

CAPÍTULO I
DISEÑO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

CAPÍTULO I

DISEÑO TEORICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

La intersección de la ruta F9 con la ruta D29 en la localidad de Campo Pajoso, es una intersección a nivel con un flujo vehicular en crecimiento, actualmente su condición del flujo vehicular y el congestionamiento en horas picos es aceptable, el constante crecimiento urbano y el incremento del parque automotor en la región generan desafíos en la infraestructura vial especialmente en las intersecciones críticas como ser la intersección seleccionada en esta tesis.

Los volúmenes de tránsito en la intersección en el pasado fueron relativamente bajos lo que causa la desatención de las entidades locales en la intersección y no se realizó nunca una evaluación de tráfico sobre su condición del flujo vehicular para considerar si es necesario realizar alguna intervención en la misma, con la creciente demanda de movilidad y la presencia de más vehículos pesados, la intersección se convierte en blanco de presentar problemas de congestión y seguridad vial, además de saberse que la ruta F9 cuenta con altos registros de accidentes de tránsito fatales por su mala condición de la infraestructura vial en toda la ruta F9 ante el crecimiento de los flujos vehiculares.

Si bien en la actualidad la intersección presenta un flujo relativamente estable para los volúmenes de tráfico actuales no se tiene una certeza como se vería afectada con volúmenes de tráfico futuros, además en la actualidad existe un proyecto de ampliación de la ruta F9 con la construcción de una Doble Vía Yacuiba – Campo pajoso (localidad donde se ubica la intersección), ante estas situaciones surge la necesidad de evaluar una alternativa que permitan mejorar el índice de flujo vehicular, optimizando la circulación en la intersección y reduciendo los riesgos de asociados a altos volúmenes de tráfico. Una de las soluciones potenciales es la implementación de una infraestructura que elimine los conflictos de tráfico más comunes, ya sea mediante una modificación geométrica o la construcción de una intersección nueva.

En este estudio se tiene como objetivo analizar el impacto de esa alternativa en la intersección de la ruta F9 y la ruta D29, utilizando simulaciones de tráfico y datos actuales para proyectar en futuro y poder evaluar el potencial de mejora en términos de flujo vehicular. Este análisis nos permitirá ofrecer una base muy sólida para la toma de

decisiones futuras, contribuyendo al desarrollo de soluciones sostenibles en la red vial de la región.

Esta tesis se fundamenta en la teoría de la ingeniería de transporte, una rama crucial de la ingeniería civil que se centra en el estudio y optimización del movimiento eficiente y seguro de personas y bienes. Esta teoría es esencial para entender el comportamiento del tráfico vehicular en intersecciones, diseñar infraestructuras viales y proponer soluciones que mejoren la fluidez y la seguridad del tránsito, contribuyendo de manera significativa al aporte académico de la profesión. Si bien la ingeniería civil es el pilar del desarrollo de este proyecto, también se integran otras disciplinas como la estadística y la informática, especialmente en el uso de simulaciones de tráfico y análisis de datos proyectados, lo que demuestra la naturaleza multidisciplinaria del trabajo. Finalmente, el impacto social del proyecto radica en su capacidad para mejorar la movilidad urbana, reducir la congestión y aumentar la seguridad vial, beneficios que se reflejarán directamente en la calidad de vida de los usuarios de la intersección en estudio y en la planificación de futuras obras de infraestructura.

1.2. Justificación

1.2.1. Justificación académica

La teoría principal que respalda este proyecto pertenece a la ingeniería de transporte, un área específica dentro de la ingeniería civil que estudia la planificación, diseño, y operación de infraestructuras de transporte para asegurar el movimiento eficiente y seguro de vehículos y peatones. Esta teoría proporciona el marco científico necesario para entender y analizar el comportamiento del tráfico vehicular en intersecciones, siendo clave para el desarrollo de soluciones que optimicen el flujo vehicular, reduzcan la congestión y mejoren la seguridad vial.

Esta tesis en cuestión se enfoca en aplicar los principios de la ingeniería de transporte para analizar la condición del flujo vehicular en la intersección de la Ruta F9 con la Ruta D29, mediante el uso de simulaciones de tráfico y proyecciones de crecimiento vehicular. Esta investigación es de gran relevancia académica, ya que busca generar conocimiento técnico que contribuya al diseño de infraestructuras viales más eficientes y seguras, en consonancia con los objetivos de la ingeniería civil de mejorar la movilidad urbana y reducir los riesgos asociados al aumento del volumen vehicular.

1.2.2. Justificación sobre la aplicación técnica

La aplicación técnica de este proyecto se basa en el uso de simulaciones de tráfico vehicular y análisis de datos de aforo, procesos clave para evaluar el comportamiento actual y proyectado del tráfico en la intersección de la Ruta F9 con la Ruta D9. Estas herramientas permiten analizar la condición de flujo vehicular bajo distintas condiciones, simulando escenarios futuros para prever problemas de congestión y seguridad vial.

El uso de simulaciones es altamente factible, ya que permite obtener resultados precisos sin la necesidad de realizar intervenciones físicas inmediatas en la infraestructura. Además, su implementación es una práctica recomendada cuando se proyectan aumentos significativos en el tráfico, ya que facilita la toma de decisiones basadas en datos reales y simulados. Para maximizar la efectividad de este proceso, se recomienda contar con datos de tráfico actualizados y precisos, así como ajustar los parámetros de las simulaciones a las particularidades de la región, considerando factores como el tipo de vehículos y patrones de movilidad locales.

Este enfoque técnico es ideal para anticiparse a los problemas viales futuros y para proponer soluciones viables y rentables, que aseguren la seguridad y fluidez del tránsito en la intersección.

1.2.3. Justificación e importancia social

La importancia social de este proyecto radica en su capacidad para anticipar y resolver problemas de tráfico antes de que afecten significativamente la calidad de vida de los usuarios. Aunque el tráfico actual no genere grandes dificultades, las proyecciones indican que el crecimiento en la intersección de la Ruta F9 y la Ruta D29 podría resultar en tiempos de viajes más largos, mayores riesgos de accidentes y un deterioro general en la seguridad vial. Al implementar medidas preventivas basadas en estudios de tráfico futuro, este proyecto ayuda a garantizar un tránsito fluido y seguro, reduciendo los costos asociados a la congestión y mejorando la experiencia de los usuarios de la vía. Además, el impacto positivo en el transporte de mercancías y la actividad económica local asegura que las mejoras en la infraestructura vial beneficiarán tanto a los habitantes como a la economía de la región y también del país ya que la ruta F9 es una de las rutas que forman parte de red vial fundamental de Bolivia y conecta con la frontera del país de Argentina.

1.3. Planteamiento del problema

1.3.1. Situación problemática

En la ingeniería civil, la teoría del tráfico vehicular está orientada a estudiar y gestionar el flujo vehicular, un indicador clave que permite evaluar la capacidad de una infraestructura vial para manejar de manera eficiente el tránsito. El flujo vehicular mide el volumen de vehículos que circulan por una vía en un tiempo determinado, lo que es crucial para diseñar y rediseñar intersecciones. Si el flujo vehicular excede la capacidad de la infraestructura, se generan problemas como congestión y accidentes. El diseño óptimo de una intersección debe prever los incrementos en el flujo vehicular para garantizar que la infraestructura sea capaz de absorber el crecimiento futuro sin comprometer la seguridad ni la fluidez del tránsito.

El objeto de investigación en este estudio es la intersección de la Ruta F9 con la Ruta D29, que actualmente presenta una condición de flujo vehicular relativamente alto, pero no suficiente para causar problemas graves en el presente. Sin embargo, las proyecciones indican que, debido al crecimiento demográfico y económico de la región, la condición del flujo vehicular aumentará considerablemente en los próximos años. Este trabajo se enfoca en analizar y predecir cómo este flujo vehicular se incrementará y qué soluciones pueden implementarse para optimizar la circulación en la intersección, de modo que se eviten futuros problemas de congestión y accidentes.

Si no se toma acción para mitigar el aumento proyectado en el flujo vehicular, es probable que en pocos años la intersección sufra de una sobrecarga vehicular. Esto resultaría en largas demoras para los usuarios, con tiempos de viaje mucho mayores, particularmente en las horas pico. Además, la sobrecarga aumentaría el riesgo de accidentes, al generar situaciones de tráfico más peligrosas por la interacción de vehículos ligeros y pesados. La falta de una intervención a tiempo podría llevar a que la intersección se convierta en un punto crítico de congestión en la región, afectando la eficiencia del tránsito, la movilidad urbana y el transporte de mercancías.

Para abordar este problema, el estudio se centrará en analizar una alternativa para mejorar la condición del flujo vehicular en la intersección. A través de simulaciones de tráfico y análisis comparativos, se propondrá como solución la modificación geométrica de la intersección, la optimización de los tiempos de señalización o la implementación de

otra infraestructura adaptada al tráfico futuro. Con estas propuestas, se pretende gestionar adecuadamente el flujo vehicular, evitando la congestión y mejorando la seguridad de la intersección, sin necesidad de esperar a que los problemas se agraven.

1.3.2. Delimitación temporal

Tabla 1. Delimitación Temporal

Fecha Aproximada	Evento	¿Como tributa esto?
Octubre de 2021	Exploración de la intersección.	Se verifica el estado del tráfico en las horas picos.
Octubre de 2021	Se inicia planificación.	Se plantea realizar simulaciones de tráfico con una nueva alternativa.
Noviembre de 2021	Se da precedente el título de la propuesta.	Esto se da en una junta de Departamento.
Diciembre de 2021	Se aprueba la asignatura CIV 501.	Perfil aprobado en sus diseños; teórico y metodológico.
Marzo de 2022	Se realiza aforo de 7 días.	Con este aforo se determina las horas picos y días de máxima circulación en la semana
21 abril de 2022	Se inicia los aforos en horas picos por 4 semanas	Se obtienen los volúmenes de tráfico de los giros en la intersección.
junio de 2022	Se trabaja en gabinete los datos de aforo	Con esto se obtiene los volúmenes resumen de los giros.
Septiembre de 2022	Se opta usar otras alternativas para determinar la topografía.	Por constarse que los equipos de la universidad no pueden usarse fuera de la ciudad de Tarija, se necesita optar por usar otras técnicas para el levantamiento topográfico
Octubre de 2022	Se realiza grabaciones de videos en los accesos.	Determinar de los videos las velocidades de los vehículos.
Noviembre de 2022	Se realiza medición de tiempos de recorridos.	Nos ayuda a calibrar el programa de simulación.
Diciembre de 2022	Se realiza un inventario de señales de tráfico en la intersección.	Con el fin de obtener toda la información posible de la intersección.
Septiembre de 2023	Se realiza vuelo de Dron en la intersección	Para determinar la fotogrametría y obtener un MDT.
Noviembre de 2023	Se realiza el modelo y simula la intersección actual	Nos ayuda a calibrar el software.
Febrero de 2024	Se diseña una alternativa	Considerando los resultados obtenidos de las simulaciones de la intersección actual.
Marzo de 2024	Se modela y simula la nueva alternativa.	Aplicando las condiciones establecidas.
Mayo de 2024	Se analizan los resultados	Considerando las condiciones del flujo anteriores con las nuevas.
Julio de 2024	Se presenta el borrador	Para que ser revisadas y aprobadas por el docente.
	Pre defensa	Pre defensa con tribunales

Fuente. elaboración propia

1.3.3. Delimitación espacial

Este estudio se llevó a cabo en la intersección vial entre la Ruta F9 y la Ruta D29, ubicada en la localidad de Campo Pajoso distante a 11 kilómetros de la ciudad fronteriza de Yacuiba ubicada en la provincia Gran Chaco del departamento de Tarija. Esta intersección es de gran importancia debido a su ubicación estratégica como punto de conexión entre la ruta interdepartamental Ruta F9 y la Ruta D29 que conduce a la Ciudad de Tarija.

1.3.4. Formulación del problema

¿Cómo puede mejorarse la condición del flujo vehicular en la intersección de la ruta F9 con la ruta D29 para garantizar su funcionalidad y seguridad a largo plazo?

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Analizar la condición del Flujo Vehicular en la intersección de la ruta F9 con la ruta D29 con un tráfico futuro proyectado; mediante el uso de simulaciones virtuales con el software PTV Vissim de tal manera, se cuente con una alternativa de que solucione los conflictos de tránsitos en dicha intersección.

1.4.2. Objetivos específicos

- Profundizar las teorías relacionadas de las intersecciones viales.
- Levantar Información del tráfico actual mediante aforos de tráfico en la intersección.
- Recolectar datos de las velocidades de punto en los accesos de ingreso a la intersección.
- Realizar un vuelo de dron para obtener la fotogrametría del lugar y poder obtener un MDT del lugar.
- Diseñar una alternativa de acuerdo a los parámetros geométricos establecido por norma.
- Simular la intersección actual con el tráfico actual y con el tráfico futuro.
- Simular las alternativas diseñadas con el tráfico futuro.

1.5. Hipótesis

La implementación de una nueva alternativa en la intersección de la Ruta F9 con la Ruta D29 incide en la condición del flujo vehicular, en función del tráfico vehicular proyectado.

1.6. Conceptualización de la variable

Flujo vehicular.

Es una medida que describe la cantidad de vehículos que pasan por un punto específico de la vía, en tiempo determinado. Este se utiliza para evaluar la capacidad de una intersección o carretera para manejar el tráfico, considerando tanto la cantidad de vehículos ligeros como pesados, así como las condiciones específicas de la infraestructura vial. En el presente estudio, el flujo vehicular se analizará para describir la situación futura de la intersección de la ruta F9 con la ruta D29 usando el tráfico proyectado, con el objetivo de identificar mejoras que optimicen el tránsito vehicular en función del incremento previsto.

1.7. Operacionalización de la variable.

Tabla 2.Operacionalización de la variable.

Variable	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Condición del flujo vehicular en la intersección.	Es una medida que describe la cantidad de vehículos que circulan en la intersección	Velocidad	[km/h]	Medición de distancia que recorre un vehículo en un tiempo dado
		Flujo	[veh/h]	Conteo de número de vehículos que circulan en un tiempo específico.
		Densidad	[veh/km]	Conteo de número de vehículos que pueden ocupar una longitud específica

Fuente. Elaboración propia

1.8. Alcance y tipo de investigación.

La presente investigación se enmarca dentro del enfoque cuantitativo, dado que se basa en la recolección de datos sobre el flujo vehicular expresado en vehículos por hora (veh/h), permitiendo establecer comparaciones entre distintos escenarios a través de herramientas de simulación. Se clasifica como una investigación de tipo descriptiva, ya

que analiza una sola variable —flujo vehicular—, con el propósito de caracterizar su comportamiento actual y proyectado en la intersección de la Ruta F9 con la Ruta D29.

El diseño es no experimental, debido a que no se manipulan variables, sino que se observan las condiciones existentes y proyectadas del flujo de tránsito tal como ocurren. Asimismo, la investigación es de corte transeccional, dado que la recolección de información se realiza en un único momento para cada escenario simulado, utilizando datos actuales y proyecciones a 20 años.

Si bien se mantiene un enfoque descriptivo, el estudio incorpora un componente aplicado, ya que busca no solo describir el flujo vehicular, sino también plantear una alternativa de diseño que pueda implementarse en el futuro. A través del uso del software PTV VISSIM se logra simular tanto la situación actual como el desempeño futuro de la intersección, evaluando la viabilidad de una nueva solución geométrica. De esta manera, se amplía el alcance del estudio hacia una propuesta técnica concreta que contribuya a la mejora de la movilidad en el área

CAPÍTULO II
ESTADO DE CONOCIMIENTO

CAPÍTULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Definición de intersección a nivel

Una intersección a nivel es un punto en una carretera donde dos o más caminos se cruzan o se encuentran al mismo nivel sin ningún tipo de pasarela o paso elevado.

2.1.2. Tipo de intersecciones a nivel

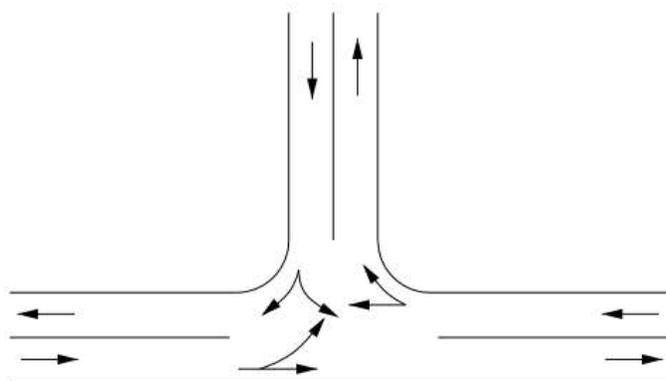
Entre los tipos de intersecciones a nivel se distinguen las intersecciones en T o de 3 ramales, intersecciones de cuatro ramales y las intersecciones giratorias o rotondas. Adicionalmente también se pueden clasificar en canalizadas y no canalizadas.

Como así también se pueden clasificar con sistemas de regulación de tráfico como ser los semáforos que regulan el flujo vehicular en la intersección priorizando los movimientos o flujos vehiculares utilizando ciclos o intervalos de tiempo, y por último intersecciones sin regulación donde los vehículos circulan libremente y depende de la jerarquía vial.

2.1.2.1. Intersecciones en T, o Intersecciones de tres ramales

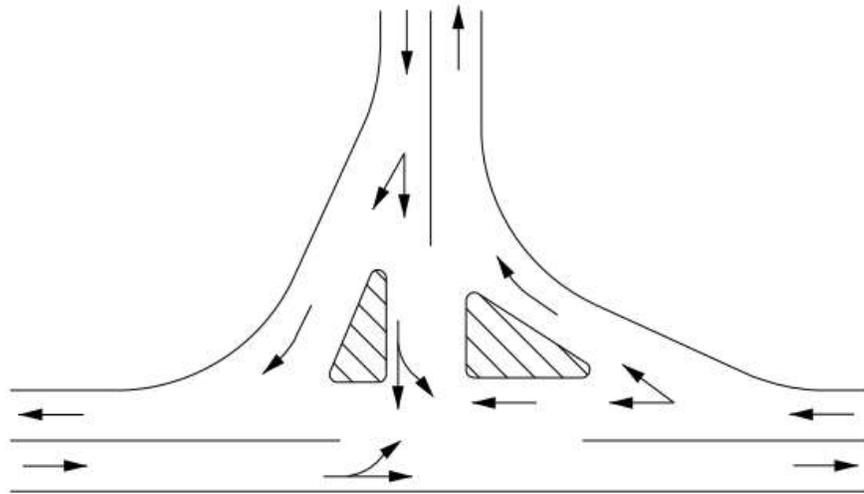
Se utiliza para el cruce de carreteras secundarias, en donde existe un bajo volumen de Tráfico. Existen modificaciones para este tipo de Intersecciones, las mismas que presentan en su diseño, canalizadores que permiten disminuir el número de conflictos en los giros.

Figura1. Intersección de 3 ramales no canalizada



Fuente. Tomado de A Policy on Gometric Desing of Higways and streets, por AASHTO 2011

Figura2. Intersección de 3 ramales canalizada

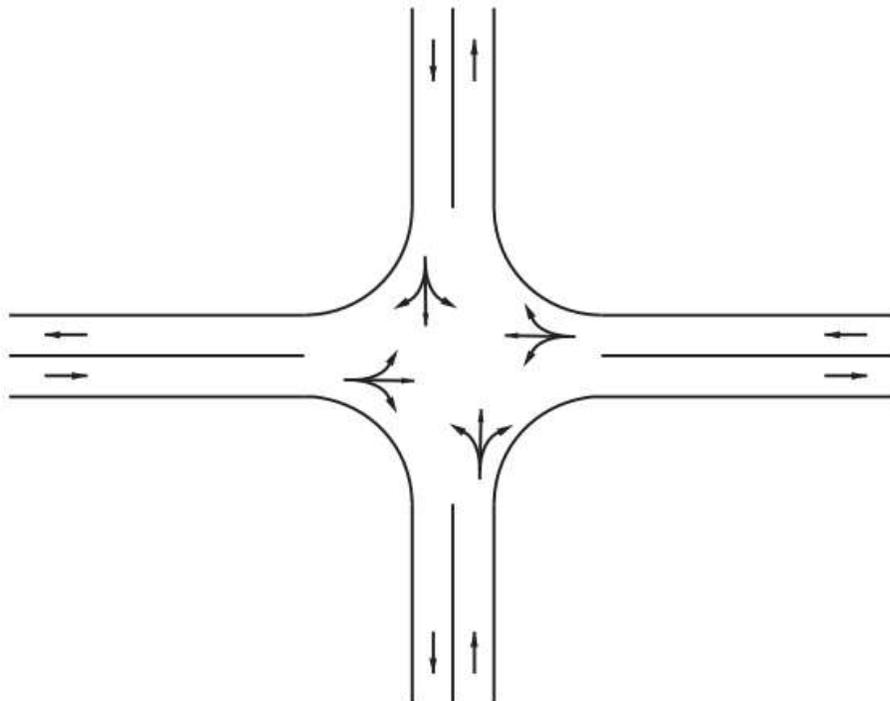


Fuente. Tomado de A Policy on Geometric Design of Highways and streets, por AASHTO 2011

2.1.2.2. Intersecciones de cuatro ramales

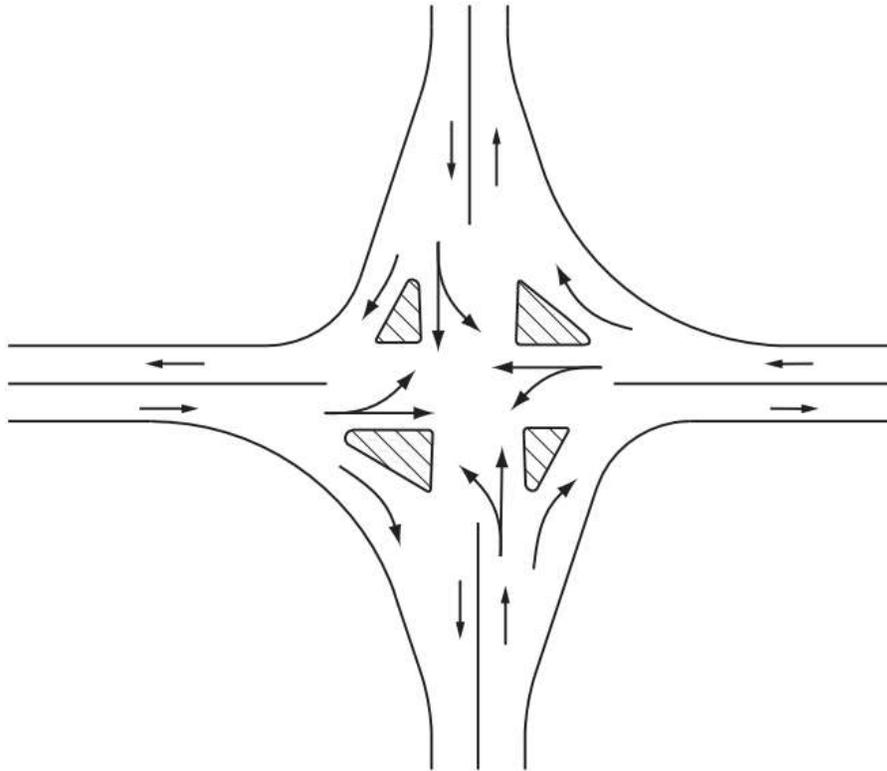
Se utiliza para el cruce de carreteras de menor importancia o carreteras locales, estos cruces enlazan carreteras secundarias con las principales autopistas. El ángulo de intersección no debe ser mayor de 30 grados, con relación a la perpendicular entre ramales.

