | 11 | 41 | 10 | 365 | 59 | 1,676 | |
| 14.00 a 15.00 | 1067 | 43 | 5 | 44 | 12 | 374 | 64 | 1,608 | |
| Total medio día | 3,352 | 104 | 30 | 108 | 37 | 1,089 | 192 | 4,909 | |
| 15.00 a 16.00 | 1223 | 62 | 7 | 51 | 15 | 520 | 55 | 1,933 | |
| 16.00 a 17.00 | 1400 | 56 | 7 | 24 | 18 | 788 | 47 | 2,340 | |
| 17.00 a 18.00 | 1810 | 42 | 9 | 11 | 29 | 1020 | 26 | 2,946 | |
| Total tarde | 4,433 | 160 | 23 | 86 | 62 | 2,328 | 128 | 7,219 | |
| 18.00 a 19.00 | 2259 | 58 | 11 | 8 | 50 | 1240 | 18 | 3,644 | |
| 19.00 a 20.00 | 1791 | 131 | 7 | 2 | 27 | 891 | 19 | 2,867 | |
| 20.00 a 21.00 | 1415 | 103 | 6 | 2 | 21 | 703 | 15 | 2,265 | |
| Total noche | 5,465 | 292 | 24 | 12 | 98 | 2,834 | 51 | 8,776 | |
| Total todo el día | 23,132 | 781 | 121 | 338 | 292 | 11,224 | 645 | 36,533 | |
| Porcentaje | 63.32% | 2.14% | 0.33% | 0.93% | 0.80% | 30.72% | 1.77% | 100.00% | |

FUENTE: Municipalidad de Guatemala, Dirección de Movilidad Urbana.

1. CÁLCULO VOLÚMENES HORA PICO

1. Volumen de demanda hora pico

Volumen hora pico (veh/h): $V := 3482$

Volumen periodo: $V_3 := 2341 + V + 3089 = 8912$

Dado que los intervalos de tiempo del conteo son por cada hora, el volumen del periodo pico se considerará una hora anterior y posterior a la hora pico para contar con un período de tres horas.

Ecuación 4-1

$$PHF = \frac{\text{hourly volume}}{\text{peak flow rate (within the hour)}}$$

Factor hora pico: $PHF := \frac{V_3}{3 \cdot V} = 0.853$

2. CÁLCULO VELOCIDAD DE FLUJO LIBRE

Ecuación 12-3

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{TLC} - f_M - f_A$$

where

FFS = free-flow speed of the multilane highway segment (mi/h);

$BFFS$ = base FFS for the multilane highway segment (mi/h);

f_{LW} = adjustment for lane width, from Exhibit 12-20 (mi/h);

f_{TLC} = adjustment for total lateral clearance, from Exhibit 12-22 (mi/h);

f_M = adjustment for median type, from Exhibit 12-23 (mi/h); and

f_A = adjustment for access point density, from Exhibit 12-24 (mi/h).

Se considera una velocidad base de 80 km/h, equivalente a 50 mi/h.

$$BFFS := 50$$

Tabla 12-20

| Average Lane Width (ft) | Reduction in FFS, f_{LW} (mi/h) |
|-------------------------|-----------------------------------|
| ≥12 | 0.0 |
| ≥11-12 | 1.9 |
| ≥10-11 | 6.6 |

$$A_C = 13.451 \text{ ft}$$

$$f_{LW} := 0$$

$$TLC = LC_R + LC_L$$

where

Ecuación 12-4

TLC = total lateral clearance (ft) (maximum value 12 ft),

LC_R = right-side lateral clearance (ft) (maximum value 6 ft), and

LC_L = left-side lateral clearance (ft) (maximum value 6 ft).

$$LC_R := L_A$$

$$LC_L := L_M$$

$$TLC := LC_R + LC_L = 4.101 \text{ ft}$$

Tabla 12-22

| Four-Lane Highways | | | Six-Lane Highways | | |
|--------------------|------------------------------------|--|-------------------|------------------------------------|--|
| TLC (ft) | Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h) | | TLC (ft) | Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h) | |
| 12 | 0.0 | | 12 | 0.0 | |
| 10 | 0.4 | | 10 | 0.4 | |
| 8 | 0.9 | | 8 | 0.9 | |
| 6 | 1.3 | | 6 | 1.3 | |
| 4 | 1.8 | | 4 | 1.7 | |
| 2 | 3.6 | | 2 | 2.8 | |
| 0 | 5.4 | | 0 | 3.9 | |

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

Interpolación

$$f_{TLC} := 1.8 + \left(\frac{1.3 - 1.8}{6 - 4} \right) (4.101 - 4) = 1.775$$

Tabla 12-23

| Median Type | Reduction in FFS, f_M (mi/h) |
|-------------|--------------------------------|
| Undivided | 1.6 |
| TWLT | 0.0 |
| Divided | 0.0 |

$$f_M := 1.6$$

Tabla 12-24

| Access Point Density (access points/mi) | Reduction in FFS, f_A (mi/h) |
|---|--------------------------------|
| 0 | 0.0 |
| 10 | 2.5 |
| 20 | 5.0 |
| 30 | 7.5 |
| ≥40 | 10.0 |

$$P_A = 3$$

$$f_A := 0$$

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

Interpolación

$$f_A := 0 + \left(\frac{2.5 - 0}{10 - 0} \right) (3 - 0) = 0.75$$

$$FFS := BFFS - f_{LW} - f_{TLC} - f_M - f_A = 45.875 \text{ mi/h}$$

Dado que se considera el tramo bajo condiciones ideales:

$$FFS_{ADJ} := FFS$$

3. AJUSTE DE CAPACIDAD

Ecuación 12-6

Ecuación 12-7

$$c \text{ (basic freeway segment)} = 2,200 + 10 \times (FFS_{adj} - 50)$$

$$c \text{ (multilane highway segment)} = 1,900 + 20 \times (FFS_{adj} - 45)$$

$$c := 1900 + 20 \cdot (FFS_{ADJ} - 45) = 1917.505 \text{ pc/h/ln}$$

pc/h/ln = Passenger cars per hour per lane

Dado que se considera el tramo bajo condiciones ideales:

$$C_{ADJ} := c$$

4. AJUSTE DEMANDA DE VOLUMEN

Ecuación 12-9

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV}}$$

where

v_p = demand flow rate under equivalent base conditions (pc/h/ln),

V = demand volume under prevailing conditions (veh/h),

PHF = peak hour factor (decimal),

N = number of lanes in analysis direction (ln), and

f_{HV} = adjustment factor for presence of heavy vehicles (decimal).

Número de carriles

$$N_L := 2$$

Ecuación 12-10

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

where

f_{HV} = heavy vehicle adjustment factor (decimal),

P_T = proportion of SUTs and TTs in traffic stream (decimal), and

E_T = passenger car equivalent of one heavy vehicle in the traffic stream (PCEs).

Tabla 12-25

| Passenger Car Equivalent | Terrain Type | |
|-----------------------------|--------------|---------|
| | Level | Rolling |
| E_T | 2.0 | 3.0 |

$$E_T := 2$$

$$P_T := C_{CAMIONES} = 0.018$$

$$f_{HV} := \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1)} = 0.983$$

$$v_p := \frac{V}{PHF \cdot N_L \cdot f_{HV}} = 2076.794 \quad \text{pc/h/ln}$$

5. CÁLCULO VELOCIDAD Y DENSIDAD

Tabla 12-6

| Parameter | Definition and Units | Basic Freeway Segments | Multilane Highway Segments |
|-------------|--|---|---|
| FFS | Base segment free-flow speed (mi/h) | Measured OR predicted with Equation 12-2 | Measured OR predicted with Equation 12-3 |
| FFS_{adj} | Adjusted free-flow speed (mi/h) | $FFS_{adj} = FFS \times SAF$ | No adjustments |
| SAF | Speed adjustment factor (decimal) | Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $SAF = 1.00$ for base conditions | 1.00 |
| c | Base segment capacity (pc/h/ln) | $c = 2,200 + 10(FFS - 50)$ $c \leq 2,400$ $55 \leq FFS \leq 75$ | $c = 1,900 + 20(FFS - 45)$ $c \leq 2,300$ $45 \leq FFS \leq 70$ |
| c_{adj} | Adjusted segment capacity (pc/h/ln) | $c_{adj} = c \times CAF$ | No adjustments |
| CAF | Capacity adjustment factor (decimal) | Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $CAF = 1.00$ for base conditions | 1.00 |
| D_c | Density at capacity (pc/mi/ln) | 45 | 45 |
| BP | Breakpoint (pc/h/ln) | $BP_{adj} = [1,000 + 40 \times (75 - FFS_{adj})] \times CAF^2$ | 1,400 |
| a | Exponent calibration parameter (decimal) | 2.00 | 1.31 |

$$BP := 1400 \quad \text{pc/h/ln}$$

Ecuación 12-1

$$S = FFS_{adj} \quad v_p \leq BP$$

$$S = FFS_{adj} - \frac{\left(FFS_{adj} - \frac{c_{adj}}{D_c} \right) (v_p - BP)^a}{(c_{adj} - BP)^a} \quad BP < v_p \leq c$$

if ($v_p < BP$, “Cumple, S1”, “No cumple”) = “No cumple”

if ($v_p < BP < c$, “Cumple, S2”, “No cumple”) = “No cumple”

if ($v_p > c$, “Cumple”, “No cumple”) = “Cumple”

$$S_1 := FFS_{ADJ}$$

$$S_2 := FFS_{ADJ} - \frac{\left(FFS_{ADJ} - \frac{c_{ADJ}}{45} \right) (v_p - BP)^{1.31}}{(c_{ADJ} - BP)^{1.31}} = 41.236$$

Dado que ninguna de las primeras dos condiciones cumplen, se demuestra que la demanda supera la capacidad. De igual manera se procede a la siguiente ecuación para comprobar el nivel de servicio F por medio de la gráfica y valores.

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

where

D = density (pc/mi/ln),

v_p = demand flow rate (pc/h/ln), and

S = mean speed of traffic stream under base conditions (mi/h).

Ecuación 12-11

$$D := \frac{v_p}{S_2} = 50.363 \quad \text{pc/mi/ln}$$

Densidad a capacidad:

$$D_C := 45 \quad \text{pc/mi/ln}$$

Capacidad superada:

$$C_S := \frac{D}{D_C} = 1.119$$

Tabla 12-17

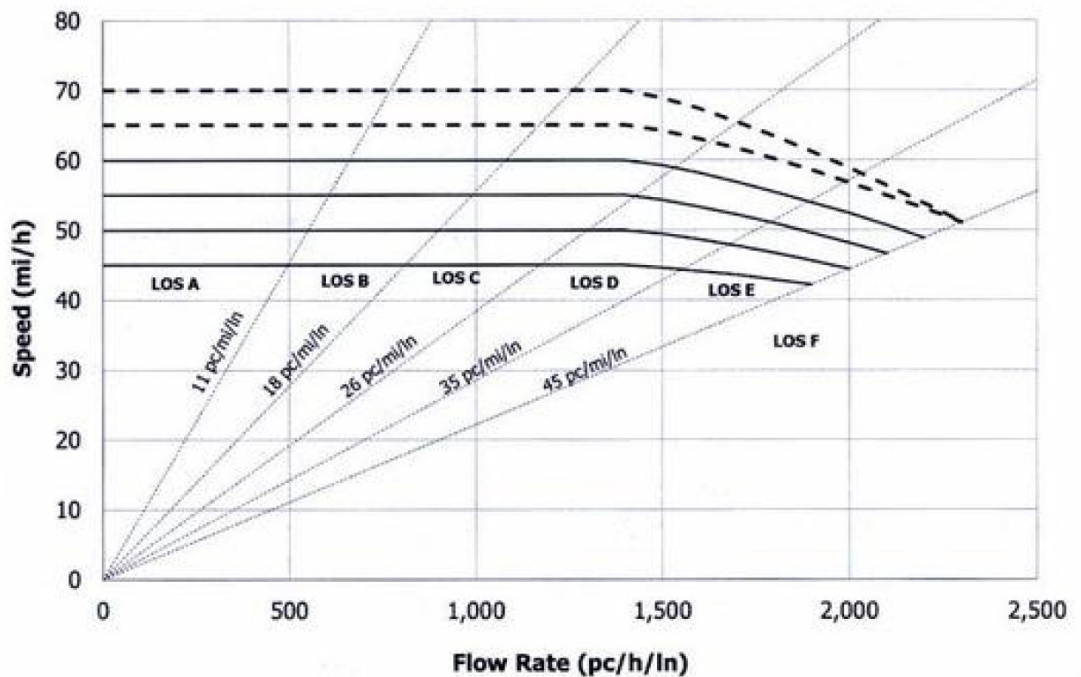


Tabla 12-15

| LOS | Density (pc/mi/ln) |
|-----|--|
| A | ≤11 |
| B | >11–18 |
| C | >18–26 |
| D | >26–35 |
| E | >35–45 |
| F | Demand exceeds capacity OR density > 45 |

Nivel de Servicio: F

HOJA DE CÁLCULO - NIVEL DE SERVICIO

TRAMO: RD GUA-14

METODOLOGÍA: Four-Lane Highway LOS (HCM)

DATOS INICIALES

Ancho carril: $A_C := 3.60 \text{ m} = 11.811 \text{ ft}$

Longitud arcan carril derecho: $L_A := 1.12 \text{ m} = 3.675 \text{ ft}$

Longitud mediana entre carriles: $L_M := 0 \text{ m} = 0 \text{ ft}$

Composición de tránsito % (camiones): $C_{CAMIONES} := 3.17\%$

Puntos de accesos $P_A := 7$

CONSIDERACIONES:

- Se asume que el tráfico es de usuarios regulares.
- Se asume el tramo desde el limite municipal del Municipio de Guatemala hasta el Centro Comercial Pacific Center Villa Hermosa, 2.47 kilómetros de longitud.
- Se asume que el tramo opera bajo condiciones ideales: sin accidentes, trabajos en obra o problemas climáticos.
- Se considera como punto de acceso a retornos en U y toda vía o calle que incorpore vehículos en el tramo analizado, únicamente en dirección hacia la ciudad.

