



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACION DE INTERSECCION EN VIAS DE PRIMER ORDEN DE LA
CIUDAD DE MACHALA**

**SALINAS GONZAGA JULIANA LISBETH
INGENIERA CIVIL**

**TORRES CHAMBA JOSELYN DEL CISNE
INGENIERA CIVIL**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACION DE INTERSECCION EN VIAS DE PRIMER
ORDEN DE LA CIUDAD DE MACHALA**

**SALINAS GONZAGA JULIANA LISBETH
INGENIERA CIVIL**

**TORRES CHAMBA JOSELYN DEL CISNE
INGENIERA CIVIL**

**MACHALA
2023**



UTMACH

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTOS TÉCNICOS

**EVALUACION DE INTERSECCION EN VIAS DE PRIMER
ORDEN DE LA CIUDAD DE MACHALA**

**SALINAS GONZAGA JULIANA LISBETH
INGENIERA CIVIL**

**TORRES CHAMBA JOSELYN DEL CISNE
INGENIERA CIVIL**

ROMERO VALDIVIEZO ELSI AMERICA

**MACHALA
2023**

TRABAJO SALINAS – TORRES

por JULIANA SALINAS

Fecha de entrega: 27-feb-2024 10:18a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2306018217

Nombre del archivo: SALINAS-TORRES_TESIS.pdf (1.5M)

Total de palabras: 17266

Total de caracteres: 88887

EVALUACION DE INTERSECCION EN VIAS DE PRIMER ORDEN DE LA CIUDAD DE MACHALA

INFORME DE ORIGINALIDAD

7%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|--|-----|
| 1 | Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante | 1% |
| 2 | repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 3 | repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet | 1% |
| 4 | prezi.com Fuente de Internet | 1% |
| 5 | Submitted to Universidad de Medellin Trabajo del estudiante | 1% |
| 6 | biblio.flacsoandes.edu.ec Fuente de Internet | 1% |
| 7 | webidu.idu.gov.co Fuente de Internet | <1% |
| 8 | fdocuments.es Fuente de Internet | <1% |

| | | |
|----|--|------|
| 9 | rcc.cujae.edu.cu Fuente de Internet | <1 % |
| 10 | repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080 Fuente de Internet | <1 % |
| 11 | Submitted to ulatina Trabajo del estudiante | <1 % |
| 12 | dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet | <1 % |
| 13 | pdfcoffee.com Fuente de Internet | <1 % |

Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 40 words

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

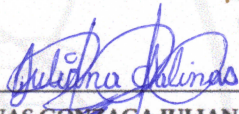
Las que suscriben, SALINAS GONZAGA JULIANA LISBETH y TORRES CHAMBA JOSELYN DEL CISNE, en calidad de autoras del siguiente trabajo escrito titulado EVALUACION DE INTERSECCION EN VIAS DE PRIMER ORDEN DE LA CIUDAD DE MACHALA, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Las autoras declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

Las autoras como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



SALINAS GONZAGA JULIANA LISBETH

0706222023



TORRES CHAMBA JOSELYN DEL CISNE

0750217739



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
INGENIERÍA CIVIL

TRABAJO TITULACIÓN

EVALUACIÓN DE INTERSECCIÓN EN VÍAS DE PRIMER ORDEN DE LA
CIUDAD DE MACHALA

SALINAS GONZAGA JULIANA LISBETH
TORRES CHAMBA JOSELYN DEL CISNE

ING. ELSI ROMERO VALDIVIEZO, MGS

MACHALA

2024

Dedicatoria

Dedicamos esta tesis con gratitud y amor a Dios, a nuestros padres, hermanos, y parejas. Han sido un pilar fundamental en nuestro camino académico e inspiración para culminar exitosamente todo este proceso. A nuestros abuelos, quienes desde el cielo nos acompañan día tras día lo largo de esta trayectoria. Finalmente, extendemos nuestra dedicatoria a todas las personas que a lo largo de nuestra carrera nos brindaron su valiosa colaboración y respaldo invaluable.

Agradecimiento

Extendemos un profundo agradecimiento a quienes estuvieron en todo momento acompañándonos en este proceso y fueron parte de inspiración, apoyo y fortaleza para salir adelante. Principalmente a Dios, quien siempre nos brinda fuerza y perseverancia para lograr culminar con nuestra carrera universitaria. A los ingenieros, Elsi Romero y Carlos Sánchez, cuya orientación y sabiduría han sido parte fundamental en la realización de este trabajo de titulación.

Agradezco a mi abuelito que está en el cielo porque fue inspiración para no rendirme, a mi pareja que siempre me brinda comprensión y amor en los momentos más difíciles, a mis padres por darme todo el apoyo incondicional.

Juliana Salinas Gonzaga

Agradezco a mi hija por ser mi luz en cada momento de mi vida; a mi familia, especialmente a mis queridos padres y a mi compañero de vida por su inquebrantable paciencia y amor, brindándome su apoyo en los momentos más difíciles, además de su presencia constante en cada etapa de este arduo camino.

Joselyn Torres Chamba

Resumen

Una intersección vial es el punto donde se cruzan dos o más vías urbanas, permitiendo a sus usuarios el intercambio de caminos. Aquellas intersecciones ubicadas en zonas urbanas suelen experimentar un alto volumen de tráfico, lo que provoca congestión vehicular. Con el objetivo de analizar si los usuarios cuentan con un servicio eficiente de circulación vial se evalúa la capacidad vial y nivel de servicio mediante la simulación del software AISUM. La metodología propuesta se basa en el análisis de diferentes indicadores que permiten la evaluación de la intersección en estudio, tales como el diseño geométrico, el tráfico vehicular y los puntos de control o semaforización. El estudio se realiza en la intersección de la Av. Ferroviaria y la vía E25 debido a que en este cruce circula un gran volumen de vehículos, específicamente pesados. El proceso comienza con una observación directa que identifica los tipos de vehículos, las maniobras permitidas y la sincronización de semáforos. Posteriormente, se deben considerar las velocidades y las características geométricas de diseño. Finalmente, se realiza la aplicación de un aforo vehicular para conocer el flujo de tráfico existente, el flujo de saturación y calcular la demora media en cada sentido de la intersección, valor que se utiliza para definir el nivel de servicio. Se obtuvo un tiempo de demora general de 20 segundos por vehículo, clasificándola como un nivel de servicio “C”. En conclusión, se propone una alternativa para mejorar el nivel de servicio en caso que se requiera.

Palabras claves: intersección a nivel, software AIMSUN, nivel de servicio, congestionamiento, evaluación.

Abstract

A road intersection is the point where two or more urban roads intersect, allowing their users to exchange paths. Those intersections located in urban areas often experience a high volume of traffic, causing traffic congestion. With the objective of analyzing whether users have an efficient road circulation service, the road capacity and level of service are evaluated through the simulation of the AISUM software. The proposed methodology is based on the analysis of different indicators that allow the evaluation of the intersection under study, such as the geometric design, vehicular traffic and control points or traffic lights. The study is carried out at the intersection of Av. Ferroviaria and road E25 because a large volume of vehicles, specifically heavy ones, circulate at this intersection. The process begins with direct observation that identifies vehicle types, permitted maneuvers, and traffic light synchronization. Subsequently, speeds and geometric design characteristics must be considered. Finally, a vehicle capacity is applied to know the existing traffic flow, the saturation flow and calculate the average delay in each direction of the intersection, a value that is used to define the level of service. A general delay time of 20 seconds per vehicle was obtained, classifying it as a “C” service level. In conclusion, an alternative is proposed to improve the level of service if required.

Keywords: grade intersection, AIMSUN software, level of service, congestion, evaluation

Índice

| | |
|---|----|
| Dedicatoria | 2 |
| Agradecimiento | 3 |
| Resumen | 4 |
| Abstract | 5 |
| Índice | 6 |
| Introducción..... | 9 |
| Importancia del tema | 9 |
| Actualidad de la problemática | 10 |
| Estructura del trabajo..... | 11 |
| 1. Planteamiento del problema..... | 11 |
| 1.1. Antecedentes (Línea base del proyecto)..... | 11 |
| 1.2. Descripción de la Situación problemática (Causas y efectos)..... | 12 |
| 1.3. Formulación del problema: preguntas científicas..... | 13 |
| 1.4. Delimitación del objeto de estudio | 14 |
| 1.5. Justificación..... | 15 |
| 1.6. Objetivos: general y específicos | 15 |
| 1.6.1. Objetivo general..... | 15 |
| 1.6.2. Objetivos específicos..... | 16 |
| 2. Estado del arte..... | 16 |
| 2.1. Antecedentes contextuales..... | 16 |
| 2.2. Antecedentes conceptuales | 19 |
| 2.3. Antecedentes referenciales | 23 |
| 3. Metodología | 26 |
| 3.1. Modalidad básica de la investigación..... | 26 |
| 3.1.1. Enfoque | 26 |
| 3.2. Tipo de investigación..... | 26 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.3. | Población y muestra..... | 27 |
| 3.3.1. | Población..... | 27 |
| 3.3.2. | Muestra..... | 27 |
| 3.4. | Métodos con los materiales utilizados..... | 28 |
| 3.4.1. | Método teórico | 28 |
| 3.4.2. | Método empírico | 41 |
| 4. | Análisis e interpretación de resultados..... | 46 |
| 4.1. | Análisis de resultados | 46 |
| 4.2. | Interpretación de datos..... | 50 |
| 4.3. | Verificación de hipótesis | 53 |
| 4.4. | Propuesta de alternativa de solución..... | 53 |
| | Conclusiones | 57 |
| | Referencias Bibliográficas | 57 |
| | Anexos..... | 64 |

Índice de imágenes

| | | |
|-------------|--|----|
| Imagen N° 1 | Intersección Av. Ferroviaria y la Vía Panamericana..... | 14 |
| Imagen N° 2 | Fase I Vía Panamericana y Av. Ferroviaria | 48 |
| Imagen N° 3 | Fase II Vía Panamericana y Av. Ferroviaria..... | 48 |
| Imagen N° 4 | Simulación de nivel de servicio en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria..... | 52 |
| Imagen N° 5 | Simulación de nivel de servicio de la propuesta de intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria | 56 |
| Imagen N° 6 | Realización de aforos vehiculares manuales en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria..... | 64 |
| Imagen N° 7 | Realización de aforos vehiculares manuales en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria..... | 64 |

| | |
|--|----|
| Imagen N° 8 Realización de aforos vehiculares manuales en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria..... | 65 |
| Imagen N° 9 Congestionamiento vehicular en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria | 65 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla N° 1 Niveles de servicio con relación a demoras en intersecciones semaforizadas..... | 37 |
| Tabla N° 2 Volúmenes máximos horarios vehiculares en intersección de la Vía Panamericana y Avenida Ferroviaria..... | 47 |
| Tabla N° 3 Tiempos de distribución semafóricos..... | 47 |
| Tabla N° 4 Ciclo semafórico en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria..... | 49 |
| Tabla N° 5 Tiempos de ciclo semafórico en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria | 49 |
| Tabla N° 6 Niveles de servicios por sentidos en intersección en la Vía Panamericana y Av. Ferroviaria..... | 49 |
| Tabla N° 7 Valores de tasa de flujo, capacidad de carriles y demoras en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria..... | 51 |
| Tabla N° 8 Niveles de servicios en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria..... | 51 |
| Tabla N° 9 Ciclo semafórico en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria..... | 54 |
| Tabla N° 10 Tiempos de ciclo semafórico en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria | 54 |
| Tabla N° 11 Niveles de servicios por sentidos en intersección en la Vía Panamericana y Av. Ferroviaria..... | 55 |
| Tabla N° 12 Valores de tasa de flujo, capacidad de carriles y demoras en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria..... | 55 |
| Tabla N° 13 Niveles de servicios en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria..... | 56 |

Introducción

Importancia del tema

El transporte contribuye al desarrollo económico, industrial, social y cultural de cualquier país. Debido al crecimiento inesperado de los automóviles privados en un país, la congestión del tráfico se ha convertido en un problema importante (Sivasanthosh, 2023).

Las intersecciones en vías de primer orden son las que frecuentemente sufren de congestión, afectando la calidad de conducción y la fluidez del tráfico. Según (NamGung et al., 2020) menciona que un adecuado diseño de las intersecciones es fundamental para asegurar que toda la red vial funcione de manera segura y eficiente. Mediante el análisis de las principales razones detrás de los problemas de congestión en el tráfico urbano, se resalta la relevancia de las intersecciones en la optimización de la fluidez del tránsito, la reducción de los embotellamientos y la prevención de accidentes. Este análisis profundiza en los conceptos fundamentales, variedades, características, beneficios y limitaciones de las intersecciones.

La intersección de la Av. Ferroviaria y la vía E25 es una vía de primer de la ciudad de Machala con gran importancia, debido al gran volumen de vehículos que transitan, ya que esta zona cuenta con gran actividad productiva y comercial. Siendo la mayoría transportes de carga que provocan limitación en flujo vehicular, por ello se asume que la vía cuenta con falencias en su diseño geométrico. El planteamiento de un modelo de diseño de intersección que permita un eficiente servicio de circulación vial para sus usuarios resulta indispensable.

Actualidad de la problemática

Se sabe que la congestión de vehículos es cada vez más común a nivel global, especialmente en naciones latinoamericanas. El estudio de intersecciones, particularmente las de mayor importancia dentro de una ciudad, permite obtener información esencial para identificar sus principales conflictos, generando un análisis completo de los problemas de movilización (Abata et al., 2022). Se han identificado a las intersecciones como "puntos críticos" de accidentes debido a la conducción peligrosa que causa accidentes (Wijnands et al., 2021).

Proporcionar a los conductores pautas visuales claras y fáciles de entender es una parte importante del diseño de carreteras. Estas percepciones erróneas pueden aumentar la probabilidad de que ocurran accidentes. Después de la Segunda Guerra Mundial, la motorización constante y el aumento en el número de usos de las carreteras llevaron a la creación de estándares de diseño de carreteras. Como resultado, la coherencia del diseño geométrico es cada vez más importante en el diseño de carreteras (Chaudhari et al., 2022).

Se ha realizado un gran esfuerzo para comprender la relación inherente entre la frecuencia de los accidentes y factores de riesgo como la geometría de la carretera, el control del tráfico, las características del conductor, el clima y la hora del día. Además, se ha descubierto que los carriles estrechos (8 pies y 11 pies) aumentan el riesgo de todo tipo de accidentes. Debido a que los accidentes de tráfico han cobrado una gran cantidad de vidas, las familias afectadas experimentaron un gran sufrimiento económico, físico y emocional como resultado de los accidentes de tránsito, así como una pérdida de productividad en la sociedad. Para mejorar proactivamente el diseño de las carreteras y reducir la frecuencia de los accidentes, es identificar

esencial los factores importantes que contribuyen a los accidentes y cuantificar sus efectos (Wen et al., 2021).

Estructura del trabajo

El capítulo 1 describe la situación problemática que se acontece en la intersección entre la vía Panamericana y avenida Ferroviaria, siendo este punto de gran importancia para el transporte y actividad comercial en la provincia, los usuarios sufren inconvenientes de congestionamiento, los cuales pueden ser provocados, por falencias en diseño geométrico. Por ello, se pretende plantear un modelo de diseño mediante el análisis de resultados obtenidos en una evaluación de la intersección.

El capítulo 2 detalla los antecedentes contextuales que hace referencia al tema de investigación a nivel mundial, latinoamericano y ecuatoriano, antecedentes conceptuales que definen cada uno de los términos usados en el trabajo y los antecedentes referenciales donde se plantean modelos o metodologías de diseño de intersecciones propuestos por algunos autores.

1. Planteamiento del problema

1.1. Antecedentes (Línea base del proyecto)

Machala, capital de la provincia de El Oro fue fundada el 25 de junio de 1824. Es considerada la cuarta ciudad más importante del Ecuador, además, es la cabecera cantonal de la provincia de El Oro, siendo, por tanto, la ciudad más poblada de la misma y constituyéndose en su centro administrativo, económico, financiero y comercial. Está ubicada al sur de la costa ecuatoriana en zonas bajas próximas al golfo de Guayaquil y es parte de una rica región productora agrícola donde se ubica el principal puerto exportador de bananos llamado Puerto Bolívar. También, conocida como la Capital bananera del Mundo (PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN MACHALA, 2019).