Figura3. Intersección de 4 ramales no canalizada



Fuente. Tomado de A Policy on Geometric Design of Highways and streets, por AASHTO 2011

Figura4. Intersección de 4 ramales canalizada



Fuente. Tomado de A Policy on Geometric Design of Highways and streets, por AASHTO 2011

2.1.2.3. Intersecciones giratorias o rotondas

Una intersección giratoria es la confluencia de ramales, hacia un anillo de circulación rotatoria en sentido antihorario alrededor de un círculo central. Los vehículos que circulan sobre ella tienen la prioridad de paso.

Las rotondas son intersecciones circulares que tienen características específicas de diseño y control de tráfico.

- Control de ceda el paso a todo tráfico entrante.
- Los accesos a la rotonda son canalizados.
- Los radios de curvatura se diseñan geoméricamente para que las velocidades de circulación no superen los 50 km/h.
- Las isletas de separación en cada acceso son multifuncionales: separan en tráfico entrante y saliente, desvían y ralentizan el tráfico entra y además proporciona refugio a los patones.

Todas estas características se deben cumplir para considerar que la rotonda tiene un diseño y operación de una rotonda moderna.

Las rotondas se pueden clasificar en 3 tipos básicos de acuerdo al diámetro del círculo inscrito y número de carriles.

- Mini rotonda
- Rotonda de un solo carril
- Rotonda de varios carriles

Cualquier de estas rotondas puede usarse en entornos urbanos, sub urbanos y rurales, aunque las mini rotondas se aconsejan más en entornos urbanos donde se tienen bajas velocidades de circulación.

En entornos rurales las rotondas suelen tener velocidades más altas de aproximación por lo cual se tiene que tener muchas más consideraciones de diseños en cuanto a visibilidad, alineación de aproximación y detalles de secciones transversales.

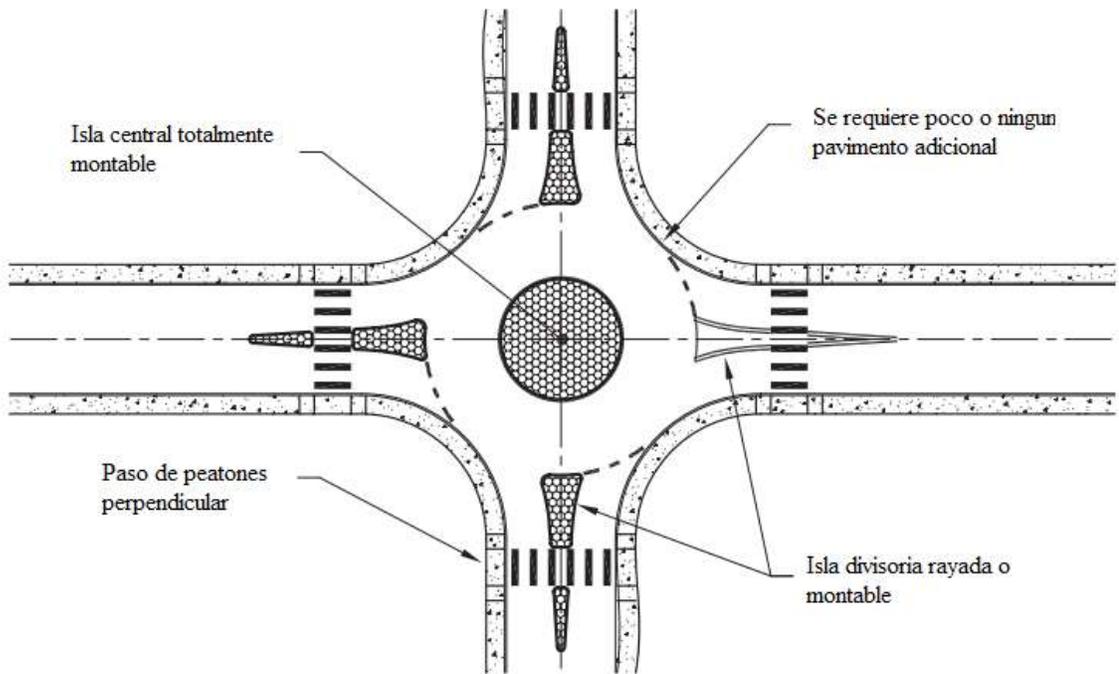
En la tabla 3 se resumen y comparan elementos fundamentales de diseño y funcionamiento de los 3 tipos de rotonda mencionadas.

Tabla 3. Comparación de tipos de rotonda

Elemento de diseño	Mini rotonda	Rotonda de un solo carril	Rotonda de varios carriles
Velocidad máxima de diseño de entrada recomendada.	25 a 30 km/h	30 a 40 km/h	40 a 50 km/h
Número máximo de carriles de entrada.	1	1	2+
Diámetro típico del círculo inscrito.	13 a 27 m	27 a 55 m	46 a 91 m
Funcionamiento de la isla central.	Montable	Elevada	Elevada
Volúmenes diarios promedios en una rotonda de 4 carriles (veh/día)	0 a 15000	0 a 25000	45000

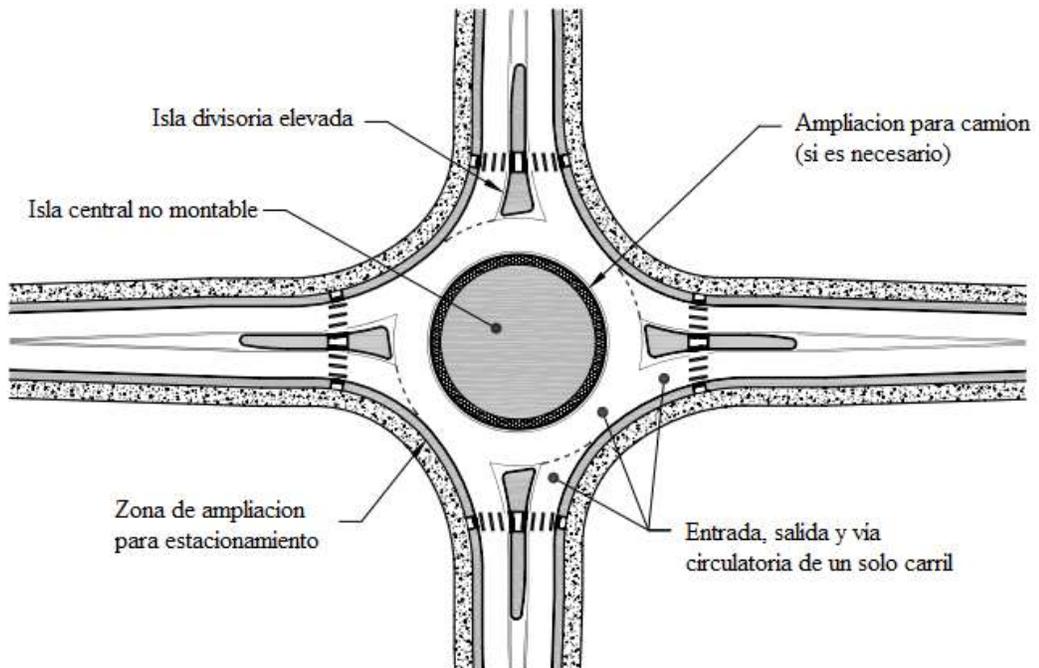
Fuente. Roundabouts: An Informational Guide, por National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, (2010)

Figura5. Típica mini-rotonda



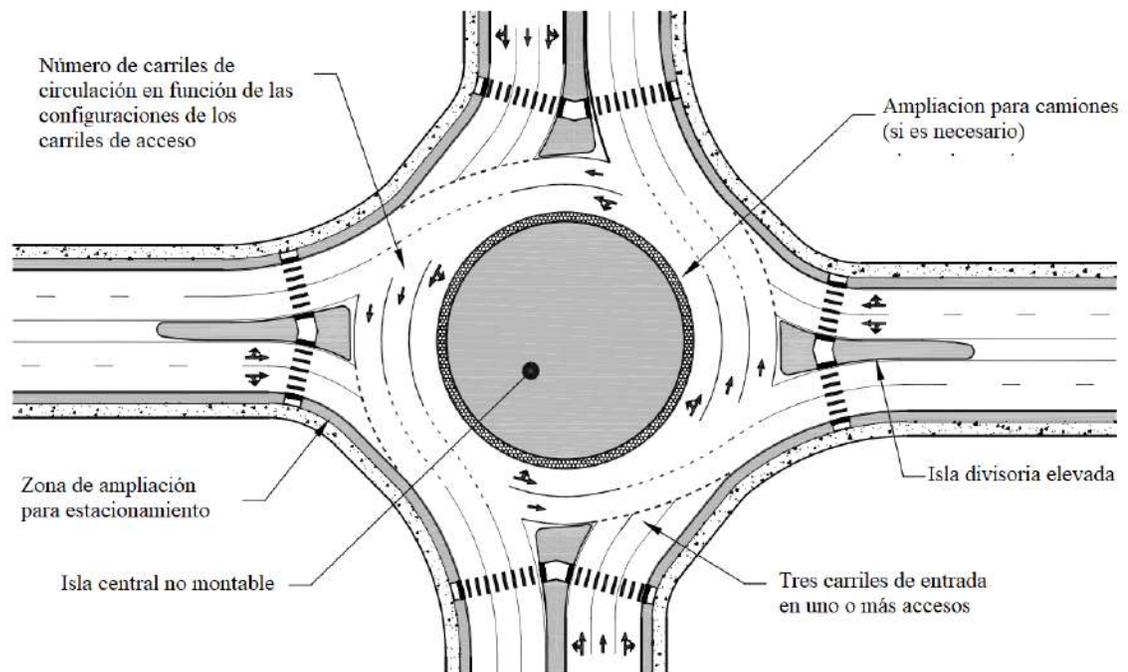
Fuente. Adaptado de Roundabouts: An Informational Guide, por National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, (2010)

Figura6. Rotonda de un solo carril



Fuente. Adaptado de Roundabouts: An Informational Guide, por National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, (2010)

Figura7. Rotonda de 3 carriles



Fuente. Adaptado de Roundabouts: An Informational Guide, por National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, (2010)

2.1.3. Importancia de las intersecciones en la planificación vial

Las intersecciones desempeñan un papel fundamental en la planificación vial y son elementos clave en la infraestructura de transporte de una ciudad o región. A continuación, se presenta algunos puntos importantes por los cuales son cruciales las intersecciones en la planificación vial.

2.1.3.1. Gestión del tráfico

Las intersecciones son puntos donde los flujos de tráfico se cruzan o convergen. Una planificación adecuada de las intersecciones permite una gestión eficiente del tráfico, lo que mejorará la fluidez y reduce la congestión en las carreteras.

2.1.3.2. Accesibilidad

Las intersecciones proporcionan puntos de acceso a propiedades, negocios y áreas residenciales. Su diseño adecuado es esencial para garantizar que las personas puedan acceder a sus destinos de manera eficiente y segura.

2.1.3.3. Reducción de congestión

Un diseño inteligente de las intersecciones puede reducir la congestión del tráfico, lo que a su vez disminuye los tiempos de viaje y la emisión de gases de efecto invernadero.

2.1.3.4. Desarrollo urbano

Las decisiones sobre la ubicación y el diseño de intersecciones pueden influir en el desarrollo urbano y en la creación de comunidades más accesibles y amigables para peatones y ciclistas.

2.1.3.5. Economía y comercio

Las intersecciones adecuadamente planificadas pueden fomentar la actividad económica al facilitar el acceso a empresas y centros comerciales, lo que beneficia a la economía local.

2.1.3.6. Sostenibilidad ambiental

Una planificación vial que priorice las intersecciones eficientes puede ayudar a reducir la emisión de gases contaminantes y promover formas más sostenibles de transporte, como caminar, andar en bicicleta y usar el transporte público.

2.1.3.7. Integración modal

Las intersecciones son puntos donde se conectan diferentes modos de transporte (automóviles, bicicletas, peatones, transporte público). La planificación integrada de intersecciones facilita la transición entre estos modos y promueve una movilidad más equitativa.

2.1.3.8. Reducción de tiempos de viaje

Un sistema de intersecciones bien diseñado y coordinado puede reducir los tiempos de viaje, lo que beneficia a los conductores y a la economía en general.

2.1.4. Congestión del tráfico en intersecciones a nivel

La congestión de tráfico en intersecciones a nivel, es un problema muy común en áreas urbanas y en carreteras con un alto volumen de tráfico. Se refiere a la acumulación de vehículos en una intersección, lo que resulta en retrasos, tiempos de esperas prolongados y una disminución general en la eficiencia del flujo de tráfico.

Las razones más comunes de congestión de tráfico en intersecciones a nivel.

- Volumen de Tráfico Elevado
- Diseño inadecuado de la Intersección.
- Fallas en la Coordinación de semáforos.
- Giros a la Izquierda.
- Problemas de Flujo Peatonal.

2.1.5. Flujo vehicular

El flujo de tráfico es el número de vehículos que atraviesan una determinada sección de la vía por unidad de tiempo. Por su parte, Transportation Research Board (2000) lo define como “la velocidad por hora equivalente a la que los vehículos pasan por un punto o sección de un determinado carril o carretera durante un intervalo de tiempo determinado, menor a una hora, generalmente 15 minutos”. Ambas definiciones proporcionan variables cuantitativas, que dependiendo de la metodología o estrategia que se escoja se pueden medir con mayor o menor precisión.

Profundizando en el estudio del flujo vehicular, Mozo Sánchez (2012) determina tres características fundamentales: el **flujo (q)**, la **velocidad (v)** y la **densidad (k)**. Es importante determinar las relaciones entre ellas para conocer las propiedades particulares de una corriente de tránsito. De igual manera, las tres variables representan la calidad de servicio del usuario de una vía.

2.1.6. Variables relacionadas con el flujo

Las variables relacionadas con el flujo son la tasa de flujo, el volumen, el intervalo simple entre vehículos consecutivos y el intervalo promedio entre varios vehículos.

2.1.6.1. Taza de flujo o flujo (q) y volumen (Q)

la tasa de flujo, q , es la frecuencia a la cual pasan los vehículos por un punto o sección transversal de un carril o calzada. La tasa de flujo es pues, el número de vehículos, N , que pasa durante un intervalo de tiempo específico, T , inferior a una hora cómo expresada en vehículos por minutos (veh/min) o vehículos por segundo (veh/s). No obstante, la tasa de flujo, q , también puede ser expresada en vehículos por hora (veh/h), Teniendo cuidado de su interpretación, pues no se trata del número de vehículos que

efectivamente pasan durante una hora completa o volumen horario (Q), la tasa de flujo (q), se calcula entonces con la siguiente expresión:

$$q = \frac{N}{T} \quad 2.1$$

2.1.6.2. Intervalo simple (hi)

Es el intervalo de tiempo entre el paso de 2 vehículos consecutivos, generalmente expresado en segundos y medido entre puntos homólogos del par de vehículos.

2.1.6.3. Intervalo promedio (h)

Es el promedio de todos los intervalos simples, hi , Existente entre los diversos vehículos que circulan por una vialidad. Por tratarse de un promedio se expresa en segundos por vehículo (s/veh) y se calcula, de acuerdo a la figura mediante la siguiente expresión:

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} hi}{N-1} \quad 2.2$$

Dónde:

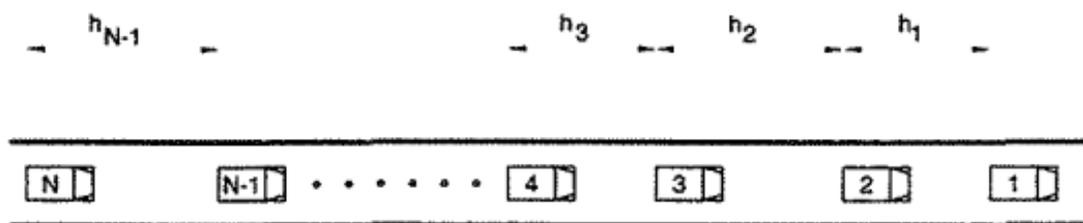
\bar{h} = intervalo promedio (s/veh)

N = número de vehículos (veh)

$N - 1$ = número de intervalos (veh)

hi = intervalo simple entre vehículo i y el vehículo $i + 1$

Figura8. Intervalo entre vehículos.



Fuente. Tomado de Ingeniería de Transito Fundamentos y Aplicaciones (pág. 278), R.Cal y M.R.2011

Obsérvese que las unidades de intervalo promedio \bar{h} (s/veh) Son las unidades inversas de la tasa de flujo q (veh/s), Por lo que también puede plantearse la siguiente relación:

$$\bar{h} = \frac{1}{q} \quad 2.3$$

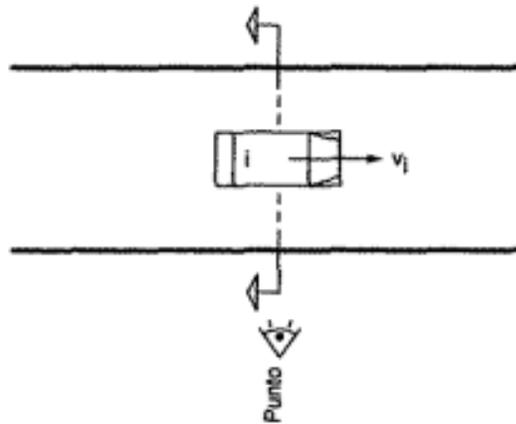
2.1.7. Variables relacionadas con la velocidad

Las variables del flujo vehicular relacionadas con la velocidad son: la velocidad de punto, la velocidad instantánea, la velocidad media temporal, la velocidad media espacial, la velocidad de recorrido, la velocidad de marcha, la distancia del recorrido y el tiempo de recorrido.

2.1.7.1. Velocidad de punto

Tal como se ilustra en la figura la velocidad de punto de un vehículo i , es la velocidad V_i a su paso por un determinado punto o sección transversal de una carretera o de una calle.

Figura9. Velocidad de punto de un vehículo.

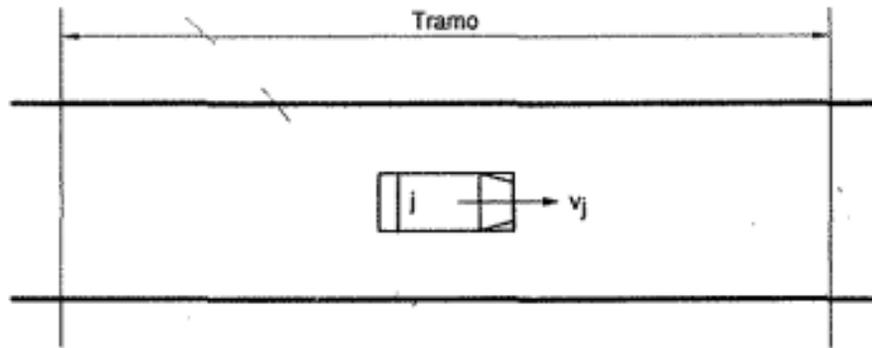


Fuente. Tomado de Ingeniería de Transito Fundamentos y Aplicaciones (pág. 278), R.Cal y M.R.2011

2.1.7.2. Velocidad instantánea

De acuerdo con la figura, la velocidad instantánea de un vehículo j , es la velocidad V_j cuando se encuentra circulando a lo largo de un tramo de una carretera o de una calle en un instante dado.

Figura10. Velocidad instantánea de un vehículo.



Fuente. Tomado de Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones (pág. 278), R. Cal y M.R. 2011

2.1.7.3. Velocidad media temporal

Es la medida aritmética de las velocidades de punto de todos los vehículos, o parte de ellos, que pasan por un punto específico de una carretera o calle durante un intervalo de tiempo seleccionado. Se dice entonces que se tiene una distribución temporal de velocidades de punto. Para datos de velocidades de punto agrupados, matemáticamente la velocidad media temporal se define como:

$$\bar{V}_t = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n} \quad 2.4$$

Dónde:

\bar{V}_t = velocidad media temporal

V_i = velocidad de punto del vehículo i

n = número total de vehículos observados en el punto en el punto o tamaño de la muestra

Para el caso de datos de velocidades de punto agrupados, la velocidad media temporal es:

$$\bar{V}_t = \frac{\sum_{i=1}^N (f_i \cdot V_i)}{n} \quad 2.5$$

Dónde:

V_i = velocidad de punto del grupo i

N = número de grupos de velocidad

f_i = número de vehículos en el grupo de velocidad

$$n = \sum_{i=1}^N f_i \quad 2.6$$

2.1.7.4. Velocidad media espacial

Es la medida aritmética De las velocidades instantáneas de todos los vehículos que un instante dado se encuentran en un tramo de carretera o calle. Se dice entonces, que se tiene una distribución espacial de velocidad instantánea. Para datos de velocidades instantáneas no agrupados, matemáticamente la velocidad media espacial se define como:

$$\bar{V}_e = \frac{\sum_{j=1}^m V_j}{m} \quad 2.7$$

Dónde:

\bar{V}_e = velocidad media espacial

V_j = velocidad instantánea del vehículo j

m = número total de vehículos observados en el tramo o tamaño de la muestra para un espacio o distanciados dados

La velocidad media espacial también se puede calcular dividiendo la distancia por el promedio de los tiempos empleados por los vehículos en recorrerla. Esto es:

$$\bar{V}_e = \frac{d}{\bar{t}} \quad 2.8$$

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad 2.9$$

Donde:

d = distancia dada o recorrida

\bar{t} = tiempo promedio de recorrido de los vehículos

t_i = tiempo empleado por el vehículo i en recorrer la distancia d

Esto es:

$$\bar{V}_e = \frac{d}{\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{t_i}{d}\right)} \quad 2.10$$

El tiempo empleado por el vehículo i en recorrer la distancia d es:

$$t_i = \frac{d}{v_i} \quad 2.11$$

De donde:

$$d = v_i * t_i \quad 2.12$$

Por lo tanto:

$$\bar{V}_e = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{t_i}{v_i.t_i}\right)} \quad 2.13$$

$$\bar{V}_e = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{v_i}\right)} \quad 2.14$$

2.1.7.5. Velocidad de recorrido

Llamada también velocidad global o de viaje, es el resultado de dividir la distancia recorrida, desde el inicio hasta el fin del viaje, entre el tiempo total que se empleó en recorrerla. En el tiempo total de recorrido están incluidas todas aquellas demoras operacionales por reducciones de velocidad y paradas provocadas por la vía, el tránsito y los dispositivos de control, ajenos a la voluntad del conductor. No incluye aquellas demoras fuera de la vía, como pueden ser las correspondientes a gasolineras, restaurantes, lugares de recreación, etc.

para todos los vehículos o para un grupo de ellos, la velocidad media de recorrido es la suma de sus distancias recorridas dividida por la suma de los tiempos totales de viaje. Si todos o el grupo de vehículos recorren la misma distancia, la velocidad media de recorrido se obtiene dividiendo la distancia recorrida entre el promedio de los tiempos de recorrido. Así, puede verse que la velocidad media de recorrido es una velocidad media espacial o con base en la distancia.

La velocidad de recorrido sirve principalmente para comparar condiciones de fluidez en ciertas rutas; ya sea una con otra, o bien, en una misma ruta cuando se han realizado cambios, para medir los efectos.

2.1.7.6. Velocidad de marcha

para un vehículo, la velocidad de marcha o velocidad de cruce es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo en movimiento. Para obtener la velocidad de marcha en un viaje normal, se descontará del tiempo total de recorrido, Todo aquel tiempo en que el vehículo se hubiese detenido por cualquier causa asociada a la operación del tránsito. por lo tanto, esta velocidad por lo general será el valor superior a la de recorrido.