CONTEO VEHICULAR

Los datos a continuación pertenecen a conteos vehiculares promediados del año 2019.

| Petapa | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|------------|--------------|------------|------------|---------------|------------------|---------------|--|
| Hora | Modo de Transporte | | | | | | | Total | |
| | Livianos | Urbano | Extra Urbano | Escolar | Bicicletas | Motos | Camiones Trailer | | |
| 5.00 a 6.00 | 2305 | 16 | 55 | 10 | 20 | 787 | 20 | 3,213 | |
| 6.00 a 7.00 | 2288 | 11 | 35 | 13 | 13 | 1688 | 28 | 4,076 | |
| 7.00 a 8.00 | 2195 | 21 | 37 | 6 | 13 | 1920 | 38 | 4,228 | |
| 8.00 a 9.00 | 1795 | 15 | 51 | 1 | 9 | 911 | 66 | 2,848 | |
| 9.00 a 10.00 | 1645 | 29 | 57 | 2 | 9 | 648 | 191 | 2,579 | |
| 10.00 a 11.00 | 1711 | 21 | 42 | 19 | 11 | 727 | 203 | 2,734 | |
| 11.00 a 12.00 | 1917 | 23 | 44 | 9 | 10 | 772 | 206 | 2,981 | |
| Total mañana | 13,855 | 136 | 320 | 59 | 85 | 7,452 | 752 | 22,659 | |
| 12.00 a 13.00 | 1669 | 25 | 41 | 22 | 10 | 666 | 169 | 2,600 | |
| 13.00 a 14.00 | 1891 | 21 | 39 | 26 | 6 | 696 | 171 | 2,850 | |
| 14.00 a 15.00 | 1711 | 20 | 35 | 29 | 2 | 516 | 153 | 2,464 | |
| Total medio día | 5,271 | 66 | 114 | 77 | 18 | 1,877 | 492 | 7,914 | |
| 15.00 a 16.00 | 1933 | 37 | 42 | 16 | 8 | 817 | 155 | 3,008 | |
| 16.00 a 17.00 | 2389 | 41 | 53 | 13 | 27 | 1127 | 106 | 3,756 | |
| 17.00 a 18.00 | 2492 | 27 | 60 | 5 | 18 | 2068 | 56 | 4,725 | |
| Total tarde | 6,814 | 105 | 155 | 34 | 53 | 4,012 | 317 | 11,489 | |
| 18.00 a 19.00 | 2656 | 56 | 68 | 10 | 14 | 1947 | 41 | 4,792 | |
| 19.00 a 20.00 | 1966 | 28 | 44 | 7 | 13 | 1372 | 42 | 3,471 | |
| 20.00 a 21.00 | 1455 | 20 | 33 | 5 | 9 | 1015 | 31 | 2,568 | |
| Total noche | 6,077 | 104 | 145 | 21 | 36 | 4,334 | 114 | 10,831 | |
| Total todo el día | 32,017 | 410 | 734 | 190 | 191 | 17,675 | 1,674 | 52,891 | |
| Porcentaje | 60.53% | 0.77% | 1.39% | 0.36% | 0.36% | 33.42% | 3.17% | 100.00% | |

FUENTE: Municipalidad de Guatemala, Dirección de Movilidad Urbana.

1. CÁLCULO VOLÚMENES HORA PICO

1. Volumen de demanda hora pico

Volumen hora pico (veh/h): $V := 4792$

Volumen periodo: $V_3 := 4725 + V + 3471 = 12988$

Dado que los intervalos de tiempo del conteo son por cada hora, el volumen del periodo pico se considerará una hora anterior y posterior a la hora pico para contar con un período de tres horas.

Ecuación 4-1

$$PHF = \frac{\text{hourly volume}}{\text{peak flow rate (within the hour)}}$$

Factor hora pico: $PHF := \frac{V_3}{3 \cdot V} = 0.903$

2. CÁLCULO VELOCIDAD DE FLUJO LIBRE

Ecuación 12-3

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{TLC} - f_M - f_A$$

where

FFS = free-flow speed of the multilane highway segment (mi/h);

$BFFS$ = base FFS for the multilane highway segment (mi/h);

f_{LW} = adjustment for lane width, from Exhibit 12-20 (mi/h);

f_{TLC} = adjustment for total lateral clearance, from Exhibit 12-22 (mi/h);

f_M = adjustment for median type, from Exhibit 12-23 (mi/h); and

f_A = adjustment for access point density, from Exhibit 12-24 (mi/h).

Se considera una velocidad base de 80 km/h, equivalente a 50 mi/h.

$$BFFS := 50$$

Tabla 12-20

| Average Lane Width (ft) | Reduction in FFS, f_{LW} (mi/h) |
|-------------------------|-----------------------------------|
| ≥12 | 0.0 |
| ≥11-12 | 1.9 |
| ≥10-11 | 6.6 |

$$A_C = 11.811 \text{ ft}$$

$$f_{LW} := 1.9$$

$$TLC = LC_R + LC_L$$

where

Ecuación 12-4

TLC = total lateral clearance (ft) (maximum value 12 ft),

LC_R = right-side lateral clearance (ft) (maximum value 6 ft), and

LC_L = left-side lateral clearance (ft) (maximum value 6 ft).

$$LC_R := L_A$$

$$LC_L := L_M$$

$$TLC := LC_R + LC_L = 3.675 \text{ ft}$$

Tabla 12-22

| Four-Lane Highways | | | Six-Lane Highways | | |
|--------------------|------------------------------------|--|-------------------|------------------------------------|--|
| TLC (ft) | Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h) | | TLC (ft) | Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h) | |
| 12 | 0.0 | | 12 | 0.0 | |
| 10 | 0.4 | | 10 | 0.4 | |
| 8 | 0.9 | | 8 | 0.9 | |
| 6 | 1.3 | | 6 | 1.3 | |
| 4 | 1.8 | | 4 | 1.7 | |
| 2 | 3.6 | | 2 | 2.8 | |
| 0 | 5.4 | | 0 | 3.9 | |

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

Interpolación

$$f_{TLC} := 3.6 + \left(\frac{1.8 - 3.6}{4 - 2} \right) (3.675 - 2) = 2.093$$

Tabla 12-23

| Median Type | Reduction in FFS, f_M (mi/h) |
|-------------|--------------------------------|
| Undivided | 1.6 |
| TWLTL | 0.0 |
| Divided | 0.0 |

$$f_M := 1.6$$

Tabla 12-24

| Access Point Density (access points/mi) | Reduction in FFS, f_A (mi/h) |
|---|--------------------------------|
| 0 | 0.0 |
| 10 | 2.5 |
| 20 | 5.0 |
| 30 | 7.5 |
| ≥40 | 10.0 |

$$P_A = 7$$

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

Interpolación

$$f_A := 0 + \left(\frac{2.5 - 0}{10 - 0} \right) (7 - 0) = 1.75$$

$$FFS := BFFS - f_{LW} - f_{TLC} - f_M - f_A = 42.658 \text{ mi/h}$$

Dado que se considera el tramo bajo condiciones ideales:

$$FFS_{ADJ} := FFS$$

3. AJUSTE DE CAPACIDAD

Ecuación 12-6

Ecuación 12-7

$$c \text{ (basic freeway segment)} = 2,200 + 10 \times (FFS_{adj} - 50)$$

$$c \text{ (multilane highway segment)} = 1,900 + 20 \times (FFS_{adj} - 45)$$

$$c := 1900 + 20 \cdot (FFS_{ADJ} - 45) = 1853.15 \text{ pc/h/ln}$$

pc/h/ln = Passenger cars per hour per lane

Dado que se considera el tramo bajo condiciones ideales:

$$c_{ADJ} := c$$

4. AJUSTE DEMANDA DE VOLUMEN

Ecuación 12-9

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV}}$$

where

v_p = demand flow rate under equivalent base conditions (pc/h/ln),

V = demand volume under prevailing conditions (veh/h),

PHF = peak hour factor (decimal),

N = number of lanes in analysis direction (ln), and

f_{HV} = adjustment factor for presence of heavy vehicles (decimal).

Número de carriles

$$N_L := 2$$

Ecuación 12-10

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

where

f_{HV} = heavy vehicle adjustment factor (decimal),

P_T = proportion of SUTs and TTs in traffic stream (decimal), and

E_T = passenger car equivalent of one heavy vehicle in the traffic stream (PCEs).

Tabla 12-25

| Passenger Car Equivalent | Terrain Type | |
|--------------------------|--------------|---------|
| | Level | Rolling |
| E_T | 2.0 | 3.0 |

$$E_T := 2$$

$$P_T := C_{CAMIONES} = 0.032$$

$$f_{HV} := \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1)} = 0.969$$

$$v_p := \frac{V}{PHF \cdot N_L \cdot f_{HV}} = 2736.126 \quad \text{pc/h/ln}$$

5. CÁLCULO VELOCIDAD Y DENSIDAD

Tabla 12-6

| Parameter | Definition and Units | Basic Freeway Segments | Multilane Highway Segments |
|-------------|--|---|---|
| FFS | Base segment free-flow speed (mi/h) | Measured OR predicted with Equation 12-2 | Measured OR predicted with Equation 12-3 |
| FFS_{adj} | Adjusted free-flow speed (mi/h) | $FFS_{adj} = FFS \times SAF$ | No adjustments |
| SAF | Speed adjustment factor (decimal) | Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $SAF = 1.00$ for base conditions | 1.00 |
| c | Base segment capacity (pc/h/ln) | $c = 2,200 + 10(FFS - 50)$ $c \leq 2,400$ $55 \leq FFS \leq 75$ | $c = 1,900 + 20(FFS - 45)$ $c \leq 2,300$ $45 \leq FFS \leq 70$ |
| c_{adj} | Adjusted segment capacity (pc/h/ln) | $c_{adj} = c \times CAF$ | No adjustments |
| CAF | Capacity adjustment factor (decimal) | Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $CAF = 1.00$ for base conditions | 1.00 |
| D_c | Density at capacity (pc/mi/ln) | 45 | 45 |
| BP | Breakpoint (pc/h/ln) | $BP_{adj} = [1,000 + 40 \times (75 - FFS_{adj})] \times CAF^2$ | 1,400 |
| a | Exponent calibration parameter (decimal) | 2.00 | 1.31 |

$$BP := 1400 \quad \text{pc/h/ln}$$

Ecuación 12-1

$$S = FFS_{adj} \quad v_p \leq BP$$

$$S = FFS_{adj} - \frac{\left(FFS_{adj} - \frac{c_{adj}}{D_c} \right) (v_p - BP)^a}{(c_{adj} - BP)^a} \quad BP < v_p \leq c$$

if ($v_p < BP$, “Cumple, S1”, “No cumple”) = “No cumple”

if ($v_p < BP < c$, “Cumple, S2”, “No cumple”) = “No cumple”

if ($v_p > c$, “Cumple”, “No cumple”) = “Cumple”

$$S_1 := FFS_{ADJ}$$

$$S_2 := FFS_{ADJ} - \frac{\left(FFS_{ADJ} - \frac{c_{ADJ}}{45} \right) (v_p - BP)^{1.31}}{(c_{ADJ} - BP)^{1.31}} = 36.571$$

Dado que ninguna de las primeras dos condiciones cumplen, se demuestra que la demanda supera la capacidad. De igual manera se procede a la siguiente ecuación para comprobar el nivel de servicio F por medio de la gráfica y valores.

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

where

D = density (pc/mi/ln),

v_p = demand flow rate (pc/h/ln), and

S = mean speed of traffic stream under base conditions (mi/h).

Ecuación 12-11

$$D := \frac{v_p}{S_2} = 74.817 \quad \text{pc/mi/ln}$$

Densidad a capacidad:

$$D_C := 45 \quad \text{pc/mi/ln}$$

Capacidad superada:

$$C_S := \frac{D}{D_C} = 1.663$$

Tabla 12-17

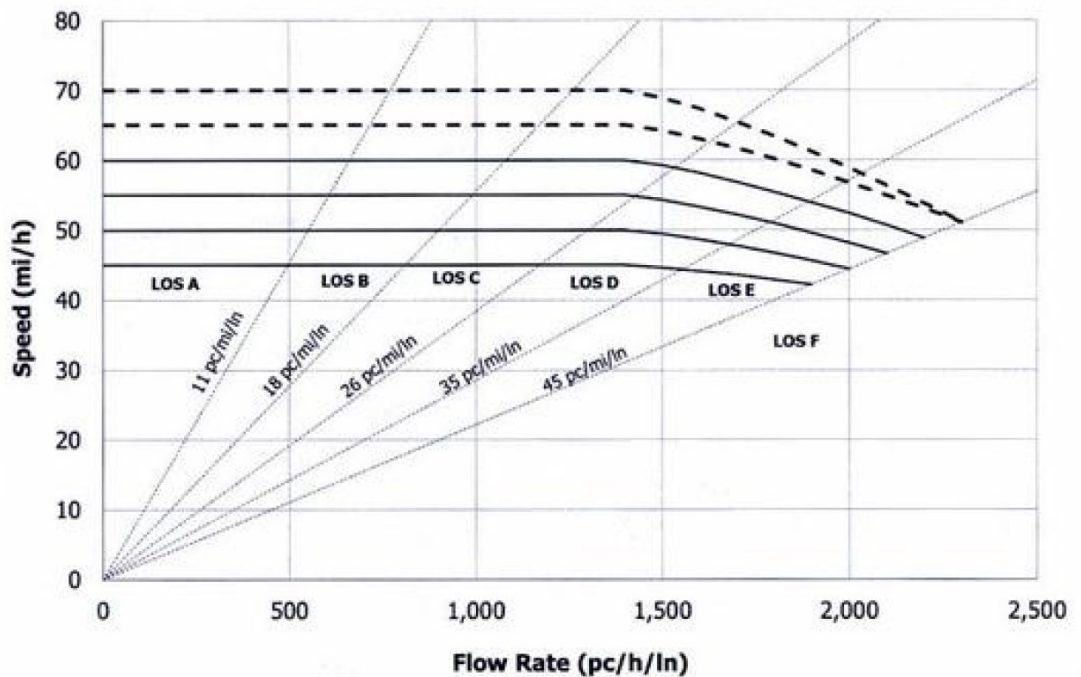


Tabla 12-15

| LOS | Density (pc/mi/ln) |
|-----|--|
| A | ≤11 |
| B | >11–18 |
| C | >18–26 |
| D | >26–35 |
| E | >35–45 |
| F | Demand exceeds capacity OR density > 45 |

Nivel de Servicio: F

HOJA DE CÁLCULO - NIVEL DE SERVICIO

TRAMO: RN-5
 METODOLOGÍA: Four-Lane Highway LOS (HCM)

DATOS INICIALES

Ancho carril: $A_C := 3.62 \text{ m} = 11.877 \text{ ft}$
 Longitud arcen carril derecho: $L_A := 0 \text{ m} = 0 \text{ ft}$
 Longitud mediana entre carriles: $L_M := 3.95 \text{ m} = 12.959 \text{ ft}$
 Composición de tránsito % (camiones): $C_{CAMIONES} := 2.52\%$
 Puntos de accesos $P_A := 16$

CONSIDERACIONES:

- Se asume que el tráfico es de usuarios regulares.
- Se asume el tramo desde el límite municipal del Municipio de Guatemala hasta el puente del inicio bulevar El Caminero, 2.91 kilómetros de longitud.
- Se asume que el tramo opera bajo condiciones ideales: sin accidentes, trabajos en obra o problemas climáticos.
- Se considera como punto de acceso a retornos en U y toda vía o calle que incorpore vehículos en el tramo analizado, únicamente en dirección hacia la ciudad.