La Vía panamericana es una arteria de gran importancia para el transporte, la actividad comercial y productiva a nivel del país, que es capaz de conectar con importantes sectores como los mercados de la costa de la serranía austral, de igual manera, la Av. Ferroviaria es considerada una carretera de primer orden por la importancia que esta tiene, dado que es el nexo entre el comercio exterior a la ciudad de Machala. La capital bananera del mundo al ser una ciudad en el que sus fuentes económicas más importantes se desarrollan alrededor de la producción, mercadeo y exportación de banano, cacao y camarón, se requiere de estas vías antes mencionadas para el transporte y/o acceso de estos productos puesto que muchas familias de zonas rurales dependen tanto económica y socialmente de este tipo de producciones, en su gran mayoría el banano (Plan Vial Integral Provincia de El Oro | CONGOPE, n.d.).

1.2. Descripción de la Situación problemática (Causas y efectos)

Durante mucho tiempo, la intersección que une las provincias de El Oro y Guayas ha sido fundamental para el comercio y la economía de Machala, ya que permite el transporte de productos agrícolas e industriales a través de la región. Sin embargo, su diseño no es ideal para la eficiencia del tráfico.

Por esta intersección, un gran volumen de vehículos de carga transita y por la gran congestión, la obra vial se puede desgastar y presentar inconformidades en sus usuarios, por una proyección errónea del tráfico futuro provocando el desorden vehicular.

El diseño vial inadecuado incluye intersecciones mal diseñadas, falta de señalización y un ancho de carril inadecuado debido a que no proporciona espacio suficiente para los vehículos y las maniobras de emergencia, lo que reduce la capacidad de la carretera al impedir que más vehículos circulan al mismo tiempo. En ocasiones, la sección transversal típica de una carretera

puede ser peligrosa para la seguridad de los conductores y peatones si no se adapta adecuadamente al uso para el cual fue diseñado (Fric et al., 2022).

1.3. Formulación del problema: preguntas científicas

Debido al deficiente trazado geométrico de las carreteras los usuarios de estas vías se ven directamente afectados. En consecuencia, las vías tienen más probabilidad a tener anchos de carriles inadecuados, distancias de visibilidad mínimas, entre otros factores. Considerando también que, un diseño vial deficiente puede prolongar los tiempos de viaje y reducir la eficiencia del transporte.

Del mismo modo se conoce que el manejo de vehículos pesados por carreteras estrechas requiere una planificación previa precisa y confiable. Debido a que las calles urbanas no están hechas para vehículos de carga pesada, la maniobrabilidad limitada es especialmente una problemática en la infraestructura urbana. Por lo tanto, para cada transporte es necesaria una etapa de planificación que requiere mucho tiempo para determinar una ruta accesible y libres de coaliciones (Beyersdorfer & Wagner, 2013).

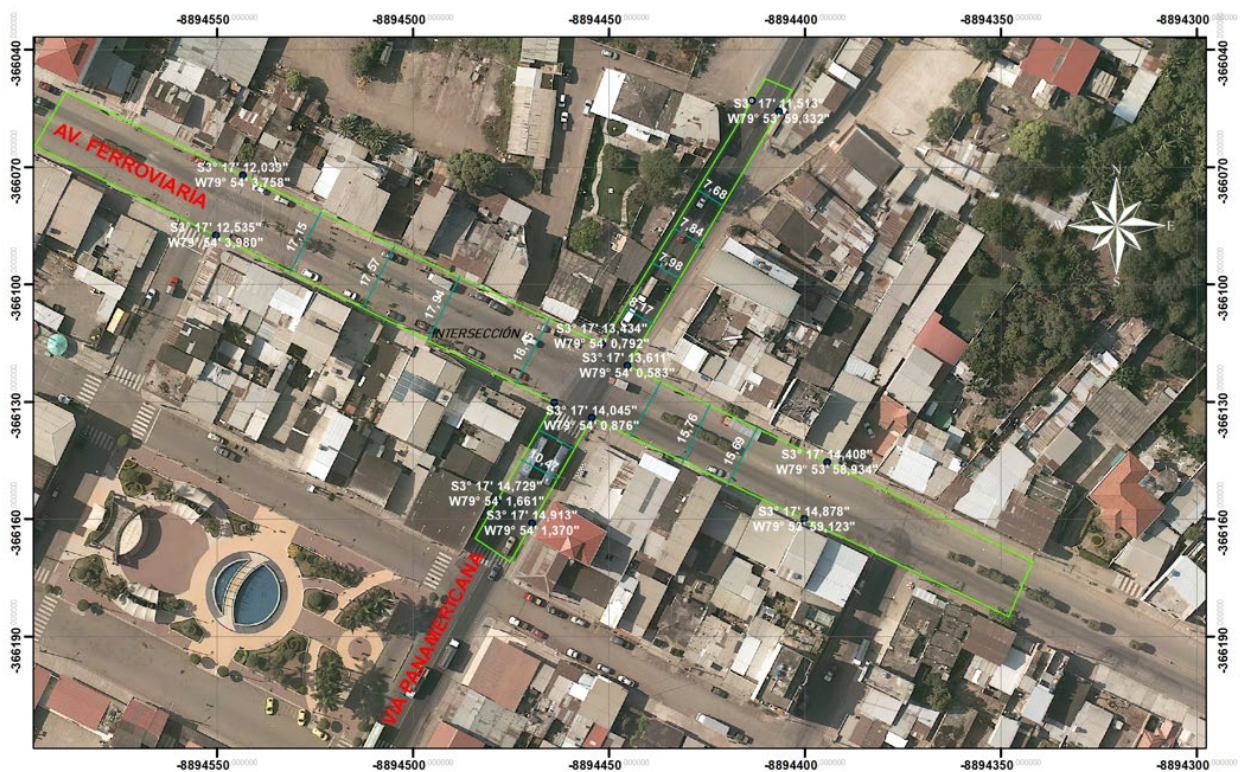
Por otro lado, se entiende que la obra vial sufrirá un desgaste considerable debido a que el diseño de las vías urbanas no está destinado al transporte pesado como ya se mencionó con anterioridad. Además, la infraestructura vial tradicional dificulta el manejo de estos vehículos, lo que aumenta el volumen de tráfico al impedir el paso a otros automóviles. Por ende, también es parte de esta problemática que se verá agravada en el futuro.

Por consiguiente, después de examinar lo mencionado en la presente investigación, surge el siguiente problema. ¿El congestionamiento vehicular y la dificultad del usuario durante la conducción en la intersección se deben a falencias en el diseño geométrico?

1.4. Delimitación del objeto de estudio

La intersección de la Av. Ferroviaria y la vía E25 o también conocida como la vía Troncal de la Costa, son carreteras de doble carril pertenecientes a la provincia de El Oro en Ecuador. Estas vías son rutas importantes, dado que conecta a dos ciudades fundamentales, como lo son Machala y Guayaquil. Dichas rutas proporcionan un enlace crucial entre estas provincias supuesto que es el nexo directo entre el comercio y por consiguiente economía de la ciudad de Machala.

Imagen N° 1 Intersección Av. Ferroviaria y la Vía Panamericana



Fuente: Elaboración propia

1.5. Justificación

Las vías estudiadas enfrentan numerosos problemas debido al deficiente trazado geométrico, el cual involucra directamente a los vehículos que transitan en la misma, existe una inadecuada amplitud en los carriles, por consiguiente, esto provoca mínima visibilidad entre los automóviles debido a un diseño deficiente, reduciendo la eficacia de los transportistas y prolongando su tiempo de viaje.

Además, estos carriles son una conexión importante para la economía de la ciudad, lo que genera una gran preocupación debido a su impacto en la situación socioeconómica, dado que, los vehículos de carga pesada se limitan en su maniobra de giro, además la carretera no está diseñada para los transportistas de carga pesada por lo cual la vía sufre de un considerable desgaste de sus propiedades dinámicas y físicas.

Un correcto diseño de intersección permite brindar a sus usuarios un buen nivel de servicio evitando problemas de congestionamiento y reducción de velocidad de tránsito, siendo importante la realización de una adecuada evaluación, donde se determine que parámetros no fueron considerados o cuales no se obtuvieron correctamente para el planteamiento de un modelo sin fallas en su diseño geométrico.

1.6. Objetivos: general y específicos

1.6.1. Objetivo general

Proponer un modelo de diseño de la intersección a nivel de vías urbanas mediante criterios técnicos que permita un eficiente servicio de circulación vial para sus usuarios.

1.6.2. Objetivos específicos

- Identificar los métodos para evaluar una intersección mediante una investigación bibliográfica que permita un adecuado servicio de vialidad en la intersección entre la vía Panamericana y la avenida Ferroviaria.
- Evaluar las condiciones de la intersección vial mediante métodos técnicos en la intersección entre la vía Panamericana y la avenida Ferroviaria.
- Plantear un modelo de diseño de intersección mediante el análisis de resultados para que garantice un adecuado servicio de viabilidad en la intersección entre la vía Panamericana y la avenida Ferroviaria.

2. Estado del arte

2.1. Antecedentes contextuales

El incremento de los viajes y el acelerado aumento de la población producen desafíos de congestión de tráfico, por lo que se requiere un mejor uso de la infraestructura vial, ya que el tráfico está influenciado por la cantidad de terreno y el uso de suelo en la vía. El congestionamiento varía según la zona, por ejemplo, en las zonas urbanas el tráfico es mayor ya que tiene una mayor densidad de carreteras por lo cual el uso de suelo es más denso, y en las zonas rurales se presenta un bajo volumen de tráfico ya que presenta desarrollos dispersos (Pulugurtha & Mathew, 2021).

En el mundo se ha incrementado el volumen de congestionamiento vehicular por lo que se refleja en un problema respecto a la calidad de vida y salud mental de los usuarios que transitan las carreteras consecutivamente, este problema se produce cuando se excede la capacidad infraestructural de las vías (Castañeda et al., 2021).

(Chen et al., 2021) refiere que existen dos métodos para la obtención de parámetros de tráfico, los basados en mapas digitales y los basados en cuadrículas, el método digital es de mayor precisión, pero cuenta con dos debilidades, como la complejidad computacional y la alta calidad del mapa digital SIG. El método en cuadrículas se caracteriza por discretizar las intersecciones para mejorar la extracción de los parámetros. Además, podemos utilizar la agrupación de áreas afectadas y explorar el tráfico espacial.

Por otro lado, se utilizan 2 tipos de métodos para analizar la forma de las intersecciones urbanas. El análisis configuracional, con respecto a las intersecciones como puntos de unión y facilitan la topología de configuración, En cambio el análisis perceptivo podría resolverse para captar elementos del entorno circundante (Cao et al., 2021).

(Patiño et al., 2019) Refiere que existen trayectos por los cuales se deben transitar con mayor precaución porque a través de los años han existido ciertos puntos que no se han podido disminuir en su totalidad los niveles de accidentalidad debido a factores como la alta velocidad, mal estado de las vías y deficiente señalización de las mismas.

Para mejorar las estrategias de diseños de carreteras se debe comprender la interacción entre el conductor y la vía puesto que nos ayuda a mejorar el entorno, ya que la mayoría de las veces las directrices no consideran al conductor, y se basan más en la física de los vehículos y su velocidad, por lo tanto, no relacionan al conductor para dichos diseños de carreteras. Se realizan un sin número de simuladores, pero se podría decir que el entorno simulado nunca puede reproducir las condiciones del mundo real lo que afecta en gran magnitud la respuesta de dichos conductores (Bobermin et al., 2021).

Portoviejo tiene una alta actividad comercial por lo que su flujo vehicular ésta en aumento debido a que la infraestructura vial no reúne las características adecuadas para que los vehículos fluyan de manera continua, impidiendo su actividad comercial. Latinoamérica tiene un alto grado de afectación con respecto al congestionamiento vehicular, teniendo a Sao Paulo y Bogotá entre las ciudades con mayor tráfico en el mundo, en este aspecto Ecuador también es considerado uno de los países con vías congestionadas debido a su alta demanda vehicular y mala infraestructura vial (Gutiérrez et al., 2020).

La detección de carreteras es importante en la planificación de rutas, extracción de redes y así como en la navegación, dichas intersecciones pueden variar desde cruces en T hasta complejas ramas a gran escala, estas intersecciones son consideradas con suma importancia debido a que existen usuarios vulnerables en las vías, como personas con dificultades visuales o los niños que transitan por las mismas (Eltaher et al., 2023a).

Con el tiempo se han desarrollado un sinnúmero de sistemas de asistencia a los conductores para así poder facilitar de forma segura su movilidad por las vías, sin embargo, no ha mejorado dicho propósito debido a las carreteras estrechas, intersecciones no controladas (sin semáforos) y mala señalización. Los vehículos autónomos deberían poder percibir los entornos de conducción y generar decisiones según el tráfico y situación que ocurra (Zhao et al., 2015).

Las grandes ciudades se han visto seriamente afectadas debido a su acelerado aumento del nivel de transportistas por lo que la movilidad se ha visto reducida ya que las vías presentan estrechamientos en sus redes consecuente a una mala estructura y al aumento de vehículos, esto provoca una disminución de la capacidad de rendimiento y genera malestar en los transportistas lo que nos lleva a un acelerado deterioro de las calles. Según las estadísticas la mayoría de los

conflictos y accidentes de tráfico ocurren principalmente en las intersecciones debido a la organización ineficaz dejando en conflicto a todo tipo de transporte público (autobuses, taxis de ruta fija), transporte comercial, o privado (Seliverstov et al., 2020).

2.2. Antecedentes conceptuales

Las carreteras proporcionan un papel fundamental en la sostenibilidad y crecimiento económico, brindando beneficios importantes a la sociedad. Según (Gaikawad et al., 2020) las carreteras son caminos que permiten la conexión de regiones, la movilización de personas y transporte de mercancías, fomentando el desarrollo socioeconómico de las ciudades.

Para el desarrollo de la sociedad y las industrias es necesario contar de manera indispensable información acerca la extracción de carreteras en zonas urbanas, ya que estas conforman uno los tipos de datos de información geográfica más fundamentales. Las vías de los sectores urbanos están unidas por medio de intersecciones y cruces, que generalmente son en “T” o “+”, “X”, “Y”. Particularmente las carreteras no se encuentran visibles por edificios y árboles, sin embargo, las intersecciones normalmente están descubiertas, por lo cual los métodos de detección pueden brindar información sólida y certera para la extracción de red de carreteras urbanas (Li et al., 2020).

Las intersecciones son uno de los componentes más importantes de las vías urbanas y el flujo de tráfico es el nodo de desvío. Cuando el vehículo pasa por la intersección debido a la necesidad de cambiar la ruta del flujo de tráfico, el conductor puede reducir la velocidad, cambiar de carril, detenerse y girar. Hay que realizar muchas tareas, como acelerar, etc., y este proceso debe realizarse en la intersección y sus inmediaciones (NamGung et al., 2020b).

(Eltaher et al., 2023b) indica que la identificación de la ubicación de intersecciones es una labor crucial en algunos contextos como la orientación, la planificación de rutas, la anticipación del flujo vehicular y la obtención de datos sobre las redes. Los puntos de cruce pueden ser desde intersecciones simples en forma de T con tres direcciones hasta intrincados cruces de gran magnitud con numerosos brazos.

(Ballardini et al., 2021) afirma que las zonas de intersección son altamente críticas tanto para los automovilistas como para los peatones, ya que representan lugares donde los vehículos pueden intersectarse en algún momento y donde los peatones tienen una mayor probabilidad de cruzar la carretera. Por lo tanto, en el contexto de la navegación de un vehículo autónomo, es de gran importancia contar con un sistema confiable capaz de detectar de manera precisa esta situación de tráfico particular.

Se puede establecer que el retraso es uno de los indicadores clave para evaluar la eficacia de la operación y la calidad del servicio en una intersección. Así afirma (Chunxia et al., 2022): “La intersección provoca una serie de variaciones en la densidad de velocidad y dirección, debido a la influencia de la orientación de los vehículos y la regulación de señales de tráfico afirma ocasionando un efecto significativo en el flujo de tráfico en la carretera”.