2.1.8. Variables relacionadas con la densidad

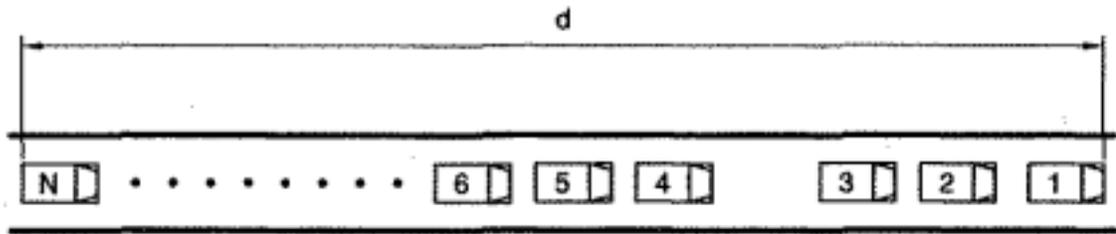
las variables del flujo vehicular relacionadas con la densidad son la densidad o concentración, el espaciamiento simple entre vehículos consecutivos y el espaciamiento promedio entre varios vehículos.

2.1.8.1. Densidad o concentración (k)

Es el número, N , de vehículos que ocupan una longitud específica, d , de una vialidad en un momento dado. generalmente se expresa en vehículos por kilómetro (veh/km), ya sea referido a un carril o a todos los carriles de una calzad. según la figura, se calcula como:

$$k = \frac{N}{d} \quad 2.15$$

Figura11. Densidad.



Fuente. Tomado de Ingeniería de Transito Fundamentos y Aplicaciones (pág. 278), R.Cal y M.R.2011

2.1.8.2. Espaciamiento simple (S_i)

Es la distancia entre el paso de dos vehículos consecutivos, usualmente expresada en metros y medida entre sus defensas traseras.

2.1.8.3. Espaciamiento promedio (\bar{S})

Es el promedio de todos los departamentos simples, S_i , existente entre los diversos vehículos que circulan por una vialidad. Por tratarse de un promedio se expresa en metros por vehículo (m/veh) y se calcula coma de acuerdo a la figura, mediante la siguiente expresión:

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} S_i}{N-1} \quad 2.16$$

Donde:

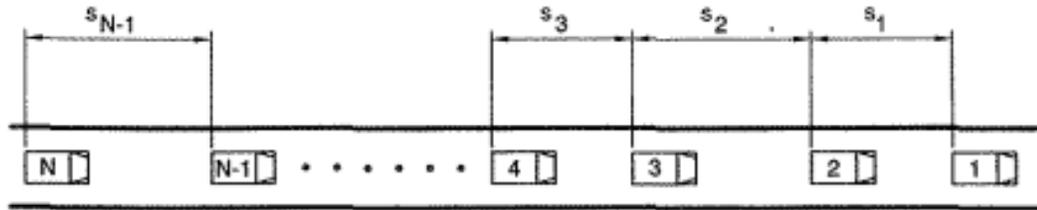
\bar{S} = espaciamento promedio (m/veh)

N = números de vehículos (veh)

$N - 1$ = número de espaciamentos (veh)

S_i = espaciamento simple entre el vehículo i y el vehículo $i+1$

Figura12. Espaciamientos entre vehículos.



Fuente. Tomado de Ingeniería de Transito Fundamentos y Aplicaciones (pág. 278), R.Cal y M.R.2011

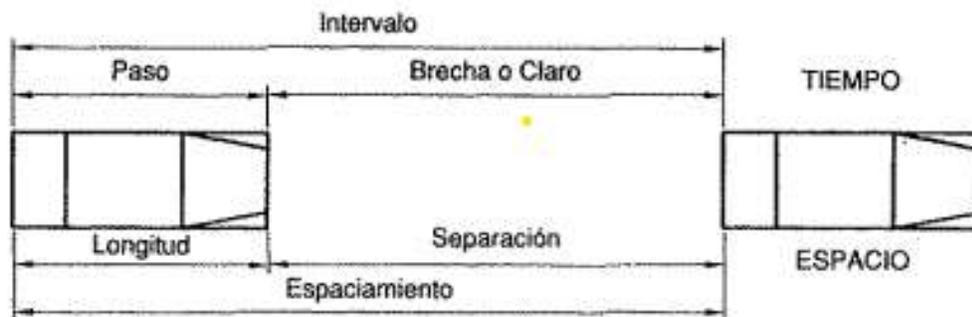
Las unidades del espaciamiento promedio \bar{S} (m/veh) son las unidades inversas de la densidad k (veh/m), por lo que también puedo plantearse la siguiente relación:

$$\bar{S} = \frac{1}{k} \quad 2.17$$

2.1.9. Relación entre el flujo, la velocidad, la densidad, el intervalo y el espaciamiento

El esquema de la figura 9 muestra un par de vehículos consecutivos a los cuales se les han asociados atributos tanto en el *tiempo* como en el *espacio*. Así por ejemplo el *paso* es el tiempo necesario para que el vehículo recorra su propia *longitud*, y la *brecha* o *claro* es el intervalo de tiempo libre disponible entre los dos vehículos, equivalente a la separación entre ellos medida desde la defensa trasera del primer vehículo, dividida por la *velocidad*.

Figura13. Relaciones de tiempo y espacio entre vehículos.



Fuente. Tomado de Ingeniería de Transito Fundamentos y Aplicaciones (pág. 278), R.Cal y M.R.2011

Tomando como referencia la figura 6 y si consideramos que un grupo vehicular se mueve a velocidad media constante (\bar{v}_e), con un intervalo promedio (\bar{h}) y un

espaciamiento promedio (\bar{s}), las variables se pueden relacionar entre si de la siguiente manera: $Espacio = (Velocidad) \times (Tiempo)$.

$$\bar{s} = \bar{v}_e * \bar{h} \quad 2.18$$

De la ecuación anterior se puede observar que, para un grupo de vehículos, el intervalo promedio el espaciamento promedio se relacionan a través de la velocidad media espacial.

Sabiendo que:

$$\bar{h} = \frac{1}{q} \quad 2.19$$

$$\bar{s} = \frac{1}{k} \quad 2.20$$

Y reemplazando en la ecuación

$$\frac{1}{k} = \bar{v}_e * \left(\frac{1}{q}\right) \quad 2.21$$

Reordenando:

$$q = \bar{v}_e * k \quad 2.22$$

La anterior correlación se le conoce como la ecuación fundamental del flujo vehicular, que en forma general se expresa como:

$$q = \bar{v}_e * k \quad 2.23$$

Los resultados numéricos dados por la ecuación fundamental del flujo vehicular dependen del método de medición empleado para definir cada una de sus variables y de la forma de promediarlas, ya que como es conocido existen mediciones de tipo puntual, mediciones o tramos específicos y mediciones dentro de todo un sistema.

2.1.10. Capacidad

La capacidad es el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto durante un tiempo específico. Es una característica del sistema vial y representa su oferta. En un punto, el volumen actual nunca puede ser mayor que su capacidad real, sin embargo, hay situaciones en las que parece que esto ocurre precisamente debido a que la capacidad es estimada o calculada mediante algún procedimiento y no observada directamente en campo.

2.1.10.1. Nivel de servicio.

El nivel de servicio, conocido como LOS (por sus siglas en inglés Level Of Service), se define como una medida de la calidad que la vía ofrece al usuario, El Manual de Capacidad Vial HCM 2010 del Transportation Research Board of the National Academies (TBR) 4 ha establecido seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E, F, que van del mejor al peor, los cuales se definen según que las condiciones de operación sean de circulación continua o discontinua.

Nivel de Servicio A, describe operaciones con demoras de 10s/veh o menos y una relación Volumen-Capacidad no superior a 1,0. Este nivel generalmente se asigna cuando la relación Volumen-Capacidad es baja y cualquier progresión es excepcionalmente favorable o la duración del ciclo es muy corta. Si se debe a una progresión favorable, la mayoría de los vehículos viajan a través de la intersección sin detenerse.

Nivel de Servicio B, describe operaciones con demoras entre 10 y 20 s/veh y una relación Volumen-Capacidad no superior a 1,0. Este nivel generalmente se asigna cuando la relación Volumen-Capacidad es baja y cualquier progresión es altamente favorable o la duración del ciclo es corta. Se detienen más vehículos que con el Nivel de servicio A.

Nivel de Servicio C, describe operaciones con demoras entre 20 y 35 s/veh y una relación Volumen-Capacidad no superior 1,0. Este nivel generalmente se asigna cuando la progresión es favorable o la duración del ciclo es moderada. El número de vehículos que se detiene es importante, aunque todavía pasan muchos vehículos por la intersección sin detenerse.

Nivel de Servicio D, describe operaciones con demoras entre 35 y 55 s/veh y una relación Volumen-Capacidad no superior a 1,0. Este nivel generalmente se asigna cuando la relación Volumen-Capacidad es alta y la progresión es ineficaz o la duración del ciclo es larga. Muchos vehículos se detienen y se producen fallas en ciclos individuales perceptible.

Nivel de Servicio E, describe operaciones con demoras entre 55 y 80 s/veh y una relación Volumen-Capacidad no superior a 1,0. Este nivel generalmente se asigna cuando

la relación volumen-Capacidad es alta, la progresión es desfavorable y la duración del ciclo es larga. Los fallos individuales son frecuentes.

Nivel de Servicio F, describe operaciones con demoras superior a 80 s/veh o una relación Volumen-Capacidad superior a 1,0. Este nivel generalmente se asigna cuando la relación Volumen-Capacidad es muy alta, la progresión es muy pobre.

2.1.11. Señalización

La señalización vial corresponde a los dispositivos, signos y demarcaciones de tipo oficial colocados por la autoridad con el objeto de regular, advertir o encauzar el tráfico y se utilizan para ayudar al movimiento seguro y ordenado del tránsito de peatones y vehículos. Además de proporcionar información acerca de rutas, direcciones, destinos y puntos de interés. Los medios empleados para transmitir información, constan de una combinación de mensaje, forma y color.

Los dispositivos de control de tráfico están constituidos por las señales verticales, señales horizontales. Estos dispositivos tienen como funciones básicas:

- El informar al conductor de las condiciones que reúne aquello que le rodea.
- Informar al conductor para que sepa dónde está, cual es el mejor camino para alcanzar su destino o cuando ha llegado a él.
- Regular el uso de la vía en cada momento.
- El avisar los posibles peligros que pueda encontrar el conductor.
- Aconsejar en qué forma debe conducirse para sacar el mejor partido posible del vehículo y de la vía, sin sobrepasar los límites de seguridad.
- Informar al conductor de los servicios adicionales que se encuentran a lo largo de la ruta.

2.1.11.1. Señales horizontales

Se refiere a demarcaciones en pavimento de líneas, símbolos, letras u otras tales como tachas ubicadas sobre la superficie de la calzada. Todas las vías pavimentadas deben contar con este tipo de señales.

2.1.11.1.1. Líneas longitudinales

Se emplean para determinar carriles y calzadas; para indicar zonas con o sin prohibición de adelantar; zonas con prohibición de estacionar, y, para carriles de uso exclusivo de determinados tipos de vehículos.

2.1.11.1.2. Líneas transversales

Se emplean en cruces para indicar el lugar antes del cual los vehículos deben detenerse y para señalar sendas destinadas al cruce de peatones o de bicicletas.

2.1.11.1.3. Símbolos y leyendas

Se emplean tanto para guiar y advertir al usuario como para regular la circulación. Se incluye: flechas, triángulos, ceda el paso y leyendas tales como Pare, bus, carril exclusivo, solo trole, taxis, parada bus, entre otros.

Figura14. Vista área de la intersección



Fuente. Elaborada del procesamiento de fotos capturadas por un dron

Como se observa en la imagen, se nota la inexistencia de señalización horizontal en la intersección lo que también influye en el flujo vehicular en la intersección.

2.1.11.2. Señales verticales

Son dispositivos instalados a los lados o sobre un camino, presentado letreros que alertan al usuario. Pueden ser preventivas, restrictivas o informativas.

2.1.11.2.1. Señales preventivas

Las señales preventivas tienen como objetivo de prevenir a los conductores de obstáculos o peligros que se puedan presentarse en la circulación.

Figura15. Señal preventiva de intersección sobre la ruta F9 acceso Sur



Fuente. Elaboración propia

Figura16. Señal preventiva de intersección sobre la ruta F9 acceso Norte.



Fuente. Elaboración propia

Figura17. Señal preventiva de indicación de curva hacia la izquierda en la ruta F9 acceso Norte



Fuente. Elaboración propia

2.1.11.2.2. Señales de restricción

Estas señales son las que tienen el objetivo de permitir la aplicación y control de reglamentos y normas dentro de la circulación. Este grupo de señales tiene la particularidad de que el no cumplimiento se considera como un delito de tránsito por lo tanto los conductores están obligados a conocer y aplicar las indicaciones de estas señales.

Figura18. Señal de Restricción de Control de Aduana



Fuente. Elaboración propia

Figura19. Señal de Restricción de alto obligatorio.



Fuente. Elaboración propia

2.1.11.2.3. Señales informativas

Las señales informativas como su nombre la indica tienen el objetivo de dar alguna información ya sea de carácter de servicio o de circulación al conductor que transita por una carretera o por un tramo urbano.

Figura20. Señales informativas de rutas



Fuente. Elaboración propia

Figura21. Señal Informativa de la comunidad



Fuente. Elaboración propia

Figura22. Señal Informativa de destinos.



Fuente. Elaboración propia

2.1.12. Fotogrametría

La fotogrametría es una técnica que utiliza imágenes fotográficas para obtener mediciones precisas y detalladas de objetos y superficies, y se ha convertido en una herramienta esencial en la topografía moderna.

2.1.12.1.Principios básicos

2.1.12.1.1. Captura de imágenes superpuestas

La fotogrametría se basa en la captura de imágenes que se superponen en un cierto porcentaje (generalmente entre 60% y 80%). Esta superposición permite que cada punto del terreno aparezca en al menos dos imágenes, lo cual es crucial para la creación de modelos tridimensionales precisos.

2.1.12.1.2. Puntos de control terrestres (GCP)

Los puntos de control son ubicaciones específicas en el terreno con coordenadas conocidas que se identifican claramente en las imágenes. Estos puntos sirven para georreferenciar el modelo y asegurar su precisión espacial. La colocación y medición precisa de estos puntos son críticas para la calidad del modelo final.

2.1.12.1.3. Estereoscopia

La estereoscopia implica el uso de pares de imágenes para percibir la profundidad y reconstruir la geometría tridimensional. Cuando se observan dos imágenes superpuestas

desde diferentes ángulos, el cerebro humano puede percibir una imagen tridimensional. En fotogrametría, este principio se aplica matemáticamente para calcular las posiciones en 3D de puntos en el terreno.

2.1.12.2. Proceso fotogramétrico

2.1.12.2.1. Planificación del vuelo

Antes de la captura de imágenes, se realiza una planificación meticulosa del vuelo (en caso de utilizar drones) o de la toma de fotografías desde otros medios. Esto incluye definir la altitud del vuelo, la ruta, la velocidad, y el ángulo de la cámara. Se debe considerar la topografía del área para asegurar una cobertura adecuada y uniforme.

2.1.12.2.2. Captura de imágenes

La captura de imágenes se realiza utilizando cámaras digitales de alta resolución montadas en drones, aviones, o trípodes terrestres. Es esencial mantener una configuración estable y adecuada de la cámara para evitar distorsiones y garantizar la calidad de las imágenes. El uso de cámaras con GPS integrado mejora la eficiencia al proporcionar datos de ubicación iniciales.

2.1.12.2.3. Georreferenciación

La georreferenciación es el proceso de asociar las imágenes con coordenadas geográficas precisas utilizando los puntos de control terrestre (GCP) y datos GNSS. Esto implica identificar los puntos de control en las imágenes y aplicar transformaciones matemáticas para ajustar el modelo de tal manera que coincida con las coordenadas reales del terreno.

2.1.12.2.4. Procesamiento de imágenes

El procesamiento de imágenes se realiza con software especializado en fotogrametría, como Agisoft Metashape, Pix4D, o Bentley ContextCapture. El software alinea las imágenes superpuestas, detecta puntos comunes, y crea una nube de puntos densa que representa la superficie del terreno. Posteriormente, se genera un modelo de malla 3D y se texturiza para crear una representación visual detallada.

2.1.12.2.5. Generación de productos topográficos

A partir del modelo 3D, se generan productos topográficos específicos como ortofotos (imágenes aéreas corregidas geoméricamente), modelos digitales de elevación (DEM), curvas de nivel, y mapas topográficos. Estos productos son utilizados para

diversos fines, incluyendo análisis geospaciales, planificación de infraestructura, y estudios ambientales.

2.1.12.3. Aplicaciones en topografía

2.1.12.3.1. Mapeo de terreno

La fotogrametría permite crear mapas detallados y precisos del terreno, esenciales para la planificación urbana, ingeniería civil, y estudios ambientales. Los mapas incluyen información sobre elevaciones, pendientes, y características del terreno.

2.1.12.3.2. Proyectos de infraestructura

Proporciona datos precisos para el diseño y construcción de carreteras, puentes, presas, y otras infraestructuras. La información topográfica detallada es crucial para la planificación y ejecución de estos proyectos, asegurando que se adapten adecuadamente al terreno.

2.1.12.4. Ventajas de la fotogrametría en topografía

2.1.12.4.1. Precisión y detalle

La fotogrametría ofrece una alta precisión y detalle en la captura de datos del terreno. Los modelos tridimensionales generados son exactos y pueden mostrar incluso pequeñas variaciones en la topografía.

2.1.12.4.2. Eficiencia en tiempo y costos

Comparado con métodos tradicionales de topografía, la fotogrametría es más rápida y menos costosa. La captura de imágenes puede cubrir grandes áreas en poco tiempo y el procesamiento automatizado reduce el tiempo de análisis.

2.1.12.4.3. Seguridad

Permite la recopilación de datos en áreas de difícil acceso o peligrosas sin exponer a los topógrafos a riesgos físicos. Esto es particularmente útil en zonas montañosas, áreas afectadas por desastres naturales, o sitios industriales.

2.1.12.4.4. Flexibilidad

La fotogrametría es adaptable a diferentes escalas y tipos de proyectos. Puede aplicarse tanto en estudios de pequeñas parcelas como en levantamientos de grandes áreas urbanas, y puede ajustarse según las necesidades específicas del proyecto.

2.1.13. Aforo vehicular

Los aforos de volumen realizados en un punto o sección de una vía nos permiten obtener datos relacionados con el movimiento de automóviles en términos de tiempo y espacio. Las características de los aforos dependen del tipo de análisis solicitado en una vía.

2.1.14. Métodos de aforo

Existen tres métodos de aforo, que serán explicados a continuación.

2.1.14.1. Método manual

Observadores humanos: Personas capacitadas cuentan manualmente los vehículos, normalmente utilizando dispositivos de conteo manuales.

Aplicaciones: Se utiliza en intersecciones complejas, eventos especiales, y situaciones donde la tecnología automática no es viable.

2.1.14.2. Método automático.

Sensores inductivos: Bobinas instaladas en la superficie de la carretera que detectan cambios en el campo electromagnético cuando un vehículo pasa sobre ellas.

Tubos neumáticos: Detectan vehículos cuando pasan sobre un tubo flexible lleno de aire, que genera una señal de presión.

Cámaras de video: Analizan el flujo de tráfico mediante procesamiento de imágenes.

Sensores de radar y LIDAR: Utilizan ondas de radio o láser para detectar y contar vehículos.

2.1.14.3. Encuestas de origen y destino

Se utilizan para recopilar datos sobre números y tipos de viajes, incluido el movimiento de vehículos y pasajeros desde varias zonas de origen hacia varias zonas de destino. Este tipo de encuestas se utiliza para planificar mejoras o aperturas de vías.

2.1.15. Programación de aforos

El número de horas de aforo varía con el método usado y el propósito. Los contadores mecánicos pueden estar contando las 24 horas del día. Es conveniente que los aforos manuales en intersecciones, se lleven a cabo por un mínimo de 12 horas, incluyendo en este espacio de tiempo las horas de mayor demanda. Aforos por periodos de tiempo de 16 horas proveen más información. Por lo general, para la mayoría de los propósitos de

ingeniería de tránsito, los aforos deben ser efectuados durante días representativos de un día de la semana típico a menos que el objetivo del estudio requiera días de fin de semana. Por lo general, aforos realizados con incrementos de tiempo de 15 minutos son suficientes. Sin embargo, algunas veces es necesario efectuar aforos en intervalos menores para el diseño de carriles de giro y para cálculo de tiempos de semáforos.

2.1.16. Elementos de tránsito

2.1.16.1.El usuario

El usuario es cualquier persona que utiliza el sistema de transporte, ya sea como conductor, pasajero, peatón o ciclista. Los usuarios son elementos dinámicos y diversos, con distintas habilidades, comportamientos y necesidades. Dentro de este componente, se consideran varios factores:

2.1.16.1.1. Comportamiento

Incluye cómo los usuarios interactúan con otros elementos del sistema de tránsito, su respeto por las normas de tráfico, y su capacidad para tomar decisiones rápidas y seguras.

2.1.16.1.2. Educación y capacitación

La formación en normas de tráfico y conducción segura es crucial para reducir accidentes.

2.1.16.1.3. Condiciones físicas y psicológicas

Las capacidades físicas (como la vista y el tiempo de reacción) y las condiciones mentales (estrés, fatiga) influyen en el desempeño del usuario en el tránsito.

2.1.16.1.4. Cultura y valores

Las normas culturales y los valores sociales pueden afectar el comportamiento del usuario en la vía.

2.1.16.2.El vehículo

El vehículo es el medio de transporte utilizado por los usuarios para desplazarse. Puede ser un automóvil, una motocicleta, una bicicleta, un camión, entre otros. Los aspectos principales relacionados con el vehículo incluyen:

2.1.16.2.1. Diseño y tecnología

La ingeniería y el diseño del vehículo influyen en su seguridad, eficiencia y confort. Esto incluye sistemas de frenos, sistemas de seguridad pasiva y activa, y tecnologías avanzadas como sistemas de asistencia al conductor.

2.1.16.2.2. Mantenimiento

Un buen mantenimiento del vehículo es esencial para garantizar su funcionamiento seguro y eficiente.

2.1.16.2.3. Normativas

Los vehículos deben cumplir con normativas y estándares de seguridad que varían según la región, como la revisión técnica y la normativa de emisiones.

2.1.16.2.4. Capacidades y limitaciones

Cada tipo de vehículo tiene capacidades específicas (como velocidad y capacidad de carga) y limitaciones que afectan su desempeño en el tránsito.

2.1.16.3. La vía

La vía es el espacio físico por donde transitan los usuarios y los vehículos. Incluye carreteras, calles, autopistas, intersecciones, y otros elementos de infraestructura. Los componentes de la vía comprenden:

2.1.16.3.1. Diseño y construcción

La calidad del diseño y la construcción de las vías influye en la seguridad y la eficiencia del tránsito. Esto incluye la geometría de la vía, el tipo de pavimento, y la señalización.

2.1.16.3.2. Señalización y semaforización

Las señales de tráfico, los semáforos, y otros dispositivos de control de tráfico son esenciales para guiar a los usuarios y regular el flujo vehicular.

2.1.16.3.3. Mantenimiento y conservación

El mantenimiento regular de la vía es crucial para prevenir accidentes y prolongar la vida útil de la infraestructura.

2.1.16.3.4. Entorno y condiciones ambientales

Factores como la iluminación, el clima, y las condiciones del entorno (zonas urbanas o rurales) afectan la seguridad y el flujo del tránsito.

2.1.17. Clasificación vehicular

Una de las clasificaciones más reconocidas a nivel internacional es la proporcionada por la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA, por sus siglas en inglés). Esta clasificación se basa principalmente en el peso bruto vehicular (GVW) y es utilizada para diversas aplicaciones, incluyendo el diseño de infraestructuras y la regulación de tráfico.