CONTEO VEHICULAR

Los datos a continuación pertenecen a conteos vehiculares promediados del año 2019.

| San Juan | | | | | | | | | |
|--------------------------|--------------------|--------------|-----------------------|------------|------------|---------------|---------------------|---------------|-------|
| Hora | Modo de Transporte | | | | | | | | Total |
| | Livianos | Urbano | Buses Extra Urbano | Escolar | Bicicletas | Motos | Camiones Trailer | | |
| 5.00 a 6.00 | 2257 | 98 | 159 | 32 | 2 | 1113 | 53 | 3,714 | |
| 6.00 a 7.00 | 2651 | 105 | 109 | 6 | 5 | 2063 | 30 | 4,969 | |
| 7.00 a 8.00 | 2014 | 118 | 99 | 1 | 1 | 1999 | 29 | 4,261 | |
| 8.00 a 9.00 | 2351 | 123 | 98 | 1 | 4 | 1364 | 60 | 4,001 | |
| 9.00 a 10.00 | 2085 | 103 | 60 | 0 | 2 | 1004 | 153 | 3,406 | |
| 10.00 a 11.00 | 2144 | 111 | 74 | 6 | 5 | 963 | 177 | 3,480 | |
| 11.00 a 12.00 | 2429 | 114 | 87 | 4 | 4 | 1113 | 176 | 3,927 | |
| Total mañana | 15,930 | 772 | 686 | 50 | 23 | 9,619 | 678 | 27,757 | |
| 12.00 a 13.00 | 2018 | 110 | 85 | 13 | 3 | 1064 | 144 | 3,436 | |
| 13.00 a 14.00 | 2365 | 106 | 81 | 19 | 7 | 1026 | 157 | 3,761 | |
| 14.00 a 15.00 | 2356 | 120 | 88 | 31 | 3 | 1092 | 171 | 3,860 | |
| Total medio día | 6,739 | 336 | 253 | 63 | 13 | 3,182 | 472 | 11,057 | |
| 15.00 a 16.00 | 2451 | 113 | 81 | 23 | 10 | 1227 | 155 | 4,060 | |
| 16.00 a 17.00 | 2555 | 112 | 110 | 20 | 7 | 1401 | 110 | 4,315 | |
| 17.00 a 18.00 | 2178 | 89 | 109 | 6 | 19 | 1644 | 55 | 4,097 | |
| Total tarde | 7,184 | 314 | 300 | 49 | 36 | 4,272 | 320 | 12,472 | |
| 18.00 a 19.00 | 2417 | 115 | 96 | 12 | 21 | 1893 | 55 | 4,609 | |
| 19.00 a 20.00 | 2180 | 92 | 79 | 6 | 11 | 1702 | 42 | 4,111 | |
| 20.00 a 21.00 | 1962 | 83 | 71 | 5 | 9 | 1532 | 37 | 3,699 | |
| Total noche | 6,559 | 290 | 246 | 22 | 41 | 5,127 | 134 | 12,419 | |
| Total todo el día | 36,412 | 1,710 | 1,484 | 184 | 112 | 22,199 | 1,603 | 63,704 | |
| Porcentaje | 57.16% | 2.68% | 2.33% | 0.29% | 0.18% | 34.85% | 2.52% | 100.00% | |

FUENTE: Municipalidad de Guatemala, Dirección de Movilidad Urbana.

1. CÁLCULO VOLÚMENES HORA PICO

1. Volumen de demanda hora pico

Volumen hora pico (veh/h): $V := 4969$

Volumen periodo: $V_3 := 3714 + V + 4261 = 12944$

Dado que los intervalos de tiempo del conteo son por cada hora, el volumen del periodo pico se considerará una hora anterior y posterior a la hora pico para contar con un período de tres horas.

Ecuación 4-1

$$PHF = \frac{\text{hourly volume}}{\text{peak flow rate (within the hour)}}$$

Factor hora pico: $PHF := \frac{V_3}{3 \cdot V} = 0.868$

2. CÁLCULO VELOCIDAD DE FLUJO LIBRE

Ecuación 12-3

$$FFS = BFFS - f_{LW} - f_{TLC} - f_M - f_A$$

where

FFS = free-flow speed of the multilane highway segment (mi/h);

$BFFS$ = base FFS for the multilane highway segment (mi/h);

f_{LW} = adjustment for lane width, from Exhibit 12-20 (mi/h);

f_{TLC} = adjustment for total lateral clearance, from Exhibit 12-22 (mi/h);

f_M = adjustment for median type, from Exhibit 12-23 (mi/h); and

f_A = adjustment for access point density, from Exhibit 12-24 (mi/h).

Se considera una velocidad base de 80 km/h, equivalente a 50 mi/h.

$$BFFS := 50$$

Tabla 12-20

| Average Lane Width (ft) | Reduction in FFS, f_{LW} (mi/h) |
|-------------------------|-----------------------------------|
| ≥12 | 0.0 |
| ≥11-12 | 1.9 |
| ≥10-11 | 6.6 |

$$A_C = 11.877 \text{ ft}$$

$$f_{LW} := 1.9$$

$$TLC = LC_R + LC_L$$

where

Ecuación 12-4

TLC = total lateral clearance (ft) (maximum value 12 ft),

LC_R = right-side lateral clearance (ft) (maximum value 6 ft), and

LC_L = left-side lateral clearance (ft) (maximum value 6 ft).

$$LC_R := L_A$$

$$LC_L := L_M$$

$$TLC := LC_R + LC_L = 12.959 \text{ ft}$$

Tabla 12-22

| Four-Lane Highways | | Six-Lane Highways | |
|--------------------|------------------------------------|-------------------|------------------------------------|
| TLC (ft) | Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h) | TLC (ft) | Reduction in FFS, f_{TLC} (mi/h) |
| 12 | 0.0 | 12 | 0.0 |
| 10 | 0.4 | 10 | 0.4 |
| 8 | 0.9 | 8 | 0.9 |
| 6 | 1.3 | 6 | 1.3 |
| 4 | 1.8 | 4 | 1.7 |
| 2 | 3.6 | 2 | 2.8 |
| 0 | 5.4 | 0 | 3.9 |

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

$$f_{TLC} := 0$$

Tabla 12-23

| Median Type | Reduction in FFS, f_M (mi/h) |
|-------------|--------------------------------|
| Undivided | 1.6 |
| TWLT | 0.0 |
| Divided | 0.0 |

$$f_M := 0$$

Tabla 12-24

| Access Point Density (access points/mi) | Reduction in FFS, f_A (mi/h) |
|---|--------------------------------|
| 0 | 0.0 |
| 10 | 2.5 |
| 20 | 5.0 |
| 30 | 7.5 |
| ≥40 | 10.0 |

Note: Interpolation to the nearest 0.1 is recommended.

$$P_A = 16$$

Interpolación

$$f_A := 2.5 + \left(\frac{5 - 2.5}{20 - 10} \right) (16 - 10) = 4$$

$$FFS := BFFS - f_{LW} - f_{TLC} - f_M - f_A = 44.1 \text{ mi/h}$$

Dado que se considera el tramo bajo condiciones ideales:

$$FFS_{ADJ} := FFS$$

3. AJUSTE DE CAPACIDAD

Ecuación 12-6

$$c \text{ (basic freeway segment)} = 2,200 + 10 \times (FFS_{adj} - 50)$$

Ecuación 12-7

$$c \text{ (multilane highway segment)} = 1,900 + 20 \times (FFS_{adj} - 45)$$

$$c := 1900 + 20 \cdot (FFS_{ADJ} - 45) = 1882 \text{ pc/h/ln}$$

pc/h/ln = Passenger cars per hour per lane

Dado que se considera el tramo bajo condiciones ideales:

$$c_{ADJ} := c$$

4. AJUSTE DEMANDA DE VOLUMEN

Ecuación 12-9

$$v_p = \frac{V}{PHF \times N \times f_{HV}}$$

where

v_p = demand flow rate under equivalent base conditions (pc/h/ln),

V = demand volume under prevailing conditions (veh/h),

PHF = peak hour factor (decimal),

N = number of lanes in analysis direction (ln), and

f_{HV} = adjustment factor for presence of heavy vehicles (decimal).

Número de carriles

$$N_L := 2$$

Ecuación 12-10

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T(E_T - 1)}$$

where

f_{HV} = heavy vehicle adjustment factor (decimal),

P_T = proportion of SUTs and TTs in traffic stream (decimal), and

E_T = passenger car equivalent of one heavy vehicle in the traffic stream (PCEs).

Tabla 12-25

| Passenger Car Equivalent | Terrain Type | |
|--------------------------|--------------|---------|
| | Level | Rolling |
| E_T | 2.0 | 3.0 |

$$E_T := 2$$

$$P_T := C_{CAMIONES} = 0.025$$

$$f_{HV} := \frac{1}{1 + P_T \cdot (E_T - 1)} = 0.975$$

$$v_p := \frac{V}{PHF \cdot N_L \cdot f_{HV}} = 2933.387 \quad \text{pc/h/ln}$$

5. CÁLCULO VELOCIDAD Y DENSIDAD

Tabla 12-6

| Parameter | Definition and Units | Basic Freeway Segments | Multilane Highway Segments |
|-------------|--|---|---|
| FFS | Base segment free-flow speed (mi/h) | Measured OR predicted with Equation 12-2 | Measured OR predicted with Equation 12-3 |
| FFS_{adj} | Adjusted free-flow speed (mi/h) | $FFS_{adj} = FFS \times SAF$ | No adjustments |
| SAF | Speed adjustment factor (decimal) | Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $SAF = 1.00$ for base conditions | 1.00 |
| c | Base segment capacity (pc/h/ln) | $c = 2,200 + 10(FFS - 50)$ $c \leq 2,400$ $55 \leq FFS \leq 75$ | $c = 1,900 + 20(FFS - 45)$ $c \leq 2,300$ $45 \leq FFS \leq 70$ |
| c_{adj} | Adjusted segment capacity (pc/h/ln) | $c_{adj} = c \times CAF$ | No adjustments |
| CAF | Capacity adjustment factor (decimal) | Locally calibrated OR estimated with Chapter 11; $CAF = 1.00$ for base conditions | 1.00 |
| D_c | Density at capacity (pc/mi/ln) | 45 | 45 |
| BP | Breakpoint (pc/h/ln) | $BP_{adj} = [1,000 + 40 \times (75 - FFS_{adj})] \times CAF^2$ | 1,400 |
| a | Exponent calibration parameter (decimal) | 2.00 | 1.31 |

$$BP := 1400 \quad \text{pc/h/ln}$$

Ecuación 12-1

$$S = FFS_{adj} \quad v_p \leq BP$$

$$S = FFS_{adj} - \frac{\left(FFS_{adj} - \frac{c_{adj}}{D_c} \right) (v_p - BP)^a}{(c_{adj} - BP)^a} \quad BP < v_p \leq c$$

if ($v_p < BP$, “Cumple, S1”, “No cumple”) = “No cumple”

if ($v_p < BP < c$, “Cumple, S2”, “No cumple”) = “No cumple”

if ($v_p > c$, “Cumple”, “No cumple”) = “Cumple”

$$S_1 := FFS_{ADJ}$$

$$S_2 := FFS_{ADJ} - \frac{\left(FFS_{ADJ} - \frac{c_{ADJ}}{45} \right) (v_p - BP)^{1.31}}{(c_{ADJ} - BP)^{1.31}} = 33.727$$

Dado que ninguna de las primeras dos condiciones cumplen, se demuestra que la demanda supera la capacidad. De igual manera se procede a la siguiente ecuación para comprobar el nivel de servicio F por medio de la gráfica y valores.

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

where

D = density (pc/mi/ln),

v_p = demand flow rate (pc/h/ln), and

S = mean speed of traffic stream under base conditions (mi/h).

Ecuación 12-11

$$D := \frac{v_p}{S_2} = 86.976 \quad \text{pc/mi/ln}$$

Densidad a capacidad: $D_C := 45 \quad \text{pc/mi/ln}$

Capacidad superada: $C_S := \frac{D}{D_C} = 1.933$

Tabla 12-17

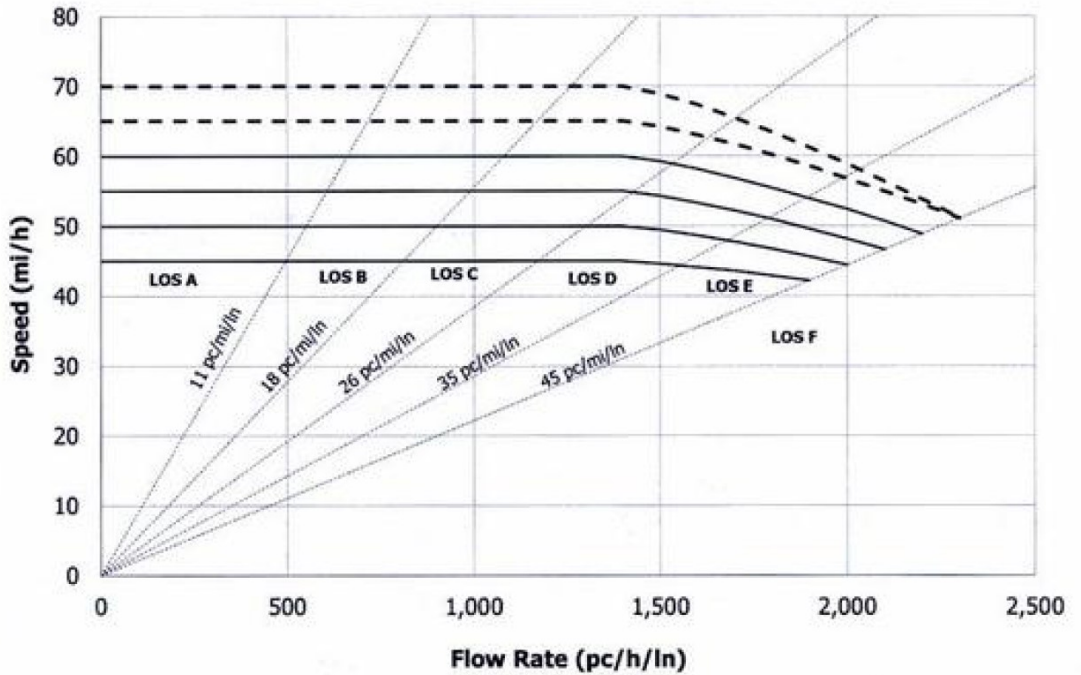


Tabla 12-15

| LOS | Density (pc/mi/ln) |
|-----|--|
| A | ≤11 |
| B | >11–18 |
| C | >18–26 |
| D | >26–35 |
| E | >35–45 |
| F | Demand exceeds capacity OR density > 45 |