(Papageorgiou et al., 2021) afirma que la frecuente congestión del tráfico, que se experimenta a diario, especialmente en las zonas urbanas de todo el mundo, constituye un desafío significativo que demanda medidas enérgicas. Es decir, este problema de tráfico implica demoras considerables en los desplazamientos, un consumo considerable de combustible, problemas de contaminación ambiental y una disminución de la seguridad vial.

La evaluación de intersecciones viales es indispensable para el planteamiento de la relación entre el mantenimiento y la toma de decisiones de diseños apropiados para el desarrollo de infraestructuras viales. Las intersecciones que presentan un alto grado de accidentes son denominadas intersecciones peligrosas. Por ello, es importante la identificación de los motivos por el que la intersección tiene problemas de seguridad vial para mejorarlos de la forma más optima (Khan et al., 2016).

La evaluación segura del estado de congestión de intersecciones implica la valoración de algunos parámetros como el flujo de tráfico, la seguridad, la eficiencia y el impacto del comportamiento de los peatones, también es importante incluir la capacidad vial y el retraso promedio (Deng et al., 2022).

La infraestructura vial forma parte esencial en el desarrollo y crecimiento de una nación o territorio, ya que no solo facilita la movilidad de individuos y bienes, sino que también actúa como un reflejo del nivel de desarrollo de una región. La calidad y condición de la infraestructura vial influyen directamente en la seguridad en las carreteras y en la eficiencia global de los sistemas de transporte (Narayan & Rastogi, 2022).

Los diseños de intersecciones no convencionales que actualmente están en uso se destinan principalmente a intersecciones de gran tamaño, como aquellas donde dos carreteras principales se cruzan, y en las cuales hay múltiples carriles en cada dirección y se permite una considerable longitud de colas de vehículos (Zhao & Ma, 2021).

Mejorar la seguridad vial implica optimizar el diseño geométrico de las carreteras para reducir la probabilidad y gravedad de los incidentes viales. Según (Hasibul Islam et al., 2019) para

lograr una mejora en el diseño es esencial examinar y establecer la relación entre los distintos aspectos que conforman dicho diseño y la incidencia de accidentes en las mismas. Se requiere conectar los elementos del diseño geométrico de la carretera, tales como el número de carriles, la visibilidad, la inclinación de las curvas, el ancho y tipo de divisores centrales, el tamaño de los carriles y los bordes de la carretera, la curvatura de las curvas, la pendiente y los alineamientos tanto horizontales como verticales, con las tasas de accidentes viales.

En el diseño de configuración de carreteras, el ancho de carril es esencial para la seguridad de tráfico, particularmente en vías urbanas que cuentan con un tráfico mixto en el cual predominan los vehículos motorizados que comparten carreteras con vehículos como automóviles, autobuses y camiones. A pesar de esta importancia, existen pocos estudios acerca del impacto que genera el ancho de carriles con respecto a la seguridad en un ambiente de tráfico mixto en el diseño (Wu & Lin, 2022).

El ancho del carril representa un elemento significativo en las intersecciones, siendo influenciado por la congestión en el cruce. Asimismo, se encuentra sujeta a múltiples variables, tales como restricciones de recursos en las vías, la composición de los vehículos, consideraciones de seguridad vial y la experiencia de manejo (Chang et al., 2019).

El tamaño del radio de giro ejerce un impacto significativo en el comportamiento de los vehículos al realizar giros en intersecciones. Esto se debe a que a medida que la distancia entre los vehículos aumenta, la capacidad de respuesta del conductor experimenta un aumento y luego disminuye, alcanzando su punto máximo cuando la distancia se encuentra en su nivel mínimo seguro. Por otro lado, a medida que el radio de giro aumenta, la estabilidad de la fila de vehículos

que siguen tiende a disminuir, lo que aumenta la probabilidad de que se produzcan detenciones y arranques en el flujo de tráfico (Wei et al., 2020).

2.3. Antecedentes referenciales

Los cruces son áreas potencialmente peligrosas en términos de seguridad vial, ya que se estima que más del 50% de los accidentes mortales o graves en áreas urbanas ocurren en estas intersecciones. Por lo tanto, resulta fundamental el diseño o rediseño de las intersecciones de manera más eficiente. (Reshad Aziz et al., 2018) indica que algunos enfoques fundamentales para su diseño incluyen la aplicación de los principios de uniformidad y simplicidad, la minimización de puntos de conflicto y la optimización del flujo de tráfico a través de la compartición eficaz del espacio y el tiempo.

Dado que la complejidad del tráfico varía en cada intersección, utilizar un único conjunto de parámetros fijos para todas las intersecciones afectaría significativamente la utilidad del modelo de evaluación establecido. En la actualidad, una de las estrategias fundamentales para abordar la congestión del tráfico consiste en llevar a cabo una evaluación precisa del estado de congestión en las intersecciones, lo que a su vez orienta la mejora de la sincronización de los semáforos. (Deng et al., 2022) presenta un conjunto de diez indicadores relacionados con el flujo vehicular, como la capacidad de las vías, el retraso promedio y la proporción de vehículos estacionados. Para obtener datos de muestra que comprendan estos diez indicadores cada 10 minutos, se emplean modelos matemáticos y simulaciones en el estudio.

La determinación del nivel de servicio es una de las medidas más importantes para evaluar una intersección, permite valorar el rendimiento y la eficiencia del flujo de tráfico en el lugar de estudio, es decir, es la capacidad con la que cuenta la intersección para maniobrar el volumen

de vehículos que transitan en ella. (Vera et al., 2021) analizaron las secciones geométricas, la señalización y puntos de control existentes en la intersección, la aplicación de un aforo vehicular y maniobras de giro para determinar el volumen de flujo, la saturación y demoras por carril dieron lugar para la identificación del nivel de servicio en cada sección de la intersección de análisis.

Con frecuencia, las intersecciones comunes con cuatro fases y cuatro caminos presentan ineficiencias notables, lo que ocasiona considerables demoras y restringe seriamente el desempeño de los vehículos. Según (Coates et al., 2012) las intersecciones de dos fases emplean un diseño de carriles poco convencional con el objetivo de optimizar el rendimiento de los vehículos, así que propone una mejora en la disposición geométrica y elabora un modelo de optimización para una intersección de dos fases con el fin de incrementar su capacidad.

Un estudio de caso junto con un análisis numérico exhaustivo evidencia la eficacia del diseño propuesto en contraposición a los diseños tradicionales en diversas configuraciones geométricas y escenarios de tráfico. (Zhao et al., 2020) plantean un modelo de optimización destinado a lograr un diseño geométrico y una sincronización de señales óptimas que puedan abordar las limitaciones operativas del mundo real, como la asignación de carriles, la coordinación entre la señal principal y la señal previa, la distancia en zonas de uso mixto y las restricciones de saturación.

Los diseños de intersecciones no convencionales surgen con el propósito de disminuir la congestión en zonas señalizadas con un gran volumen de tráfico. (Autey et al., 2013) usan el software de simulación VISSIM para poder modelar y evaluar intersecciones no convencionales como contraparte de lo convencional. Y así poder comparar el desempeño efectivo considerando

cuatro esquemas: el cruce con giro a la izquierda desplazado, el cruce semaforizado aguas arriba, la intersección de doble cruce y el cambio de sentido mediano.

Así como VISSIM, existen otros softwares que nos aportan los mismos beneficios, como lo es AIMSUN esta es una herramienta informática que puede integrar en una sola aplicación tres tipos diferentes de modelos de transporte: un simulador microscópico, un simulador mesoscópico y una asignación estática y dinámica de tráfico mediante un simulador macroscópico. Además, tiene la capacidad de realizar simulaciones híbridas, es decir, microscópicas y mesoscópicas simultáneamente, lo que permite simular grandes áreas para luego acercarse a las áreas que necesitan un nivel más detallado (*Guía Paso a Paso Para La Modelación de Sistemas de Transporte Utilizando El Software Aimsun Desde Un Enfoque Microscópico Hasta Macroscópico | PDF | Intersección (Carretera) | Transporte, n.d.*). La modelización y simulación de tráfico es el recurso que más se usa en el diseño de intersecciones. El software cuenta con herramientas diseñadas para simular el tráfico que facilita la verificación de los parámetros de una carretera o intersección en corto tiempo y a bajo costo, brindando gran apoyo para la toma de decisiones y así escoger un resultado óptimo. Este tipo de programas es usado en el diseño y evaluación del modelo de intersección controlada por semáforos para la simulación de tráfico rodado.

La mala infraestructura vial es algo bastante común en las carreteras del estado ecuatoriano, las vías estrechas e inadecuados radios de giro es más usual de lo que parece, esto no solo sugiere una incomodidad para el conductor, sino también, para los transeúntes, además de la emitente peligrosidad que esto puede emanar, sobre todo si estos se encuentran justo en una intersección muy transitable.

Por tal razón, la capacidad de predecir la velocidad de operación en curvas horizontales juega un papel fundamental en la evaluación de la coherencia del diseño de la carretera, el radio de la curva, la longitud de la curva, la velocidad media, el límite de velocidad publicado, la velocidad recomendada de la curva, el número de intersecciones y accesos en el área de influencia de la curva y la señalización horizontal y vertical fueron algunas de las variables que tomaron en cuenta en el artículo de Wang. El modelo de regresión de ecuaciones de estimación generalizada (GEE) se utilizó para modelar la velocidad media del vehículo y encontrar los factores que contribuyeron. Entonces, descubrieron que, en las carreteras rurales de dos carriles, cuando el radio de la curva es menor de 900 a 1000 pies, las velocidades de los automóviles disminuyen rápidamente, pero cuando el radio es más grande, las velocidades se estabilizan (Wang et al., 2018).

3. Metodología

3.1. Modalidad básica de la investigación

3.1.1. Enfoque

Esta investigación consta de un enfoque mixto, debido a que se basó en procesos sistemáticos, reflexivos y empíricos, donde se emplearon indicadores de flujo, capacidad y servicio de la intersección de estudio para la recopilación de datos importantes que fueron analizados con la finalidad de comprender como estos indicadores inciden en el eficiente servicio de circulación vial de una intersección.

3.2. Tipo de investigación

Exploratoria. - Este tipo de investigación se basa en la recolección de información necesaria mediante artículos para contar con un enfoque general y descriptivo del tema de estudio, analizando teorías y estudios existentes que permita la generación de hipótesis con la finalidad de alcanzar resultados verdaderos. Las técnicas de campo consistirán en observación directa del

lugar de estudio para la realización de aforos vehiculares que propician la determinación del nivel de servicio en la intersección de la Vía Panamericana y Avenida Ferroviaria.

Descriptiva. - Consiste en la descripción de los elementos fundamentales que permiten el análisis de la intersección, indicando características como clasificación de vehículos, sus velocidades y demás propiedades necesarias. Este estudio permitirá la comprensión de la importancia y servicio de la intersección a través del análisis de los resultados obtenidos en el campo, los cuales ayudarán a la verificación de hipótesis.

3.3. Población y muestra

Para el presente estudio se estableció que una de las intersecciones con mayor importancia y congestión vehicular en la ciudad de Machala es la Vía Panamericana y la Avenida Ferroviaria, por esta razón se determinó realizar el análisis de esta intersección, efectuar los cálculos correspondientes para la obtención del nivel de servicio y así plantear un modelo que sea eficiente para la circulación vial de sus usuarios.

3.3.1. Población

La población será definida como la totalidad de la red vial del sector urbano de la ciudad Machala. Este sistema vial comprende una amplitud de 725.23 kilómetros, que se encuentra clasificado conforme su tipo de vía, características de la calzada, estado de la vía y su longitud, información proporcionada por la Empresa Pública de Movilidad Machala.

3.3.2. Muestra

La muestra tomada para el presente estudio se encuentra definida como el tramo de las carreteras que comprende la intersección de la Vía Panamericana y Avenida Ferroviaria de la ciudad de Machala, la cual consta con una distancia aproximadamente de 133 metros en la Panamericana y 190 metros en la Avenida Ferroviaria.

3.4. Métodos con los materiales utilizados

3.4.1. Método teórico

Según el Manual HCM (National Research Council (U.S.). Transportation Research Board., 2000) describe que para lograr determinar con exactitud el nivel de servicio en una intersección es elemental realizar aforos vehiculares en intervalos de 15 minutos. Con la recopilación de estos datos obtenidos en campo, se debe emplear las fórmulas expuestas en el manual para la obtención del volumen horario de máxima demanda (VHMD), el cual representa el máximo número de vehículos que circulan en un carril en el transcurso de cuatro periodos de 15 minutos. Este dato es adquirido de acuerdo con los aforos realizados, lo cual facilita contar con información concreta que permita el análisis y la interpretación.

Seguidamente, se debe calcular el factor horario de máxima demanda (FHMD), en el cual establece una relación entre el VHMD que se obtuvo anteriormente y el volumen máximo del periodo que predomina en la hora designada. Para la determinación del nivel de servicio en intersecciones es indispensable la realización de este cálculo, para ello se debe efectuar la siguiente ecuación:

$$FHDM = \frac{VHMD}{N \cdot q_{m\acute{a}x}}$$

Ecuación 1

Donde:

$FHDM$ = Factor de la hora de máxima demanda.

$VHDM$ = Volumen horario de máxima demanda.

N = 4 para aforos en periodos de 15 minutos y 12 para aforos en periodos de 5 minutos.

$q_{m\acute{a}x}$ = volumen máximo en un periodo de tiempo.

Debido a que a que solo se considera la geometría de la intersección y la distribución del tráfico en movimiento, resulta ser un procedimiento fácil la división de una intersección en grupos carriles. Sin embargo, es necesario obtener las tasas de flujo de acuerdo a los volúmenes horarios en el transcurso de un intervalo de 15 minutos usando el factor de la hora de demanda máxima, ya que es probable que se reflejen los volúmenes de demanda en más de un periodo de análisis, se usa la siguiente fórmula:

$$VP = \frac{V}{FHMD}$$

Ecuación 2

Donde:

VP = Tasa de flujo durante 15 minutos de máxima demanda.

V = Volumen vehicular (vehículos/hora) (adquiridos de los aforos).

$FHMD$ = Factor de la hora de máxima demanda.

Es preciso la determinación de la tasa de flujo de saturación correspondiente a cada grupo de carril a través de una ecuación concreta, en razón a que, este parámetro caracteriza el número de vehículos que consiguen ajustarse durante una hora en un carril, considerando que el funcionamiento de la fase verde se encuentra al 100% del tiempo ($g/C = 1$). Es posible asumir una tasa de 1900 vehículos por hora y por carril en una intersección cuando halle en uso la fase verde. En (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2007) se define la siguiente ecuación:

$$S_i = S_o(N)(f_w)(f_g)(f_{HV})(f_p)(f_{bb})(f_a)(f_{LU})(f_{LT})(f_{RT})(f_{LPB})(f_{Rpb})$$

Ecuación 3

Donde:

S_i = tasa de flujo saturación del grupo de carriles (vehículos/hora verde)

S_o = tasa de flujo de saturación base por carril (autos/hora verde/carril)

N = número del grupo de carriles

f_w = factor de ajuste por ancho de carriles

f_g = factor de ajuste por pendiente del acceso

f_{HV} = factor de ajuste por vehículos pesados

f_p = factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles

f_{bb} = factor de ajuste por bloqueo de buses que paran en el área de la intersección

f_a = factor de ajuste por bloqueo de buses que paren el área de la intersección

f_{LU} = factor de ajuste por utilización de carriles

f_{LT} = factor de ajuste por vueltas a la izquierda

f_{RT} = factor de ajuste por vueltas a la derecha

f_{LpB} = factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la izquierda

f_{RpB} = factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la derecha

Por consecuente, se encuentra el factor de ajuste por ancho de carril mediante la siguiente

formula:

$$F_w = 1 + \frac{W - 3.6}{9}$$

Ecuación 4

Donde:

F_w = Factor de ajuste por ancho de carril

w = Ancho de carril en metros

Ya encontradas estas variables, se procede a encontrar el factor de ajuste por vehículos pesados mediante la fórmula obtenida en el manual HCM:

$$F_{hv} = \frac{100}{100 + \%HV * (E_{T-1})}$$

Ecuación 5

Donde:

F_{hv} = Factor de ajuste por vehículos pesados.

$\%HV$ = Porcentaje de vehículos pesados del grupo.

E_T = Automóviles equivalentes a un camión.