Clase 1: Vehículos livianos (menos de 2.7 t)

Automóviles, SUVs, camionetas ligeras y vehículos recreativos pequeños

Clase 2: Vehículos livianos (2.7- 4.5 t)

Camionetas de servicio medio, SUVs grandes y vehículos recreativos medianos

Clase 3: Vehículos medianos (4.5 – 6.4 t)

Furgonetas comerciales y camionetas de carga medianas

Clase 4: Vehículos medianos (6.4 – 7.3 t)

Camiones de carga ligera, camionetas de servicio pesadas

Clase 5: Vehículos medianos (7.3 – 8.8 t)

Camiones de distribución y vehículos comerciales medianos

Clase 6: Vehículos medianos (8.8 – 11.8 t)

Camiones de carga pesados, vehículos comerciales de tamaño medio-grande

Clase 7: Vehículos pesados (11.8 - 15 t)

Camiones de construcción, camiones de basura medianos y autobuses medianos

Clase 8: Vehículos pesados (más de 15 t)

Tractocamiones con semirremolque, camiones de carga pesada, autobuses grandes y vehículos de emergencia grandes.

2.1.18. VISSIM

VISSIM es un software que nos permite realizar simulaciones de tráfico microscópicas y multimodal, desarrollado por PTV (Planung Transport Verkehr) en la ciudad de Karlsruhe Alemania. El nombre del programa resulta de un acrónimo de las palabras en alemán “Verkehr In Städten Simulation”. Que traducido significa simulación de tránsito en las ciudades. Se desarrollo en los inicios de los años 70 en la Universidad de Karlsruhe en Alemania, en 1973 inicia su comercialización y distribución por parte de PTV América Inc. En la actualidad es uno de los softwares más usado en toda

Latinoamérica para realizar simulaciones de tráfico, al día de hoy se cuenta con la versión 2024 la cual se usó para esta investigación.

2.1.19. Funcionamiento de VISSIM

El software VISSIM es una herramienta de simulación de tráfico microscópica que permite modelar y analizar el comportamiento del flujo vehicular y peatonal en entornos de tráfico complejos. La arquitectura de funcionamiento de VISSIM se basa en los siguientes componentes clave:

2.1.19.1. Modelo microscópico de simulación

VISSIM utiliza un enfoque microscópico, lo que significa que simula el comportamiento individual de cada vehículo y peatón dentro del sistema de tráfico. Se consideran las características de cada unidad (como velocidad, aceleración, distancia entre vehículos) y las interacciones entre ellos, en lugar de solo analizar el flujo promedio de manera macroscópica.

2.1.19.2. Modelos de seguimiento de vehículos

El software emplea modelos de seguimiento de vehículos (car-following models), donde el comportamiento de un vehículo está influenciado por la distancia y velocidad del vehículo que tiene delante. Estos modelos permiten replicar con precisión el comportamiento en condiciones de tráfico variables.

2.1.19.3. Modelo de cambio de carril

Otro componente fundamental es el modelo de cambio de carril (lane-changing model), que simula las decisiones que toman los conductores para cambiar de carril, considerando tanto factores de seguridad como de eficiencia. Este modelo es esencial en escenarios de tráfico con múltiples carriles o intersecciones complejas.

2.1.19.4. Entradas y parámetros de simulación

Para configurar una simulación en VISSIM, se requieren entradas específicas, como:

- Datos de aforo vehicular (volumen de tráfico en diferentes horas del día).
- Velocidades permitidas y comportamientos deseados.
- Geometría del lugar (calles, intersecciones, rotondas, etc.).
- Señalización y semáforos.

2.1.19.5. Motor de simulación y procesamiento

El motor de simulación de VISSIM procesa toda la información de entrada a través de sus modelos de comportamiento y reproduce el tráfico en entornos tridimensionales en tiempo real. A medida que avanza la simulación, el sistema genera estadísticas detalladas sobre el flujo vehicular, demoras, colas, y otros indicadores de rendimiento.

2.1.19.6. Visualización y análisis de resultados

Uno de los puntos fuertes de VISSIM es su capacidad de visualización gráfica, permitiendo observar el comportamiento del tráfico en una representación visual detallada. Los resultados de la simulación se presentan en gráficos y tablas, facilitando el análisis del impacto de diferentes escenarios en el rendimiento del tráfico.

2.1.20. Análisis estadístico

Para la obtención de los datos depurados y confiables, que se requieren demostrar en la aplicación, utilizamos las siguientes fórmulas estadísticas como:

2.1.20.1. Media aritmética

Que, en un conjunto finito de números, es el valor característico de una serie de datos cuantitativos que son objeto de estudio que parte del principio de la esperanza matemática o valor esperado, es decir: es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$$
$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N}$$

Donde:

\bar{X} = Valor de la media aritmética

X_1, X_2, X_3 = Valores de muestras obtenidas.

N = Número de muestras.

2.1.20.2. Desviación estándar poblacional

También se utilizó la desviación estándar poblacional, que es una medida de dispersión usada en estadística que nos dice cuánto tienden a alejarse los valores concretos del promedio en una distribución. De hecho, específicamente, el cuadrado de la desviación estándar es “el promedio del cuadrado de la distancia de cada punto respecto del promedio

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(Xi - \mu)^2}{N}}$$

Donde:

x_i = Valor de cada muestra de observación

μ = Valor de la media aritmética

N = Número de muestras

2.1.20.3. Rango

El rango se aplicó a cada uno de los datos obtenidos en cada lectura de aforo, este rango es determinado con el rango superior e inferior, cada rango es determinado con la suma y resta a la media aritmética de la desviación estándar poblacional.

Rango superior:

$$[\bar{x} + \sigma]$$

Rango inferior:

$$[\bar{x} - \sigma]$$

2.2. Marco normativo

2.2.1. Normativa AASTHO

Se ha usado los criterios y metodología establecidos por la American Association of State Highway and Transportation Officials. La normativa proporciona guías específicas para realizar el levantamiento de datos de aforo vehicular, las cuales fueron usadas para la intersección de la Ruta F9 con la Ruta D29.

2.2.2. Roundabouts: an Informational Guide

Esta guía fue utilizada como referencia para las consideraciones técnicas para seleccionar una rotonda como posible alternativa, además de usar las velocidades de diseño recomendadas por esta guía. Esta una guía ampliamente reconocida que proporciona lineamientos de sobre el diseño, seguridad y capacidad de las rotondas, asegurando que se cumplan los criterios óptimos en cuanto a la eficiencia del flujo vehicular.

2.2.3. US Federal Highways Administration

El diseño geométrico de la rotonda propuesta en esta tesis sigue los parámetros establecidos por la FHWA, garantizando que la nueva infraestructura cumpla con estándares de diseño óptimos para la seguridad y operación eficiente de los vehículos.

2.3. Marco referencial

Para la calibración del modelo de seguimiento vehicular, se utilizó el artículo "Calibración del modelo de seguimiento de VISSIM en carreteras multicarriles de Uruguay". Este estudio proporciona un marco sólido para ajustar los parámetros del modelo de simulación VISSIM, que es fundamental en la predicción y análisis de flujos vehiculares en situaciones de tráfico denso. Los métodos y hallazgos presentados en dicho artículo permitieron adaptar el modelo a las condiciones específicas de la intersección de la Ruta F9 y la Ruta D29, asegurando una representación precisa del comportamiento vehicular, tanto actual como proyectado.

2.4. Análisis del aporte teórico por el autor

En esta investigación, los criterios para la selección del respaldo científico se basaron en la relevancia y la aplicabilidad de las teorías y normativas de la ingeniería de tráfico y transporte para abordar el análisis del flujo vehicular en intersecciones. Uno de los enfoques fundamentales es la teoría del flujo vehicular, que proporciona una base sólida para entender cómo el volumen de tráfico impacta el rendimiento de las intersecciones, tanto en su estado actual como en proyecciones a futuro.

Se seleccionaron teorías y modelos ampliamente reconocidos, como los modelos de simulación de tráfico vehicular (PTV Vissim), que permiten realizar un análisis detallado del comportamiento del tráfico bajo diferentes escenarios. La elección de este software responde a su capacidad de modelar entornos complejos y su uso extendido en estudios académicos y profesionales de tráfico.

Asimismo, se incorporaron normativas internacionales, como las guías de diseño de intersecciones y rotondas establecidas por la US Federal Highways Administration y la AASHTO, para asegurar que las soluciones propuestas en el diseño de la intersección cumplan con los estándares geométricos y operativos. Estos documentos normativos fueron seleccionados debido a su reconocimiento mundial y su adaptabilidad a diferentes

contextos viales, garantizando que las propuestas de mejora en la intersección de la Ruta F9 y la Ruta D29 sean técnicamente viables y eficaces.

Por último, se consideraron estudios previos y artículos científicos, como el análisis de calibración del modelo de seguimiento de VISSIM en Uruguay, que proporcionan un marco empírico específico para la calibración del modelo de simulación utilizado en esta investigación. Este respaldo teórico y normativo permite que la investigación se sustente sobre una base sólida, asegurando que las conclusiones y propuestas de mejora del flujo vehicular se alineen con las mejores prácticas de la ingeniería de tráfico.

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO Y RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1. Marco geográfico

El estudio a desarrollar se enmarcará en la comunidad de Campo Pajoso ubicada en la primera sección de la Provincia del Gran Chaco del departamento de Tarija – Bolivia, en esta comunidad se intercepta la ruta F9 con la ruta D29.

Las coordenadas de ubicación de la intersección son las siguientes:

Geográficas.

Latitud: 21° 54.211'S

Longitud: 63° 38.044'O

UTM.

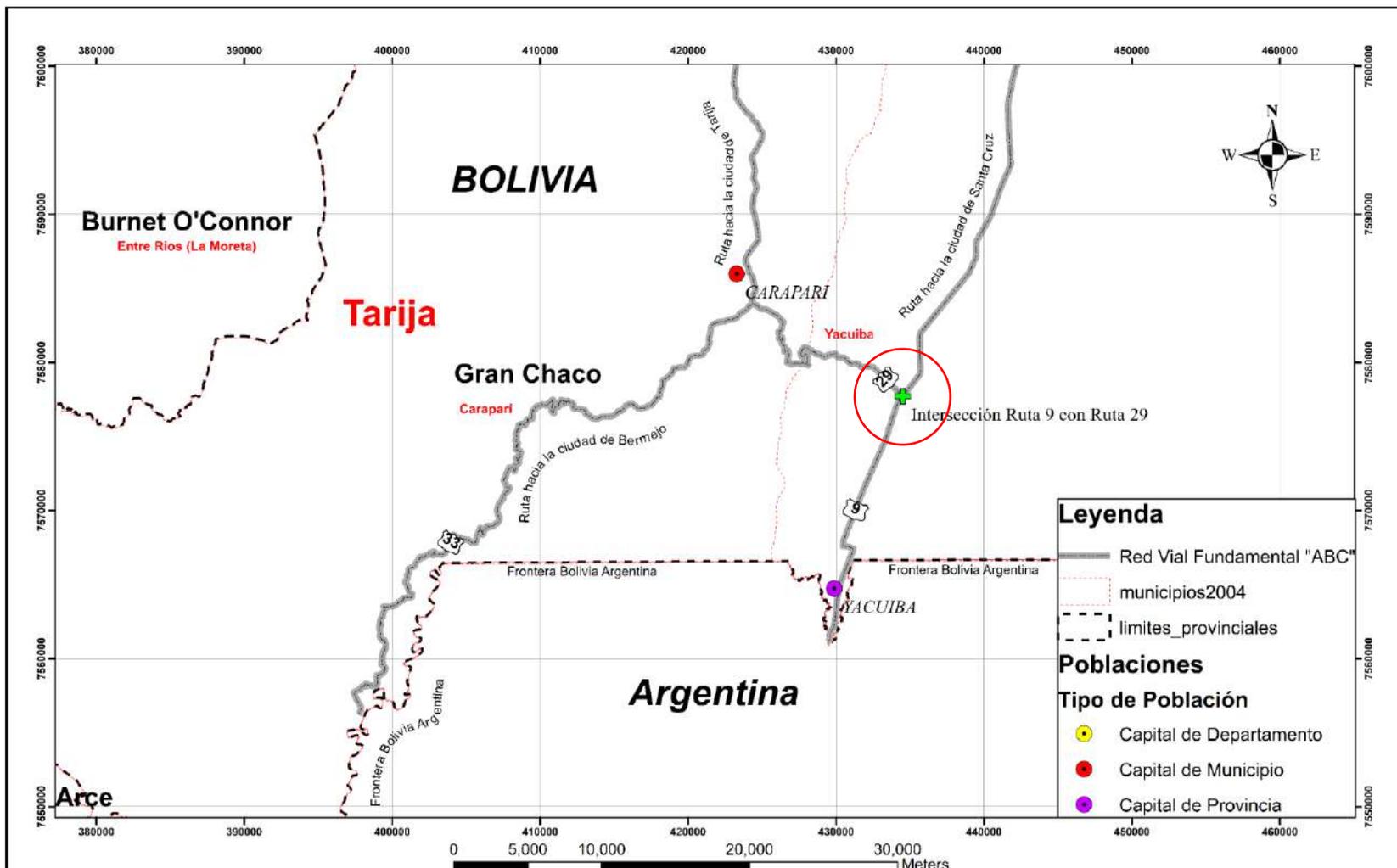
Zona 20K

Coordenada Este: 434506.63 m E

Coordenada Norte: 7577717.00 m S

Altura: 607 m.s.n.m.

Figura23. Mapa de ubicación de la intersección.



Fuente. Elaboración propia

3.2. Criterios del diseño metodológico

Para desarrollar esta tesis es necesario definir una unidad de muestreo que nos ayudara definir cuan confiable es realizar esta investigación no experimental.

3.2.1. Unidad de estudio

Vehículos que circulan por la intersección en las horas picos. (Volumen).

3.2.2. Población

Infinita; todos los vehículos que circulan por la intersección.

3.2.3. Muestra

El número de vehículos.

3.2.4. Tamaño de muestra

El tamaño de la muestra será el número de vehículos que resulte del tiempo de aforo establecido por la normativa para aforos.

3.3. Volúmenes de trafico

3.3.1. Horas picos

Como en un principio no se cuenta con datos de las horas picos de tráfico ni los días de mayor circulación en la semana se procede a inicialmente realizar un aforo de una semana, el primer día se afora durante las 24 horas para poder darnos una idea del intervalo de tiempo donde se genera la mayor circulación de los vehículos y de esa manera aforar los siguientes días de la semana en ese intervalo.

Para realizar este aforo se usó una aplicación de celular que funciona como un contador por pulsación registrando con cada pulsación el paso de cada vehículo que circula en la intersección.

Figura24. Captura de pantalla de aplicación contador por pulsación



Fuente. Elaboración propia

Inicialmente se pensó en utilizar una planilla como se realiza de manera tradicional, pero al analizar las ventajas que proporcionan usar las nuevas tecnologías se optó por usar la aplicación.

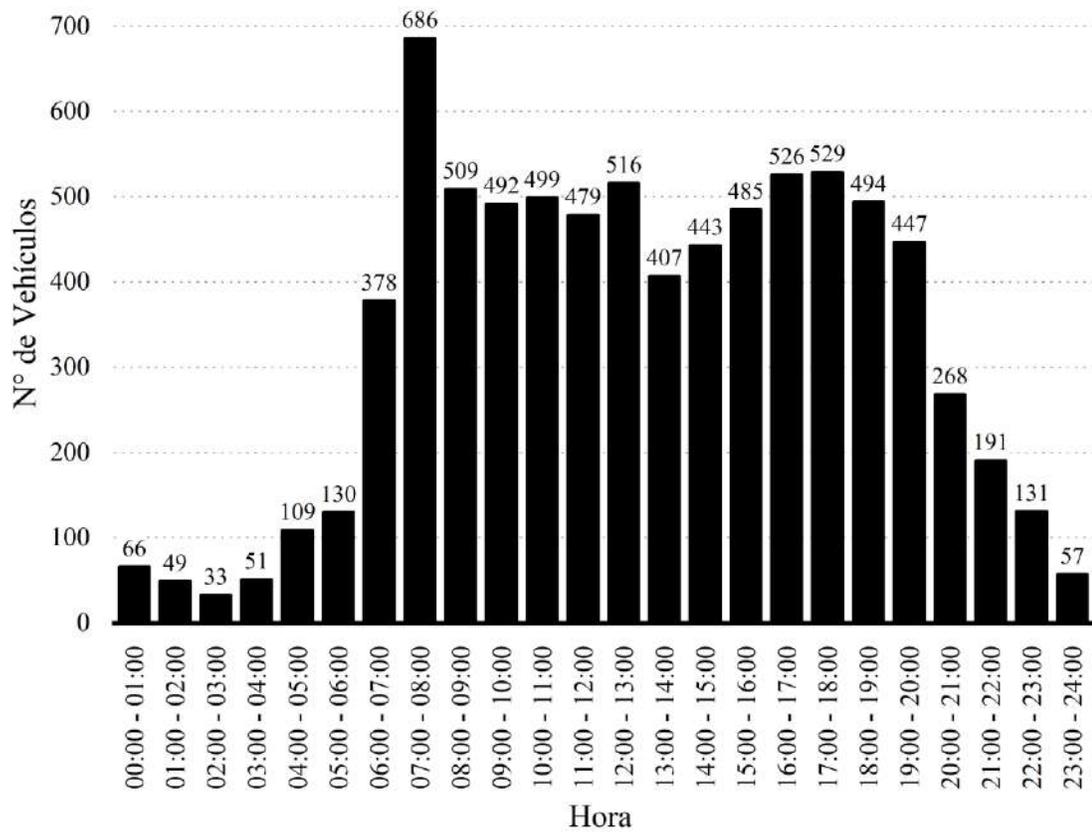
Además, aplicar la tecnología que tenemos hoy en día nos ayuda explorar nuevas técnicas prácticas que nos ayudan a facilitar la recolección de datos de aforo.

Tabla 4. Vehículos por hora del día Jueves de la semana.

FECHA:	24/03/2022
DIA:	Jueves
HORA	No. de Vehículos
00:00 - 01:00	66
01:00 - 02:00	49
02:00 - 03:00	33
03:00 - 04:00	51
04:00 - 05:00	109
05:00 - 06:00	130
06:00 - 07:00	378
07:00 - 08:00	686
08:00 - 09:00	509
09:00 - 10:00	492
10:00 - 11:00	499
11:00 - 12:00	479
12:00 - 13:00	516
13:00 - 14:00	407
14:00 - 15:00	443
15:00 - 16:00	485
16:00 - 17:00	526
17:00 - 18:00	529
18:00 - 19:00	494
19:00 - 20:00	447
20:00 - 21:00	268
21:00 - 22:00	191
22:00 - 23:00	131
23:00 - 24:00	57

Fuente. Se resalto las horas de mayor circulación para que en los próximos días solo se afore en ese horario.

Gráfico 1. Histograma del recuento vehicular por hora día Jueves.



Fuente. Elaboración propia

Las tablas y gráficos de los siguientes días se adjuntan en el Anexo 2.

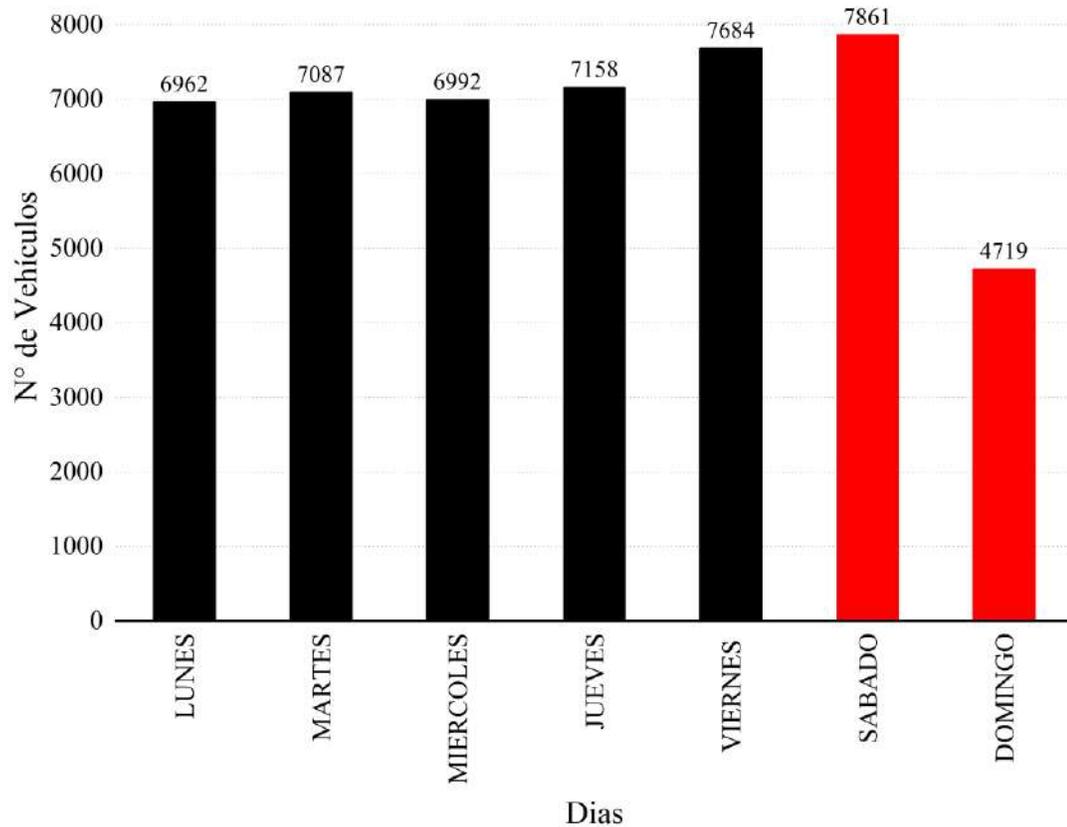
En la tabla 5 se muestran los resultados del número de vehículos que circulan en el intervalo horario de 06:00 – 21:00 de todos los días de semana.

Tabla 5. Total, de vehículos por día

Día	No. de veh.
Lunes	6962
Martes	7087
Miércoles	6992
Jueves	7158
Viernes	7684
Sábado	7861
Domingo	4719

Fuente: En el horario de 06:00 - 21:00 hr

Gráfico 2. Histograma de números de vehículos por días de la semana.



Fuente. Elaboración propia

Según la normativa se debe seleccionar 3 días a la semana para aforar, 2 días hábiles y 1 día en fin de semana, del histograma de volúmenes de vehículos diarios se observa que los días con mayor flujo vehicular en los días hábiles son JUEVES y VIERNES, y en fin de semana el día de mayor flujo vehicular es el SÁBADO.

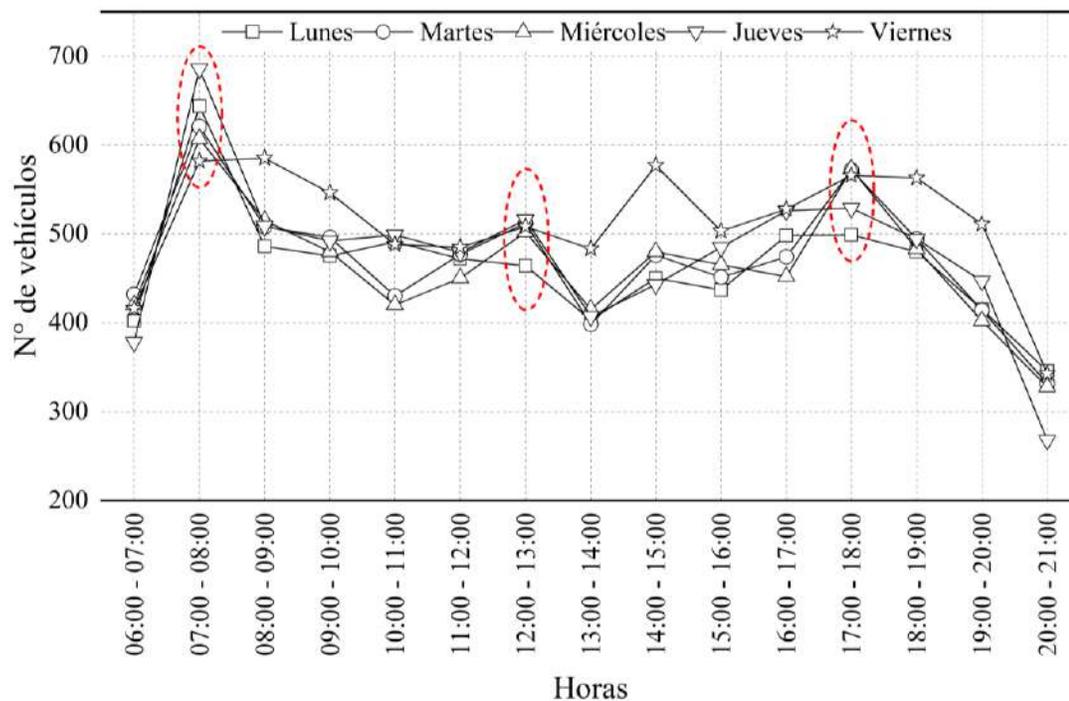
Para poder determinar las horas de mayor demanda se realizó gráficos de línea de tendencia del flujo vehicular, uno para los días hábiles de la semana y otro para los días de fin de semana.