Nivel de Servicio: F

15.2. Oferta Proyecto Liberamiento Chimaltenango

Enlace Guatecompras:

<https://www.guatecompras.gt/Concursos/consultaConcurso.aspx?nog=2742055&o=0&lper=2014&lprv=1631>

Enlace Ministerio de Finanzas Públicas:

<https://siges.minfin.gob.gt/sigesweb/gc/contrato.aspx?con=493538>




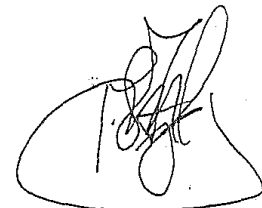
Ministerio de
Comunicaciones,
Infraestructura
y Vivienda

Dirección
General
de Caminos
-DGC-

ANEXO "A"

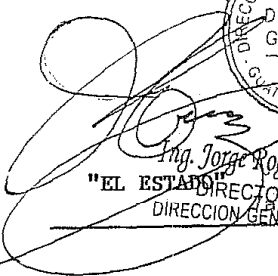
| REGLÓN | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD ESTIMADA | PRECIO UNITARIO | MONTO TOTAL ESTIMADO |
|--|--|--------|-------------------|-----------------|----------------------|
| CONTROL DEL TRABAJO | | | | | |
| 105.06 (e) | Planos Finales de la Obra Construida | u | 65.00 | Q1,500.00 | Q97,500.00 |
| 110.11 | Trabajos por Administración | SG | 1.00 | Q3,000,000.00 | Q3,000,000.00 |
| ETE-01 | Replanteo Topográfico del Diseño | km | 15.32 | Q53,280.00 | Q816,249.60 |
| MOVIMIENTO DE TIERRAS | | | | | |
| 202.03 | Limpia, Chapeo y Destronque | ha | 50.00 | Q128,000.00 | Q6,400,000.00 |
| 203.04 (b) | Excavación No Clasificada | m3 | 650,000.00 | Q52.76 | Q34,294,000.00 |
| 203.04 (c) | Excavación No Clasificada de Desperdicio | m3 | 197,730.00 | Q41.05 | Q8,116,816.50 |
| 203.04 (e) | Sub-excavación | m3 | 30,000.00 | Q136.00 | Q4,080,000.00 |
| 204.02 | Excavación de Canales | m3 | 2,500.00 | Q86.40 | Q216,000.00 |
| 208.01 | Acarreo | m3-km | 1,000,000.00 | Q7.95 | Q7,950,000.00 |
| 253.01 | Gaviones y Colchones | m3 | 1,000.00 | Q1,250.00 | Q1,250,000.00 |
| SUB-BASE Y BASE | | | | | |
| 301.02 | Reacondicionamiento de Sub-rasante Existente | m2 | 50,000.00 | Q20.00 | Q1,000,000.00 |
| 303.01 (a) | Sub-base Común (20 cms espesor) | m3 | 70,668.00 | Q180.00 | Q12,720,240.00 |
| 307.01 (b) | Base Triturada estabilizada con cemento hidráulico (20 cms de espesor) | m3 | 68,141.00 | Q413.00 | Q28,142,233.00 |
| 307.04 (c) | Cemento Hidráulico para Base Estabilizada | kgs | 4,015,389.00 | Q2.40 | Q9,636,933.60 |
| PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRAÚLICO | | | | | |
| 501.01 | Pavimento de Concreto de Cemento Hidráulico para Pavimento de 4000 PSI (28 mpa) de 18 cms de espesor | m3 | 53,000.00 | Q2,200.00 | Q116,600,000.00 |
| ESTRUCTURAS DE DRENAJE MAYOR | | | | | |
| | Alcantarilla metálica circular Est. 49 + 697 | | | | |
| 603.01 (126") | Alcantarilla de Metal Corrugado de 126" de diámetro | ml | 303.00 | Q21,440.00 | Q6,496,320.00 |
| 205.05 | Excavación Estructural para Cimentaciones de Estructuras | m3 | 200.00 | Q86.40 | Q17,280.00 |
| 205 | Relleno para Estructuras | m3 | 13,585.00 | Q72.00 | Q978,120.00 |
| 555 | Concreto Ciclópeo | m3 | 235.00 | Q2,000.00 | Q470,000.00 |
| | Alcantarilla metálica circular Est. 51 + 120 | | | | |
| 608.04 | Cunetas Vertedero de Concreto Simple Fundidas en Sitio. (10 cms espesor) | m2 | 120.00 | Q224.00 | Q26,880.00 |
| 603.01 (162") | Alcantarilla de Metal Corrugado de 162" de diámetro | ml | 208.00 | Q29,920.00 | Q6,223,360.00 |
| 205.05 | Excavación Estructural para Cimentaciones de Estructuras | m3 | 175.00 | Q86.40 | Q15,120.00 |
| 205 | Relleno para Estructuras | m3 | 13,540.00 | Q72.00 | Q974,880.00 |
| 555 | Concreto Ciclópeo | m3 | 255.00 | Q2,000.00 | Q510,000.00 |


 "EL ESTADO"
 Juan Jorge Rogelio Gálvez Cruz
 DIRECTOR GENERAL
 DIRECCION GENERAL DE CAMINOS


 Constructora Nacional, S.A.
 "EL CONTRATISTA"

Oficina Nacional La Aurora, Zona 13, Tel.: 2472-1001

| RENGLÓN | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD ESTIMADA | PRECIO UNITARIO | MONTO TOTAL ESTIMADO |
|-----------------|--|--------|-------------------|-----------------|----------------------|
| | Alcantarilla metálica circular Est. 53 + 330 | | | | |
| 204.02 | Excavación de Canales en Salida | m3 | 500.00 | Q85.40 | Q43,200.00 |
| 603.01 (2x216") | Alcantarilla de Metal Corrugado de 2 x 216" de diámetro | ml | 366.00 | Q32,000.00 | Q11,712,000.00 |
| 205.05 | Excavación Estructural para Cimentaciones de Estructuras | m3 | 365.00 | Q86.40 | Q31,536.00 |
| 206 | Relleno para Estructuras | m3 | 32,500.00 | Q72.00 | Q2,340,000.00 |
| 555 | Concreto Ciclópeo | m3 | 596.00 | Q2,000.00 | Q1,192,000.00 |
| | Alcantarilla metálica circular Est. 56 + 350 | | | | |
| 603.01 (216") | Alcantarilla de Metal Corrugado de 216" de diámetro | ml | 32.00 | Q32,000.00 | Q1,024,000.00 |
| 205.05 | Excavación Estructural para Cimentaciones de Estructuras | m3 | 190.00 | Q86.40 | Q16,416.00 |
| 206 | Relleno para Estructuras | m3 | 3,288.00 | Q72.00 | Q236,736.00 |
| 555 | Concreto Ciclópeo | m3 | 500.00 | Q2,000.00 | Q1,000,000.00 |
| | Alcantarilla metálica circular Est. 59 + 500 | | | | |
| 603.01 (84") | Alcantarilla de Metal Corrugado de 84" de diámetro | ml | 18.00 | Q18,400.00 | Q331,200.00 |
| 205.05 | Excavación Estructural para Cimentaciones de Estructuras | m3 | 100.00 | Q86.40 | Q8,640.00 |
| 206 | Relleno para Estructuras | m3 | 465.00 | Q72.00 | Q33,480.00 |
| 555 | Concreto Ciclópeo | m3 | 187.00 | Q2,000.00 | Q374,000.00 |
| | Alcantarilla metálica circular Est. 59 + 750 | | | | |
| 204.02 | Excavación de Canales en Salida | m3 | 500.00 | Q86.40 | Q43,200.00 |
| 603.01 (84") | Alcantarilla de Metal Corrugado de 84" de diámetro | ml | 22.00 | Q18,400.00 | Q404,800.00 |
| 205.05 | Excavación Estructural para Cimentaciones de Estructuras | m3 | 100.00 | Q86.40 | Q8,640.00 |
| 206 | Relleno para Estructuras | m3 | 568.00 | Q72.00 | Q40,896.00 |
| 555 | Concreto Ciclópeo | m3 | 187.00 | Q2,000.00 | Q374,000.00 |
| | Puente RN 14, est 49 + 095 | | | | |
| 551 (35 mpa) | Concreto Clase 5000 psi | m3 | 41.00 | Q11,141.00 | Q456,781.00 |
| 551 (21 mpa) | Concreto Clase 3000 psi | m3 | 179.00 | Q6,240.00 | Q1,116,960.00 |
| 552.01 | Acero de Refuerzo | kgs | 24,322.00 | Q22.50 | Q547,245.00 |
| 552.03 (f) | Acero Estructural | kgs | 775.00 | Q46.75 | Q36,231.25 |
| 554.04 | Acero de Preesfuerzo | kgs | 2,335.00 | Q192.00 | Q448,320.00 |
| 561.03 (c) | Almohadillas Elastoméricas | dm3 | 32.00 | Q1,440.00 | Q46,080.00 |
| 602.03 (b) | Tubería de Drenaje HG 4" | ml | 10.00 | Q360.00 | Q3,600.00 |
| 205.05 | Excavación Estructural | m3 | 870.00 | Q86.40 | Q75,168.00 |
| 206 | Relleno Estructural | m3 | 1,220.00 | Q72.00 | Q87,840.00 |
| 253.01 | Gaviones | m3 | 150.00 | Q1,250.00 | Q187,500.00 |

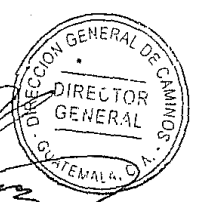


Ing. Jorge Rogelio Gálvez Cruz

 "EL ESTADO"

 DIRECTOR GENERAL

 DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS

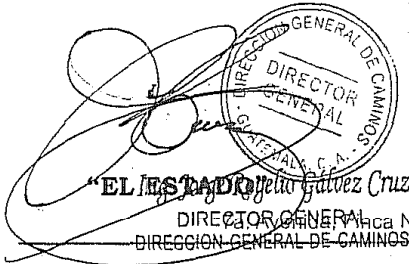




Constructora Nacional, S.A.

 "EL CONTRATISTA"

| REGLÓN | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD ESTIMADA | PRECIO UNITARIO | MONTO TOTAL ESTIMADO |
|---------------------------------------|---|--------|-------------------|-----------------|------------------------|
| ESTRUCTURAS DE DRENAJE MENOR | | | | | |
| 204.02 | Excavación de Canales | m3 | 5,610.00 | Q86.40 | Q484,704.00 |
| 205.05 | Excavación Estructural para Cimentaciones de Estructuras | m3 | 185.00 | Q86.40 | Q15,984.00 |
| 205.06 | Excavación Estructural para Alcantarillas | m3 | 2,354.00 | Q86.40 | Q203,385.60 |
| 205.07 | Excavación Estructural para Subdrenajes | m3 | 4,050.00 | Q86.40 | Q349,920.00 |
| 206.04 (e) | Relleno para Alcantarillas | m3 | 1,976.00 | Q72.00 | Q142,272.00 |
| 603.02 (30") | Alcantarillas de Metal Corrugado de 30" | ml | 644.00 | Q1,674.00 | Q1,078,056.00 |
| 603.02 (48") | Alcantarillas de Metal Corrugado de 48" | ml | 72.00 | Q2,720.00 | Q195,840.00 |
| 605.03 (e) | Sub-drenaje de Tubería Perforada de Material Plástico PVC 6 pulg. Diámetro | ml | 4,500.00 | Q208.00 | Q936,000.00 |
| 605.03 (f) | Agregado para Sub-drenaje con Geotextil | m3 | 2,700.00 | Q747.00 | Q2,016,900.00 |
| 607.07 | Cajas y Cabezales de Concreto Ciclópeo | m3 | 238.00 | Q2,000.00 | Q476,000.00 |
| 608.04 (1) | Cuneta Cuadrada de 1m x 1m Revestido de Concreto de 10 cms de Espesor y Refuerzo de Electromalla de 15 x 15cm | ml | 4,100.00 | Q288.00 | Q1,180,800.00 |
| 608.04 (2) | Cunetas Revestidas de Concreto Simple Fundidas en Sitio. (10 cms espesor) | m2 | 15,600.00 | Q224.00 | Q3,494,400.00 |
| CONSTRUCCIONES COMPLEMENTARIAS | | | | | |
| 609 | Bordillos | ml | 33,200.00 | Q160.00 | Q5,312,000.00 |
| 701 | Defensas para Carreteras y Puentes (metal) | ml | 6,800.00 | Q848.00 | Q5,766,400.00 |
| 703 | Cercas (postes de madera y cuatro hilos de alambre espigado) | ml | 29,500.00 | Q128.00 | Q3,776,000.00 |
| 704.02 | Monumentos de Kilometraje | u | 28.00 | Q950.00 | Q26,880.00 |
| 706.06 | Marcas Termoplásticas (líneas central y laterales) | km | 95.00 | Q31,760.00 | Q3,017,200.00 |
| 706.09 | Marcadores Resaltados en el Pavimento (ojos de gato) | u | 7,500.00 | Q31.20 | Q234,000.00 |
| 707.02 (1) | Señales de Tráfico Preventivas y Restrictivas de Metal | u | 164.00 | Q1,600.00 | Q262,400.00 |
| 707.02 (2) | Señales de Tráfico de Metal, Tipo Bandera | u | 16.00 | Q56,533.00 | Q904,528.00 |
| 708.02 | Dispositivos Para el Control Temporal de Tránsito | SG | 1.00 | Q640,000.00 | Q640,000.00 |
| ETE-02 | Rótulos de Identificación del Proyecto | u | 2.00 | Q64,000.00 | Q128,000.00 |
| ASPECTOS AMBIENTALES | | | | | |
| ETEA-01 | Contratación de Ejecutor Ambiental | mes | 24.00 | Q25,600.00 | Q614,400.00 |
| ETEA-02 | Siembra de Gramíneas en el Talud de Relleno | m2 | 12,000.00 | Q42.00 | Q504,000.00 |
| ETEA-03 | Revegetación de Taludes | m2 | 20,000.00 | Q42.00 | Q840,000.00 |
| ETEA-04 | Construcción de Paradas de Buses | u | 14.00 | Q36,800.00 | Q515,200.00 |
| ETEA-05 | Revegetación de la Mediana | m2 | 25,000.00 | Q42.00 | Q1,050,000.00 |
| ETEA-06 | Revegetación con Gramíneas las Áreas Utilizadas para Campamento y Plantas de Trituración y Concreto | m2 | 10,000.00 | Q42.00 | Q420,000.00 |
| ETEA-07 | Reforestación de Banco de Materiales y Áreas de Campamento | planta | 10,000.00 | Q42.00 | Q420,000.00 |
| ETEA-08 | Revegetación con Gramíneas las Áreas Utilizadas para Botadero de Material | m2 | 30,000.00 | Q42.00 | Q1,260,000.00 |
| ETEA-09 | Pasarelas Metálicas | u | 7.00 | Q640,000.00 | Q4,480,000.00 |
| MONTO TOTAL ESTIMADO | | | | | Q312,997,671.55 |



"EL ESTADO"

 Director General

 DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS



"EL CONTRATISTA"

 Constructora Nacional, S.A.