La suficiencia de una intersección con semáforos se define como la tasa de flujo máximo que puede atravesar la intersección en condiciones de tráfico, de la calle y del semáforo presente para cada ingreso o conjunto de carriles. Esta habilidad se puede evaluar con la siguiente fórmula:

$$C_i = S_i \left(\frac{g_i}{C} \right)$$

Ecuación 6

Donde:

C_i = capacidad del grupo de carriles i (vehículos/h)

S_i = tasa de flujo de saturación del grupo de carriles i (vehículos/hora verde)

g_i = tiempo verde efectivo para el grupo de carriles i (segundos verdes)

C = ciclo del semáforo (segundos)

g_i/C = relación de verde efectivo para el grupo de carriles i

La proporción entre el volumen y la capacidad es fundamental para este tipo de cálculos. Dicha relación que también se la denomina como grado de saturación e identificado como X_i , se calcula mediante la conexión entre el volumen de tráfico que pasa por un punto específico y la capacidad del camino en ese mismo lugar, por ejemplo:

$$X_i = \frac{V_i}{C_i}$$

Ecuación 7

Donde:

V_i = tasa de flujo de demanda actual o proyectada del grupo de carriles

Dada esta ecuación, al ser sustituida por la ecuación 7, obtenemos:

$$X_i = \frac{V_i}{S_i \left(\frac{g_i}{C} \right)} = \frac{\left(\frac{V}{S} \right)_i}{\frac{g_i}{C}}$$

Ecuación 8

Donde:

v/s = relación de flujo

Es importante tener conocimiento que los valores de X_i superiores a 1 señalan una demasía de demanda sobre la capacidad, por otro lado, los valores de 0 a 1 indican que están en un rango notable con respecto a la capacidad vial.

El grado de saturación crítica de la intersección se expresa de la siguiente manera: para una fase de señal específica, solo se consideran los grupos de carril con la relación de flujo más alta (v/c), que viene dada de la siguiente forma:

$$X_c = \Sigma \left(\frac{V}{C} \right) \left(\frac{C}{C - L} \right)$$

Ecuación 9

Donde:

X_c = relación volumen a capacidad crítica de la intersección

C = ciclo del semáforo (segundos)

L = tiempo total perdido por ciclo (segundos)

De esta forma se obtiene las vinculaciones de flujo de todos los grupos de carriles críticos sumados.

Contar con un prototipo predictivo para estimar el retraso en el campo resulta más eficaz. Para esto, es necesario combinar los resultados de la determinación de ajuste de volúmenes, análisis de capacidad y flujo de saturación para determinar la demora promedio por automóvil en cada carril (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2007). La fórmula utilizada para calcular es la siguiente:

$$d = d1(PF) + d2 + d3$$

Ecuación 10

Donde:

d = demora media por control (s/veh)

d1 = demora uniforme (s/veh), suponiendo llegadas uniformes

PF = factor de ajuste por coordinación Capacidad Vial Tiene en cuenta los efectos de la coordinación de los semáforos

d2 = demora incremental (s/veh), que tiene en cuenta los efectos de llegadas aleatorias y colas sobrecargadas durante el período de análisis, dado que considera que no hay existencia de una cola inicial al empezar el periodo de análisis.

El factor de ajuste por coordinación (PF), que es la coordinación efectiva de un retraso vehicular uniforme, la cual solo se ajusta a la demora 1, según la siguiente fórmula:

$$PF = \frac{(1 - P)fPA}{1 - \left(\frac{g}{C}\right)}$$

Ecuación 11

Donde:

P = proporción de vehículos que llegan en verde

g/C = proporción de tiempo verde disponible

fPA = factor de ajuste suplementario por grupos vehiculares que llegan durante el verde

$$P = Rp \left(\frac{g}{C}\right)$$

Ecuación 12

Donde:

Rp = representa la relación de grupo de vehículos

La demora uniforme requiere una llegada uniforme, una tasa de flujo uniforme y un inicio sin cola. La fórmula para la demora uniforme es la siguiente:

$$d_1 = \frac{0.5C (1 - \frac{g}{C})^2}{1 - [\min(1, X) \frac{g}{C}]}$$

Ecuación 13

La demora incremental se calcula tomando en cuenta las llegadas aleatorias, lo que provoca que algunos ciclos se sobresaturen. Este cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$d_2 = 900T [(C - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8 k I X}{cT}}]$$

Ecuación 14

Donde:

T = duración del período de análisis (0.25 h)

K = factor de demora incremental que depende del ajuste de los controladores en intersecciones accionadas

k = 0.50 para intersecciones prefijadas

l = factor de ajuste por entradas de la intersección corriente arriba para intersecciones aisladas

La demora por cola inicial d_3 se calcula con la siguiente ecuación:

$$d_3 = \frac{1800 Qb (1 + u)t}{c_T}$$

Ecuación 15

Donde:

Q_b = cola inicial al principio del período T (veh)

c = capacidad (veh/h)

T = duración del período de análisis (0.25 h)

u = duración de la demanda insatisfecha (h) u - parámetro de demora

Las demoras agregadas d_A , independientemente del acceso, son el promedio ponderado de las demoras generales de todos los carriles haciendo uso de los flujos precisos de los grupos de carriles:

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^A (d_i V_i)}{\sum_{i=1}^A V_i}$$

Ecuación 16

Donde:

A = número de grupos de carriles en el acceso A

d_A = demora en el acceso A (s/veh)

d_i = demora en el grupo de carriles i , en el acceso A (s/veh)

V_i = volumen ajustado del grupo de carriles i (veh/h)

Por último, el retraso en la intersección se calcula como el promedio ponderado de las demoras en todos los accesos a la intersección, como se muestra a continuación:

$$d_1 = \frac{\sum_{i=1}^A (d_A V_A)}{\sum_{i=1}^A V_A}$$

Donde:

I = número de accesos de la intersección I

d_A = demora en el acceso A (s/veh)

d_I = demora en la intersección I (s/veh)

V_A = volumen ajustado del acceso A (veh/h)

El control de demoras por vehículos está directamente conectado con los niveles de servicio en intersecciones. En otras palabras, una vez determinada la demora para cada grupo de carriles, para cada acceso y para la intersección en su conjunto, se prosigue a determinar el nivel de servicio, revisando la siguiente tabla:

Tabla N° 1 Niveles de servicio con relación a demoras en intersecciones semaforizadas

| Nivel de servicio | Demora por control (segundos/vehículo) | Detalle del nivel |
|--------------------------|---|--|
| A | ≤ 10 | Flujo libre |
| B | $>10 - 20$ | Flujo estable (pequeños retrasos) |
| C | $>20 - 35$ | Flujo estable (retrasos aceptables) |
| D | $>35 - 55$ | Cerca de flujo inestable (retardo tolerable) |
| E | $>55 - 80$ | Flujo inestable (retraso intolerable) |
| F | >80 | Flujo forzado (atascado) |

Fuente: Elaboración propia

El estado de los semáforos hace referencia a la información del diagrama de fases, que muestra el plan de fases, la longitud del ciclo, los tiempos de verde y los intervalos de cambio y despeje para cada uno de los movimientos específicos. Los peatones necesitan tiempo. El tiempo mínimo para una fase se calcula con la siguiente ecuación:

$$Gp = 3.2 + \frac{L}{Sp} + (0.81 * \frac{Nped}{WE}) \text{ para } WE > 3m$$

$$Gp = 3.2 + \frac{L}{Sp} + (0.27 * Nped) \text{ para } WE \leq 3m$$

Ecuación 18

Donde:

Gp = tiempo mínimo de verde (s)

L = longitud del cruce peatonal (m)

Sp = velocidad media del peatón (1.2 m/s)

WE = ancho del cruce peatonal (m)

$Nped$ = número de peatones que cruzan durante un intervalo (peatones)

La función principal del intervalo de cambio de fase es informar a los usuarios de cambios en la asignación del derecho al uso de la intersección. Para calcularlo, se debe tomar en cuenta el tiempo de percepción-reacción del conductor, los tiempos de desaceleración y el tiempo de despeje de la intersección. Esto se puede hacer utilizando la siguiente expresión:

Intervalo de cambio de fase = Amarillo + Todo Rojo

$$y = (t + \frac{v}{2a}) + (\frac{W + L}{v})$$

Donde:

y = intervalo de cambio de fase, amarillo más todo rojo (s)

t = tiempo de percepción-reacción del conductor (usualmente 1s)

v = velocidad de aproximación de los vehículos (m/s)

a = tasa de desaceleración (valor usual 3.05 m/s²)

W = ancho de la intersección (m)

L = longitud del vehículo (valor típico 6.1 m)

Tiempo perdido por fase: l_i

$$l_i = A_i + TR_i + G_i - g_i$$

$$l_i = A_i + TR_i$$

El tiempo total perdido por ciclo L es:

$$L = \sum_{i=1}^A (A_i + TR_i)$$

Ecuación 21

La duración del ciclo Webster demostró, con base en observaciones de campo y simulación de una amplia gama de condiciones de tránsito, que la demora mínima de todos los vehículos en una forma de obtener una intersección con semáforos para una longitud de ciclo ideal:

$$C_0 = \frac{1.5 * L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\phi} (Y_i)}$$

Ecuación 22

Donde:

C_0 = tiempo óptimo de ciclo (s)

L = tiempo total perdido por ciclo (s)

Y_i = máximo valor de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación para el acceso o movimiento o carril crítico de la fase i

φ = número de fases

La siguiente información muestra el tiempo verde efectivo total gT disponible para todos los accesos de intersección por ciclo:

$$gT = C - L = C' - \left[\sum_{i=1}^{\varphi} (A_i + TR_i) \right]$$

Ecuación 23

Donde:

gT = tiempo verde efectivo total por ciclo disponible para todos los accesos

C = longitud actual del ciclo (redondeando C_0 a los S segundos más cercanos)

El tiempo verde efectivo total gT debe distribuirse entre las fases en proporción a sus valores de Y_i para reducir la demora total en la intersección, como se visualiza en la siguiente expresión:

$$g_i = \frac{Y_i}{\sum_{i=1}^{\varphi} (Y_i)} * gT = \frac{Y_i}{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_{\varphi}}$$

Ecuación 24

La siguiente es la forma de obtener el tiempo verde real G_i para cada fase:

$$G_i = g_i + l_i - A_i - TR_i$$

O lo que es lo mismo para φ fases:

$$G\varphi = g\varphi + l\varphi - A\varphi - TR\varphi$$

3.4.2. Método empírico

3.4.2.1. Simulador

Un modelo de simulación de tráfico microscópico como AIMSUN permite al usuario observar la interacción de unidades individuales como vehículos, a diferencia de la simulación tradicional utilizada para predecir el comportamiento de un sistema en el mundo real. Las interacciones entre las unidades varían según las reglas del modelo (que describen el seguimiento del automóvil, el cambio de carril y el comportamiento de aceptación de espacios de vehículos) y los parámetros del modelo que deben calibrarse. Cada unidad es una entidad independiente (Granà et al., 2020).

3.4.2.2. Simulador AIMSUN

AIMSUN Next Model es un programa que se ha utilizado en demasía a la investigación experimental. Se puede utilizar para probar las hipótesis de investigación simulando una red de carreteras y definiendo los detalles de gestión y modo de transporte. La simulación virtual del tráfico se basa en teorías y hallazgos de investigaciones reconocidas en todo el mundo. Se pueden usar vistas 2D y 3D para simular su tráfico virtual. Además, se mostrarán de manera detallada todos los datos estadísticos y gráficos una vez que se completan cada escenario de simulación. Las tres partes principales de AIMSUN son la solución dinámica, el simulador microscópico, el simulador mesoscópico y el simulador híbrido. AIMSUN puede manejar varias

redes de tráfico, como redes urbanas, autopistas, autopistas, circunvalaciones, arterias y cualquier combinación de ellas (Abedian et al., 2021).

Los modelos de agentes se pueden ubicar como simulaciones microscópicas, que también se pueden utilizar para estudios más detallados como lo son los mesoscópicos y macroscópicos. Qué aspectos del sistema de transporte se cubren dependen del nivel de detalle. Los datos necesarios para la modelización también muestran estas variedades. El uso de datos del mundo real debería hacer que las simulaciones sean más realistas y precisas. No obstante, los investigadores deben elegir un modelo de simulación que admita el nivel de detalle necesario para alcanzar los objetivos de su investigación después de comprender el propósito de la simulación. Un modelo de simulación puede volverse más complejo y requerir más datos de entrada si se introducen más detalles de los necesarios, es por ello, que nuestra investigación se basará únicamente a nivel microscópico (Nguyen et al., 2021).

3.4.2.3. Simulación microscópica

Este tipo de simuladores se enfocan en modelar entidades específicas utilizando un nivel alto de detalle. Los viajeros, los vehículos, los semáforos, etc. son entidades potenciales. Este tipo de simulación se utiliza con frecuencia para analizar el tráfico urbano. El análisis de componentes del sistema tanto macroscópicos como microscópicos (como el algoritmo de semáforo y el tráfico multimodal) es factible. Como resultado, las simulaciones en pequeñas escalas pueden resultar en tiempos de cálculo más largos (Nguyen et al., 2021).

3.4.2.4. Plan de recolección de información

Para garantizar que el escenario simulado refleje con precisión las condiciones del mundo real, es esencial calibrar una intersección señalizada simulada en el software de simulación de tráfico. En este estudio, el software AIMSUN se utilizó para completar el proceso de calibración de la

intersección semaforizada simulada, prestando atención a los procesos complejos y técnicas necesarios. Para producir resultados que se alinean estrechamente con los observados, el proceso de calibración implica un enfoque iterativo que refina el modelo de simulación (Ansariyar, 2023).

En la mayoría de los casos, el proceso de calibración comienza con la recopilación de datos del mundo real en la intersección objetivo. Estos datos incluyen recuentos de tráfico, velocidades de vehículos, longitud de colas y tiempos de señales. El modelo de simulación se calibrará en función de estos datos empíricos (Ansariyar, 2023). Durante tres días, se llevaron a cabo aforos manuales en intervalos de 15 minutos, según Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2007, con el fin de calcular el número de vehículos que circulaban por las respectivas carreteras, en las que los giros eran diferentes y en diferentes sentidos. Para realizar los aforos manuales, se han clasificado los vehículos que circularon por las intersecciones en categorías como autos, autobuses, vehículos pesados y motos. De esta manera, se puede continuar con el conteo de volumen de vehículos en cada una de las intersecciones seleccionadas en este trabajo.

Los conteos de vehículos se llevaron a cabo manualmente en una intersección de gran importancia para la ciudad utilizando una aplicación de aforos llamada "Aforo de vehículos TMC", que pudo cubrir cada una de las direcciones del sistema vial. Los conteos se llevaron a cabo en dos jornadas, la primera de 7:00 a.m. hasta las 10:00 a.m y la segunda desde las 11:00 a.m hasta las 14:00 p.m, considerando estos horarios como horas pico, con el objetivo de obtener datos precisos para que los resultados se asemejen a la realidad.

La calibración exitosa de una intersección señalizada simulada en AIMSUN permite la prueba y evaluación de una variedad de estrategias de control de tráfico y cambios de infraestructura

sin la necesidad de realizar experimentos costosos y prolongados en el mundo real. Los siguientes pasos se tomaron para simular la intersección señalizada de AIMSUN entre Vía Panamericana y Av. Ferroviaria (Ansariyar, 2023).

1. Recopilación de datos: Empiece obteniendo datos de tráfico completos y precisos de la intersección señalizada de destino en el mundo real. Esta información debe contar con recuentos de tráfico, velocidades de vehículos, longitud de colas y tiempos de señales. La representatividad y la calidad de los datos son importantes para la calibración.

2. Inicialización del modelo: en el software de simulación de tránsito (AIMSUN) configure el modelo de simulación, donde se incluya: la red de carreteras; los tiempos de las señales; y finalmente, los parámetros iniciales. Es fundamental cerciorarse de que el modelo plasme las características físicas de la intersección real que se añadió, entre los datos deben constar las configuraciones de los carriles y la geometría de la carretera.

3. Simulación inicial: usar el modelo no calibrado para efectuar una simulación inicial. Este proceso será de utilidad como punto de partida para identificar desigualdades entre los datos reales la simulación.

4. Ajuste de parámetros: es necesario determinar aquellos parámetros específicos (comportamiento del conductor, características del vehículo, cualidades específicas del carril o la configuración de control de señales) del modelo que podrían requerir de adaptaciones para el mejoramiento de la exactitud del modelo.