Tabla 6. Resumen de vehículos por hora en días hábiles de la semana.

Horas	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
06:00 - 07:00	402	432	420	378	416
07:00 - 08:00	644	621	607	686	582
08:00 - 09:00	486	508	515	509	585
09:00 - 10:00	475	496	480	492	546
10:00 - 11:00	491	430	420	499	488
11:00 - 12:00	472	477	450	479	485
12:00 - 13:00	464	512	502	516	508
13:00 - 14:00	403	398	415	407	483
14:00 - 15:00	450	476	480	443	577
15:00 - 16:00	437	451	465	485	503
16:00 - 17:00	498	474	452	526	528
17:00 - 18:00	499	572	573	529	566
18:00 - 19:00	480	494	483	494	563
19:00 - 20:00	415	414	402	447	511
20:00 - 21:00	346	332	328	268	343

Fuente. Elaboración propia

Gráfico 3. Gráfico de tendencia de los vehículos por hora en días hábiles de la semana



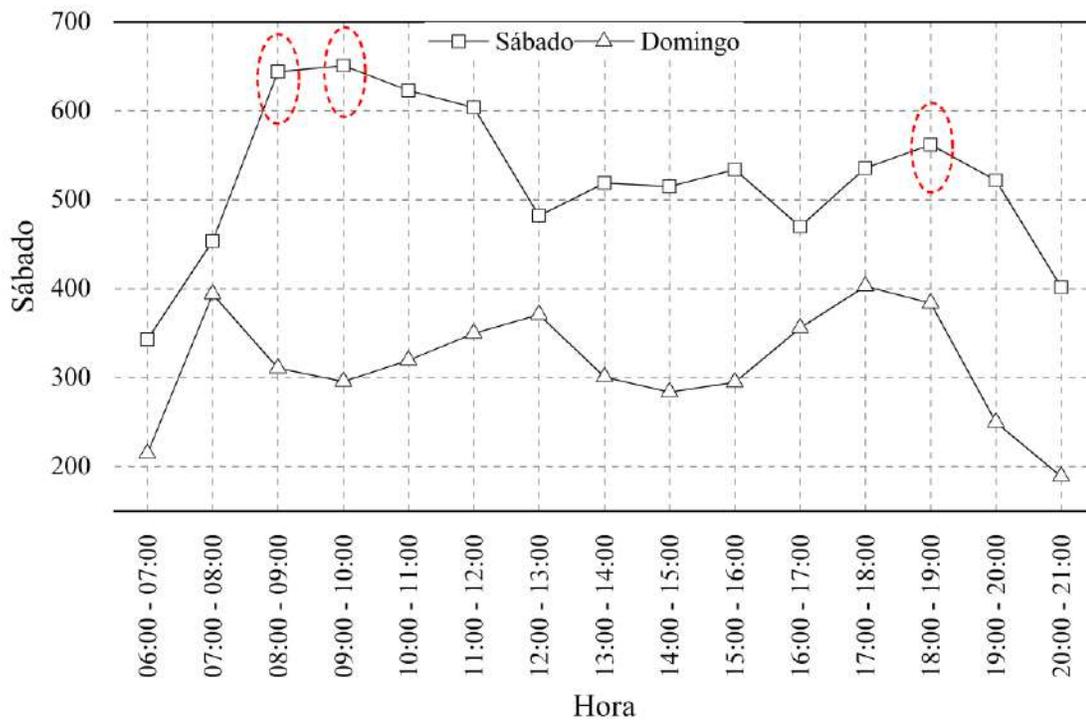
Fuente. Elaboración propia, se marcó los picos horarios de mayor circulación.

Tabla 7. Resumen de vehículos por hora en días no hábiles de la semana.

Horas	Sábado	Domingo
06:00 - 07:00	343	215
07:00 - 08:00	454	394
08:00 - 09:00	644	311
09:00 - 10:00	651	296
10:00 - 11:00	623	320
11:00 - 12:00	604	350
12:00 - 13:00	482	371
13:00 - 14:00	519	301
14:00 - 15:00	515	284
15:00 - 16:00	534	295
16:00 - 17:00	470	356
17:00 - 18:00	536	403
18:00 - 19:00	562	384
19:00 - 20:00	522	250
20:00 - 21:00	402	189

Fuente. Elaboración propia

Gráfico 4. Gráfico de tendencia de los vehículos por hora en días no hábiles de la semana.



Fuente. Elaboración propia, en este grafico se resaltó los picos de mayor demanda

Del gráfico de días hábiles se puede observar claramente los picos máximos de volúmenes por hora, determinándose de esta manera las horas de máxima demanda para los días hábiles de la semana.

(07:00-08:00) (12:00-13:00) (17:00-18:00)

Del gráfico de días no hábiles se observa que en los días de fin de semana al medio día no existe demasiada circulación vehicular, pero en horas de la mañana es donde se presenta una mayor circulación. Es por este motivo que solamente se selecciona 2 horas de máxima demanda en el día de fin de semana.

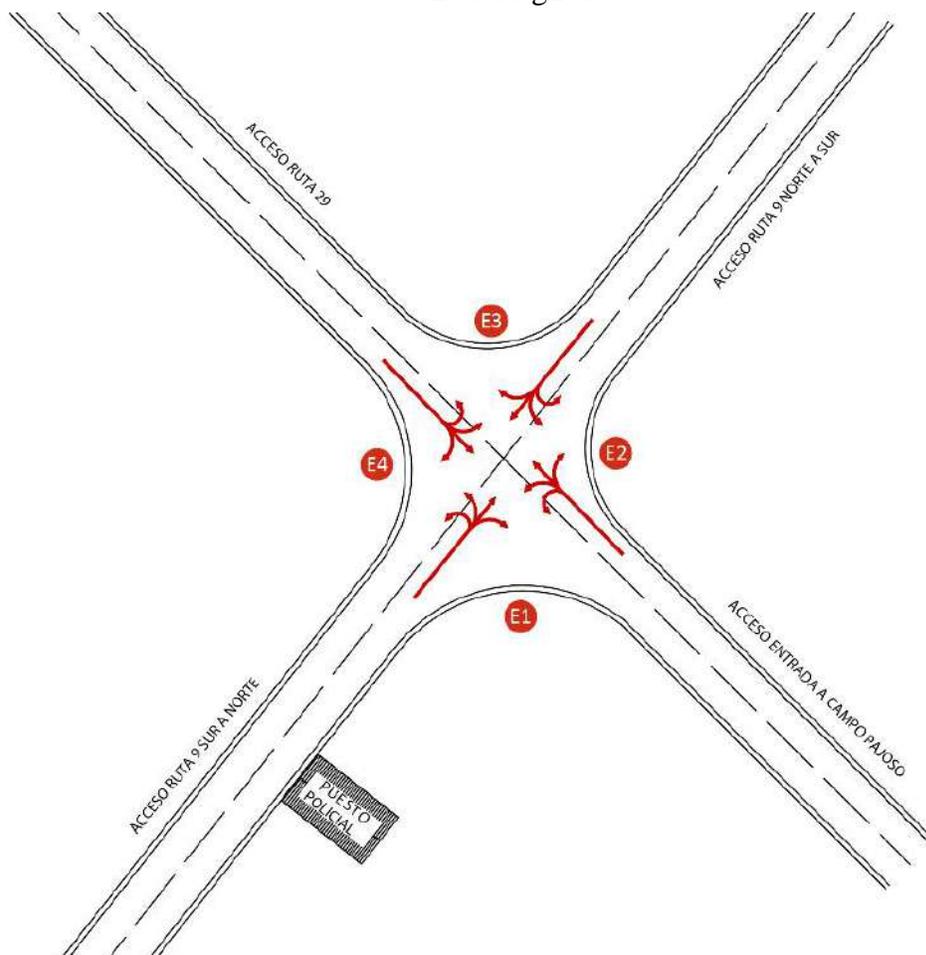
(08:30-09:30) (18:00-19:00)

3.3.2. Volúmenes de tráfico de los movimientos en cada acceso.

La intersección de la ruta F9 con la ruta D29 es de 4 carriles de accesos, cada acceso cuenta con giro hacia la izquierda, giro hacia la derecha, giro en U y circulación de frente, donde se es necesario hacer un conteo vehicular en cada acceso para poder determinar el número de vehículos que circula en la intersección realizando su movimiento respectivo.

Se estableció 4 estaciones de observación para poder controlar en cada acceso con mayor exactitud la circulación de los vehículos.

Figura25. Ubicación de las 4 estaciones en la intersección para realizar el conteo de giros.



Fuente. Elaboración propia

Tabla 8.Estaciones de conteo vehicular.

Intersección	Acceso	Estación	Dirección	Simbología
Ruta F9 y Ruta D29	Acceso Sur	1	S-N	E1
Ruta F9 y Ruta D29	Acceso Este	2	E-O	E2
Ruta F9 y Ruta D29	Acceso Norte	3	N-S	E3
Ruta F9 y Ruta D29	Acceso Oeste	4	O-E	E4

Fuente. Elaboración propia

Para realizar el aforo de los giros con mayor exactitud posible se siguió la siguiente metodología.

En cada estación se ubicó un operador para poder facilitar la recolección de datos, cada operador se encargó de un acceso en específico para tener un mayor control al momento de registrar los giros de los vehículos que realizan en la intersección.

Para registrar los giros se recurrió al uso de una aplicación programada específicamente para realizar el conteo de los giros en las intersecciones. Esta aplicación tiene las opciones de poder registrar en tiempo real el conteo vehicular y almacenarlos en intervalos de 15 min, además de poder registrar cuatro clases de vehículos los cuales se clasificaron de acuerdo a la siguiente clasificación propuesta.

Tabla 9. Clasificación de vehículos para el proyecto.

Clasificación	Nomenclatura	Tipos de Vehículos
Livianos	1	Vehículos que no sobrepasen más de 3.5 ton.
Medianos	2	Vehículos que sobrepasen más de 3.5 ton de 2 ejes, vehículos de 2 ejes con remolque y buses medianos.
Pesados	3	Vehículos que sobrepasen más de 3.5 ton de más de 3 ejes, autobuses grandes.
Motocicletas	4	Vehículos de 2 y 3 ruedas.

Fuente. Elaboración propia, la nomenclatura que se asigno es la que usa la aplicación para el registro el tipo de vehículo.

Figura26. Interfaz de uso de la aplicación.

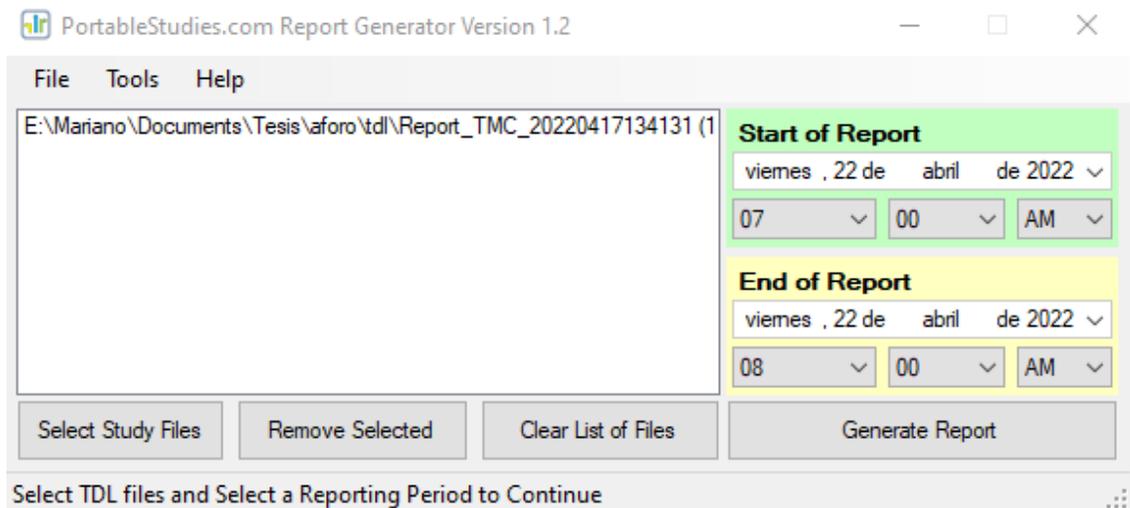


Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla de la aplicación.

En la figura 26 se observa el interfaz de la aplicación para el registro de los vehículos, donde se ve como es muy intuitivo el registro de los giros. El proceso es el siguiente: se observa el vehículo a registrar se lo clasifica con los números que están en el centro y posteriormente se registra el giro usando las flechas de acuerdo al giro que realice. Se observa además que la aplicación nos da la opción de realizar el registro de datos de

los cuatro accesos, pero como se dijo antes se usaran 4 operadores en cada acceso para tener mucho más control a la hora de registrar los giros. Terminado el aforo realizado durante las 4 semanas se procede a exportar los registros de la aplicación para generar los reportes con su software de apoyo para PC.

Figura27. Generador de reportes de aforos de la aplicación.



Fuente: Elaboración propia, captura de pantalla del software de apoyo.

Como se ve en la figura 27 el software detecta el archivo exportado desde la aplicación y automáticamente detecta la hora y fecha de la toma de datos, y el resultado es un documento Excel que contiene todo el recuento de giros del acceso.

Tabla 10.Tabla de recuento de los giros en la intersección

Turning Movement Count Report																														
Report Generated Using Turning Movement Count for Android by PortableStudies.com																														
Study Information																														
Study Summary	Count Name												Notes U = U Turn L = Left Turn T = Thru R = Right Turn P1 = Pedestrian Direction 1 P2 = Pedestrian Direction 2 Veh = Total Vehicles for Approach						Peak Hour Volume											
	Intersección Campo Pajoso																		134											
	Location																		% Bank 1	% Bank 2										
	Campo Pajoso, Not Available																		68.7%	6.7%										
	Performed By																		% Bank 3	% Bank 4										
	Mariano José Guzmán Erazo																		9.7%	14.9%										
Date												Pedestrians Volume																		
viernes, 22 de abril de 2022												0																		
Peak Hour Data																														
Time Period	Ruta 36							Entrada a Campo Pajoso							Ruta 9 acceso sur							Ruta 9 acceso norte							Total Vehicles	Total Pedestrians
	U	L	T	R	P1	P2	Veh	U	L	T	R	P1	P2	Veh	U	L	T	R	P1	P2	Veh	U	L	T	R	P1	P2	Veh		
07:00	0	3	3	10	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	46	2	0	0	52	68	0
07:15	0	4	7	3	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	40	2	0	0	49	63	0
07:30	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	3	0
00:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vehicle Movement Summary																														
Movement / Details	Ruta 36							Entrada a Campo Pajoso							Ruta 9 acceso sur							Ruta 9 acceso norte							Entire Intersection	
	U	L	T	R	P1	P2	Veh	U	L	T	R	P1	P2	Veh	U	L	T	R	P1	P2	Veh	U	L	T	R	P1	P2	Veh	Vehicles	Pedestrians
Movement Volume	0	7	10	14	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	88	4	0	0	103	134	0
PHF	-	0.44	0.36	0.35	-	-	0.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.39	0.48	0.50	-	-	0.50	0.49	-
% Bank 1	0.0%	42.9%	60.0%	92.9%				0.0%	0.0%	0.0%	0.0%				0.0%	0.0%	0.0%	0.0%				0.0%	63.6%	67.0%	100.0%				Need a custom report? Contact: support@portablestudies.com	
% Bank 2	0.0%	14.3%	10.0%	0.0%				0.0%	0.0%	0.0%	0.0%				0.0%	0.0%	0.0%	0.0%				0.0%	0.0%	8.0%	0.0%					
% Bank 3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%				0.0%	0.0%	0.0%	0.0%				0.0%	0.0%	0.0%	0.0%				0.0%	9.1%	13.6%	0.0%					
% Bank 4	0.0%	42.9%	30.0%	7.1%				0.0%	0.0%	0.0%	0.0%				0.0%	0.0%	0.0%	0.0%				0.0%	27.3%	11.4%	0.0%					

Fuente. Elaboración propia, esta tabla es el resultado que nos arroja el programa de cada aforo

Tabla 11.Tabla resumen de los datos de aforo por día

Día:		Jueves - 21/04/2022											
Hora:		7:00 - 8:00				12:00 - 13:00				17:00 -18:00			
Acceso	Sentido de Circulación	Vehículos				Vehículos				Vehículos			
		Liv	Med	Pes	Motos	Liv	Med	Pes	Motos	Liv	Med	Pes	Motos
Ruta F9 Acceso Sur	Giro en U	5	1	1	1	0	3	1	1	5	1	0	1
	Giro Izq.	43	4	4	3	20	3	2	4	31	4	10	6
	Frente	153	11	14	22	130	11	15	8	142	7	18	23
	Giro Der.	39	24	4	4	14	5	3	8	35	6	4	10
Ruta F9 Acceso Norte	Giro en U	2	0	1	1	2	0	0	2	2	0	0	1
	Giro Izq.	9	3	3	6	13	5	4	4	13	2	2	3
	Frente	157	13	37	21	150	17	23	9	138	13	23	16
	Giro Der.	7	3	2	5	12	5	3	10	12	3	4	5
Entrada a Campo Pajoso	Giro en U	4	0	0	3	1	1	0	3	4	0	0	3
	Giro Izq.	24	9	2	5	16	5	1	8	28	4	0	4
	Frente	9	2	0	6	6	3	0	10	18	3	0	4
	Giro Der.	25	3	1	6	6	5	3	11	10	4	1	6
Ruta D29	Giro en U	1	0	0	1	2	0	0	1	2	1	2	1
	Giro Izq.	2	2	3	4	4	3	1	3	6	2	3	5
	Frente	11	3	2	6	9	4	0	6	7	3	2	4
	Giro Der.	28	4	6	7	21	4	4	5	31	3	6	7

Fuente. Elaboración propia

Todas las demás tablas se encuentran en el Anexo 2.

3.3.3. Depuración de los datos del aforo de giros

Depurar datos en un estudio de tráfico vehicular es crucial, ya que garantiza la precisión y fiabilidad de los resultados. Al identificar los valores atípicos y datos inconsistentes, se evita que errores y anomalías distorsionen el análisis. Esto es especialmente necesario en las investigaciones de análisis de tráfico, donde decisiones basadas en datos inexactos nos conllevan a tomar conclusiones erróneas y en último caso la implementación de soluciones ineficaces.

El proceso que se sigue es calcular la media de los datos.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n Xi}{N}$$

Después se calcula la desviación estándar de los datos.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \mu)^2}{N}}$$

Se determina el rango inferior y superior de los datos con la desviación estándar.

$$[\bar{x} + \sigma] - [\bar{x} - \sigma]$$

Se identifica los datos atípicos que están fuera del rango establecido y se elimina de la base de datos.

Y consiguientemente se procede a calcular la nueva media corregida de los datos depurados.

Se empezó primero agrupando los datos por semanas, luego se agrupo por las horas pico en el día con las medias corregidas de las semanas y por último se agrupa por los 3 días seleccionados de la semana.

Tabla 13. Depuración de datos día jueves de las 4 semanas en la hora pico de 07:00-08:00

		Jueves																															
		07:00 - 08:00																															
Accesos	Hora	Giro en U				Giro izquierda				Frente				Giro derecha																			
		Liv.	Med.	Pes.	Mot.	Liv.	Med.	Pes.	Mot.	Liv.	Med.	Pes.	Mot.	Liv.	Med.	Pes.	Mot.																
Ruta 9 Acceso Sur	Semana 1	5	No	1	si	1	si	43	si	4	No	4	si	3	si	153	No	11	No	14	si	22	No	39	si	24	si	4	si	4	si		
	Semana 2	2	si	1	si	1	si	0	si	41	si	5	si	3	No	2	No	157	si	12	si	11	No	21	si	39	si	23	si	4	si	3	No
	Semana 3	3	Si	1	Si	0	Si	0	Si	43	Si	6	Si	4	Si	4	Si	161	No	14	Si	14	Si	21	Si	39	Si	25	Si	5	No	6	Si
	Semana 4	2	Si	1	Si	0	Si	1	Si	38	No	6	Si	5	No	5	No	156	Si	15	No	16	No	21	Si	31	No	20	No	4	Si	7	No
	Media	3.00	1.00	0.50	0.50	41.25	5.25	4.00	3.50	156.75	13.00	13.75	21.25	37.00	23.00	4.25	5.00																
	Desviación	1.41	0.00	0.58	0.58	2.36	0.96	0.82	1.29	3.30	1.83	2.06	0.50	4.00	2.16	0.50	1.83																
	Máximo	4.41	1.00	1.08	1.08	43.61	6.21	4.82	4.79	160.05	14.83	15.81	21.75	41.00	25.16	4.75	6.83																
	Mínimo	1.59	1.00	-0.08	-0.08	38.89	4.29	3.18	2.21	153.45	11.17	11.69	20.75	33.00	20.84	3.75	3.17																
	Media Corregida	3	1	1	1	43	6	4	4	157	13	14	21	39	24	4	5																
	Ruta 9 Acceso Norte	Semana 1	2	si	0	si	1	si	1	si	9	No	3	si	3	si	6	si	157	si	13	si	37	si	21	si	7	No	3	si	2	si	5
Semana 2		1	si	0	si	0	No	0	si	6	si	2	No	1	No	6	si	157	si	13	si	38	si	24	No	8	si	2	No	1	No	4	si
Semana 3		2	Si	0	Si	1	Si	0	Si	7	Si	4	No	2	Si	6	Si	159	No	14	Si	31	Si	21	Si	9	Si	4	Si	2	Si	5	Si
Semana 4		1	Si	1	No	1	Si	1	Si	6	Si	3	Si	3	Si	7	No	158	Si	15	No	31	Si	23	Si	10	No	5	No	3	No	7	No
Media		1.50	0.25	0.75	0.50	7.00	3.00	2.25	6.25	157.75	13.75	34.25	22.25	8.50	3.50	2.00	5.25																
Desviación		0.58	0.50	0.50	0.58	1.41	0.82	0.96	0.50	0.96	0.96	3.77	1.50	1.29	1.29	0.82	1.26																
Máximo		2.08	0.75	1.25	1.08	8.41	3.82	3.21	6.75	158.71	14.71	38.02	23.75	9.79	4.79	2.82	6.51																
Mínimo		0.92	-0.25	0.25	-0.08	5.59	2.18	1.29	5.75	156.79	12.79	30.48	20.75	7.21	2.21	1.18	3.99																
Media Corregida		2	0	1	1	7	3	3	6	158	14	35	22	9	4	2	5																
Entrada a Campo Pajoso		Semana 1	4	No	0	si	0	si	3	No	24	si	9	si	2	No	5	si	9	si	2	si	0	si	6	si	25	si	3	si	1	si	6
	Semana 2	2	si	0	si	0	si	1	si	26	No	10	si	1	si	4	si	8	No	1	No	0	si	6	si	24	si	1	No	1	si	5	si
	Semana 3	2	Si	0	Si	0	Si	1	Si	21	No	12	No	1	Si	5	Si	9	Si	2	Si	1	No	7	Si	24	Si	4	Si	2	Si	5	Si
	Semana 4	1	Si	1	No	0	Si	1	Si	22	Si	10	Si	1	1	4	Si	10	No	3	No	0	Si	7	Si	20	No	3	Si	3	No	6	Si
	Media	2.25	0.25	0.00	1.50	23.25	10.25	1.25	4.50	9.00	2.00	0.25	6.50	23.25	2.75	1.75	5.50																
	Desviación	1.26	0.50	0.00	1.00	2.22	1.26	0.50	0.58	0.82	0.82	0.50	0.58	2.22	1.26	0.96	0.58																
	Máximo	3.51	0.75	0.00	2.50	25.47	11.51	1.75	5.08	9.82	2.82	0.75	7.08	25.47	4.01	2.71	6.08																
	Mínimo	0.99	-0.25	0.00	0.50	21.03	8.99	0.75	3.92	8.18	1.18	-0.25	5.92	21.03	1.49	0.79	4.92																
	Media Corregida	2	0	0	1	23	10	1	5	9	2	0	7	25	4	2	6																
	Ruta 29	Semana 1	1	si	0	si	0	si	1	si	2	si	2	si	3	si	4	si	11	si	3	si	2	No	6	si	28	si	4	si	6	No	7
Semana 2		0	si	0	si	0	si	1	si	2	si	1	No	2	si	3	si	11	si	2	si	1	si	4	No	31	No	3	No	5	si	7	si
Semana 3		1	Si	0	Si	0	Si	4	Si	3	Si	2	Si	5	Si	10	Si	3	Si	1	Si	5	Si	26	Si	5	Si	5	Si	5	Si	8	No
Semana 4		0	Si	0	Si	0	Si	6	No	3	Si	0	No	8	No	8	No	8	No	5	No	1	Si	7	No	25	Si	6	No	5	Si	7	Si
Media		0.50	0.00	0.00	0.50	3.50	2.25	1.75	5.00	10.00	3.25	1.25	5.50	27.50	4.50	5.25	7.25																
Desviación		0.58	0.00	0.00	0.58	1.91	0.96	1.26	2.16	1.41	1.26	0.50	1.29	2.65	1.29	0.50	0.50																
Máximo		1.08	0.00	0.00	1.08	5.41	3.21	3.01	7.16	11.41	4.51	1.75	6.79	30.15	5.79	5.75	7.75																
Mínimo		-0.08	0.00	0.00	-0.08	1.59	1.29	0.49	2.84	8.59	1.99	0.75	4.21	24.85	3.21	4.75	6.75																
Media Corregida		1	0	0	1	3	3	3	4	11	3	1	6	27	5	5	7																

Fuente. Elaboración propia, en la tabla se observa que todos los datos considerados atípico están señalados con la el adjetivo “No” y resaltado en rojo

En el Anexo 2 se encuentran las demás tablas del proceso realizado para los demás días que se tomaron los datos.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos del primer proceso de depuración de datos de las 4 semanas.