15.3. Oferta Proyecto Rehabilitación de la ruta existente y ampliación a cuatro carriles de la ruta CA-2 Oriente: Escuintla - Ciudad Pedro Alvarado

Enlace Guatecompras:

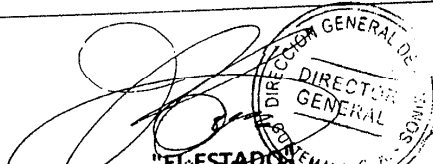
<https://www.guatecompras.gt/Concursos/consultaConcurso.aspx?nog=3645150&o=0&lper=2015&lprv=3695>

Enlace Ministerio de Finanzas Públicas:

<https://siges.minfin.gob.gt/sigesweb/gc/contrato.aspx?con=528749>

ASESORÍA JURÍDICA
GUATEMALA, C.A.

| ANEXO 1 | | | | | |
|---|---|--------|---------------|-----------------|-------------------------|
| LISTA DE CANTIDADES ESTIMADAS DE TRABAJO, PRECIOS UNITARIOS Y TOTALES | | | | | |
| REHABILITACIÓN DE LA RUTA EXISTENTE Y AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA RUTA CA-2 ORIENTE: ESCUINTLA - CIUDAD PEDRO DE ALVARADO | | | | | |
| LONGITUD APROXIMADA : 100.6 KMS | | | | | |
| OFERENTE: SIGMA CONSTRUCTORES, S.A. | | | | | |
| REGLÓN | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | MONTO TOTAL |
| DISEÑO | | | | | |
| 105.05 | Planos, especificaciones y dibujos de trabajo | SG | 1.00 | 8,662,055.00 | 8,662,055.00 |
| Sub-total de Estudio de Ingeniería de detalle | | | | | \$ 8,662,055.00 |
| REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO | | | | | |
| 104.04 | Campamentos e instalaciones industriales del contratista. | SG | 1.00 | 5,400,000.00 | 5,400,000.00 |
| 104.05 | Campamento para personal del estado. | SG | 1.00 | 300,000.00 | 300,000.00 |
| 104.06 | Operación y mantenimiento de campamentos e instalaciones industriales. | Mes | 36.00 | 133,000.00 | 4,788,000.00 |
| 105.06 | Planos finales de la obra construida. | SG | 1.00 | 393,730.00 | 393,730.00 |
| 108.12 | Estudios, permisos y licencias ambientales. | SG | 1.00 | 629,968.00 | 629,968.00 |
| 110.11 | Trabajos por administración. | SG | 1.00 | 3,464,822.00 | 3,464,822.00 |
| 110.11.1 | Trabajos por Administración para adquisición del derecho de vía. | SG | 1.00 | 3,116,000.00 | 3,116,000.00 |
| 151.01 | Movilización y desmovilización. | SG | 1.00 | 1,574,919.00 | 1,574,919.00 |
| 155.02 | Señalización, control del tránsito y mantenimiento de la carretera. | Mes | 36.00 | 78,746.00 | 2,834,856.00 |
| REP 160.01 | Administración contractual, control de documentación, garantía y control de calidad. | Mes | 36.00 | 301,597.00 | 10,857,492.00 |
| REP 160.02 | Gestión de materiales y logística. | Mes | 36.00 | 107,076.00 | 3,854,736.90 |
| REP 160.03 | Gestión Ambiental, seguridad industrial, vigilancia patrimonial y relación con las comunidades. | Mes | 36.00 | 125,000.00 | 4,500,000.00 |
| Sub-total | | | | | \$ 41,714,523.00 |
| TERRACERÍA | | | | | |
| 201.03 (a) | Retiro de casas ó edificios | m2 | 10,000.00 | 32.77 | 327,700.00 |
| 201.03 (c) (2) | Retiro de alcantarillas | m | 400.00 | 7.10 | 2,840.00 |
| 201.03 (c) (3) | Retiro de otras estructuras de concreto | m3 | 2,400.00 | 111.00 | 266,400.00 |
| 202.02 | Limpia, chapeo y destronque | Ha | 190.00 | 5,540.00 | 1,052,600.00 |
| 203.03 (a) | Excavación no clasificada | m3 | 110,000.00 | 6.75 | 742,500.00 |
| 203.03 (b) | Excavación no clasificada de material de desperdicio | m3 | 1,217,055.00 | 6.75 | 8,215,121.25 |
| 203.03 (c) | Excavación no clasificada de material de préstamo | m3 | 1,978,471.00 | 7.00 | 13,849,297.00 |
| 203.03 (c) (1) | Estabilización de subrasante con grava de río, medida en camión. (sin acarreo) | m3 | 347,065.00 | 8.50 | 2,950,052.50 |
| 203.03 (d) | Sub-excavación | m3 | 467,858.00 | 7.10 | 3,321,791.80 |
| 203.03 (e) | Remoción y prevención de derrumbes | m3 | 367,600.00 | 6.75 | 2,481,300.00 |
| 203.04 (g) | Excavación en roca de material de desperdicio | m3 | 57,225.00 | 26.50 | 1,516,462.50 |
| 203.04 (h) | Excavación de contracunetas | m3 | 5,000.00 | 30.00 | 150,000.00 |
| 203.08 (a) | Compactación de terraplenes en suelos | m3 | 2,041,777.00 | 5.48 | 11,188,937.96 |
| 203.08 (b) | Compactación de terraplenes con roca ó grava de río | m3 | 347,065.00 | 7.92 | 2,748,754.80 |
| 204.01 | Excavación de canales varios | m3 | 12,500.00 | 24.30 | 303,750.00 |
| 204.01 (a) | Excavación de canales en la entrada y salida de alcantarillas | m3 | 6,000.00 | 23.00 | 138,000.00 |
| 205.05 | Excavación estructural para cimentación de cajas y cabezales de alcantarillas | m3 | 2,113.00 | 22.40 | 47,331.20 |
| 205.06 | Excavación estructural para alcantarillas | m3 | 19,000.00 | 22.40 | 425,600.00 |
| 205.07 | Excavación estructural para sub-drenaje | m3 | 36,970.00 | 16.60 | 613,702.00 |
| 205.12 | Relleno estructural | m3 | 5,000.00 | 25.10 | 125,500.00 |
| 208.06 | Acarreo | m3-Km. | 11,504,691.30 | 0.90 | 10,354,222.17 |
| 208.06 (4) | Acarreo de roca de material de desperdicio | m3-Km. | 228,900.00 | 2.90 | 663,810.00 |
| Sub-total | | | | | \$ 61,485,673.18 |


Ing. Jorge Rogelio Guzmán
 DIRECTOR GENERAL
 DIRECCION GENERAL DE CAMINOS


"EL CONTRATISTA"
SIGMA CONSTRUCTORES, S. A.




Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda | Dirección General de Caminos -DGC-

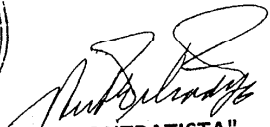
ASesoría Jurídica
 GUATEMALA, C.A.

ANEXO I
LISTA DE CANTIDADES ESTIMADAS DE TRABAJO, PRECIOS UNITARIOS Y TOTALES
REHABILITACIÓN DE LA RUTA EXISTENTE Y AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA RUTA CA-2 ORIENTE:
ESCUINTLA - CIUDAD PEDRO DE ALVARADO

LONGITUD APROXIMADA : 100.6 KMS
 OFERENTE: SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.

| RENGLÓN | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | MONTO TOTAL |
|------------------------------|---|--------|-----------|-----------------|------------------------|
| DRENAJE MENOR | | | | | |
| 603.01 (a)(30") | Alcantarilla de metal corrugado anidable de 30" de diámetro cal 16 | m | 2,400.00 | 220.00 | 528,000.00 |
| 603.01 (a)(36") | Alcantarilla de metal corrugado anidable de 36" de diámetro cal 16 | m | 370.00 | 240.00 | 88,800.00 |
| 603.01 (a)(48") | Alcantarilla de metal corrugado anidable de 48" de diámetro cal 14 | m | 290.00 | 360.00 | 104,400.00 |
| 603.01 (a)(60") | Alcantarilla de metal corrugado anidable de 60" de diámetro cal 14 | m | 310.00 | 580.00 | 179,800.00 |
| 603.01 (a)(72") | Alcantarilla de metal corrugado anidable de 72" de diámetro cal 12 | m | 80.00 | 2,400.00 | 192,000.00 |
| 603.01 (a)(84") | Alcantarilla de metal corrugado anidable de 84" de diámetro cal 12 | m | 80.00 | 3,000.00 | 240,000.00 |
| Sub-total | | | | | \$ 1,333,000.00 |
| DRENAJE MAYOR BOVEDAS | | | | | |
| 205.05 (a)(1) | Excavación estructural para cimentación de estructuras (Bóvedas), en lecho rocoso | m3 | 1,000.00 | 37.90 | 37,900.00 |
| 205.05 (a)(2) | Excavación estructural para cimentación de estructuras (Bóvedas). | m3 | 1,400.00 | 28.40 | 39,760.00 |
| 205.11 (b) | Relleno estructural para cimentación de estructuras (Bóvedas) | m3 | 2,100.00 | 35.60 | 74,760.00 |
| 553.03 (a) 21 | Concreto clase 3,000 PSI (210) | m3 | 560.00 | 630.00 | 352,800.00 |
| 555.07 | Concreto Ciclópeo | m3 | 1,340.00 | 290.00 | 388,600.00 |
| 552.1 | Acero de refuerzo (grado 40) | Kg | 42,000.00 | 4.62 | 194,040.00 |
| 251.01 | Zampeado de piedra con mortero. | m2 | 5,600.00 | 25.45 | 142,520.00 |
| 603.01 (a)(100") | Alcantarilla de metal corrugado anidable de 100" de diámetro cal 10 | m | 65.00 | 3,400.00 | 221,000.00 |
| 603.01 (a)(120") | Alcantarilla de metal corrugado anidable de 120" de diámetro cal 10 | m | 130.00 | 3,700.00 | 481,000.00 |
| 603.01 (a)(140") | Alcantarilla de metal corrugado anidable de 140" de diámetro cal 10 | m | 130.00 | 3,900.00 | 507,000.00 |
| 603.01 (a)(155") | Alcantarilla de metal corrugado anidable de 155" de diámetro cal 10 | m | 110.00 | 4,000.00 | 440,000.00 |
| 603.01 (a)(160") | Alcantarilla de metal corrugado anidable de 160" de 4mm de espesor | m | 65.00 | 4,300.00 | 279,500.00 |
| 603.01 (a)(208") | Alcantarilla de metal corrugado anidable de 208" de 4 mm de espesor | m | 90.00 | 5,200.00 | 468,000.00 |
| Sub-total | | | | | \$ 3,626,880.00 |


 "EL ESTADO"

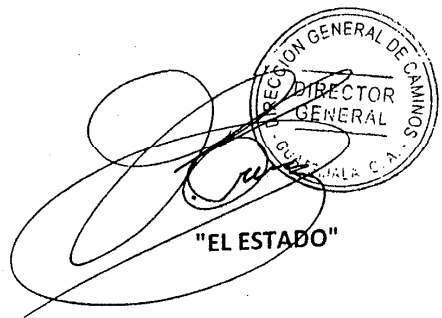

 "EL CONTRATISTA"

SIGMA CONSTRUCTORES, S. A.

NO SE DEBE ASER PARA JURISDICCION GUATEMALA, S.A.

| ANEXO 1 | | | | | |
|--|--|--------|--------------|-----------------|-------------------------|
| LISTA DE CANTIDADES ESTIMADAS DE TRABAJO, PRECIOS UNITARIOS Y TOTALES | | | | | |
| REHABILITACIÓN DE LA RUTA EXISTENTE Y AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA RUTA CA-2 ORIENTE: ESCUINTLA - CIUDAD PEDRO DE ALVARADO | | | | | |
| LONGITUD APROXIMADA : 100.6 KMS | | | | | |
| OFERENTE: SIGMA CONSTRUCTORES, S.A. | | | | | |
| REGLÓN | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | MONTO TOTAL |
| DRENAJE MAYOR Puentes Y PASOS A DESNIVEL | | | | | |
| 205.05 (a)(1) | Excavación estructural para cimentación de estructuras (puentes), en lecho rocoso | m3 | 6,000.00 | 35.00 | 210,000.00 |
| 205.05 (a)(2) | Excavación estructural para cimentación de estructuras (puentes). | m3 | 40,300.00 | 26.25 | 1,057,875.00 |
| 205.11 (b) | Relleno estructural para cimentación de estructuras (puentes) | m3 | 63,320.00 | 36.00 | 2,279,520.00 |
| 554.03 (a) 35 | Concreto clase 5,000 PSI (350) | m3 | 5,470.00 | 780.00 | 4,266,600.00 |
| 553.03(a) 28 | Concreto clase 4,000 PSI (280) | m3 | 8,990.00 | 760.00 | 6,832,400.00 |
| 553.03 (a) 21 | Concreto clase 3,000 PSI (210) | m3 | 3,300.00 | 650.00 | 2,145,000.00 |
| 552.1 | Acero de refuerzo (grado 40) | Kg | 1,520,183.00 | 4.35 | 6,612,796.05 |
| 554.04(a) | Acero de pre esfuerzo | Kg | 188,542.00 | 20.00 | 3,770,840.00 |
| 552.03(f)50 | Acero estructural (grado 50) (Suministro) | Kg | 43,735.00 | 12.00 | 524,820.00 |
| 552.03(f)50 | Acero estructural (grado 50) (Montaje) | Kg | 43,735.00 | 7.00 | 306,145.00 |
| 561.03 (c) | Almohadillas elastoméricas | dm3 | 2,044.00 | 165.00 | 337,260.00 |
| 602.03(c) 4" | Tubo de hierro galvanizado de 4" de diámetro | m | 617.00 | 78.00 | 48,126.00 |
| Sub-total | | | | | \$ 28,391,382.05 |
| REGLONES VARIOS | | | | | |
| 1.00 | Limpieza de alcantarillas menores de 48" | m | 3,000.00 | 8.00 | 24,000.00 |
| 2.00 | Limpieza de alcantarillas mayores de 48" | m | 1,000.00 | 12.00 | 12,000.00 |
| 3.00 | Muro de contención tipo tierra armada, no incluye excavación estructural, relleno estructural, agregado grueso para filtro de subdrenaje ni tela geotextil | m2 | 4,500.00 | 230.00 | 1,035,000.00 |
| 253.10 | Gaviones | m3 | 2,500.00 | 157.00 | 392,500.00 |
| 253.03 (f) | Tela geotextil para sub-drenaje 150 g/m2 | m2 | 153,100.00 | 9.60 | 1,469,760.00 |
| 553.03 (a) 14 | Concreto clase 2,000 PSI (140), para bordillos en ariate central | m3 | 4,556.00 | 490.00 | 2,232,440.00 |
| 604.03 (b) (8") | Tubería perforada de pvc de 8" de diámetro | m | 11,200.00 | 22.00 | 246,400.00 |
| 604.03 (b) (6") | Tubería perforada de pvc de 6" de diámetro | m | 6,000.00 | 20.00 | 120,000.00 |
| 605.03 (h) (1) | Agregado fino para filtro de sub-drenaje | m3 | 9,410.00 | 55.30 | 520,373.00 |
| 605.03 (h) (2) | Agregado grueso para filtro de sub-drenaje | m3 | 17,550.00 | 55.30 | 970,515.00 |
| 607.01 | Cajas y cabezales de alcantarilla de concreto ciclópeo | m3 | 1,765.00 | 262.20 | 462,783.00 |
| 608.04 | Cunetas revestidas de concreto simple (2,000 PSI) fundido en sitio de 7 cms de espesor | m2 | 113,979.00 | 23.40 | 2,667,108.60 |
| 703.04 (a) | Cerco de alambre de púas | m | 25,000.00 | 7.35 | 183,750.00 |
| 609.05 | Bordillos de concreto simple de 15x30 cms | m | 25,000.00 | 17.40 | 435,000.00 |
| 709.04 (c) | Barricadas de concreto prefabricadas (Base = 50 cm) | m | 15,480.00 | 157.50 | 2,438,100.00 |
| Sub-total | | | | | \$ 13,209,729.60 |