5. Proceso iterativo: dentro de este parámetro la calibración es definida como un proceso iterativo. El objetivo de cada iteración es disminuir las disparidades entre las condiciones reales y el modelo

6. Análisis de sensibilidad: para evaluar el efecto de los distintos adecuamientos de parámetros en los productos de la simulación es necesario que se ejecute un análisis de sensibilidad. Este proceso puede contribuir a identificar cuáles son aquellos parámetros que tienen influencia relevante en el rendimiento del modelo.

7. Validación y Datos de Validación: Se recomienda conservar un fragmento de los datos compilados para validar. Se sugiere que estos datos no sean empleados en el desarrollo del proceso de calibración, más bien debe ser utilizado para evaluar la exactitud del modelo calibrado de manera independiente. Esta separación sirve para asegurar que el modelo no se ajuste en demasía a los datos de calibración.

8. Documentación: todos los ajustes de parámetros deben ser documentados meticulosamente, con esto se hace alusión a las iteraciones y resultados durante todo el proceso de calibración. La cantidad de iteraciones requeridas para calibrar una intersección señalizada que se desea simular en el software AIMSUN puede cambiar de manera significativa en función de: la dificultad de la intersección; calidad de los datos disponibles; precisión del modelo de partida; y los objetivos de calibración específicos.

El objetivo principal de la calibración es disminuir las discrepancias entre los resultados simulados y los datos reales ingresados. La iteración se debe continuar realizando hasta que se consiga una precisión que sea admisible y alineación con las condiciones de tráfico

contempladas. Uno de los factores que pudo afectar al número de iteraciones es la complejidad del modelo de simulación, como un modelo con movimientos de tráfico, configuraciones de carriles intrincadas y varias fases de señales) estos parámetros pueden ser cruciales para el número de iteraciones que se realizará para representar con precisión la intersección del mundo real. No hay ecuaciones matemáticas específicas para decretar cuál es exactitud el número de iteraciones necesarias para calibrar una intersección semaforizada simulada en AIMSUN. Las iteraciones que se requerirán únicamente están determinadas por un procedimiento dinámico y basado en datos que dependen de varios factores y no es una variable cuantificable que pueda expresarse matemáticamente. Por el contrario, se determina mediante la destreza adquirida por la experiencia, la observación y el juicio durante la calibración. Para originar una simulación certera, se consideraron 10 iteraciones para simular las horas pico de la mañana, el mediodía y la tarde

9. Validación del modelo: luego del proceso de calibración, se debe validar el modelo, esto se realiza mediante una comparación entre los resultados de la simulación con los datos de validación que fueron compilados previamente. El ya mencionado modelo debe probar un óptimo rendimiento al replicar las condiciones de tráfico real que no se utilizaron durante la calibración.

4. Análisis e interpretación de resultados

4.1. Análisis de resultados

Mediante los aforos vehiculares realizados en la intersección de la vía Panamericana y Avenida Ferroviaria (ver Anexo 2), en el transcurso de tres días de la semana, se presentaron los datos de los volúmenes máximos vehiculares en los horarios de la mañana y tarde, generando así, la

table N°2, a partir de esta información se puede realizar los diferentes cálculos para el análisis de la intersección de estudio.

Tabla N° 2 Volúmenes máximos horarios vehiculares en intersección de la Vía Panamericana y Avenida Ferroviaria

| Intersección: Vía Panamericana y Avenida Ferroviaria | | | | | |
|---|--|---------------|--|--------------|--|
| Mañana | | | | | |
| Día 1 | | Día 2 | | Día 3 | |
| 09:00 - 10:00 | | 07:00 - 08:00 | | 07:00 - 8:00 | |
| 249 Veh/h | | 213 Veh/h | | 351 Veh/h | |

| Tarde | | | | | |
|---------------|--|---------------|--|---------------|--|
| Día 1 | | Día 2 | | Día 3 | |
| 11:00 - 12:00 | | 13:00 - 14:00 | | 12:00 - 13:00 | |
| 284 Veh/h | | 170 Veh/h | | 167 Veh/h | |

Fuente: Elaboración propia

Como la intersección de estudio es semaforizada, los ciclos de los semáforos presentes en la intersección son importantes para el desarrollo del trabajo, por ello se realizó la toma de tiempos de los ciclos y su respectiva distribución de tiempos efectivos para todos sus cambios rojo, amarillo y verde. En la tabla N°3 se puede notar que los semáforos son de dos fases y que los valores máximos en rojo exceden a los 50 segundos y verde son de 50 segundos.

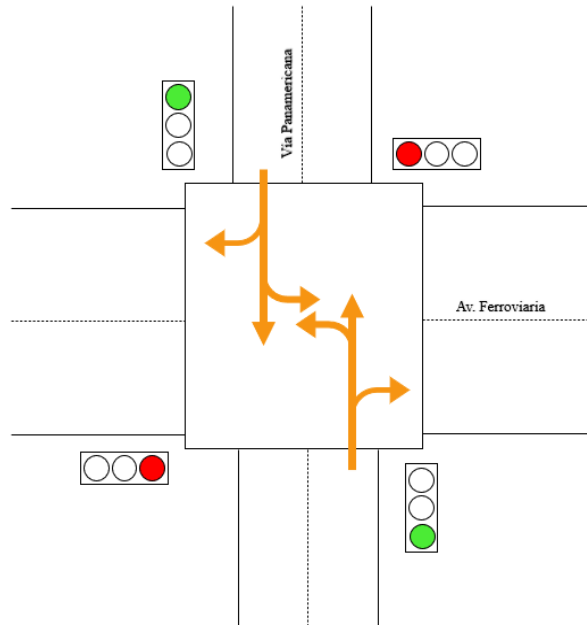
Tabla N° 3 Tiempos de distribución semafóricos

| Tiempo (seg) | Norte-Sur | | | Sur-Norte | | | Este-Oeste | | | Oeste-Este | | |
|--------------|-----------|--------|------|-----------|--------|------|------------|--------|------|------------|--------|------|
| | Izq | Frente | Der | Izq | Frente | Der | Izq | Frente | Der | Izq | Frente | Der |
| Verde | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Amarillo | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.5 |
| Rojo | 56.5 | 56.5 | 56.5 | 56.5 | 56.5 | 56.5 | 36.5 | 36.5 | 36.5 | 36.5 | 36.5 | 36.5 |

Fuente: Elaboración propia

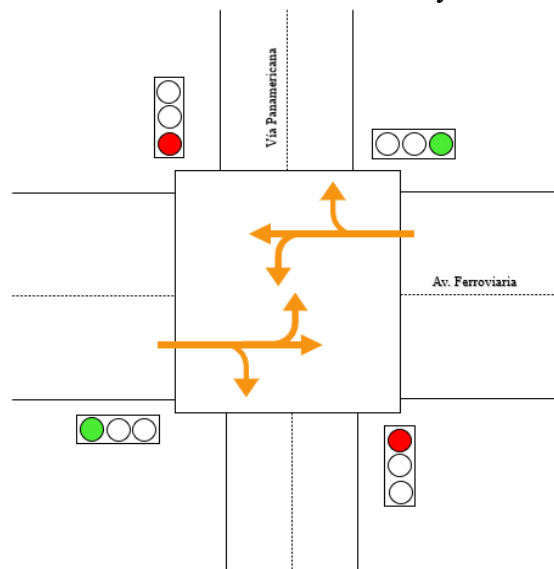
A partir de los tiempos de cada ciclo semafórico obtenidos, se describe la longitud del ciclo, los tiempos totales en verde, amarillo y rojo para cada una de las fases, que se presentan en la tabla N°4 y en la tabla N°5, de la misma forma, en el gráfico N°1 se muestra las fases semafóricas en la intersección de la Vía Panamericana y la Avenida Ferroviaria.

Imagen N° 2 Fase I Vía Panamericana y Av. Ferroviaria



Fuente: Elaboración propia

Imagen N° 3 Fase II Vía Panamericana y Av. Ferroviaria



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 4 Ciclo semafórico en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria

| Fase | CO | gi | Ai | Tri |
|------|----|----|-----|-----|
| I | 90 | 30 | 3.5 | 2 |
| II | 90 | 50 | 3.5 | 2 |

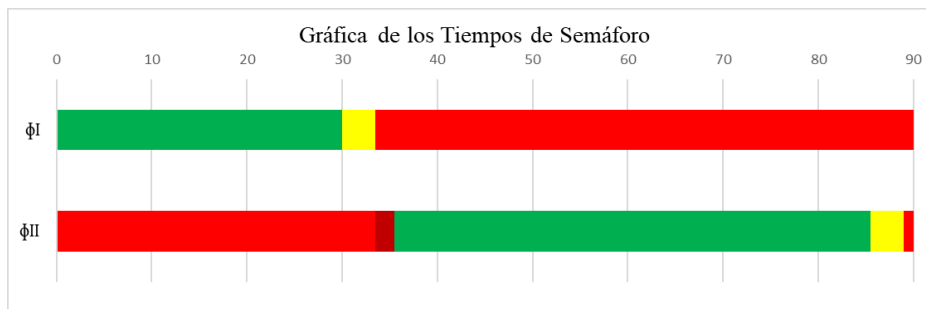
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 5 Tiempos de ciclo semafórico en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria

| Fase | | | | | | |
|-----------|----|------|-----|------|-----|---|
| ϕI | 90 | 30 | 3.5 | 56.5 | | |
| ϕII | 90 | 33.5 | 2 | 50 | 3.5 | 1 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°1 Diagrama de fases de intersección con semáforo (Vía Panamericana y Av. Ferroviaria)



Fuente: Elaboración propia

Se presenta a continuación la tabla N°6, en la cual se expone el nivel de servicio de la intersección Vía Panamericana y Avenida Ferroviaria, obteniendo los siguientes datos:

Tabla N° 6 Niveles de servicios por sentidos en intersección en la Vía Panamericana y Av. Ferroviaria

| Intersección: | Vía Panamericana y Av. Ferroviaria | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|------------------------------------|--------|-----|-----------|--------|-----|------------|--------|-----|------------|--------|-----|
| | Norte-Sur | | | Sur-Norte | | | Este-Oeste | | | Oeste-Este | | |
| | Izq | Frente | Der | Izq | Frente | Der | Izq | Frente | Der | Izq | Frente | Der |
| Demora media | 23 | 39 | 25 | 25 | 30 | 23 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Nivel de servicio de giro | C | D | C | C | C | C | B | A | A | B | A | A |
| Demora agregada | 33 | | | 27 | | | 10 | | | 10 | | |

| | | | | |
|--------------------------------------|----|---|---|---|
| Nivel de servicio por acceso | C | C | A | A |
| Demora en intersección | 20 | | | |
| Nivel de servicio en la intersección | C | | | |

Fuente: Elaboración propia

En la intersección de estudio se determina un nivel de servicio C, lo que significa que la capacidad de la intersección es media y ya comienzan a manifestarse restricciones o especificaciones geométricas que reducen la velocidad, de acuerdo a la tasa de flujo vehicular y el tiempo de demora. No existe una gran congestión vehicular en la intersección, ya que los vehículos tienen que esperar hasta 20 segundos para circular, se llega a un atascamiento vehicular igualando al nivel de servicio C.

4.2. Interpretación de datos

Para el desarrollo del trabajo, se tomó como objeto de estudio la intersección Vía Panamericana y la Avenida Ferroviaria, en la cual, el sentido norte-sur cuenta con una tasa de flujo vehicular de 678 veh/h, la capacidad de grupo de carriles es de 1308 veh/h, referente a la relación v/c de los diferentes carriles se encuentra valores entre 0.21 y 0.87, y el tiempo de demora total es de 33 segundos, lo que define que cuenta con un nivel de servicio “C”, como se indica en la tabla N°6.

En la dirección sur-norte muestra una tasa de flujo vehicular de 611 veh/h, su capacidad de grupo de carriles es de 1308 veh/h, cuenta con valores entre 0.23 y 0.72 respecto a la relación v/c en los diferentes carriles, y se determinó un tiempo de demora total de 27 segundos, valores que señalan un nivel de servicio “C”, como se observa en la tabla N°6.

De la misma manera, el sentido este-oeste presenta una tasa de flujo vehicular de 521 veh/h, su capacidad de grupo de carriles es de 3117 veh/h, teniendo valores que varían entre 0.11 a 0.25, en relación v/c de los diferentes carriles y el tiempo de demora total es de 10 segundos, valores que definen un nivel de servicio “A”, como se indica en la tabla N°6.

Finalmente, para la dirección oeste-este se tiene una tasa de flujo vehicular de 605 veh/h, su capacidad de grupo de carriles es de 3117 veh/h, cuenta con valores entre 0.11 y 0.24 en relación v/c en los diferentes carriles, y el tiempo de demora total es de 10 segundos como se presenta en la tabla N°, estos valores señalan un nivel de servicio “A”, como se indica en la tabla N°6.

Tabla N° 7 Valores de tasa de flujo, capacidad de carriles y demoras en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria

| | Norte-Sur | | | Sur-Norte | | | Este-Oeste | | | Oeste-Este | | |
|--|-----------|--------|------|-----------|--------|------|------------|--------|------|------------|--------|------|
| | Izq | Frente | Der | Izq | Frente | Der | Izq | Frente | Der | Izq | Frente | Der |
| Tasa de flujo (veh/h) | 92 | 377 | 208 | 196 | 316 | 100 | 208 | 152 | 160 | 199 | 309 | 96 |
| Tasa de flujo en sentidos (veh/h) | 678 | | | 611 | | | 521 | | | 605 | | |
| Capacidad de grupo de carriles (veh/h) | 436 | 436 | 436 | 436 | 436 | 436 | 845 | 1427 | 845 | 845 | 1427 | 845 |
| Capacidad de grupo de carriles (veh/h) | 1308 | | | 1308 | | | 3117 | | | 3117 | | |
| Relación demanda/capacidad | 0.21 | 0.87 | 0.48 | 0.45 | 0.72 | 0.23 | 0.25 | 0.11 | 0.19 | 0.24 | 0.22 | 0.11 |
| Demora media (seg) | 23 | 39 | 25 | 25 | 30 | 23 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Demora agregada (seg) | 33 | | | 27 | | | 10 | | | 10 | | |

Fuente: Elaboración propia

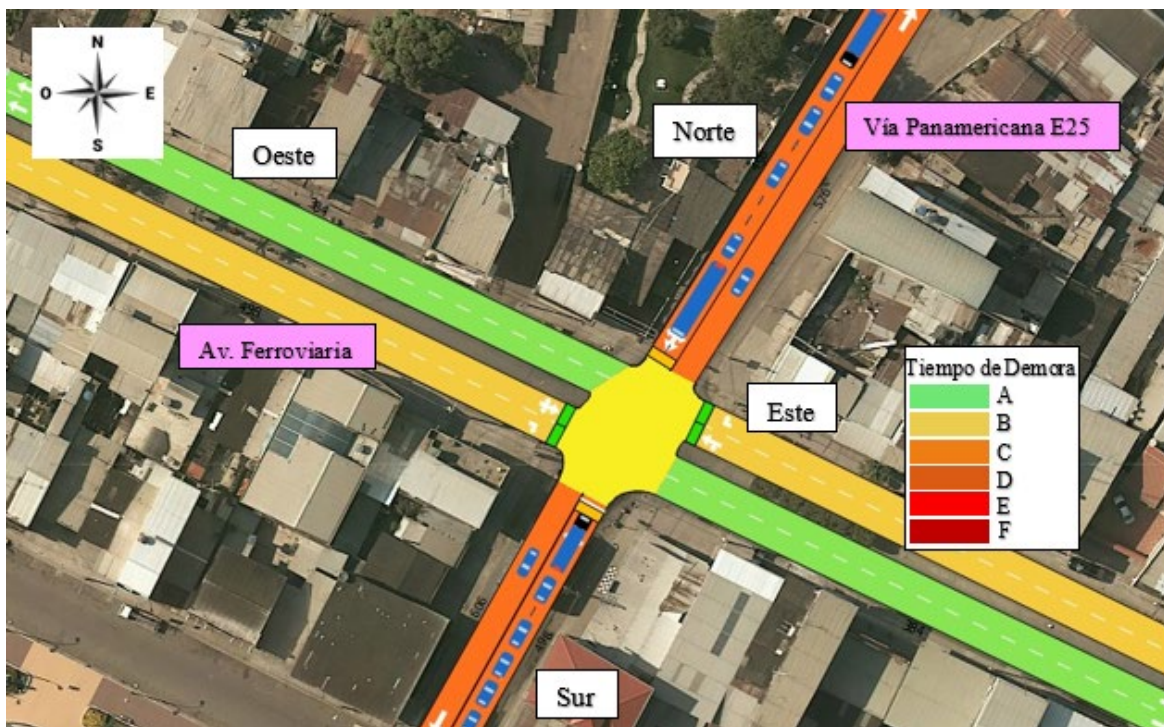
Tabla N° 8 Niveles de servicios en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria

| Sentidos de circulación | Nivel de servicio |
|-------------------------|-------------------|
| Norte-Sur | C |
| Sur-Norte | C |
| Este-Oeste | A |
| Oeste-Este | A |

Fuente: Elaboración propia

Mediante el software AIMSUN que permite la simulación de tráfico, se procedió a ingresar los datos adquiridos en campo, para así comparar los resultados del software con los calculados en la intersección de la Vía Panamericana y Avenida Ferroviaria, como se presenta en la imagen N°5, se puede verificar que se han obtenido valores similares a los que describimos anteriormente, de esta forma se pueden validar la obtención de los datos.