Tabla 14.Medias corregidas del día jueves en sus 3 horas picos

Día:		Jueves											
Hora :		7:00 - 8:00				12:00 - 13:00				17:00 -18:00			
Acceso	Sentido de circulación	Vehículos				Vehículos				Vehículos			
		Liv	Med	Pes	Mot	Liv	Med	Pes	Mot	Liv	Med	Pes	Mot
Ruta F9 Acceso Sur	Giro en U	3	1	1	1	2	3	1	2	2	1	1	1
	Giro Izq.	43	6	4	4	19	3	2	5	25	4	4	6
	Frente	157	13	14	21	132	15	18	11	147	11	19	16
	Giro Der.	39	24	4	5	22	9	7	5	37	4	5	4
Ruta F9 Acceso Norte	Giro en U	2	0	1	1	2	0	0	1	2	1	1	1
	Giro Izq.	7	3	3	6	14	4	4	5	14	5	4	2
	Frente	158	14	35	22	146	16	16	10	132	14	16	21
	Giro Der.	9	4	2	5	12	4	3	3	5	4	5	4
Entrada a Campo Pajoso	Giro en U	2	0	0	1	2	0	0	1	1	1	0	3
	Giro Izq.	23	10	1	5	24	7	3	6	17	5	1	4
	Frente	9	2	0	7	8	7	0	8	5	2	0	7
	Giro Der.	25	4	2	6	8	5	2	3	9	5	1	7
Ruta D29	Giro en U	1	0	0	1	1	0	0	1	2	0	0	1
	Giro Izq.	3	3	3	4	4	3	3	3	7	4	3	4
	Frente	11	3	1	6	8	4	1	7	7	4	1	9
	Giro Der.	27	5	5	7	22	6	4	6	35	4	3	5

Fuente. Elaboración propia

Tabla 15.Medias corregidas del día viernes en sus
3 horas picos

Día:		Viernes											
Hora :		7:00 - 8:00				12:00 - 13:00				17:00 -18:00			
Acceso	Sentido de circulación	Vehículos				Vehículos				Vehículos			
		Liv	Med	Pes	Mot	Liv	Med	Pes	Mot	Liv	Med	Pes	Mot
Ruta F9 Acceso Sur	Giro en U	1	1	1	1	2	2	2	1	3	1	0	0
	Giro Izq.	23	4	3	7	22	5	3	2	29	6	9	6
	Frente	147	14	16	17	138	14	17	9	147	8	18	20
	Giro Der.	32	6	3	5	16	6	4	8	26	7	6	10
Ruta F9 Acceso Norte	Giro en U	0	1	0	0	3	1	1	1	2	1	1	0
	Giro Izq.	15	3	4	7	16	4	5	4	13	4	6	4
	Frente	148	11	20	19	161	18	23	12	149	14	21	15
	Giro Der.	12	3	3	5	15	7	5	8	19	6	3	8
Entrada a Campo Pajoso	Giro en U	1	1	0	1	2	0	0	1	2	0	1	1
	Giro Izq.	17	8	1	5	19	6	1	8	20	6	2	4
	Frente	11	4	1	4	9	3	1	6	15	9	1	7
	Giro Der.	15	3	2	5	7	5	3	7	9	4	1	6
Ruta D29	Giro en U	1	0	0	1	2	0	0	0	3	0	0	2
	Giro Izq.	7	5	1	4	4	3	2	5	8	5	3	4
	Frente	16	5	2	9	8	4	0	6	8	5	2	4
	Giro Der.	39	11	4	7	19	6	4	7	23	5	4	7

Fuente. Elaboración propia

Tabla 16.Medias corregidas del día sábado en sus
2 horas picos

Día:		Sábado							
Hora :		8:30 - 9:30				18:00 - 19:00			
Acceso	Sentido de circulación	Vehículos				Vehículos			
		Liv	Med	Pes	Mot	Liv	Med	Pes	Mot
Ruta F9 Acceso Sur	Giro en U	2	1	1	0	2	0	0	1
	Giro Izq.	25	6	6	7	43	5	2	6
	Frente	165	19	19	16	133	15	17	18
	Giro Der.	34	9	5	9	27	7	7	7
Ruta F9 Acceso Norte	Giro en U	1	0	0	2	1	1	0	1
	Giro Izq.	19	2	4	5	9	2	1	5
	Frente	161	17	21	17	150	17	16	17
	Giro Der.	12	4	4	5	9	7	6	7
Entrada a Campo Pajoso	Giro en U	1	1	0	1	0	0	0	1
	Giro Izq.	28	15	3	5	6	4	1	5
	Frente	11	2	3	10	8	2	0	3
	Giro Der.	9	6	3	11	14	3	0	7
Ruta D29	Giro en U	1	0	1	1	2	0	0	0
	Giro Izq.	12	6	4	5	10	2	1	6
	Frente	8	5	1	37	9	1	0	5
	Giro Der.	37	8	8	14	39	4	2	8

Fuente. Elaboración propia

Tabla 17. Depuración de datos día jueves en sus 3 horas picos

		Jueves															
Accesos	Hora	Giro en U				Giro izquierda				Frente				Giro derecha			
		Liv.	Med.	Pes.	Mot.	Liv.	Med.	Pes.	Mot.	Liv.	Med.	Pes.	Mot.	Liv.	Med.	Pes.	Mot.
Ruta 9 Acceso Sur	07:00 - 08:00	3 No	1 sí	1 sí	1 sí	43 No	6 No	4 sí	4 sí	157 sí	13 sí	14 No	21 sí	39 sí	24 No	4 sí	5 sí
	12:00 - 13:00	2 Sí	3 No	1 Sí	2 No	19 Sí	3 Sí	2 No	5 Sí	132 No	15 Sí	18 Sí	11 Sí	22 No	9 Sí	7 No	5 Sí
	17:00 - 18:00	2 Sí	1 Sí	1 Sí	1 Sí	25 Sí	4 Sí	4 Sí	6 Sí	147 Sí	11 Sí	19 Sí	16 Sí	37 Sí	4 Sí	5 Sí	4 No
	Media	2.33	1.67	1.00	1.33	29.00	4.33	3.33	5.00	145.33	13.00	17.00	16.00	32.67	12.33	5.33	4.67
	Desviación	0.58	1.15	0.00	0.58	12.49	1.53	1.15	1.00	12.58	2.00	2.65	5.00	9.29	10.41	1.53	0.58
Ruta 9 Acceso Norte	07:00 - 08:00	2 sí	0 sí	1 sí	1 sí	7 No	3 sí	3 No	6 sí	158 sí	14 sí	35 No	22 sí	9 sí	4 sí	2 sí	5 sí
	12:00 - 13:00	2 Sí	0 Sí	0 No	1 Sí	14 Sí	4 Sí	4 Sí	5 Sí	146 Sí	16 No	16 Sí	10 No	12 Sí	4 Sí	3 Sí	3 Sí
	17:00 - 18:00	2 Sí	1 No	1 Sí	1 Sí	14 Sí	5 Sí	4 Sí	2 No	132 No	14 Sí	16 Sí	21 Sí	5 No	5 No	5 No	4 Sí
	Media	2.00	0.33	0.67	1.00	11.67	4.00	3.67	4.33	145.33	14.67	22.33	17.67	8.67	4.33	3.33	4.00
	Desviación	0.00	0.58	0.58	0.00	4.04	1.00	0.58	2.08	13.01	1.15	10.97	6.66	3.51	0.58	1.53	1.00
Entrada a Campo Pajoso	07:00 - 08:00	2 sí	0 sí	0 sí	1 sí	23 sí	10 No	1 sí	5 sí	9 sí	2 sí	0 sí	6 sí	25 No	4 No	2 sí	6 sí
	12:00 - 13:00	2 Sí	0 Sí	0 Sí	1 Sí	24 Sí	7 Sí	3 No	6 Sí	8 Sí	7 No	0 Sí	3 No	8 Sí	5 Sí	2 Sí	3 No
	17:00 - 18:00	1 No	1 No	0 Sí	3 No	17 No	5 Sí	1 Sí	4 Sí	5 No	2 Sí	0 Sí	7 Sí	9 Sí	5 Sí	1 No	7 Sí
	Media	1.67	0.33	0.00	1.67	21.33	7.33	1.67	5.00	7.33	3.67	0.00	5.33	14.00	4.67	1.67	5.33
	Desviación	0.58	0.58	0.00	1.15	3.79	2.52	1.15	1.00	2.08	2.89	0.00	2.08	9.54	0.58	0.58	2.08
Ruta 29	07:00 - 08:00	1 sí	0 sí	0 sí	1 sí	3 sí	3 sí	3 sí	4 sí	11 No	3 No	1 sí	6 sí	27 sí	5 sí	5 sí	7 sí
	12:00 - 13:00	1 Sí	0 Sí	0 Sí	1 Sí	4 Sí	3 Sí	3 Sí	3 No	8 Sí	4 Sí	1 Sí	7 Sí	22 Sí	6 Sí	4 Sí	6 Sí
	17:00 - 18:00	2 No	0 Sí	0 Sí	1 Sí	7 No	4 No	3 Sí	4 Sí	7 Sí	4 Sí	1 Sí	9 No	35 No	4 Sí	3 Sí	5 Sí
	Media	1.3	0.0	0.0	1.0	4.7	3.3	3.0	3.7	8.7	3.7	1.0	7.3	28.0	5.0	4.0	6.0
	Desviación	0.6	0.0	0.0	0.0	2.1	0.6	0.0	0.6	2.1	0.6	0.0	1.5	6.6	1.0	1.0	1.0
Media Corregida	1	0	0	1	4	3	3	4	8	4	1	7	25	5	4	6	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 18. Depuración de datos día viernes en sus 3 horas picos

		Viernes																															
Accesos	Hora	Giro en U				Giro izquierda				Frente				Giro derecha																			
		Liv.	Med.	Pes.	Mot.	Liv.	Med.	Pes.	Mot.	Liv.	Med.	Pes.	Mot.	Liv.	Med.	Pes.	Mot.																
Ruta 9 Acceso Sur	07:00 - 08:00	1	si	1	si	1	si	23	si	4	si	3	si	7	si	147	si	14	si	16	si	17	si	32	si	6	si	3	si	5	No		
	12:00 - 13:00	2	Si	2	No	2	Si	1	Si	22	Si	5	Si	3	Si	2	No	138	No	14	Si	17	Si	9	No	16	No	6	Si	4	Si	8	Si
	17:00 - 18:00	3	Si	1	Si	0	Si	0	No	29	No	6	Si	9	No	6	Si	147	Si	8	No	18	Si	20	Si	26	Si	7	No	6	No	10	Si
	Media	2.00	1.33	1.00	0.67	24.67	5.00	5.00	5.00	144.00	12.00	17.00	15.33	24.67	6.33	4.33	7.67																
	Desviación	1.00	0.58	1.00	0.58	3.79	1.00	3.46	2.65	5.20	3.46	1.00	5.69	8.08	0.58	1.53	2.52																
	Máximo	3.00	1.91	2.00	1.24	28.45	6.00	8.46	7.65	149.20	15.46	18.00	21.02	32.75	6.91	5.86	10.18																
	Mínimo	1.00	0.76	0.00	0.09	20.88	4.00	1.54	2.35	138.80	8.54	16.00	9.65	16.58	5.76	2.81	5.15																
Media Corregida	2	1	1	1	23	5	3	7	147	14	17	19	29	6	4	9																	
Ruta 9 Acceso Norte	07:00 - 08:00	0	No	1	si	0	No	0	si	15	si	3	No	4	si	7	No	147	si	14	si	16	si	17	si	12	si	3	No	3	si	5	No
	12:00 - 13:00	3	Si	1	Si	1	Si	1	No	16	Si	4	Si	5	Si	4	Si	138	No	14	Si	17	Si	9	No	15	Si	7	Si	5	No	8	Si
	17:00 - 18:00	2	Si	1	Si	1	Si	0	Si	13	No	4	Si	6	Si	4	Si	147	Si	8	No	18	Si	20	Si	19	No	6	Si	3	Si	8	Si
	Media	1.67	1.00	0.67	0.33	14.67	3.67	5.00	5.00	144.00	12.00	17.00	15.33	15.33	5.33	3.67	7.00																
	Desviación	1.53	0.00	0.58	0.58	1.53	0.58	1.00	1.73	5.20	3.46	1.00	5.69	3.51	2.08	1.15	1.73																
	Máximo	3.19	1.00	1.24	0.91	16.19	4.24	6.00	6.73	149.20	15.46	18.00	21.02	18.85	7.41	4.82	8.73																
	Mínimo	0.14	1.00	0.09	-0.24	13.14	3.09	4.00	3.27	138.80	8.54	16.00	9.65	11.82	3.25	2.51	5.27																
Media Corregida	3	1	1	0	16	4	5	4	147	14	17	19	14	7	3	8																	
Entrada a Campo Pajoso	07:00 - 08:00	1	No	1	No	0	si	1	si	17	No	8	No	1	si	5	si	11	si	4	si	1	si	4	No	15	No	3	si	2	si	5	si
	12:00 - 13:00	2	Si	0	Si	0	Si	1	Si	19	Si	6	Si	1	Si	8	No	9	Si	3	Si	1	Si	6	Si	7	Si	5	Si	3	Si	7	Si
	17:00 - 18:00	2	Si	0	Si	1	No	1	Si	20	Si	6	Si	2	No	4	Si	15	No	9	No	1	Si	7	Si	9	Si	4	Si	1	Si	6	Si
	Media	1.67	0.33	0.33	1.00	18.67	6.67	1.33	5.67	11.67	5.33	1.00	5.67	10.33	4.00	2.00	6.00																
	Desviación	0.58	0.58	0.58	0.00	1.53	1.15	0.58	2.08	3.06	3.21	0.00	1.53	4.16	1.00	1.00	1.00																
	Máximo	2.24	0.91	0.91	1.00	20.19	7.82	1.91	7.75	14.72	8.55	1.00	7.19	14.50	5.00	3.00	7.00																
	Mínimo	1.09	-0.24	-0.24	1.00	17.14	5.51	0.76	3.59	8.61	2.12	1.00	4.14	6.17	3.00	1.00	5.00																
Media Corregida	2	0	0	1	20	6	1	5	10	4	1	7	8	4	2	6																	
Ruta 29	07:00 - 08:00	1	si	0	si	0	si	1	si	7	si	5	si	1	si	4	si	16	No	5	si	2	si	9	No	39	No	11	No	4	si	7	si
	12:00 - 13:00	2	Si	0	Si	0	Si	0	Si	4	No	3	No	2	Si	5	No	8	Si	4	No	0	No	6	Si	19	Si	6	Si	4	Si	7	Si
	17:00 - 18:00	3	Si	0	Si	0	Si	2	Si	8	Si	5	Si	3	Si	4	Si	8	Si	5	Si	2	Si	4	Si	23	Si	5	Si	4	Si	7	Si
	Media	2.00	0.00	0.00	1.00	6.33	4.33	2.00	4.33	10.67	4.67	1.33	6.33	27.00	7.33	4.00	7.00																
	Desviación	1.00	0.00	0.00	1.00	2.08	1.15	1.00	0.58	4.62	0.58	1.15	2.52	10.58	3.21	0.00	0.00																
	Máximo	3.00	0.00	0.00	2.00	8.41	5.49	3.00	4.91	15.29	5.24	2.49	8.85	37.58	10.55	4.00	7.00																
	Mínimo	1.00	0.00	0.00	0.00	4.25	3.18	1.00	3.76	6.05	4.09	0.18	3.82	16.42	4.12	4.00	7.00																
Media Corregida	2	0	0	1	8	5	2	4	8	5	2	5	21	6	4	7																	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 19.Medias corregidas del día jueves en sus 4 sentidos de circulación

Día:		Jueves			
Acceso	Sentido de Circulación	Vehículos			
		Livianos	Medianos	Pesados	Motocicletas
Ruta F9 Acceso Sur	Giro en U	2	1	1	1
	Giro Izq.	22	4	4	5
	Frente	152	13	19	16
	Giro Der.	38	7	5	5
Ruta F9 Acceso Norte	Giro en U	2	0	1	1
	Giro Izq.	14	4	4	6
	Frente	152	14	16	22
	Giro Der.	11	4	3	4
Entrada a Campo Pajoso	Giro en U	2	0	0	1
	Giro Izq.	24	6	1	5
	Frente	9	2	0	7
	Giro Der.	9	5	2	7
Ruta D29	Giro en U	1	0	0	1
	Giro Izq.	4	3	3	4
	Frente	8	4	1	7
	Giro Der.	25	5	4	6

Fuente. Elaboración propia

Tabla 20.Medias corregidas del día viernes en sus 4 sentidos de circulación

Día:		Viernes			
Acceso	Sentido de Circulación	Vehículos			
		Livianos	Medianos	Pesados	Motocicletas
Ruta F9 Acceso Sur	Giro en U	2	1	1	1
	Giro Izq.	23	5	3	7
	Frente	147	14	17	19
	Giro Der.	29	6	4	9
Ruta F9 Acceso Norte	Giro en U	3	1	1	0
	Giro Izq.	16	4	5	4
	Frente	147	14	17	19
	Giro Der.	14	7	3	8
Entrada a Campo Pajoso	Giro en U	2	0	0	1
	Giro Izq.	20	6	1	5
	Frente	10	4	1	7
	Giro Der.	8	4	2	6
Ruta D29	Giro en U	2	0	0	1
	Giro Izq.	8	5	2	4
	Frente	8	5	2	5
	Giro Der.	21	6	4	7

Fuente. Elaboración propia

Tabla 21.Medias corregidas del día sábado en sus 4 sentidos de circulación

Día:		Sábado			
Acceso	Sentido de Circulación	Vehículos			
		Livianos	Medianos	Pesados	Motocicletas
Ruta F9 Acceso Sur	Giro en U	2	1	1	1
	Giro Izq.	34	6	4	7
	Frente	149	17	18	17
	Giro Der.	31	8	6	8
Ruta F9 Acceso Norte	Giro en U	1	1	0	2
	Giro Izq.	14	2	3	5
	Frente	156	17	19	17
	Giro Der.	11	6	5	6
Entrada a Campo Pajoso	Giro en U	1	1	0	1
	Giro Izq.	17	10	2	5
	Frente	10	2	2	7
	Giro Der.	12	5	2	9
Ruta D29	Giro en U	2	0	1	1
	Giro Izq.	11	4	3	6
	Frente	9	3	1	21
	Giro Der.	38	6	5	11

Fuente. Elaboración propia

Como en el día sábado solo existen 2 intervalos horarios de hora pico no se puede realizar una depuración de datos aplicando los rangos que se definen con la desviación estándar, por lo cual se determina simplemente una media aritmética entre los dos horarios picos.

Además, revisando a fondo la teoría se constata que no se puede incluir los datos del día sábado en los resultados finales de volumen porque sus intervalos de hora picos son diferente a los de los días hábiles, lo cual no es usual y representativo para usarlos en la investigación, por lo que se descarta el uso de los datos para la última depuración y solo se realizo una media aritmética entre los días jueves y viernes.