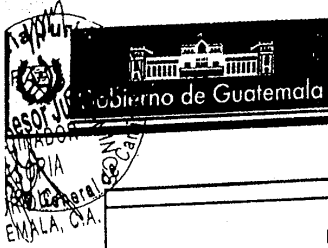
"EL ESTADO"



"EL CONTRATISTA"



SIGMA CONSTRUCTORES, S. A.



NEXO 1
LISTA DE CANTIDADES ESTIMADAS DE TRABAJO, PRECIOS UNITARIOS Y TOTALES

REHABILITACIÓN DE LA RUTA EXISTENTE Y AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA RUTA CA-2 ORIENTE:
 ESCUINLA - CIUDAD PEDRO DE ALVARADO

LONGITUD APROXIMADA : 100.6 KMS
 OFERENTE: SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.

| REGLÓN | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | MONTO TOTAL |
|---|--|--------|---------------|-----------------|-------------------------|
| PAVIMENTO | | | | | |
| 301.05 | Reacondicionamiento de subrasante existente | m2 | 19,400.00 | 1.72 | 33,368.00 |
| 304.04 | Capa de Sub-base - Producción del Material | m3 | 284,115.00 | 11.45 | 3,253,116.75 |
| 304.01 (a) | Capa de Sub-base granular, colocación y compactación (sin acarreo) | m3 | 284,115.00 | 16.80 | 4,773,132.00 |
| 307.02 | Capa de Base - Producción del Material | m3 | 215,962.00 | 20.35 | 4,394,826.70 |
| 307.20 (a) | Capa de base, estabilización, colocación y compactación (sin acarreo) | m3 | 215,962.00 | 30.25 | 6,532,850.50 |
| 307.20(b)1 | Capa de Base Estabilizada - Mezcla y Estabilización con Cemento | kg | 12,396,261.00 | 0.40 | 4,958,504.40 |
| 311.06 | Fresado del pavimento (e = 7 cm), sin acarreo. | m2 | 543,200.00 | 3.00 | 1,629,600.00 |
| 306 | Recuperación de capa de subbase y base (e=10 cm) en el pavimento existente | m2 | 81,480.00 | 4.00 | 325,920.00 |
| 407.09 | Riego de imprimación con RC-250 | Gls. | 411,618.00 | 11.00 | 4,527,798.00 |
| 401.05 | Concreto asfáltico - producción de material petreo | m3 | 95,830.00 | 65.00 | 6,228,950.00 |
| 401.20 | Concreto asfáltico en caliente (sin acarreo) - Por Volumen | m3 | 95,830.00 | 98.00 | 9,391,340.00 |
| 401.20 (c) | Material bituminoso para concreto asfáltico | Gls. | 3,399,275.00 | 5.60 | 19,035,940.00 |
| 406.07 (c) | Mezcla asfáltica en caliente para relleno de grietas gruesas, sin acarreo | m3 | 2,910.00 | 362.00 | 1,053,420.00 |
| 408.09 | Riego de liga | Gls. | 628,771.00 | 6.00 | 3,772,626.00 |
| 501.18(a) | Pavimento de Concreto de Cemento Hidráulico (4,000 PSI) para bahías y retornos, sin acero y sin formaleta. | m3 | 19,942.00 | 270.00 | 5,384,340.00 |
| 208.06 (1) | Acarreo de material triturado para sub-base, base, concreto asfáltico y material de aporte, medido en camión | m3-Km. | 8,309,792.00 | 1.10 | 9,140,771.20 |
| 208.06 (2) | Acarreo de concreto asfáltico y concreto hidráulico, medido en camión | m3-Km. | 1,831,286.43 | 1.20 | 2,197,543.72 |
| 208.06 (3) | Acarreo de piedra, medido en camión, para trituración y estabilización | m3-Km. | 4,999,247.00 | 1.70 | 8,498,719.90 |
| Sub-total | | | | | \$ 95,132,767.17 |
| DISPOSITIVOS PARA CONTROL DE TRÁFICO | | | | | |
| 701.05 | Defensas metálicas (postes y rieles) | m | 1,000.00 | 65.20 | 65,200.00 |
| 704.06 | Monumentos de kilometraje, suministro y colocación | Unidad | 214.00 | 110.00 | 23,540.00 |
| 705.06 | Postes delineadores suministro y colocación | Unidad | 500.00 | 90.00 | 45,000.00 |
| 706.06 | Pintura termoplástica para línea central | Km. | 214.00 | 2,200.00 | 470,800.00 |
| 706.06 (b) | Pintura termoplástica para línea no central | Km. | 428.00 | 2,625.00 | 1,123,500.00 |
| 707.04(b)SR | Señales de tráfico restrictivas de metal, suministro y colocación | Unidad | 500.00 | 197.50 | 98,750.00 |
| 707.04(b)SP | Señales de tráfico preventivas de metal, suministro y colocación | Unidad | 800.00 | 197.50 | 158,000.00 |
| 707.04(b)LS | Señales de tráfico informativas laterales simples de metal, suministro y colocación | Unidad | 25.00 | 290.00 | 7,250.00 |
| 707.04(b)LD | Señales de tráfico informativas laterales dobles de metal, suministro y colocación | Unidad | 15.00 | 442.00 | 6,630.00 |
| 707.04(b)LP | Señales de tráfico indicadoras del proyecto, suministro y colocación | Unidad | 8.00 | 1,800.00 | 14,400.00 |
| 707.06 | Señal informativa tipo bandera de 0.75 M X 2.44 m calibre 16 | Unidad | 5.00 | 6,000.00 | 30,000.00 |
| 706.09 | Dispositivos para señalización nocturna, suministro y colocación | Unidad | 40,200.00 | 3.60 | 144,720.00 |
| Sub-total | | | | | \$ 2,187,790.00 |

"EL ESTADO"
 DIRECTOR GENERAL
 DGC - GUATEMALA, S.A.

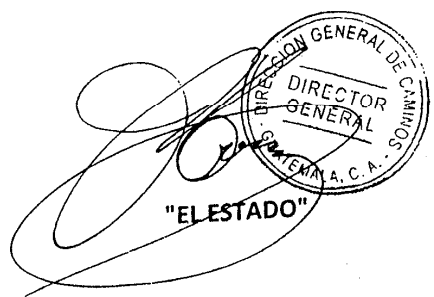
"EL CONTRATISTA"
 SIGMA CONSTRUCTORES, S. A.

GENERAL
 JORNADOR
 ASESORIA
 JURIDICA
 JATEMALA, C.A.

ANEXO 1
LISTA DE CANTIDADES ESTIMADAS DE TRABAJO, PRECIOS UNITARIOS Y TOTALES
REHABILITACIÓN DE LA RUTA EXISTENTE Y AMPLIACIÓN A CUATRO CARRILES DE LA RUTA CA-2 ORIENTE:
ESCUINTLA - CIUDAD PEDRO DE ALVARADO

LONGITUD APROXIMADA : 100.6 KMS
 OFERENTE: SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.

| RENGLÓN | DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNITARIO | MONTO TOTAL |
|--|--|--------|------------|-----------------|--------------------------|
| MITIGACIÓN AMBIENTAL | | | | | |
| ETE-1 | Ejecutor ambiental | mes | 36.00 | 5,000.00 | 180,000.00 |
| ETE-2 | Siembra de cesped en retornos, intersecciones, medianas, botaderos, bancos y taludes de relleno | m2 | 100,000.00 | 4.00 | 400,000.00 |
| ETE-3 | Revegetación con arbustos en taludes de corte, taludes de relleno, y mejoramiento del paisaje del derecho de vía | Unidad | 50,000.00 | 5.00 | 250,000.00 |
| ETE-4 | Revegetación con árboles entre 20 a 40 cm de altura en riberas de río, campamentos, bancos de desperdicio, bancos de materiales y mejoramiento del paisaje del derecho de vía | Unidad | 50,000.00 | 8.00 | 400,000.00 |
| ETE-5 | Construcción de paradas de buses | Unidad | 24.00 | 8,500.00 | 204,000.00 |
| ETE-6 | Revegetación de taludes con vetiver en rellenos | Unidad | 25,000.00 | 3.00 | 75,000.00 |
| ETE-7 | Revegetación de taludes con hidrosiembra | m2 | 25,000.00 | 7.00 | 175,000.00 |
| ETE-8 | Mantenimiento de siembra de cesped en retornos, intersecciones, medianas, botaderos, bancos y taludes de relleno | m2 | 10,000.00 | 4.00 | 40,000.00 |
| ETE-9 | Mantenimiento de arbustos en taludes de corte, taludes de relleno, y mejoramiento del paisaje del derecho de vía | Unidad | 5,000.00 | 5.00 | 25,000.00 |
| ETE-10 | Mantenimiento de árboles entre 20 y 40 cms de altura en riberas de río, campamentos, bancos de desperdicio, bancos de materiales y mejoramiento del paisaje del derecho de vía | Unidad | 5,000.00 | 8.00 | 40,000.00 |
| ETE-11 | Mantenimiento de vetiver en rellenos | Unidad | 2,500.00 | 3.00 | 7,500.00 |
| ETE-12 | Mantenimiento de hidrosiembra | m2 | 2,500.00 | 7.00 | 17,500.00 |
| ETE-13 | Rehabilitación de zonas de campamento con material vegetal para uso agrícola | m2 | 10,000.00 | 15.00 | 150,000.00 |
| ETE-14 | Preparación de suelos para siembra de cesped | m2 | 15,000.00 | 11.00 | 165,000.00 |
| ETE-15 | Trabajos por administración de millgación ambiental | SG | 1.00 | 130,000.00 | 130,000.00 |
| ETE-16 | Dragado de ríos (sin acarreo) | m3 | 50,250.00 | 8.00 | 402,000.00 |
| Sub-total | | | | | \$ 2,661,000.00 |
| Sub-total de Construcción de obra | | | | | \$ 249,742,745.00 |
| TOTAL CON IVA 12 %: | | | | | \$ 258,404,800.00 |


 DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS
 DIRECTOR GENERAL
 SIGMA CONSTRUCTORES, S.A.
"EL ESTADO"


"EL CONTRATISTA"

SIGMA CONSTRUCTORES, S. A.

15.4. Oferta Proyecto ampliación 4 carriles ruta Centroamérica CA-Occidente Tramo Nahuala-Cuatro Caminos

Enlace Guatecompras:

<https://www.guatecompras.gt/concursos/consultaConcurso.aspx?nog=208817&o=4>

Enlace Ministerio de Finanzas Públicas:

<https://siges.minfin.gob.gt/sigesweb/gc/contrato.aspx?con=S43>



ANEXO A del contrato 288-2006-DGC-EMERGENCIA

Formulario de Oferta

Proyecto: Diseño y Construcción de la Ampliación a 4 Carriles de la Ruta Centroamericana-01
Tramo: Nahuala(km. 158) - Cuatro Caminos (km. 188) Long. 30 kms. -

| Renglon | Descripcion | Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Costo Total |
|-------------|---|--------------|--------|-----------------|-----------------------|
| | Trabajos Preliminares | | | | 19,150,870.57 |
| 105.06 | Planos Finales de la Obra Construida | 61.00 | U | 1,384.37 | 84,446.57 |
| S/N | Diseño Definitivo del Proyecto | 30.00 | KM | 24,953.62 | 748,608.60 |
| S/N | Adquisición de Derechos de Via | 180,000.00 | M2 | 65.70 | 11,826,000.00 |
| S/N | Reubicación Casas | 2,300.00 | M2 | 2,207.97 | 5,078,331.00 |
| 201.03 | Retiro de Estructuras Existentes | 10.00 | ME | 124,429.96 | 1,244,299.60 |
| 201.04 | Retiro de Servicios Públicos (Postes) | 40.00 | U | 1,715.08 | 68,603.20 |
| 611.03 | Limpieza de Alcantarillas | 1,680.00 | ML | 59.87 | 100,581.60 |
| | Terracería | | | | 98,527,043.00 |
| 202 | Limpia Chapeo y Destronque | 39.75 | HA | 35,597.60 | 1,415,004.60 |
| 203.04(b) | Excavación no Clasificada | 220,000.00 | M3 | 38.18 | 8,399,600.00 |
| 203.04(c) | Excavación no Clasificada Material de Desperdicio | 1,239,430.00 | M3 | 20.41 | 25,298,766.30 |
| 203.04(d) | Excavación no Clasificada Material de Prestamo | 115,000.00 | M3 | 38.42 | 4,418,300.00 |
| 203.04(e) | Remoción de Material Inapropiado (Sub-Excavación) | 34,800.00 | M3 | 48.45 | 1,686,060.00 |
| | Excavación de Canales | 2,160.00 | M3 | 68.15 | 147,204.00 |
| 205.05 | Excav. Estruct. Para Cimentación de Cajas y Cabezas | 240.00 | M3 | 120.89 | 29,013.60 |
| 205.06 | Excavación Estructural Para Alcantarillas | 7,155.00 | M3 | 108.90 | 779,179.50 |
| 205.07 | Excavación Estructural para Sub Drenajes | 5,400.00 | M3 | 72.85 | 393,390.00 |
| 208 | Acarreo | 5,087,000.00 | MK | 3.64 | 18,516,680.00 |
| 203.04(g) | Excavación en Roca de Desperdicio | 210,500.00 | M3 | 177.89 | 37,445,845.00 |
| | Drenaje Menor | | | | 2,491,522.50 |
| 603.01(30") | Alcantarillas de Metal Corrugado d=30" | 1,336.00 | M | 1,108.26 | 1,480,635.36 |
| 603.01(36") | Alcantarillas de Metal Corrugado d=36" | 287.00 | M | 1,429.02 | 410,128.74 |
| 603.01(42") | Alcantarillas de Metal Corrugado d=42" | 96.00 | M | 1,609.34 | 154,496.64 |
| 603.01(48") | Alcantarillas de Metal Corrugado d=48" | 96.00 | M | 1,855.23 | 178,102.08 |
| 603.01(60") | Alcantarillas de Metal Corrugado d=60" | 96.00 | M | 2,793.33 | 268,159.68 |
| | Renglon Varios | | | | 22,540,627.80 |
| 605.03(e) | Tubería Perforada de PVC de 6" | 4,500.00 | M | 150.03 | 675,135.00 |
| 605.03(i) | Agregado Grueso para Filtro de Sub Drenajes | 1,215.00 | M3 | 298.82 | 363,066.30 |
| 605.03(j) | Agregado Fino para Filtro de Sub Drenajes | 2,430.00 | M3 | 296.23 | 719,838.90 |
| 605.03(k) | Tela Geotextil Para Sub Drenajes | 16,200.00 | M2 | 15.40 | 249,480.00 |
| 607.08 | Cajas y Cabezas de Concreto Ciclopeo | 960.00 | m3 | 1,547.27 | 1,485,379.20 |
| 609 | Bordillos de Concreto Clase 2000 40cms X 15 cms | 60,000.00 | ML | 112.71 | 6,762,600.00 |
| 608.04 | Cunetas de Concreto Clase 2000 e=7 cms. | 37,500.00 | M2 | 152.20 | 5,707,500.00 |
| 703.03(a) | Cercas de Alambre Espigado y Postes de Madera | 6,000.00 | ML | 68.53 | 411,180.00 |
| 01 | Derramaderos de Piedra Ligada con Mortero e=10 c | 4,320.00 | M2 | 229.87 | 993,038.40 |
| 555 | Muros de Concreto Ciclopeo | 2,625.00 | m3 | 1,547.27 | 4,061,583.75 |
| 253.02 | Muros de Gaviones | 1,125.00 | M3 | 988.29 | 1,111,826.25 |
| | Pavimento | | | | 152,315,301.58 |
| 301 | Sub Rasante Mejorada | 30.00 | KM | 107,771.01 | 3,233,130.30 |
| 407 | Riego de Imprimación | 215,250.00 | GL | 32.10 | 6,909,525.00 |
| 401 | Cemento Asfáltico | 968,042.00 | GA | 17.51 | 16,915,395.42 |
| 408 | Riego de Liga | 67,650.00 | GL | 27.97 | 1,892,170.50 |
| 307.01(a) | Capa de Sub Base de Suelo Cemento | 66,190.00 | M3 | 280.54 | 18,568,942.60 |
| 310.01 | Recuperación y Estabilización Pavimento Existente | 52,582.50 | M3 | 368.34 | 19,368,238.05 |
| 308.01(a) | Capa de Base de Suelo Cemento | 65,190.00 | M3 | 471.41 | 30,731,217.90 |
| S/N | Concreto Asfáltico de Rodadura (Modificado) | 57,195.00 | TO | 240.72 | 13,767,980.40 |
| 411.02(a) | Cemento Asfáltico Modificado | 800,730.00 | GA | 30.34 | 24,294,148.20 |
| 401 | Concreto Asfáltico (Binder) | 69,003.00 | TO | 241.07 | 16,634,553.21 |
| | Señalización | | | | 5,308,890.27 |
| 704.02 | Monumentos de Kilometraje | 60.00 | U | 578.28 | 34,696.80 |
| 705.02 | Postes Delineadores | 3,750.00 | U | 210.63 | 789,862.50 |
| 706.03(lc) | Pintura Termoplástica p/ Líneas Longitud. Centra | 60.00 | KM | 14,316.16 | 858,969.60 |
| 706.03(lnc) | Pintura Termoplástica p/ Líneas Longitud. No Cen | 120.00 | KM | 14,316.16 | 1,717,939.20 |
| 707.02 | Señales de Tránsito Restrictivas de Metal | 30.00 | U | 1,584.95 | 47,548.50 |
| 707.02(P) | Señales de Tránsito Preventivas de Metal | 45.00 | U | 1,650.65 | 74,279.25 |
| 707.02(1T) | Señales de Tránsito Informativas de Metal 1 Tabl | 40.00 | U | 2,753.71 | 110,148.40 |
| 707.02(2T) | Señales de Tránsito Informativas de Metal 2 Tabl | 8.00 | U | 4,443.48 | 35,547.84 |
| 707.02(IP) | Señales de Identificación de Proyecto | 2.00 | U | 37,550.59 | 75,101.18 |
| 706.03(f) | Dispositivos de Señalización Nocturna | 14,400.00 | U | 28.95 | 416,880.00 |
| 701.01 | Defensas Metálicas para Carreteras y Puentes | 1,875.00 | ML | 542.20 | 1,016,625.00 |
| 702.02 | Monumentos Indicadores de Derecho de Via | 600.00 | U | 218.82 | 131,292.00 |

CAMINOS, ES DESARROLLO



REPUBLICA DE GUATEMALA
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS
Finca Nacional La Aurora, Zona 13, Guatemala C.A.

Teléfonos: 472-0440 al 3

ANEXO A DEL CONTRATO 200-2000-DGC-EMERGENCIA

Formulario de Oferta

Proyecto: Diseño y Construcción de la Ampliación a 4 Carriles de la Ruta Centroamericana-01
Tramo: Nahuala(km. 158) - Cuatro Caminos (km. 188) Long. 30 kms. -

| Renglon | Descripcion | Cantidad | Unidad | Precio Unitario | Costo Total |
|--|---|-----------|--------|-----------------|----------------------|
| Drenaje Mayor (Bovedas) | | | | | 901,340.90 |
| 205.05 | Excavacion Estructural para Bovedas | 950.00 | M3 | 67.81 | 64,419.50 |
| 206.04(b) | Relleno Estructural | 240.00 | M3 | 171.83 | 41,239.20 |
| 603.07(b) | Boveda Metalica Seccion Circular D=3 mts. | 20.00 | ML | 19,669.60 | 393,392.00 |
| 607.08 | Cabezales de Concreto Ciclopeo para Bovedas | 260.00 | m3 | 1,547.27 | 402,290.20 |
| Drenaje Mayor (Puentes) | | | | | 33,294,999.00 |
| S/N | Puente 90 mts. | 90.00 | ml | 233,649.30 | 21,028,437.00 |
| S/N | Puente 60 mts. | 80.00 | ml | 204,442.70 | 12,266,562.00 |
| Medio Ambiente y Seguridad Industrial | | | | | 5,516,940.23 |
| ETE-1 | Ejecutar Ambiental | 24.00 | M | 23,736.17 | 569,668.08 |
| ETE-2 | Reforestacion | 26,957.00 | U | 47.87 | 1,290,431.59 |
| ETE-2 | Siembra de Gramineas | 71,000.00 | M2 | 45.80 | 3,251,800.00 |
| 708 | Dispositivos de Seguridad p/Control Temporal de | 24.00 | m | 16,876.69 | 405,040.56 |

Monto Total de la Oferta (Incluye IVA) 340,047,535.85



SOLEL BONEH INTERNATIONAL LTD.

15.5. Reporte volúmenes Civil 3D

Cut/Fill Report

Generated: 2021-11-13 17:06:23

By user: Jose G-C

Drawing: C:\Users\Jose G-C\Documents\Reunión Asesoría Tesis\C:\Users\Jose G-C\Documents\Reunión Asesoría Tesis\Tesis_Final_1.dwg

Volume Summary

| Name | Type | Cut Factor | Fill Factor | 2d Area (sq.m) | Cut (Cu. M.) | Fill (Cu. M.) | Net (Cu. M.) |
|-------------------------------|------|------------|-------------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Volúmenes Derecho de Vía 40 m | full | 1.000 | 1.000 | 651143.34 | 842131.60 | 378382.30 | 463749.30<Cut> |

Totals

| | 2d Area (sq.m) | Cut (Cu. M.) | Fill (Cu. M.) | Net (Cu. M.) |
|-------|----------------|--------------|---------------|----------------|
| Total | 651143.34 | 842131.60 | 378382.30 | 463749.30<Cut> |

* Value adjusted by cut or fill factor other than 1.0

15.6. Planos tramo



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACIÓN

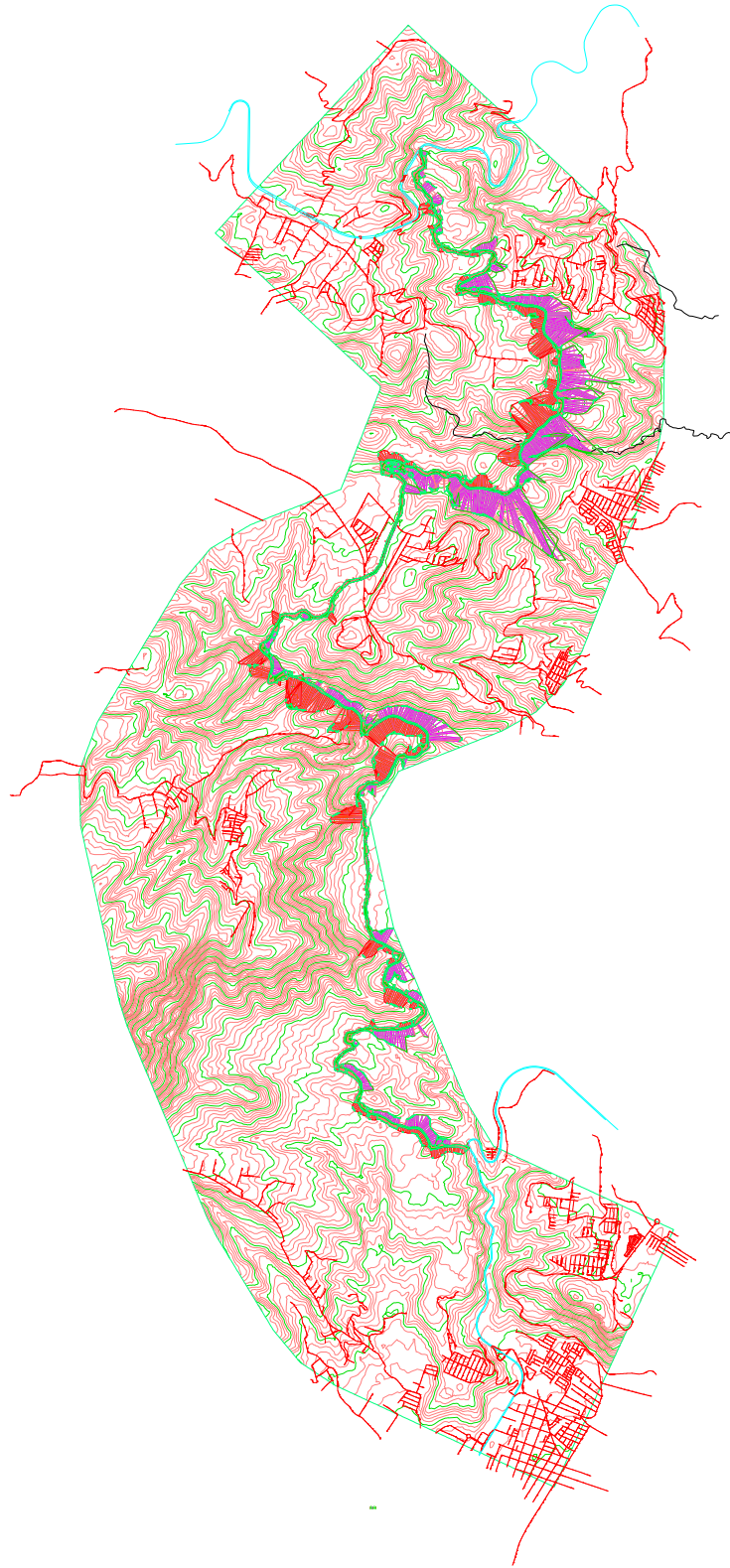
PROYECTO:
PROPUESTA TRAMO
CA-9 SUR Y CA-1 ORIENTE

CONTENIDO:
TRAMO EST 0+000 - EST
20+133

AUTOR:
JOSÉ A. GONZÁLEZ-CAMPO

CARNET:
16727

PLANO:
01/08



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACIÓN

PROYECTO:
PROPUESTA TRAMO
CA-9 SUR Y CA-1 ORIENTE

CONTENIDO:
TRAMO CON CORTES
Y RELLENOS

AUTOR:
JOSÉ A. GONZÁLEZ-CAMPO

CARNET:
16727

PLANO:
02/08



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACIÓN

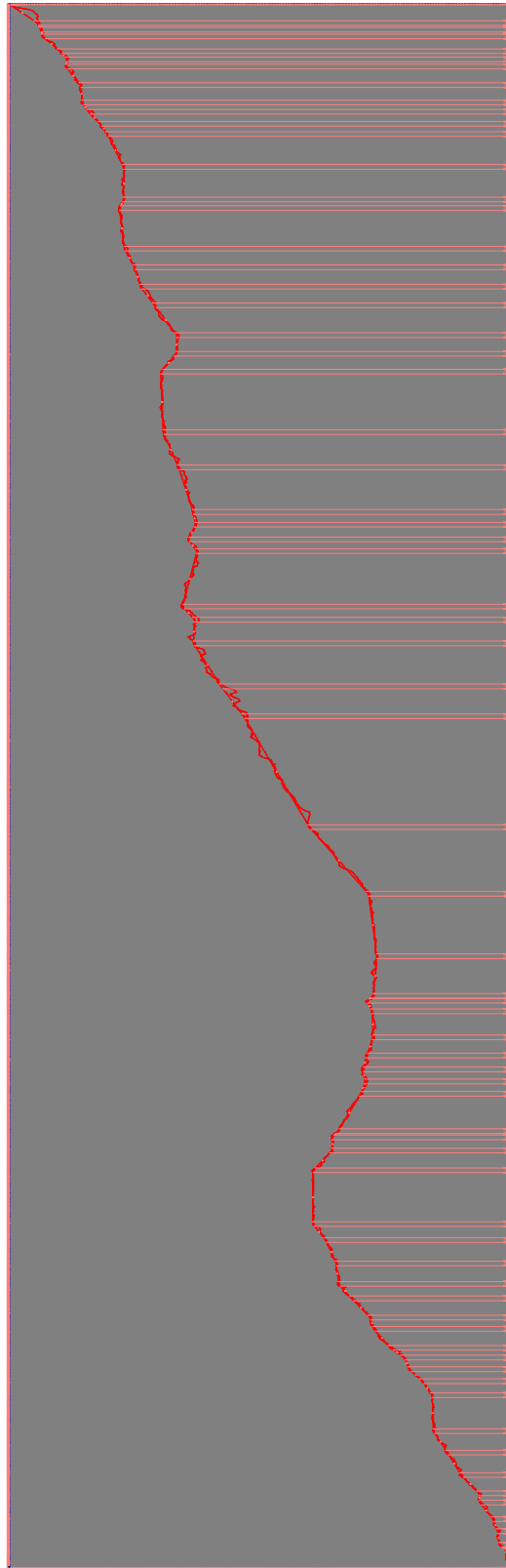
PROYECTO:
PROPUESTA TRAMO
CA-9 SUR Y CA-1 ORIENTE