Imagen N° 4 Simulación de nivel de servicio en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria



Fuente: Elaboración propia

4.3. Verificación de hipótesis

Hipótesis: Existe un eficiente servicio de circulación vial para los usuarios de la vía Panamericana en la intersección con la avenida Ferroviaria.

De acuerdo a la hipótesis planteada, se determina que los niveles de servicio presentado en la intersección de la Vía Panamericana y Avenida Ferroviaria cuenta son aceptables con demoras aceptables, debido a que se ha obtenido valores de servicio C, lo que significa que el flujo aún es estable, aunque ya comienzan a manifestarse pequeñas restricciones o especificaciones geométricas que reducen la velocidad, de acuerdo a la tasa de flujo vehicular y el tiempo de demora. Y cuenta con una capacidad vial aceptable.

4.4. Propuesta de alternativa de solución

Un nivel de servicio C no requiere plantear soluciones que permitan optimizar el flujo del tráfico debido a que no existe grandes inconvenientes de congestionamiento en la intersección. Sin embargo, existen alternativas que permiten mejorarlo, ajustando los tiempos de ciclos en los semáforos.

Para el planteamiento del nuevo modelo de diseño, se planteó mejorar el nivel de servicio con la finalidad que la intersección cuente con un diseño más óptimo para brindar una circulación eficiente a los conductores. Para ello, se propuso ajustar adecuadamente la sincronización de los semáforos, modificando la duración del ciclo de 90 segundos a 80 segundos, incrementando los tiempos de verde y acortando los tiempos en rojo para cada fase semafórica. Para realizar este procedimiento se debe considerar cuales son los tiempos mínimos de verde para el cruce de peatones, se calcula empleando la ecuación 18 y tomando en cuenta el proceso descrito en (Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales, 2007), obteniendo en la intersección un tiempo mínimo de verde de 23 segundos. De esta manera se logró obtener la demora media general de 13 segundos, llegando a contar un nivel de servicio “B” en la intersección, lo cual mejora

notablemente la movilidad de flujo vehicular. Esta propuesta es la opción más favorable, porque no requiere mayor inversión, según los resultados obtenidos, no se necesita crear una nueva infraestructura, ya que es imposible su construcción por las características geométricas del sitio de estudio. Este modelo de diseño proporciona una duración de paso reducida por la intersección, generando el mejoramiento del flujo vehicular y contralando congestionamiento y saturación de la capacidad vial para brindar un servicio eficiente a sus usuarios.

Tabla N° 9 Ciclo semafórico en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria

| Fase | CO | gi | Ai | Tri |
|------|----|----|-----|-----|
| I | 80 | 35 | 3.5 | 1 |
| II | 80 | 37 | 3.5 | 1 |

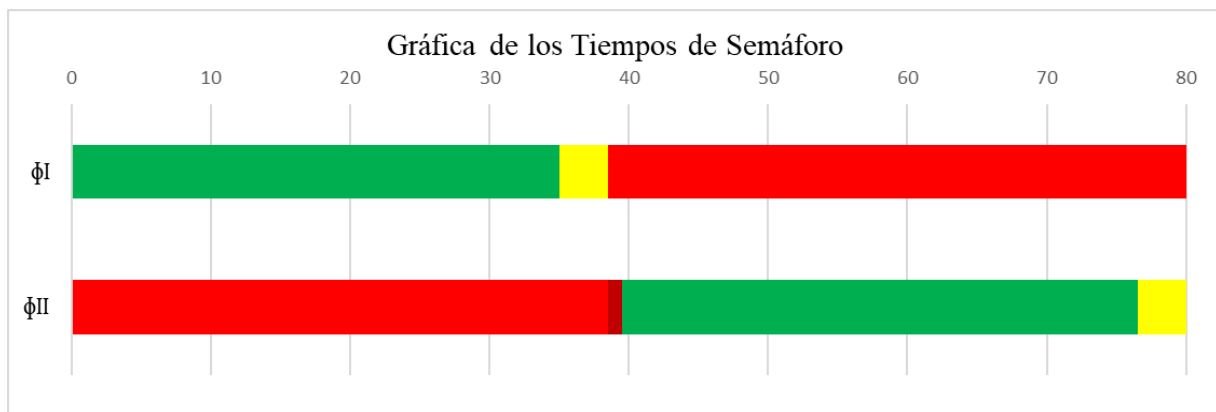
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 10 Tiempos de ciclo semafórico en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria

| Fase | | | | | | |
|-----------|----|------|-----|------|-----|---|
| ϕI | 80 | 35 | 3.5 | 41.5 | | |
| ϕII | 80 | 38.5 | 1 | 37 | 3.5 | 0 |

Fuente: Elaboración propia

Gráfica N°2 Diagrama de fases de intersección con semáforo (Vía Panamericana y Av. Ferroviaria)



Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 11 Niveles de servicios por sentidos en intersección en la Vía Panamericana y Av. Ferroviaria

| Intersección: | Vía Panamericana y Av. Ferroviaria | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------------------------------|--------|-----|-----------|--------|-----|------------|--------|-----|------------|--------|-----|
| Sentido de circulación | Norte-Sur | | | Sur-Norte | | | Este-Oeste | | | Oeste-Este | | |
| | Izq | Frente | Der | Izq | Frente | Der | Izq | Frente | Der | Izq | Frente | Der |
| Demora media | 14 | 19 | 15 | 15 | 17 | 14 | 9 | 8 | 9 | 9 | 8 | 8 |
| Nivel de servicio de giro | B | B | B | B | B | B | A | A | A | A | A | A |
| Demora agregada | 17 | | | 16 | | | 9 | | | 9 | | |
| Nivel de servicio por acceso | B | | | B | | | A | | | A | | |
| Demora en intersección | 13 | | | | | | | | | | | |
| Nivel de servicio en la intersección | B | | | | | | | | | | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 12 Valores de tasa de flujo, capacidad de carriles y demoras en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria

| | Norte-Sur | | | Sur-Norte | | | Este-Oeste | | | Oeste-Este | | |
|--|-----------|--------|------|-----------|--------|------|------------|--------|------|------------|--------|------|
| | Izq | Frente | Der | Izq | Frente | Der | Izq | Frente | Der | Izq | Frente | Der |
| Tasa de flujo (veh/h) | 92 | 377 | 208 | 196 | 316 | 100 | 208 | 152 | 160 | 199 | 309 | 96 |
| Tasa de flujo en sentidos (veh/h) | 678 | | | 611 | | | 521 | | | 605 | | |
| Capacidad de grupo de carriles (veh/h) | 573 | 573 | 573 | 573 | 573 | 573 | 856 | 1445 | 856 | 856 | 1445 | 856 |
| Capacidad de grupo de carriles (veh/h) | 1719 | | | 1719 | | | 3157 | | | 3157 | | |
| Relación demanda/capacidad | 0.16 | 0.66 | 0.36 | 0.34 | 0.55 | 0.17 | 0.24 | 0.11 | 0.19 | 0.23 | 0.21 | 0.11 |
| Demora media (seg) | 14 | 19 | 15 | 15 | 17 | 14 | 9 | 8 | 9 | 9 | 8 | 8 |
| Demora agregada (seg) | 17 | | | 16 | | | 9 | | | 9 | | |
| Niveles de servicio por acceso | B | | | B | | | A | | | A | | |

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13 Niveles de servicios en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria

| Sentidos de circulación | Nivel de servicio |
|-------------------------|-------------------|
| Norte-Sur | B |
| Sur-Norte | B |
| Este-Oeste | A |
| Oeste-Este | A |

Fuente: Elaboración propia

Imagen N° 5 Simulación de nivel de servicio de la propuesta de intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

En esta investigación se estableció una base para cada uno de los elementos de movilidad urbana, lo que permitió llevar a cabo un análisis de la capacidad vial de la intersección entre la Av. Ferroviaria y la Vía Panamericana. En comparación con los carriles de sentido recto, los carriles destinados a giros tanto a la izquierda como a la derecha presentaron una demanda mayor de vehículos, con relaciones demanda/capacidades cercanas a 1. Sin embargo, esta intersección no es el caso porque presentan valores entre 0 y 1, manteniéndose dentro de un rango aceptable de capacidad vial.

El nivel de servicio que ofrece la intersección es aceptable. Dado este resultado, no es necesario que se proponga un nuevo modelo de diseño debido a que no existen una congestión notable en la intersección, ya que los retrasos son aceptables. A pesar de que la intersección de estudio no requirió que se realice cambios. Se describió una alternativa que permite mejorar el nivel de servicio que consiste en reducir los tiempos del ciclo de semáforos, aumentar el tiempo del verde y reducir el rojo. Logrando alcanzar una demora promedio de 13 segundos, lo que resultó en un nivel de servicio "B" en la intersección, lo que mejoró significativamente la movilidad del flujo de vehículos. Además, se concluye que esta es la mejor opción como propuesta porque no requiere mucha inversión y no se necesita construir una nueva infraestructura como tal, más aún porque su construcción es imposible debido a las características geométricas del lugar.

Por último, se utilizó el software AISUM para realizar una simulación de tráfico de vehículos. Los resultados de la simulación demostraron que los datos conseguidos utilizando los procedimientos de HCM 2010 son semejantes a los obtenidos en la simulación de vehículos.

Referencias Bibliográficas

Abata, K., Artega, F., & Delgado, D. (2022). ANÁLISIS DEL CONGESTIONAMIENTO VEHICULAR EN DIFERENTES INTERSECCIONES EN LA CIUDAD DE

PORTOVIEJO, ECUADOR. *Revista de Investigaciones En Energía, Medio Ambiente y Tecnología*: RIEMAT ISSN: 2588-0721, 7(1).
<https://doi.org/10.33936/RIEMAT.V7I1.4836>

Abedian, S., Mirsanjari, M. M., & Salmanmahiny, A. (2021). Investigating the Effect of Suburban Buses on Traffic Flow and Carbon Monoxide Emission by Aimsun Simulation Software. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 49(6), 1319–1330.
<https://doi.org/10.1007/S12524-020-01289-Z/METRICS>

Adrián Ricardo Patiño Morantes, I., Guillermo Moreno Contreras, G., & Azdrúbal Ramón Valencia, B. (2019). ANÁLISIS DE RIESGO DE ACCIDENTALIDAD DE VEHICULOS PESADOS EN LA VÍA CÚCUTA – PAMPLONA. *REVISTA COLOMBIANA DE TECNOLOGIAS DE AVANZADA (RCTA)*, 0(0), 74–79.
<https://doi.org/10.24054/16927257.V0.N0.2018.3307>

Ansariyar, A. (2023). *Efficiency Improvement at Signalized Intersections: Investigating Smart Green Time Allocation with Two LiDAR Sensors and Aimsun Microsimulation*.
<https://doi.org/10.20944/PREPRINTS202310.1768.V1>

Autey, J., Sayed, T., & El Esawey, M. (2013). Operational performance comparison of four unconventional intersection designs using micro-simulation. *Journal of Advanced Transportation*, 47(5), 536–552. <https://doi.org/10.1002/ATR.181>

Ballardini, A. L., Hernández Saz, Á., Limeros, S. C., Lorenzo, J., Parra Alonso, I., Hernández Parra, N., García Daza, I., & Sotelo, M. Á. (2021). Urban Intersection Classification: A Comparative Analysis. *Sensors 2021, Vol. 21, Page 6269, 21(18)*, 6269.
<https://doi.org/10.3390/S21186269>

Beyersdorfer, S., & Wagner, S. (2013). Novel model based path planning for multi-axle steered heavy load vehicles. *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC*, 424–429. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2013.6728268>

- Bobermin, M. P., Silva, M. M., & Ferreira, S. (2021). Driving simulators to evaluate road geometric design effects on driver behaviour: A systematic review. *Accident Analysis & Prevention*, *150*, 105923. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2020.105923>
- Cal y Mayor Reyes Spíndola, R. (2018). Ingeniería de tránsito : fundamentos y aplicaciones.
- Cal y Mayor Reyes Spíndola, Rafael., & Cárdenas Grisales, James. (2007). Ingeniería de tránsito : fundamentos y aplicaciones. Alfaomega.
- Cao, J., Zhu, J., Zhang, Q., Wang, K., Yang, J., & Wang, Q. (2021). Modeling urban intersection form: Measurements, patterns, and distributions. *Frontiers of Architectural Research*, *10*(1), 33–49. <https://doi.org/10.1016/J.FOAR.2020.11.003>
- Castañeda, K., Sánchez, O., Herrera, R. F., Pellicer, E., & Porras, H. (2021). BIM-based traffic analysis and simulation at road intersection design. *Automation in Construction*, *131*, 103911. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2021.103911>
- Chang, X., Li, H., Rong, J., Chen, X., & Wang, Y. (2019). Determining the appropriate lane width at urban signalised intersections - A case study in Beijing. *IET Intelligent Transport Systems*, *13*(12), 1785–1791. <https://doi.org/10.1049/IET-ITS.2018.5401>
- Chaudhari, P. M., Goyani, J., Arkatkar, S., Joshi, G., & Easa, S. M. (2022). Design Consistency Evaluation of Two-Lane Rural Highways in Hilly Terrains. *Transportation Research Procedia*, *62*, 75–82. <https://doi.org/10.1016/J.TRPRO.2022.02.010>
- Chen, D., Yan, X., Liu, X., Wang, L., Li, F., & Li, S. (2021). Multi-Task Fusion Deep Learning Model for Short-Term Intersection Operation Performance Forecasting. *Remote Sensing 2021*, Vol. 13, Page 1919, *13*(10), 1919. <https://doi.org/10.3390/RS13101919>
- Coates, A., Yi, P., Koganti, S., & Du, Y. (2012). Maximizing intersection capacity through unconventional geometric design of two-phase intersections. *Transportation Research Record*, *2309*, 30–38. <https://doi.org/10.3141/2309-04>