Tabla 22. Volúmenes totales corregidos de la intersección

Volúmenes de giros						
Acceso	Sentido de Circulación	Vehículos				Total, de Giros
		Livianos	Medianos	Pesados	Motocicletas	
Ruta F9	Giro en U	2	1	1	1	5 Veh/h
	Giro izq.	23	5	4	6	38 Veh/h
	Acceso Frente	150	14	18	18	200 Veh/h
	Sur Giro der.	34	7	5	7	53 Veh/h
	Total, tip. veh.	209	27	28	32	296 Veh/h
Ruta F9	Giro en U	3	1	1	1	6 Veh/h
	Giro izq.	15	4	5	5	29 Veh/h
	Acceso Frente	150	14	17	21	202 Veh/h
	Norte Giro der.	13	6	3	6	28 Veh/h
	Total, tip. veh.	181	25	26	33	265 Veh/h
Entrada a Campo Pajoso	Giro en U	2	0	0	1	3 Veh/h
	Giro izq.	22	6	1	5	34 Veh/h
	Frente	10	3	1	7	21 Veh/h
	Giro der.	9	5	2	7	23 Veh/h
	Total, tip. veh.	43	14	4	20	81 Veh/h
Ruta D29	Giro en U	2	0	0	1	3 Veh/h
	Giro izq.	6	4	3	4	17 Veh/h
	Frente	8	5	2	6	21 Veh/h
	Giro der.	23	6	4	7	40 Veh/h
	Total, tip. veh.	39	15	9	18	81 Veh/h
Total, de vehículos		472	81	67	103	723 Veh/h

Fuente. Elaboración propia

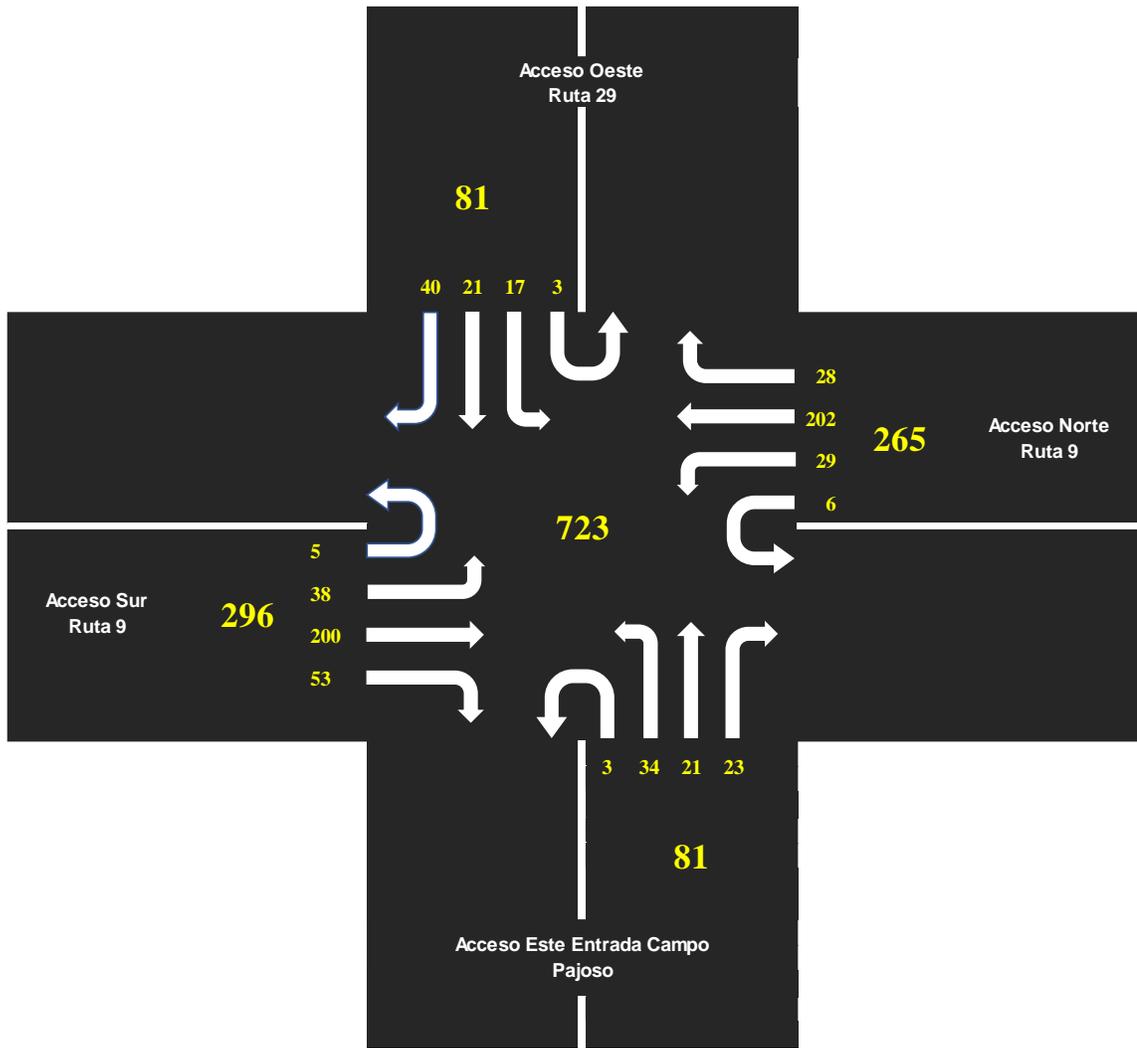
El siguiente paso es determinar los porcentajes de distribución de los volúmenes por accesos, por tipo de vehículos y el sentido de los giros. Para lo cual se presenta estos datos en la siguiente tabla.

Tabla 23. Distribución de volúmenes corregidos de la intersección en porcentajes

Distribución de giros (%)						
Acceso	Sentido de Circulación	Vehículos				Total, de Giros
		Livianos	Medianos	Pesados	Motocicletas	
Ruta F9 Acceso Sur	Giro en U	0.68 %	0.34 %	0.34 %	0.34 %	1.69 %
	Giro Izq.	7.77 %	1.69 %	1.35 %	2.03 %	12.84 %
	Frente	50.68 %	4.73 %	6.08 %	6.08 %	67.57 %
	Giro Der.	11.49 %	2.36 %	1.69 %	2.36 %	17.91 %
	Total, Tip. Veh.	70.61 %	9.12 %	9.46 %	10.81 %	40.94 %
Ruta F9 Acceso Norte	Giro en U	1.13 %	0.38 %	0.38 %	0.38 %	2.26 %
	Giro Izq.	5.66 %	1.51 %	1.89 %	1.89 %	10.94 %
	Frente	56.60 %	5.28 %	6.42 %	7.92 %	76.23 %
	Giro Der.	4.91 %	2.26 %	1.13 %	2.26 %	10.57 %
	Total, Tip. Veh.	68.30 %	9.43 %	9.81 %	12.45 %	36.65 %
Entrada a Campo Pajoso	Giro en U	2.47 %	0.00 %	0.00 %	1.23 %	3.70 %
	Giro Izq.	27.16 %	7.41 %	1.23 %	6.17 %	41.98 %
	Frente	12.35 %	3.70 %	1.23 %	8.64 %	25.93 %
	Giro Der.	11.11 %	6.17 %	2.47 %	8.64 %	28.40 %
	Total, Tip. Veh.	53.09 %	17.28 %	4.94 %	24.69 %	11.20 %
Ruta D29	Giro en U	2.47 %	0.00 %	0.00 %	1.23 %	3.70 %
	Giro Izq.	7.41 %	4.94 %	3.70 %	4.94 %	20.99 %
	Frente	9.88 %	6.17 %	2.47 %	7.41 %	25.93 %
	Giro Der.	28.40 %	7.41 %	4.94 %	8.64 %	49.38 %
	Total, Tip. Veh.	48.15 %	18.52 %	11.11 %	22.22 %	11.20 %
Total, de vehículos		65.28 %	11.20 %	9.27 %	14.25 %	100.00 %

Fuente. Elaboración propia, esta tabla es la que nos ayudara a introducir datos de giros en el software para realizar un análisis del flujo vehicular en la intersección

Figura28. Gráfico referencial para observar los giros en la intersección y sus respectivos volúmenes



Fuente. Elaboración propia

3.3.4. Determinación del índice de crecimiento vehicular

Al no contar como dato de referencia con el índice de crecimiento vehicular, es necesario determinarlo mediante datos históricos. Se usa los registros del RUAT del parque automotor de Tarija extraídos del INE, para poder determinar el índice de crecimiento vehicular y poder realizar una proyección de tráfico a futuro.

Tabla 24. Parque automotor de Tarija según tipo de servicio y clase de vehículo 2003-2023



Cuadro N° 2.6
TARIJA: PARQUE AUTOMOTOR, SEGÚN TIPO DE SERVICIO Y CLASE DE VEHÍCULO, 2003 - 2023
 (En número de vehículos)

TIPO DE SERVICIO ^(a) /CLASE DE VEHÍCULO	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
TOTAL	25.189	27.254	28.612	31.711	37.529	43.910	48.884	53.668	59.568	65.533	71.835	79.431	87.301	95.711	102.203	108.596	114.423	118.439	125.024	133.055	141.213
Particular	22.649	25.076	26.114	29.026	34.605	41.196	45.854	50.428	56.137	61.580	67.243	74.204	81.773	89.607	96.154	102.278	107.827	111.463	117.546	125.114	133.109
Ambulancia ^(b)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	40	39	39	29
Automóvil	6.387	6.859	7.009	7.567	8.472	9.358	10.015	10.786	11.555	12.229	13.061	14.108	15.208	16.446	17.440	18.378	19.297	19.732	20.305	20.999	21.751
Bus ⁽¹⁾	136	173	183	181	212	241	256	249	232	235	235	239	259	275	275	295	295	303	286	298	301
Camión	3.010	3.451	3.577	3.757	4.364	5.159	5.463	5.642	5.943	6.173	6.340	6.587	6.775	7.034	7.096	7.248	7.355	7.355	7.378	7.484	7.549
Camioneta	5.014	5.328	5.448	5.660	6.099	6.573	6.975	7.433	8.036	8.547	9.152	9.972	10.745	11.650	12.349	13.017	13.510	13.690	14.067	14.382	14.888
Furgón	20	24	25	29	33	39	42	48	61	76	97	121	133	157	195	223	244	244	252	263	300
Jeep	1.318	1.438	1.467	1.666	1.842	1.949	2.019	2.101	2.199	2.272	2.347	2.442	2.498	2.598	2.617	2.653	2.667	2.682	2.711	2.773	2.816
Microbús	510	646	631	669	743	885	893	924	959	1.005	981	1.028	1.047	1.032	1.015	975	934	930	922	921	928
Mnibus	472	535	553	567	621	698	758	849	937	1.002	1.070	1.155	1.230	1.318	1.388	1.441	1.474	1.495	1.512	1.559	1.629
Moto	885	1.120	1.292	1.516	1.937	2.675	3.604	4.671	6.154	8.663	11.642	15.319	19.408	23.181	26.717	29.903	32.904	35.402	39.813	44.998	50.323
Quadra-Trac	1	1	1	2	2	6	7	12	14	25	32	46	70	86	96	107	117	122	139	153	160
Torpedo	0	1	1	2	2	3	4	5	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
Tracto - Camión	14	23	56	98	107	146	178	212	226	257	302	350	362	404	405	418	446	449	457	471	506
Trimóvil - Camión	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2
Vagoneta	4.882	5.477	5.851	7.312	10.171	13.464	15.640	17.496	19.819	21.092	21.980	22.833	24.045	25.423	26.557	27.616	28.567	29.015	29.660	30.769	31.923
Público	2.194	1.803	1.969	2.084	2.187	1.829	1.978	2.050	2.105	2.167	2.435	2.689	2.800	3.228	3.132	3.328	3.670	3.914	4.430	4.736	4.899
Automóvil	538	420	445	415	402	318	323	325	321	313	327	342	342	352	385	393	445	477	541	554	563
Bus ⁽¹⁾	108	95	107	123	128	135	151	170	182	193	205	206	208	251	231	234	235	235	243	245	249
Camión	508	413	479	559	637	538	554	568	593	590	626	613	619	664	663	662	709	751	839	890	939
Camioneta	98	102	102	98	94	81	80	79	76	72	72	76	73	77	75	81	98	136	208	238	271
Furgón	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	6	11	19	25	32	28
Jeep	4	4	4	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	4	5	11	12	15
Microbús	451	370	399	397	374	332	379	386	386	390	438	439	424	445	439	439	453	457	460	451	441
Mnibus	82	77	78	78	81	71	81	77	77	85	102	120	127	137	141	187	242	261	290	312	329
Moto	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	16	48	53	69	78	88	118	181	178
Quadra-Trac	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Torpedo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tracto - Camión	7	8	13	24	60	76	116	144	175	203	280	319	392	422	473	519	585	626	684	755	774
Trimóvil - Camión	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vagoneta	395	314	342	367	408	277	293	300	294	320	384	558	596	649	668	736	810	859	1.011	1.066	1.112
Oficial	346	375	529	601	737	885	1.052	1.190	1.326	1.786	2.157	2.538	2.728	2.876	2.917	2.990	2.926	3.062	3.048	3.205	3.205
Ambulancia ^(b)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	67	52	48
Automóvil	3	4	4	4	4	3	3	3	3	13	22	22	22	22	22	23	21	25	30	36	36
Bus ⁽¹⁾	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	8	16	19	20	20	20	31	35	35	47	47
Camión	40	43	56	85	114	158	193	200	197	323	395	474	535	564	577	580	599	596	591	611	611
Camioneta	97	104	117	129	152	170	195	210	254	406	537	593	638	690	671	691	678	703	690	741	741
Furgón	0	1	1	5	6	6	6	6	6	8	8	10	10	10	10	11	10	11	14	14	14
Jeep	24	24	24	24	24	36	50	50	68	67	67	85	86	95	90	93	93	93	93	120	120
Microbús	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Mnibus	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	9	14	14	15	15	15	17	18	18	20	20
Moto	113	120	245	263	337	395	468	571	631	739	846	976	1.028	1.066	1.110	1.118	1.051	1.137	1.151	1.175	1.175
Quadra-Trac	0	0	0	0	0	1	10	15	24	33	37	76	79	83	90	90	90	90	87	87	87
Torpedo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Tracto - Camión	0	0	0	2	2	4	5	5	5	8	16	21	22	23	24	25	25	25	24	24	24
Trimóvil - Camión	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vagoneta	62	72	73	81	89	104	114	122	129	179	210	235	259	272	272	308	274	246	247	266	266

Fuente. Datos estadísticos extraídos de la base de datos del INE

Tabla 25. Agrupación de datos según la clasificación propuesta en esta tesis
2003-2023

Registro	Clase de vehículo				Total
	Motos	Livianos	Medianos	Pesados	
2003	999	18822	1788	3579	25188
2004	1240	20146	1928	3938	27252
2005	1537	20906	1984	4183	28610
2006	1779	23346	2057	4525	31707
2007	2274	27760	2207	5284	37525
2008	3070	32334	2415	6081	43900
2009	4072	35708	2574	6509	48863
2010	5242	38906	2717	6771	53636
2011	6785	42754	2848	7139	59526
2012	9402	45511	3004	7554	65471
2013	12488	48160	3155	7959	71762
2014	16309	51267	3351	8364	79291
2015	20452	54503	3475	8705	87135
2016	24295	58455	3664	9111	95525
2017	27880	61147	3734	9238	101999
2018	31090	63991	3848	9452	108381
2019	34033	66464	3948	9709	114154
2020	36627	67663	4010	9802	118102
2021	41082	69574	4059	9973	124688
2022	46354	71956	4164	10235	132709
2023	51676	74502	4288	10403	140869

Fuente. Elaboración propia

Se aplico la siguiente ecuación para determinar el índice de crecimiento simple con datos de un registro anterior y un registro nuevo en un periodo de tiempo específico.

$$i = \left(\frac{Vn}{Vo} * 100 \right) - 100 \quad (3.1)$$

Vn = Volumen de Vehículos nuevo.

Vo = Volumen de Vehículos anteriores.

Tabla 26. Cálculo del índice de crecimiento y depuración

Registro	Índice de crecimiento	Validación
2004	8,19	SI
2005	4,98	NO
2006	10,82	SI
2007	18,35	NO
2008	16,99	NO
2009	11,31	SI
2010	9,77	SI
2011	10,98	SI
2012	9,99	SI
2013	9,61	SI
2014	10,49	SI
2015	9,89	SI
2016	9,63	SI
2017	6,78	SI
2018	6,26	SI
2019	5,33	NO
2020	3,46	NO
2021	5,58	SI
2022	6,43	SI
2023	6,15	SI
Media	9,05	
Desviación estándar	3,67	
Máximo	12,72	
Mínimo	5,38	
Media Corr.	8,79	

Fuente. Elaboración propia

En la tabla 26 se calculó el índice de crecimiento y además se depuro los datos atípicos para tener un dato más confiable del índice de crecimiento de los vehículos, para determinar volúmenes de tráfico futuro proyectado a 20 años.

3.3.5. Volúmenes de tráfico futuro

Para proyectar los volúmenes de tráfico futuro se usa el índice de crecimiento determinado anteriormente. Proyectar los volúmenes de tráfico futuro utilizando el crecimiento histórico permite planificar mejor las infraestructuras y las estrategias de gestión de tráfico en la intersección de estudio. Para esta investigación el tráfico futuro se proyectó a 20 años lo que nos da como resultado los volúmenes esperados de tráfico proyectado al año 2044.

La ecuación para calcular los volúmenes de tráfico futuros es la siguiente:

$$V_f = V_a \left(1 + \frac{i}{100}\right)^T \quad (3.2)$$

Tabla 27.Tabla de volúmenes de tráfico futuros usando el índice de crecimiento vehicular calculado

Volúmenes T = 20 años						
Acceso	Sentido de Circulación	Vehículos				Total, de Giros
		Livianos	Medianos	Pesados	Motocicletas	
Ruta F9 Acceso Sur	Giro en U	11.0	6.0	6.0	6.0	29 Veh/h
	Giro izq.	125.0	27.0	22.0	33.0	207 Veh/h
	Frente	810.0	76.0	98.0	98.0	1082 Veh/h
	Giro der.	184.0	38.0	27.0	38.0	287 Veh/h
	Total, tip. Veh.	1130	147	153	175	1605 Veh/h
Ruta F9 Acceso Norte	Giro en U	17.0	6.0	6.0	6.0	35 Veh/h
	Giro izq.	81.0	22.0	27.0	27.0	157 Veh/h
	Frente	810.0	76.0	92.0	114.0	1092 Veh/h
	Giro der.	71.0	33.0	17.0	33.0	154 Veh/h
	Total, tip. Veh.	979.0	137.0	142.0	180.0	1438 Veh/h
Entrada a Campo Pajoso	Giro en U	11.0	0.0	0.0	6.0	17 Veh/h
	Giro izq.	119.0	33.0	6.0	27.0	185 Veh/h
	Frente	54.0	17.0	6.0	38.0	115 Veh/h
	Giro der.	49.0	27.0	11.0	38.0	125 Veh/h
	Total, Tip. Veh.	233.0	77.0	23.0	109.0	442 Veh/h
Ruta D29	Giro en U	11.0	0.0	0.0	6.0	17 Veh/h
	Giro izq.	33.0	22.0	17.0	22.0	94 Veh/h
	Frente	44.0	27.0	11.0	33.0	115 Veh/h
	Giro der.	125.0	33.0	22.0	38.0	218 Veh/h
	Total, tip. veh.	213.0	82.0	50.0	99.0	444 Veh/h
Total, de vehículos		2555.0	443.0	368.0	563.0	3929 Veh/h

Fuente. Elaboración propia

Tabla 28. Distribución de Volúmenes de tráfico futuro en los accesos de la intersección.

Distribución de T = 20 Años						
Acceso	Sentido de Circulación	Vehículos				Total, de Giros
		Livianos	Medianos	Pesados	Motocicletas	
Ruta F9 Acceso Sur	Giro en U	0.69 %	0.37 %	0.37 %	0.37 %	1.81 %
	Giro Izq.	7.79 %	1.68 %	1.37 %	2.06 %	12.90 %
	Frente	50.47 %	4.74 %	6.11 %	6.11 %	67.41 %
	Giro Der.	11.46 %	2.37 %	1.68 %	2.37 %	17.88 %
	Total, Tip. Veh.	70.40 %	9.16 %	9.53 %	10.90 %	40.85 %
Ruta F9 Acceso Norte	Giro en U	1.18 %	0.42 %	0.42 %	0.42 %	2.43 %
	Giro Izq.	5.63 %	1.53 %	1.88 %	1.88 %	10.92 %
	Frente	56.33 %	5.29 %	6.40 %	7.93 %	75.94 %
	Giro Der.	4.94 %	2.29 %	1.18 %	2.29 %	10.71 %
	Total, Tip. Veh.	68.08 %	9.53 %	9.87 %	12.52 %	36.60 %
Entrada a Campo Pajoso	Giro en U	2.49 %	0.00 %	0.00 %	1.36 %	3.85 %
	Giro Izq.	26.92 %	7.47 %	1.36 %	6.11 %	41.86 %
	Frente	12.22 %	3.85 %	1.36 %	8.60 %	26.02 %
	Giro Der.	11.09 %	6.11 %	2.49 %	8.60 %	28.28 %
	Total, Tip. Veh.	52.71 %	17.42 %	5.20 %	24.66 %	11.25 %
Ruta D29	Giro en U	2.48 %	0.00 %	0.00 %	1.35 %	3.83 %
	Giro Izq.	7.43 %	4.95 %	3.83 %	4.95 %	21.17 %
	Frente	9.91 %	6.08 %	2.48 %	7.43 %	25.90 %
	Giro Der.	28.15 %	7.43 %	4.95 %	8.56 %	49.10 %
	Total, Tip. Veh.	47.97 %	18.47 %	11.26 %	22.30 %	11.30 %
Total, de vehículos		65.03 %	11.28 %	9.37 %	14.33 %	100.00 %

Fuente. Elaboración propia

3.4. Velocidad del tráfico

Como se describe en el capítulo II la velocidad instantánea es la velocidad de un vehículo que recorre un tramo en un instante dado.

Para poder calcular esta velocidad se usa como apoyo un software de análisis y modelado de video TRACKER, este software permite en un video, poder realizar el rastreo de objetos en movimiento, y una de sus herramientas es el cálculo de la velocidad de movimiento del objeto rastreado.

Para aplicar el software se planifico el siguiente trabajo de campo:

- En cada acceso se ubicó un punto donde el tramo sea recto.
- Se ubica 2 marcas visuales separadas a 10 metros, que nos sirve como referencia para calibrar en el software las dimensiones.
- En dicho punto se grabó la circulación de los vehículos de forma perpendicular a la circulación.
- El tiempo de grabación fue de 15 min en cada tramo.

El software usa la siguiente expresión para determinar la velocidad media en cada diferencial de tiempo de cada frame (fotograma por segundo) capturado en el video.

$$v_i = \frac{(x_{i+1} - x_{i-1})}{2dt} \quad (3.3)$$

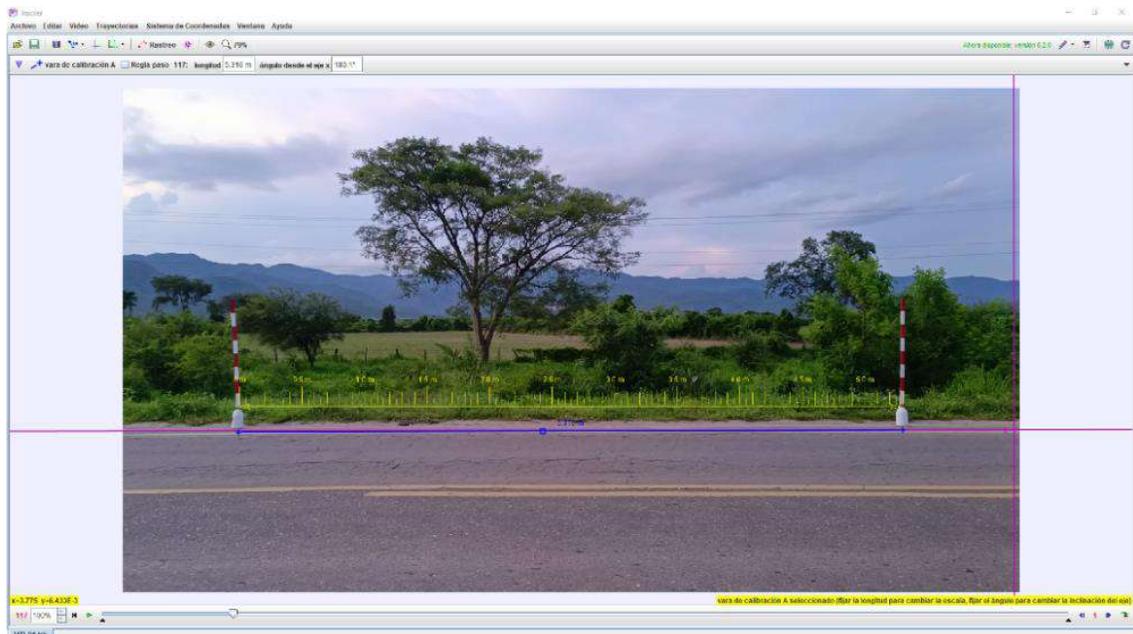
Donde:

v_i = Velocidad instantánea en el frame o paso de tiempo.

x_i = Posición del objeto rastreado.

dt = Diferencial del tiempo respecto a la posición del objeto.