CONTENIDO:
PERFIL LONGITUDINAL
SIN CORRECCIONES

AUTOR: JOSÉ A. GONZÁLEZ-CAMPO

CARNET: 16727

PLANO: 03/08



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACIÓN

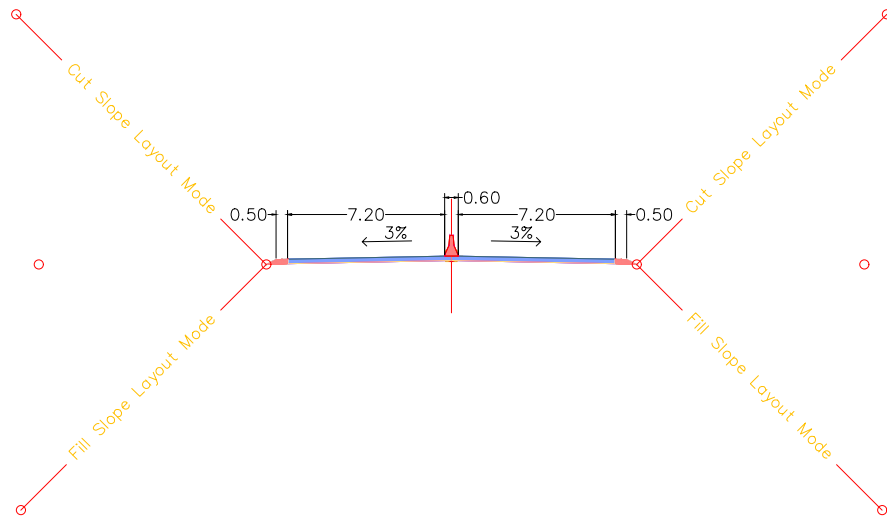
PROYECTO:
PROPUESTA TRAMO
CA-9 SUR Y CA-1 ORIENTE

CONTENIDO:
PERFIL LONGITUDINAL
CORRECCIONES RASANTE

AUTOR:
JOSÉ A. GONZÁLEZ-CAMPO

CARNET:
16727

PLANO:
04/08



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
 DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
 TRABAJO DE GRADUACIÓN

PROYECTO:
 PROPUESTA TRAMO
 CA-9 SUR Y CA-1 ORIENTE

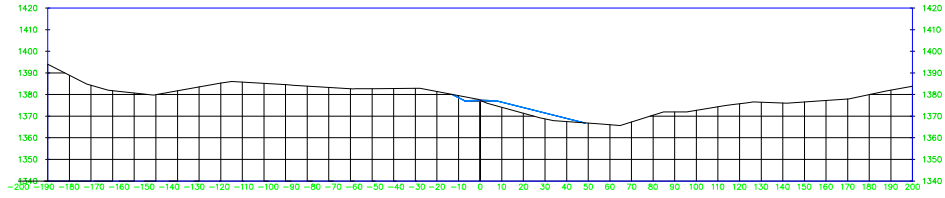
CONTENIDO:
 SECCIÓN TÍPICA

AUTOR: JOSÉ A. GONZÁLEZ-CAMPO

CARNET: 16727

PLANO: 05/08

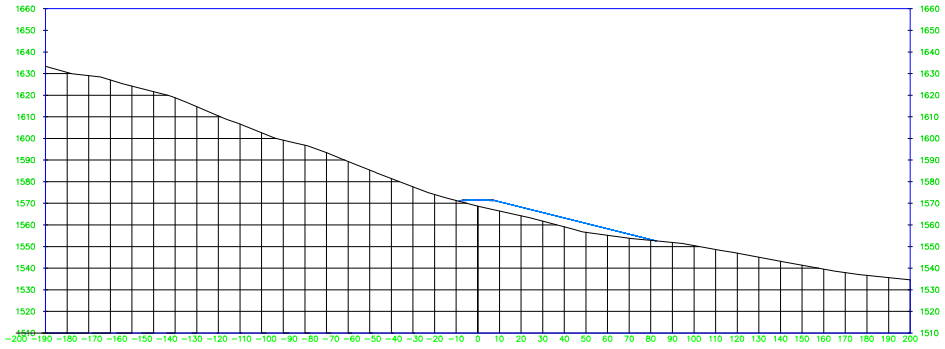
0+000.00



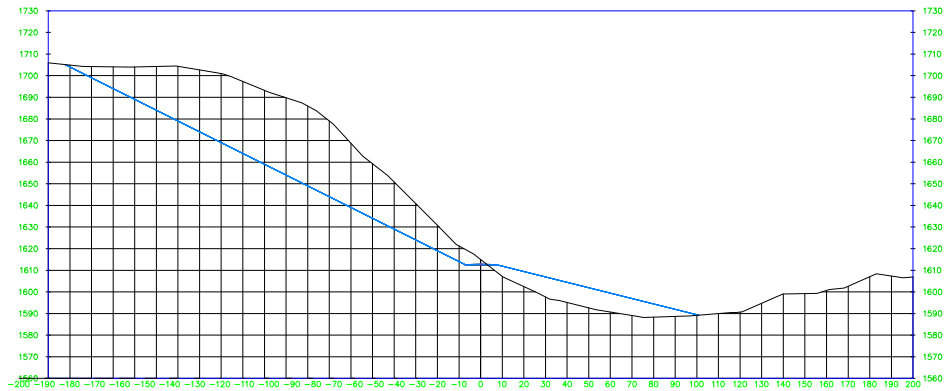
2+000.00



4+000.00



8+000.00



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACIÓN

PROYECTO:
PROPUESTA TRAMO
CA-9 SUR Y CA-1 ORIENTE

CONTENIDO:
SECCIONES VARIAS

AUTOR:

JOSÉ A. GONZÁLEZ-CAMPO

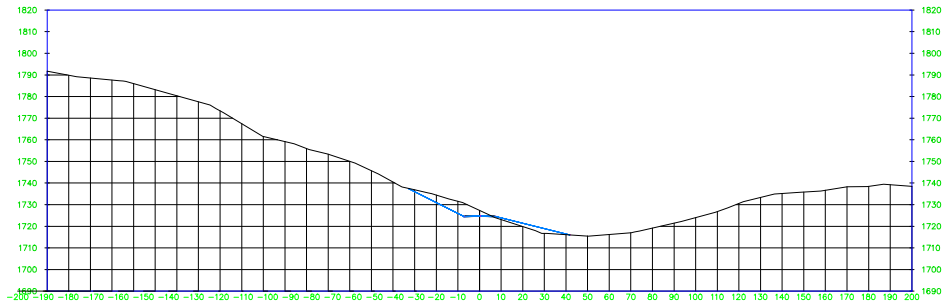
CARNET:

16727

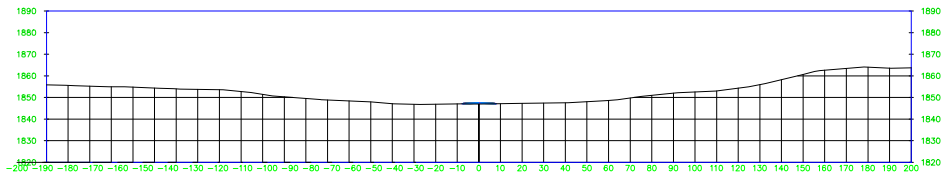
PLANO:

06/08

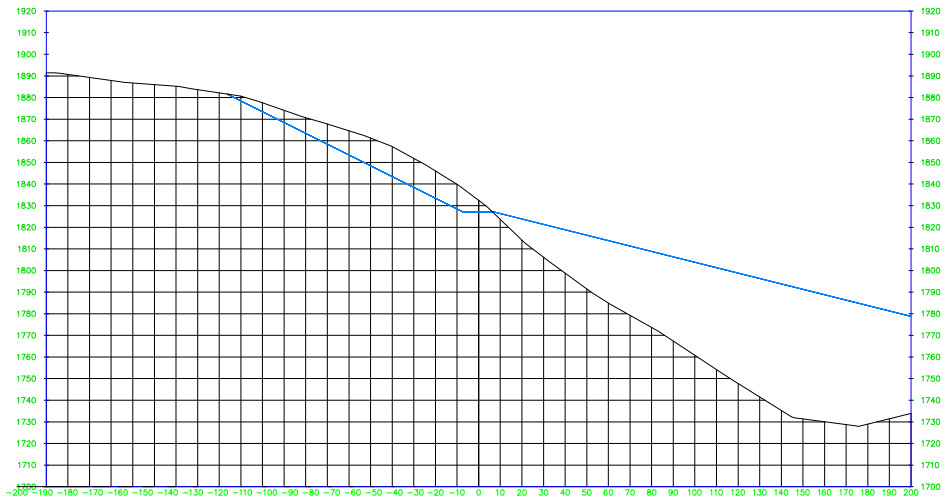
10+000.00



12+000.00



14+000.00



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACIÓN

PROYECTO:
PROPUESTA TRAMO
CA-9 SUR Y CA-1 ORIENTE

CONTENIDO:
SECCIONES VARIAS

AUTOR:

JOSÉ A. GONZÁLEZ-CAMPO

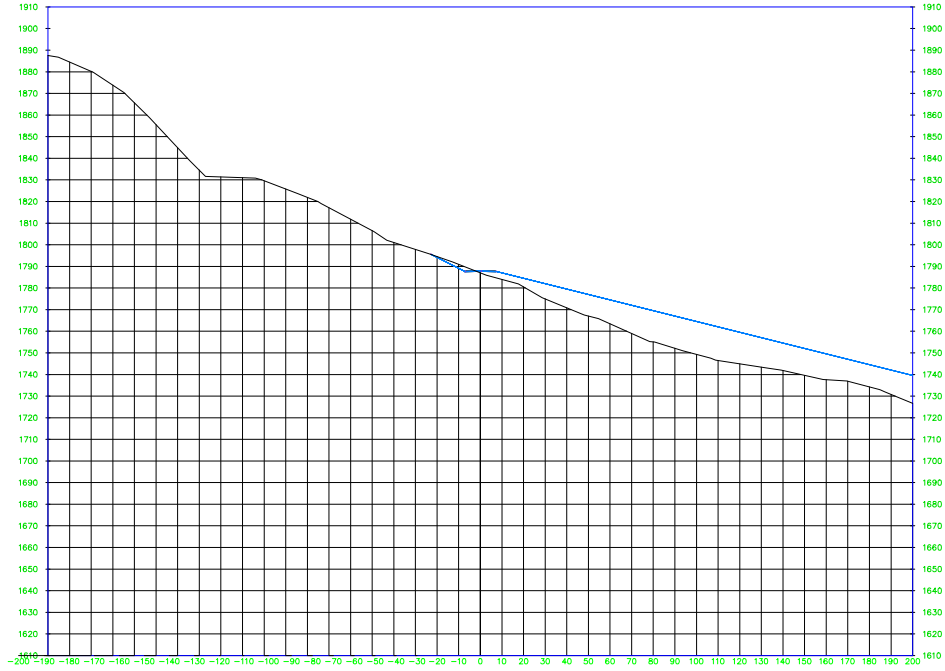
CARNET:

16727

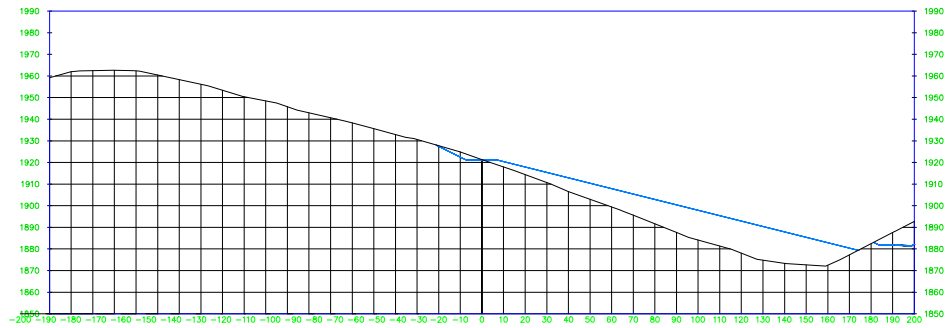
PLANO:

07/08

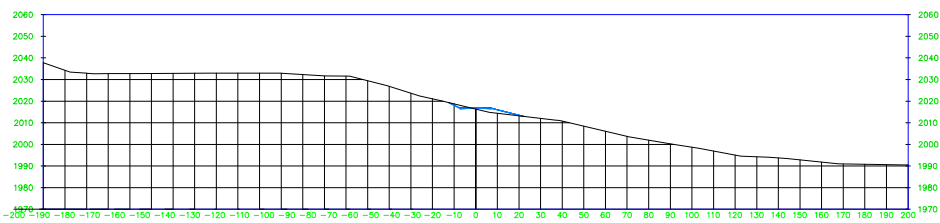
16+000.00



18+000.00



20+000.00



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL
TRABAJO DE GRADUACIÓN

PROYECTO:
PROPUESTA TRAMO
CA-9 SUR Y CA-1 ORIENTE

CONTENIDO:
SECCIONES VARIAS

AUTOR:

JOSÉ A. GONZÁLEZ-CAMPO

CARNET:

16727

PLANO:

08/08