- Delgado Gutierréz, D. A., López Hernández, L. L., Pita Suarez, W. J., & Ortiz Hernández, E. H. (2020). Análisis del tránsito vehicular, alternativas y soluciones a congestionamientos en la Avenida América, entre avenida Manabí y calle Ramón Fernández-Portoviejo-Manabí. *Revista de Investigaciones En Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* ISSN: 2588-0721, 5(2), 11. <https://doi.org/10.33936/RIEMAT.V5I2.2541>
- Deng, Q., Zhang, W., & Li, X. (2022). Dynamic Evaluation Model of Traffic Congestion State at Urban Intersections. *International Conference on Transportation and Development 2022: Application of Emerging Technologies - Selected Papers from the Proceedings of the International Conference on Transportation and Development 2022*, 2, 115–123. <https://doi.org/10.1061/9780784484326.012>
- Eltaher, F., Miralles-Pechuán, L., Courtney, J., & McKeever, S. (2023). Detecting Road Intersections from Satellite Images using Convolutional Neural Networks. *Proceedings of the ACM Symposium on Applied Computing*, 495–498. <https://doi.org/10.1145/3555776.3578728>
- Fric, S., Trpčevski, F., Gavran, D., Ilić, V., Vranjevac, S., & Lukić, M. (2022). Road safety inspection – Incompatibility between the function of the road and the typical cross section – Belgrade’s Northern Arterian Tangent. *2nd Macedonian Road Congress*, 424–431. <https://grafar.grf.bg.ac.rs/handle/123456789/2784>
- Gaikawad, P., Ghodmare, S. D., & Sandel, P. (2020). A STUDY-GEOMETRIC DESIGN OF HIGHWAY WITH THE HELP OF AUTOCAD CIVIL 3D. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 7(8), 518–526. www.jetir.org
- Granà, A., Giuffrè, T., Macioszek, E., & Acuto, F. (2020). Estimation of Passenger Car Equivalent for Two-Lane and Turbo Roundabouts Using AIMSUN. *Frontiers in Built Environment*, 6, 517726. <https://doi.org/10.3389/FBUIL.2020.00086/BIBTEX>
- Guía paso a paso para la modelación de sistemas de transporte utilizando el software Aimsun desde un enfoque microscópico hasta macroscópico | PDF | Intersección (carretera) | Transporte.* (n.d.). Retrieved January 30, 2024, from <https://es.scribd.com/document/461254767/229114544-Manual-de-Aimsun-Moyano-pdf>

- Hasibul Islam, M., Teik Hua, L., Hamid, H., & Azarkerdar, A. (2019). Relationship of Accident Rates and Road Geometric Design. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 357(1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/357/1/012040>
- Khan, A. B., Agarwal, P. K., & Chaki, S. (2016). Strategies for Safety Evaluation of Road Intersection to have Sustainable Development. *ADR Journals*, 64–76. <https://www.researchgate.net/publication/333774645>
- Li, P., Li, Y., Feng, J., Ma, Z., & Li, X. (2020). AUTOMATIC DETECTION AND RECOGNITION OF ROAD INTERSECTIONS FOR ROAD EXTRACTION FROM IMAGERY. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B3-2020(B3), 113–117. <https://doi.org/10.5194/ISPRS-ARCHIVES-XLIII-B3-2020-113-2020>
- NamGung, H., Kim, C., Choe, K., Ri, C., Kim, Y., & Ri, M. P. (2020). Research Progress of Road Intersection Design Analysis. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, 245–256. <https://doi.org/10.32628/ijrsrset207643>
- Narayan, P., & Rastogi, Dr. A. (2022). Hybrid Annuity Model in Road Infrastructure Projects. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(12), 2207–2216. <https://doi.org/10.22214/IJRASET.2022.48444>
- Nguyen, J., Powers, S. T., Urquhart, N., Farrenkopf, T., & Guckert, M. (2021). An overview of agent-based traffic simulators. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 12, 100486. <https://doi.org/10.1016/J.TRIP.2021.100486>
- National Research Council (U.S.). Transportation Research Board. (2000). Highway capacity manual. Transportation Research Board, National Research Council.
- Papageorgiou, M., Mountakis, K. S., Karafyllis, I., Papamichail, I., & Wang, Y. (2021). Lane-Free Artificial-Fluid Concept for Vehicular Traffic. *Proceedings of the IEEE*, 109(2), 114–121. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2020.3042681>

PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN MACHALA.
(2019).

Plan Vial Integral Provincia de El Oro | CONGOPE. (n.d.). Retrieved September 6, 2023, from <http://www.congope.gob.ec/?publicacion=plan-vial-integral-provincia-de-el-oro>

Pulugurtha, S. S., & Mathew, S. (2021). Modeling AADT on local functionally classified roads using land use, road density, and nearest nonlocal road data. *Journal of Transport Geography*, 93, 103071. <https://doi.org/10.1016/J.JTRANGEO.2021.103071>

Reshad Aziz, M. A., Monicaba Vala, M., & Kanani, M. M. (2018). Review on Analysis and Design of Intersection. *IJARIE*, 4(1), 506–512. https://ijarie.com/AdminUploadPdf/Review_on_Analysis_and_Design_of_Intersection_i_jarie7351.pdf

Seliverstov, S. A., Seliverstov, Y. A., Shatalova, N. V., Korolev, O. A., Borodina, O. V., & Kiselev, A. A. (2020). Model Development and Assessment of a Complex Intersection of a Road Network using Modern Software Systems. *Proceedings of 2020 23rd International Conference on Soft Computing and Measurements, SCM 2020*, 92–96. <https://doi.org/10.1109/SCM50615.2020.9198813>

Sivasanthosh, C. (2023). Design of Traffic Intersection. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 11(4), 2610–2619. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.50667>

Vera, J., Loor, J., Ortiz-Hernández, E., & Delgado, D. (2021). *ANALYSIS OF THE SERVICE LEVEL AT THE INTERSECTION OF THE MANABÍ AND AMERICA AVENUES, PORTOVIEJO, ECUADOR.* <https://doi.org/https://doi.org/10.33936/riemat.v6i2.4287>

Wang, B., Hallmark, S., Savolainen, P., & Dong, J. (2018). Examining vehicle operating speeds on rural two-lane curves using naturalistic driving data. *Accident Analysis & Prevention*, 118, 236–243. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2018.03.017>

- Wei, F., Guo, Y., Liu, P., Cai, Z., Li, Q., & Chen, L. (2020). Modeling Car-Following Behaviour of Turning Movements at Intersections with Consideration of Turning Radius. *Journal of Advanced Transportation*, 2020, 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2020/8884797>
- Wen, X., Xie, Y., Wu, L., & Jiang, L. (2021). Quantifying and comparing the effects of key risk factors on various types of roadway segment crashes with LightGBM and SHAP. *Accident Analysis & Prevention*, 159, 106261. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2021.106261>
- Wijnands, J. S., Zhao, H., Nice, K. A., Thompson, J., Scully, K., Guo, J., & Stevenson, M. (2021). Identifying safe intersection design through unsupervised feature extraction from satellite imagery. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 36(3), 346–361. <https://doi.org/10.1111/MICE.12623>
- Wu, K. F. (Ken), & Lin, T. (2022). Investigating the effects of travel lane configuration and lane width on traffic safety where powered-two-wheelers (PTWs) share with larger vehicles: A micro perspective. *Accident Analysis & Prevention*, 172, 106682. <https://doi.org/10.1016/J.AAP.2022.106682>
- Zhao, J., Kigen, K. K., & Xia, X. (2020). An alternative design for traffic intersections with work zones by using pre-signals. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, 26(2), 168–182. <https://doi.org/10.1080/15472450.2020.1797505>
- Zhao, J., & Ma, W. (2021). An Alternative Design for the Intersections with Limited Traffic Lanes and Queuing Space. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(3), 1473–1483. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.2971353>
- Zhao, L., Ichise, R., Yoshikawa, T., Naito, T., Kakinami, T., & Sasaki, Y. (2015). Ontology-based decision making on uncontrolled intersections and narrow roads. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Proceedings, 2015-August*, 83–88. <https://doi.org/10.1109/IVS.2015.7225667>

Anexos

Anexo 1: Memoria fotográfica

Imagen N° 6 Realización de aforos vehiculares manuales en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria



Fuente: Elaboración propia

Imagen N° 7 Realización de aforos vehiculares manuales en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria



Fuente: Elaboración propia

Imagen N° 8 Realización de aforos vehiculares manuales en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria



Fuente: Elaboración propia

Imagen N° 9 Congestionamiento vehicular en intersección Vía Panamericana y Av. Ferroviaria



Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Aforos vehiculares

Intersección: Vía Panamericana y Avenida Ferroviaria

Conteo vehicular: Día 1

| AFORO VEHICULAR DÍA 1 | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|----------------------|--------|-----|----------------------|--------|-----|--------------------|--------|-----|--------------------|--------|-----|-------------------|
| Periodos 15 min | | Vía Panamericana S-N | | | Vía Panamericana N-S | | | Av.Ferroviaria O-E | | | Av.Ferroviaria E-O | | | Total Vehicles |
| | | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER | |
| 7:00 | 7:15 | 38 | 38 | 11 | 11 | 28 | 31 | 28 | 38 | 1 | 17 | 17 | 17 | 275 |
| 7:15 | 7:30 | 31 | 60 | 20 | 26 | 37 | 30 | 30 | 54 | 20 | 24 | 34 | 15 | 381 |
| 7:30 | 7:45 | 40 | 67 | 11 | 24 | 51 | 57 | 36 | 58 | 6 | 19 | 25 | 24 | 418 |
| 7:45 | 8:00 | 44 | 76 | 10 | 13 | 43 | 34 | 43 | 70 | 7 | 31 | 30 | 19 | 420 |
| 8:00 | 8:15 | 31 | 69 | 22 | 22 | 40 | 37 | 26 | 59 | 22 | 15 | 30 | 27 | 400 |
| 8:15 | 8:30 | 43 | 57 | 22 | 15 | 37 | 44 | 31 | 52 | 23 | 13 | 21 | 14 | 372 |
| 8:30 | 8:45 | 45 | 44 | 15 | 23 | 36 | 36 | 31 | 33 | 11 | 19 | 24 | 26 | 343 |
| 8:45 | 9:00 | 29 | 68 | 17 | 20 | 41 | 38 | 23 | 47 | 7 | 13 | 15 | 18 | 336 |
| 9:00 | 9:15 | 31 | 60 | 23 | 15 | 32 | 35 | 27 | 44 | 13 | 32 | 19 | 27 | 358 |
| 9:15 | 9:30 | 30 | 58 | 11 | 23 | 30 | 33 | 33 | 61 | 9 | 25 | 19 | 18 | 350 |
| 9:30 | 9:45 | 31 | 55 | 17 | 15 | 33 | 26 | 21 | 37 | 9 | 25 | 17 | 28 | 314 |
| 9:45 | 10:00 | 42 | 76 | 21 | 13 | 28 | 34 | 35 | 49 | 20 | 12 | 17 | 22 | 369 |
| 11:00 | 11:15 | 17 | 79 | 16 | 13 | 42 | 30 | 19 | 77 | 14 | 18 | 14 | 23 | 362 |
| 11:15 | 11:30 | 33 | 65 | 18 | 15 | 41 | 30 | 30 | 64 | 17 | 32 | 20 | 21 | 386 |
| 11:30 | 11:45 | 40 | 67 | 16 | 17 | 47 | 37 | 32 | 56 | 7 | 29 | 16 | 28 | 392 |
| 11:45 | 12:00 | 40 | 73 | 21 | 9 | 30 | 31 | 36 | 66 | 7 | 27 | 24 | 22 | 386 |
| 12:00 | 12:15 | 49 | 66 | 21 | 12 | 40 | 52 | 50 | 72 | 19 | 19 | 21 | 14 | 435 |
| 12:15 | 12:30 | 45 | 78 | 16 | 16 | 42 | 40 | 43 | 71 | 17 | 30 | 29 | 19 | 446 |
| 12:30 | 12:45 | 46 | 55 | 24 | 23 | 39 | 37 | 44 | 48 | 19 | 28 | 34 | 19 | 416 |
| 12:45 | 13:00 | 38 | 73 | 25 | 14 | 40 | 44 | 42 | 69 | 24 | 19 | 24 | 36 | 448 |
| 13:00 | 13:15 | 26 | 62 | 19 | 14 | 39 | 52 | 25 | 58 | 13 | 16 | 38 | 20 | 382 |
| 13:15 | 13:30 | 37 | 71 | 17 | 8 | 42 | 43 | 36 | 67 | 16 | 19 | 21 | 25 | 402 |
| 13:30 | 13:45 | 35 | 56 | 16 | 14 | 42 | 37 | 33 | 53 | 12 | 20 | 19 | 21 | 358 |
| 13:45 | 14:00 | 33 | 55 | 13 | 14 | 28 | 38 | 30 | 49 | 13 | 20 | 41 | 25 | 359 |

Conteo vehicular: Día 2

| AFORO VEHICULAR DÍA 2 | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|----------------------|--------|-----|----------------------|--------|-----|--------------------|--------|-----|--------------------|--------|-----|----------|
| Periodos 15 min | | Vía Panamericana S-N | | | Vía Panamericana N-S | | | Av.Ferroviaria O-E | | | Av.Ferroviaria E-O | | | Total |
| | | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER | Vehicles |
| 7:00 | 7:15 | 28 | 38 | 11 | 7 | 28 | 22 | 18 | 23 | 1 | 35 | 24 | 11 | 246 |
| 7:15 | 7:30 | 22 | 55 | 15 | 14 | 32 | 39 | 17 | 32 | 12 | 44 | 24 | 27 | 333 |
| 7:30 | 7:45 | 20 | 57 | 9 | 6 | 35 | 28 | 16 | 35 | 6 | 32 | 26 | 19 | 289 |
| 7:45 | 8:00 | 28 | 63 | 11 | 11 | 46 | 36 | 27 | 41 | 7 | 26 | 31 | 29 | 356 |
| 8:00 | 8:15 | 31 | 47 | 13 | 3 | 45 | 35 | 26 | 35 | 13 | 38 | 32 | 35 | 353 |
| 8:15 | 8:30 | 30 | 48 | 18 | 8 | 28 | 25 | 19 | 39 | 17 | 48 | 30 | 28 | 338 |
| 8:30 | 8:45 | 35 | 44 | 15 | 9 | 34 | 17 | 30 | 32 | 9 | 33 | 29 | 23 | 310 |
| 8:45 | 9:00 | 29 | 51 | 17 | 3 | 21 | 29 | 18 | 44 | 7 | 30 | 27 | 30 | 306 |
| 9:00 | 9:15 | 31 | 37 | 17 | 10 | 28 | 29 | 27 | 36 | 13 | 34 | 35 | 38 | 335 |
| 9:15 | 9:30 | 16 | 34 | 11 | 7 | 31 | 20 | 33 | 61 | 9 | 31 | 19 | 24 | 296 |
| 9:30 | 9:45 | 31 | 42 | 15 | 7 | 36 | 29 | 21 | 37 | 9 | 46 | 22 | 24 | 319 |
| 9:45 | 10:00 | 40 | 62 | 20 | 3 | 39 | 34 | 27 | 33 | 13 | 25 | 34 | 23 | 353 |
| 11:00 | 11:15 | 19 | 24 | 6 | 8 | 31 | 26 | 9 | 17 | 2 | 38 | 23 | 35 | 238 |
| 11:15 | 11:30 | 22 | 34 | 13 | 11 | 41 | 31 | 11 | 19 | 7 | 29 | 22 | 24 | 264 |
| 11:30 | 11:45 | 35 | 42 | 10 | 5 | 34 | 22 | 18 | 19 | 6 | 36 | 16 | 32 | 275 |
| 11:45 | 12:00 | 28 | 43 | 11 | 6 | 33 | 30 | 13 | 22 | 6 | 25 | 33 | 33 | 283 |
| 12:00 | 12:15 | 42 | 31 | 9 | 5 | 38 | 36 | 14 | 24 | 7 | 31 | 25 | 30 | 292 |
| 12:15 | 12:30 | 25 | 34 | 16 | 6 | 46 | 38 | 9 | 21 | 2 | 43 | 29 | 27 | 296 |
| 12:30 | 12:45 | 22 | 21 | 9 | 9 | 51 | 33 | 10 | 22 | 7 | 29 | 35 | 33 | 281 |
| 12:45 | 13:00 | 16 | 33 | 13 | 16 | 33 | 25 | 18 | 12 | 4 | 32 | 27 | 33 | 262 |
| 13:00 | 13:15 | 19 | 32 | 13 | 6 | 41 | 20 | 5 | 15 | 3 | 29 | 23 | 41 | 247 |
| 13:15 | 13:30 | 18 | 29 | 9 | 7 | 39 | 28 | 18 | 14 | 6 | 27 | 19 | 19 | 233 |
| 13:30 | 13:45 | 21 | 34 | 9 | 3 | 53 | 29 | 9 | 18 | 5 | 23 | 28 | 20 | 252 |
| 13:45 | 14:00 | 22 | 20 | 9 | 7 | 37 | 27 | 13 | 11 | 2 | 33 | 24 | 27 | 232 |

Conteo vehicular: Día 3

| AFORO VEHICULAR DÍA 3 | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|----------------------|--------|-----|----------------------|--------|-----|--------------------|--------|-----|--------------------|--------|-----|-------|
| Periodos 15 min | | Vía Panamericana S-N | | | Vía Panamericana N-S | | | Av.Ferroviaria O-E | | | Av.Ferroviaria E-O | | | Total |
| | | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER | |
| 7:00 | 7:15 | 5 | 7 | 3 | 12 | 91 | 34 | 5 | 10 | 3 | 45 | 38 | 14 | 267 |
| 7:15 | 7:30 | 17 | 58 | 19 | 8 | 94 | 41 | 14 | 16 | 10 | 41 | 32 | 28 | 378 |
| 7:30 | 7:45 | 23 | 49 | 14 | 6 | 81 | 38 | 19 | 31 | 1 | 39 | 32 | 34 | 367 |
| 7:45 | 8:00 | 20 | 56 | 13 | 8 | 85 | 34 | 13 | 24 | 5 | 52 | 35 | 31 | 376 |
| 8:00 | 8:15 | 27 | 39 | 13 | 2 | 44 | 34 | 14 | 27 | 8 | 37 | 33 | 31 | 309 |
| 8:15 | 8:30 | 29 | 36 | 15 | 7 | 35 | 30 | 16 | 25 | 11 | 36 | 39 | 40 | 319 |
| 8:30 | 8:45 | 16 | 42 | 11 | 11 | 49 | 26 | 19 | 33 | 6 | 31 | 28 | 37 | 309 |
| 8:45 | 9:00 | 24 | 39 | 11 | 4 | 19 | 19 | 13 | 39 | 5 | 30 | 25 | 30 | 258 |
| 9:00 | 9:15 | 28 | 37 | 16 | 8 | 33 | 25 | 12 | 22 | 10 | 40 | 21 | 30 | 282 |
| 9:15 | 9:30 | 16 | 32 | 7 | 2 | 44 | 30 | 8 | 16 | 10 | 40 | 25 | 26 | 256 |
| 9:30 | 9:45 | 12 | 41 | 12 | 6 | 37 | 41 | 9 | 22 | 5 | 40 | 30 | 27 | 282 |
| 9:45 | 10:00 | 14 | 39 | 7 | 15 | 20 | 27 | 16 | 22 | 3 | 11 | 18 | 21 | 213 |
| 11:00 | 11:15 | 13 | 21 | 5 | 6 | 43 | 32 | 9 | 11 | 2 | 30 | 22 | 34 | 228 |
| 11:15 | 11:30 | 40 | 33 | 17 | 8 | 33 | 25 | 16 | 11 | 5 | 34 | 25 | 30 | 277 |
| 11:30 | 11:45 | 29 | 40 | 12 | 2 | 36 | 34 | 12 | 28 | 0 | 31 | 20 | 26 | 270 |
| 11:45 | 12:00 | 33 | 34 | 9 | 3 | 38 | 37 | 14 | 20 | 4 | 37 | 32 | 31 | 292 |
| 12:00 | 12:15 | 33 | 46 | 16 | 7 | 46 | 35 | 14 | 22 | 6 | 32 | 28 | 24 | 309 |
| 12:15 | 12:30 | 29 | 43 | 20 | 5 | 36 | 33 | 21 | 25 | 8 | 37 | 36 | 30 | 323 |
| 12:30 | 12:45 | 27 | 35 | 14 | 6 | 39 | 31 | 16 | 32 | 10 | 37 | 31 | 34 | 312 |
| 12:45 | 13:00 | 20 | 38 | 19 | 13 | 46 | 26 | 17 | 15 | 10 | 23 | 25 | 31 | 283 |
| 13:00 | 13:15 | 24 | 29 | 13 | 9 | 51 | 28 | 7 | 12 | 6 | 33 | 19 | 27 | 258 |
| 13:15 | 13:30 | 15 | 51 | 15 | 5 | 43 | 33 | 12 | 21 | 3 | 24 | 28 | 43 | 293 |
| 13:30 | 13:45 | 25 | 44 | 15 | 3 | 32 | 31 | 10 | 19 | 1 | 30 | 26 | 22 | 258 |
| 13:45 | 14:00 | 25 | 40 | 11 | 3 | 41 | 29 | 10 | 19 | 4 | 31 | 25 | 24 | 262 |

Anexo 3: Clasificación vehicular

Intersección: Vía Panamericana y Avenida Ferroviaria

Clasificación vehicular día: 1

| Periodos 15 min | | AUTOS | BUSES | PESADOS | MOTOS | TOTAL |
|-----------------|----------|-------|-------|---------|-------|-------|
| 7:00:00 | 7:15:00 | 166 | 25 | 26 | 58 | 275 |
| 7:15:00 | 7:30:00 | 191 | 33 | 51 | 106 | 381 |
| 7:30:00 | 7:45:00 | 234 | 31 | 50 | 103 | 418 |
| 7:45:00 | 8:00:00 | 217 | 45 | 48 | 110 | 420 |
| 8:00:00 | 8:15:00 | 256 | 29 | 50 | 65 | 400 |
| 8:15:00 | 8:30:00 | 236 | 36 | 43 | 57 | 372 |
| 8:30:00 | 8:45:00 | 214 | 26 | 63 | 40 | 343 |
| 8:45:00 | 9:00:00 | 196 | 37 | 49 | 54 | 336 |
| 9:00:00 | 9:15:00 | 232 | 25 | 53 | 48 | 358 |
| 9:15:00 | 9:30:00 | 181 | 22 | 89 | 58 | 350 |
| 9:30:00 | 9:45:00 | 173 | 31 | 49 | 61 | 314 |
| 9:45:00 | 10:00:00 | 224 | 31 | 55 | 59 | 369 |
| 11:00:00 | 11:15:00 | 185 | 39 | 62 | 76 | 362 |
| 11:15:00 | 11:30:00 | 213 | 31 | 51 | 91 | 386 |
| 11:30:00 | 11:45:00 | 255 | 29 | 43 | 65 | 392 |
| 11:45:00 | 12:00:00 | 218 | 30 | 43 | 95 | 386 |
| 12:00:00 | 12:15:00 | 197 | 28 | 85 | 125 | 435 |
| 12:15:00 | 12:30:00 | 208 | 32 | 61 | 145 | 446 |
| 12:30:00 | 12:45:00 | 228 | 37 | 55 | 96 | 416 |
| 12:45:00 | 13:00:00 | 224 | 47 | 50 | 127 | 448 |
| 13:00:00 | 13:15:00 | 209 | 34 | 48 | 91 | 382 |
| 13:15:00 | 13:30:00 | 226 | 43 | 46 | 87 | 402 |
| 13:30:00 | 13:45:00 | 190 | 42 | 47 | 79 | 358 |
| 13:45:00 | 14:00:00 | 194 | 29 | 66 | 70 | 359 |
| TOTAL | | 5067 | 792 | 1283 | 1966 | 9108 |
| TOTAL % | | 56% | 9% | 14% | 22% | 100% |

Clasificación vehicular día: 2

| Periodos 15 min | | AUTOS | BUSES | PESADOS | MOTOS | TOTAL |
|-----------------|----------|-------|-------|---------|-------|-------|
| 7:00:00 | 7:15:00 | 128 | 23 | 22 | 73 | 246 |
| 7:15:00 | 7:30:00 | 162 | 25 | 39 | 107 | 333 |
| 7:30:00 | 7:45:00 | 133 | 25 | 40 | 91 | 289 |
| 7:45:00 | 8:00:00 | 159 | 36 | 45 | 116 | 356 |
| 8:00:00 | 8:15:00 | 203 | 31 | 51 | 68 | 353 |
| 8:15:00 | 8:30:00 | 205 | 23 | 45 | 65 | 338 |
| 8:30:00 | 8:45:00 | 179 | 24 | 58 | 49 | 310 |
| 8:45:00 | 9:00:00 | 171 | 23 | 47 | 65 | 306 |
| 9:00:00 | 9:15:00 | 207 | 22 | 45 | 61 | 335 |
| 9:15:00 | 9:30:00 | 178 | 16 | 50 | 52 | 296 |
| 9:30:00 | 9:45:00 | 157 | 27 | 61 | 74 | 319 |
| 9:45:00 | 10:00:00 | 197 | 28 | 47 | 81 | 353 |
| 11:00:00 | 11:15:00 | 130 | 21 | 35 | 52 | 238 |
| 11:15:00 | 11:30:00 | 138 | 19 | 40 | 67 | 264 |
| 11:30:00 | 11:45:00 | 157 | 26 | 33 | 59 | 275 |
| 11:45:00 | 12:00:00 | 144 | 23 | 36 | 80 | 283 |
| 12:00:00 | 12:15:00 | 166 | 21 | 31 | 74 | 292 |
| 12:15:00 | 12:30:00 | 151 | 21 | 26 | 98 | 296 |
| 12:30:00 | 12:45:00 | 170 | 19 | 30 | 62 | 281 |
| 12:45:00 | 13:00:00 | 130 | 24 | 41 | 67 | 262 |
| 13:00:00 | 13:15:00 | 145 | 18 | 41 | 43 | 247 |
| 13:15:00 | 13:30:00 | 124 | 22 | 29 | 58 | 233 |
| 13:30:00 | 13:45:00 | 146 | 31 | 30 | 45 | 252 |
| 13:45:00 | 14:00:00 | 125 | 24 | 32 | 51 | 232 |
| TOTAL | | 3805 | 572 | 954 | 1658 | 6989 |
| TOTAL % | | 54% | 8% | 14% | 24% | 100% |

Clasificación vehicular día: 3

| Periodos 15 min | | AUTOS | BUSES | PESADOS | MOTOS | TOTAL |
|-----------------|----------|-------|-------|---------|-------|-------|
| 7:00:00 | 7:15:00 | 128 | 14 | 55 | 70 | 267 |
| 7:15:00 | 7:30:00 | 209 | 29 | 55 | 85 | 378 |
| 7:30:00 | 7:45:00 | 195 | 31 | 75 | 66 | 367 |
| 7:45:00 | 8:00:00 | 196 | 33 | 75 | 72 | 376 |
| 8:00:00 | 8:15:00 | 169 | 21 | 39 | 80 | 309 |
| 8:15:00 | 8:30:00 | 189 | 24 | 45 | 61 | 319 |
| 8:30:00 | 8:45:00 | 165 | 24 | 59 | 61 | 309 |
| 8:45:00 | 9:00:00 | 155 | 27 | 31 | 45 | 258 |
| 9:00:00 | 9:15:00 | 158 | 25 | 48 | 51 | 282 |
| 9:15:00 | 9:30:00 | 139 | 22 | 51 | 44 | 256 |
| 9:30:00 | 9:45:00 | 152 | 25 | 47 | 58 | 282 |
| 9:45:00 | 10:00:00 | 125 | 24 | 35 | 29 | 213 |
| 11:00:00 | 11:15:00 | 113 | 20 | 35 | 60 | 228 |
| 11:15:00 | 11:30:00 | 154 | 20 | 41 | 62 | 277 |
| 11:30:00 | 11:45:00 | 135 | 24 | 43 | 68 | 270 |
| 11:45:00 | 12:00:00 | 155 | 22 | 47 | 68 | 292 |
| 12:00:00 | 12:15:00 | 167 | 25 | 35 | 82 | 309 |
| 12:15:00 | 12:30:00 | 162 | 25 | 39 | 97 | 323 |
| 12:30:00 | 12:45:00 | 158 | 26 | 29 | 99 | 312 |
| 12:45:00 | 13:00:00 | 177 | 26 | 19 | 61 | 283 |
| 13:00:00 | 13:15:00 | 156 | 22 | 33 | 47 | 258 |
| 13:15:00 | 13:30:00 | 170 | 21 | 46 | 56 | 293 |
| 13:30:00 | 13:45:00 | 148 | 24 | 33 | 53 | 258 |
| 13:45:00 | 14:00:00 | 150 | 24 | 35 | 53 | 262 |
| TOTAL | | 3825 | 578 | 1050 | 1528 | 6981 |
| TOTAL % | | 55% | 8% | 15% | 22% | 100% |

Anexo 4: Volúmenes vehiculares por hora

Intersección: Vía Panamericana y Avenida Ferroviaria

Volúmenes vehiculares por hora día: 1

| HORAS | Vía Panamericana S-N | | | Vía Panamericana N-S | | | Av.Ferroviaria O-E | | | Av.Ferroviaria E-O | | |
|---------------------------------------|----------------------|------------|-----------|----------------------|------------|------------|--------------------|------------|-----------|--------------------|------------|-----------|
| | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER |
| 7:00 - 8:00 | 153 | 241 | 52 | 74 | 159 | 152 | 137 | 220 | 34 | 91 | 106 | 75 |
| 8:00 - 9:00 | 148 | 238 | 76 | 80 | 154 | 155 | 111 | 191 | 63 | 60 | 90 | 85 |
| 9:00 - 10:00 | 134 | 249 | 72 | 66 | 123 | 128 | 116 | 191 | 51 | 94 | 72 | 95 |
| 11:00 - 12:00 | 130 | 284 | 71 | 54 | 160 | 128 | 117 | 263 | 45 | 106 | 74 | 94 |
| 12:00 - 13:00 | 178 | 272 | 86 | 65 | 161 | 173 | 179 | 260 | 79 | 96 | 108 | 88 |
| 13:00 - 14:00 | 131 | 244 | 65 | 50 | 151 | 170 | 124 | 227 | 54 | 75 | 119 | 91 |
| V MÁXIMOS POR HORA | 178 | 284 | 86 | 80 | 161 | 173 | 179 | 263 | 79 | 106 | 119 | 95 |

Volúmenes vehiculares por hora día: 2

| HORAS | Vía Panamericana S-N | | | Vía Panamericana N-S | | | Av.Ferroviaria O-E | | | Av.Ferroviaria E-O | | |
|---------------------------------------|----------------------|------------|-----------|----------------------|------------|------------|--------------------|------------|-----------|--------------------|------------|------------|
| | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER |
| 7:00 - 8:00 | 98 | 213 | 46 | 38 | 141 | 125 | 78 | 131 | 26 | 137 | 105 | 86 |
| 8:00 - 9:00 | 125 | 190 | 63 | 23 | 128 | 106 | 93 | 150 | 46 | 149 | 118 | 116 |
| 9:00 - 10:00 | 118 | 175 | 63 | 27 | 134 | 112 | 108 | 167 | 44 | 136 | 110 | 109 |
| 11:00 - 12:00 | 104 | 143 | 40 | 30 | 139 | 109 | 51 | 77 | 21 | 128 | 94 | 124 |
| 12:00 - 13:00 | 105 | 119 | 47 | 36 | 168 | 132 | 51 | 79 | 20 | 135 | 116 | 123 |
| 13:00 - 14:00 | 80 | 115 | 40 | 23 | 170 | 104 | 45 | 58 | 16 | 112 | 94 | 107 |
| V MÁXIMOS POR HORA | 125 | 213 | 63 | 38 | 170 | 132 | 108 | 167 | 46 | 149 | 118 | 124 |

Volúmenes vehiculares por hora día: 3

| HORAS | Vía Panamericana S-N | | | Vía Panamericana N-S | | | Av.Ferroviaria O-E | | | Av.Ferroviaria E-O | | |
|---------------------------------------|----------------------|------------|-----------|----------------------|------------|------------|--------------------|------------|-----------|--------------------|------------|------------|
| | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER | IZQ | FRENTE | DER |
| 7:00 - 8:00 | 65 | 170 | 49 | 34 | 351 | 147 | 51 | 81 | 19 | 177 | 137 | 107 |
| 8:00 - 9:00 | 96 | 156 | 50 | 24 | 147 | 109 | 62 | 124 | 30 | 134 | 125 | 138 |
| 9:00 - 10:00 | 70 | 149 | 42 | 31 | 134 | 123 | 45 | 82 | 28 | 131 | 94 | 104 |
| 11:00 - 12:00 | 115 | 128 | 43 | 19 | 150 | 128 | 51 | 70 | 11 | 132 | 99 | 121 |
| 12:00 - 13:00 | 109 | 162 | 69 | 31 | 167 | 125 | 68 | 94 | 34 | 129 | 120 | 119 |
| 13:00 - 14:00 | 89 | 164 | 54 | 20 | 167 | 121 | 39 | 71 | 14 | 118 | 98 | 116 |
| V MÁXIMOS POR HORA | 115 | 170 | 69 | 34 | 351 | 147 | 68 | 124 | 34 | 177 | 137 | 138 |