Figura29. Calibración y configuración del software.

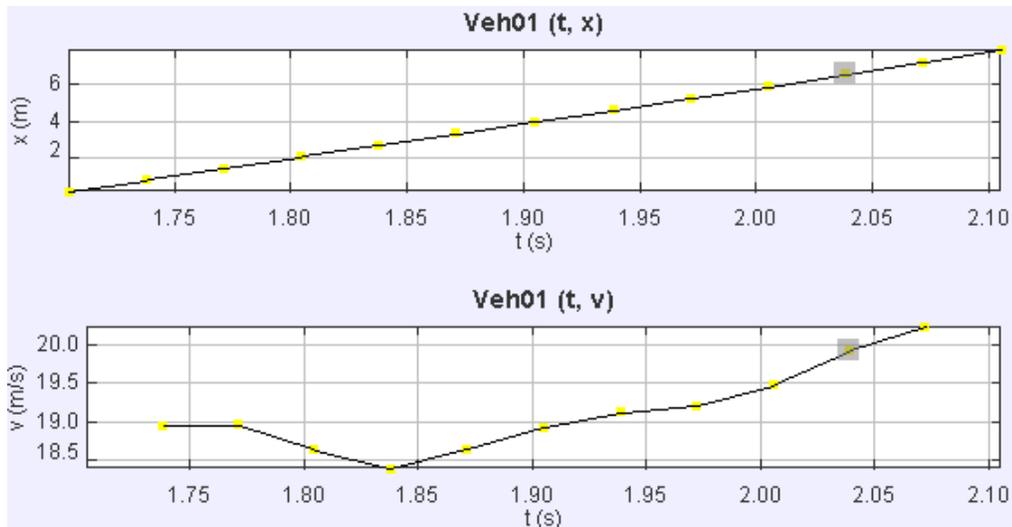


Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla de la aplicación del software TRACKER

Es importante recalcar que hay que tomar muy en cuenta la perspectiva a la hora de configurar y calibrar las dimensiones en el programa. Es por eso que en la Figura24 se observa que la separación entre las dos marcas de referencias establecidas no se calibro

con 10 m como se estableció en campo. Si no que se usa la distancia en perspectiva calculada por el medio del carril de circulación.

Figura30. Grafica posición vs tiempo veh1 Acc. Sur



Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla del software TRACKER

Figura31. Vehículo 1 analizado R9 S-N



Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla del software TRACKER, en esta captura se observa cómo se rastrea una partícula del vehículo en este caso el guiñador delantero izquierdo

En el Anexo 3 se incluye los resultados y aplicativo a mayor detalle del software.

3.4.1. Control y análisis de los datos de velocidad

Con el fin de obtener datos confiables de la velocidad de cada vehículo se procedió a depurar las lecturas de velocidades de cada uno de los vehículos y obtener su velocidad

media, ya que el programa TRACKER nos entrega una serie de datos de velocidad en cada instante de tiempo respecto al desplazamiento que registra en el análisis del recorrido del vehículo.

Tabla 29.Depuración de datos de velocidad

Veh01 R9 - SN			
xi (m)	dt (s)	vi (m/s)	Depuración
1.704	0.243		
1.738	0.874	18.945	SI
1.771	1.506	18.958	SI
1.804	2.136	18.637	SI
1.838	2.748	18.397	NO
1.871	3.365	18.647	SI
1.905	4.000	18.932	SI
1.939	4.641	19.126	SI
1.972	5.283	19.213	SI
2.005	5.924	19.476	SI
2.039	6.581	19.925	NO
2.072	7.249	20.240	NO
2.105	7.931		
Media		19.14	
Desviación Estándar		0.53	
Máximo		19.67	
Mínimo		18.60	
Media Corregida		18.99	68.4 km/h

Fuente. Elaboración propia, se observa al final el resultado de la velocidad media del vehículo en km/h

Luego de depurar y obtener la velocidad media de cada vehículo se procedió a construir una curva de velocidad de distribución normal agrupada para poder así tener una distribución de velocidades en cada acceso y no así una sola velocidad media que se aplique a todos los vehículos.

Con esto conseguimos replicar una aleatoriedad de velocidad en el modelo que se desea construir para las simulaciones.

Tabla 30. Velocidades de vehículos en el Acceso Sur

Vehículo	Velocidad (Km/h)
Veh01	68,4
Veh02	49,9
Veh03	41,6
Veh04	44,9
Veh05	105,3
Veh06	60,7
Veh07	41,6
Veh08	69,7
Veh09	47,4
Veh10	51,6
Veh11	49,1
Veh12	43,7
Veh13	40,1
Veh14	43,7
Veh15	49,6
Media	53,8
Desviación Estándar	16,40
Máximo	70,2
Mínimo	37,4

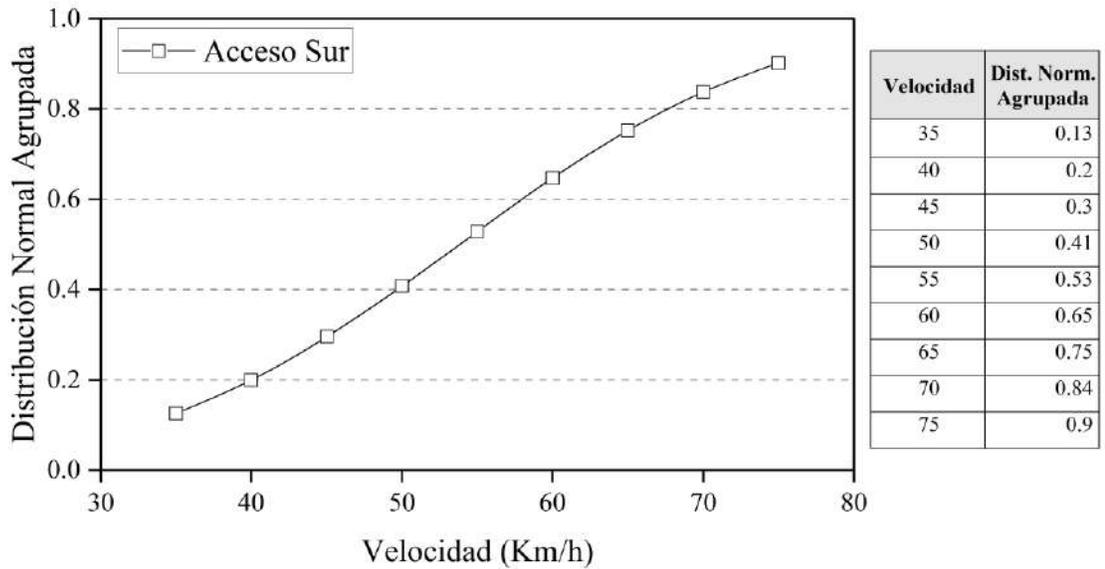
Fuente. Elaboración propia

Como se observa en la tabla anterior se calculó los límites máximo y mínimo de la distribución de las velocidades de todos los vehículos registrados.

Posteriormente tomando como referencia los límites mínimo y máximo definimos las marcas de clase para poder aplicar una distribución normal acumulada de los datos y posteriormente construir nuestra curva de distribución normal acumulada de las velocidades de los vehículos para cada acceso de la intersección de la ruta F9 con la ruta D29.

Es importante recalcar que no se tomó como referencia exacta los límites sino más bien el valor inmediato inferior múltiplo de 5 del límite mínimo y el valor inmediato superior múltiplo de 5 del límite máximo, y la distribución se la aplico usando los múltiplos de 5 dentro del rango establecido.

Gráfico 5. Curva de distribución normal acumulada de la velocidad, Acceso Sur



Fuente. Elaboración propia

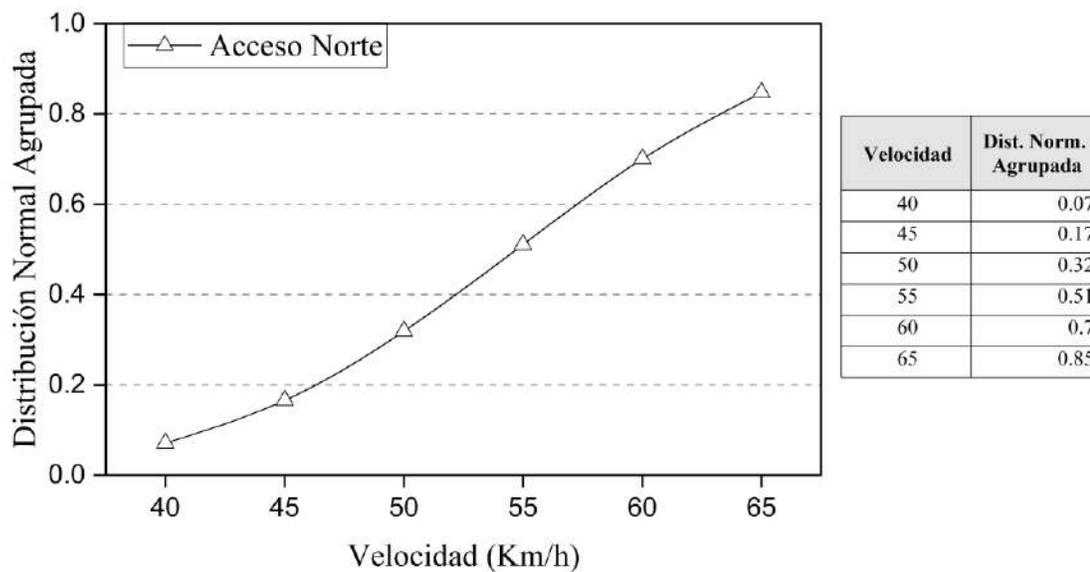
Esta curva es muy importante para la introducción de datos en el software, ya que podemos incluir la curva en el software para recrear una simulación más realista.

Tabla 31. Velocidades de vehículos en el Acceso Norte

Vehículo	Velocidad (Km/h)
Veh01	67,8
Veh02	37,1
Veh03	59,9
Veh04	53,5
Veh05	55,3
Veh06	68,7
Veh07	55,2
Veh08	58,7
Veh09	53,9
Veh10	56,1
Veh11	56,0
Veh12	32,8
Veh13	45,6
Veh14	65,5
Media	54,7
Desviación estándar	10,02
Máximo	64,7
Mínimo	44,7
Media Corregida	54,9

Fuente. Elaboración propia

Gráfico 6. Curva de distribución normal acumulada de la velocidad, Acceso Norte



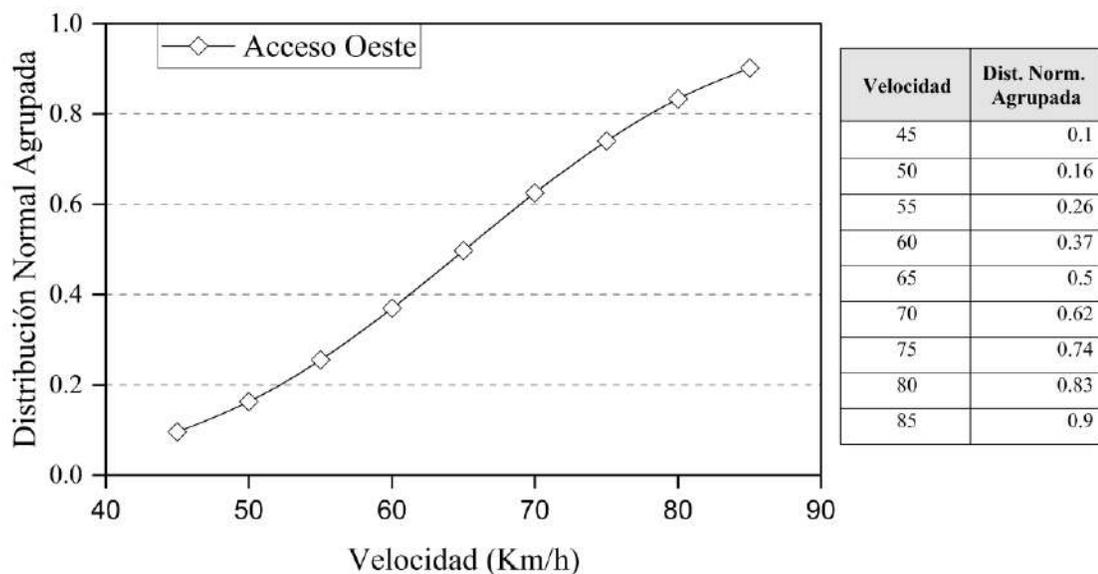
Fuente. Elaboración propia

Tabla 32. Velocidades de vehículos en el Acceso Oeste

Vehículo	Velocidad (Km/h)
Veh01	82,7
Veh02	70,3
Veh03	87,3
Veh04	47,0
Veh05	44,4
Veh06	65,1
Veh07	44,3
Veh08	71,3
Veh09	73,6
Media	65,1
Desviación estándar	15,38
Máximo	80,5
Mínimo	49,7
Media Corregida	70,1

Fuente. Elaboración propia

Gráfico 7. Curva de distribución normal acumulada de la velocidad, Acceso Oeste



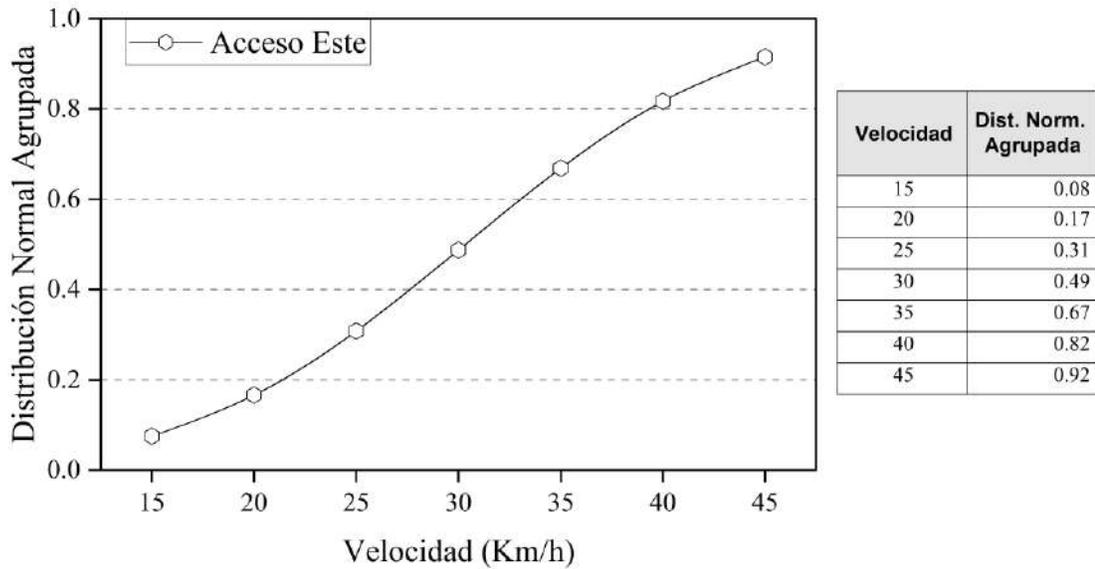
Fuente. Elaboración propia

Tabla 33. Velocidades de vehículos en el Acceso Este

Vehículo	V (Km/h)
Veh01	33,7
Veh02	37,9
Veh03	16,2
Veh04	18,1
Veh05	25,0
Veh06	28,6
Veh07	55,3
Veh08	24,3
Veh09	24,9
Veh10	43,8
Veh11	44,2
Veh12	24,4
Veh13	18,7
Veh14	33,6
Veh15	26,4
Media	30,3
Desviación estándar	10,68
Máximo	41,0
Mínimo	19,7
Media Corregida	28,8

Fuente. Elaboración propia

Gráfico 8. Curva de distribución normal acumulada de la velocidad, Acceso Este



Fuente. Elaboración propia

3.5. Fotogrametría

Para realizar esta actividad se contrató un profesional en el manejo de drones, que tenga el dron adecuado para la fotogrametría.

El dron que se usó fue el DJI Phantom 4 que cuenta con sistema de posicionamiento global (GPS)/GLONASS que tiene una precisión vertical: ± 0.1 m (con posicionamiento visual) y ± 0.5 m (con posicionamiento GPS); y en horizontal: ± 0.3 m (con posicionamiento visual) y ± 1.5 m (con posicionamiento GPS). Este dron por sus características es uno de los más usado en la fotogrametría y por tal motivo el que se decidió usarlo para recopilar las fotos de fotogrametría de la intersección.

Figura32. Dron DJI Phantom 4 preparado para el despegue de su misión de vuelo.



Fuente. Elaboración propia

Para iniciar la misión de vuelo es necesario realizar un plan de vuelo previamente elaborado con la aplicación de DroneDeploy. Este plan de vuelo fue elaborado por el piloto de dron, que además considero factores ambientales para realizar la misión de vuelo en la intersección.

3.5.1.1. Elaboración del modelo digital del terreno

Para elaborar el modelo digital del terreno es necesario usar un software que nos permita procesar las imágenes capturadas por el dron en la misión de vuelo. Para este proceso se decidió usar el software Agisoft Metashape ya que es un software muy intuitivo a la hora de usar y presenta excelentes resultados en el proceso de las imágenes capturadas por un dron.

En el Anexo 4 se incluye las fotos capturadas por el dron

Figura33. Validación de georreferenciación y traslape de las imágenes.

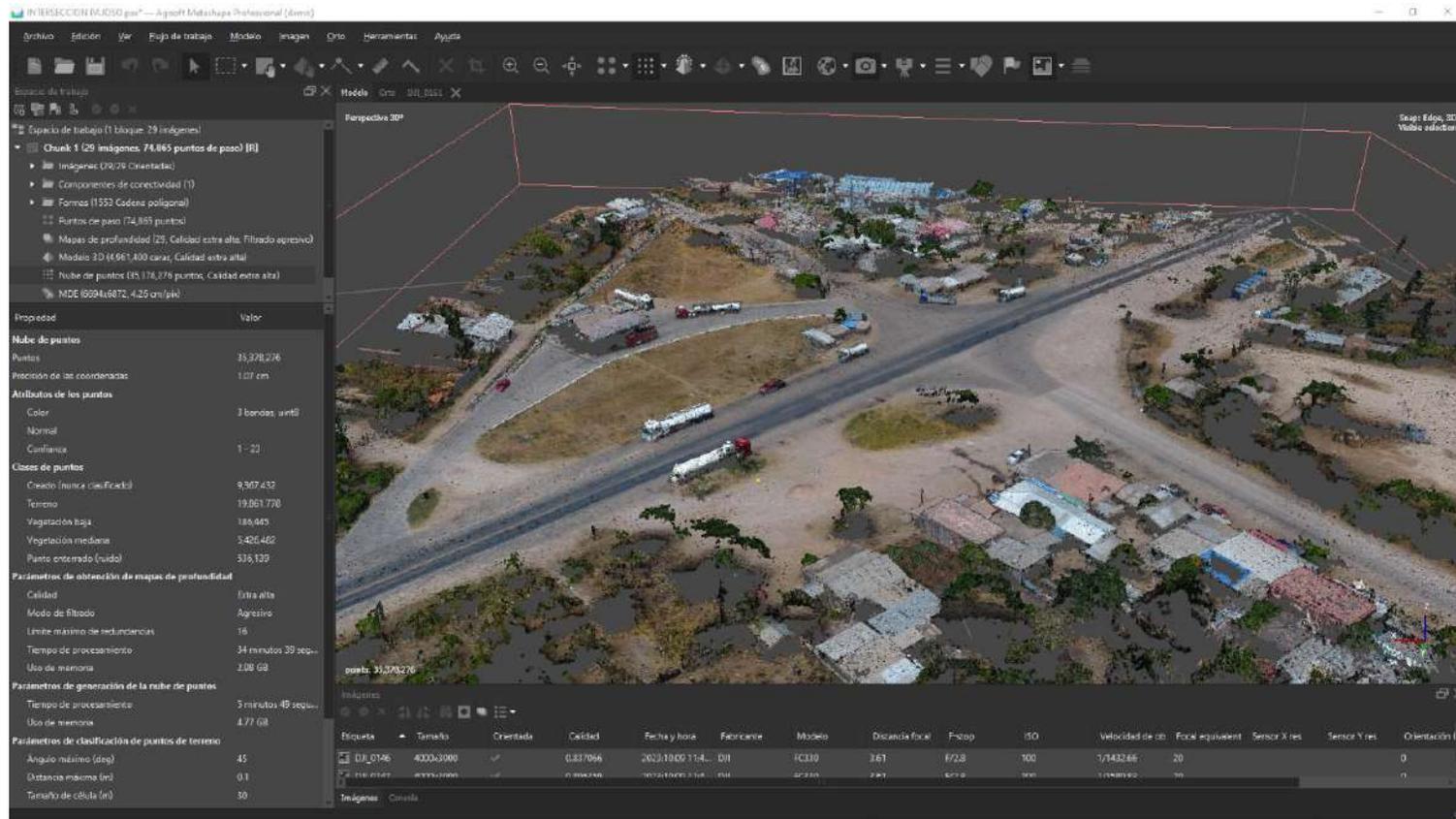
The screenshot shows the 'Imágenes' (Images) panel in Agisoft Metashape. It displays a list of 29 images with their respective properties. The table below represents the data shown in the screenshot.

Etiqueta	Tamaño	Orientada	Calidad	Fecha y hora	Fabricante	Modelo	Distancia focal	Fstrop	ISO	Velocidad de ob.	Focal equivalent	Sensor X res	Sensor Y res	Orientación [°]
DJI_0146	4000x3000	✓	0.837056	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1432.66	20			0
DJI_0147	4000x3000	✓	0.806239	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1589.89	20			0
DJI_0148	4000x3000	✓	0.79855	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1669.45	20			0
DJI_0149	4000x3000	✓	0.755869	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1552.21	20			0
DJI_0150	4000x3000	✓	0.74579	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1394.7	20			0
DJI_0151	4000x3000	✓	0.741032	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1440.02	20			0
DJI_0152	4000x3000	✓	0.774558	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1522.07	20			0
DJI_0153	4000x3000	✓	0.730963	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1538.46	20			0
DJI_0154	4000x3000	✓	0.727416	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1589.03	20			0
DJI_0155	4000x3000	✓	0.766748	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1686.34	20			0
DJI_0156	4000x3000	✓	0.777719	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1760.56	20			0
DJI_0157	4000x3000	✓	0.797036	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1838.24	20			0
DJI_0158	4000x3000	✓	0.814537	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1751.31	20			0
DJI_0159	4000x3000	✓	0.806728	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1751.31	20			0
DJI_0160	4000x3000	✓	0.76324	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1320.02	20			0
DJI_0161	4000x3000	✓	0.767491	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1572.33	20			0
DJI_0162	4000x3000	✓	0.761116	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1798.56	20			0
DJI_0163	4000x3000	✓	0.732778	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1760.56	20			0
DJI_0164	4000x3000	✓	0.725848	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1669.45	20			0
DJI_0165	4000x3000	✓	0.720722	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1668.34	20			0
DJI_0166	4000x3000	✓	0.77965	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1669.45	20			0
DJI_0167	4000x3000	✓	0.766976	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1603.14	20			0
DJI_0168	4000x3000	✓	0.790862	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1545.6	20			0
DJI_0169	4000x3000	✓	0.780074	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1449.28	20			0
DJI_0170	4000x3000	✓	0.753562	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1538.46	20			0
DJI_0171	4000x3000	✓	0.763084	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1549.8	20			0
DJI_0172	4000x3000	✓	0.766132	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1464.13	20			0
DJI_0173	4000x3000	✓	0.754906	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1418.44	20			0
DJI_0174	4000x3000	✓	0.751423	2023:10:09 11:4...	DJI	FC330	3.61	F/2.8	100	1/1366.12	20			0

Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla del proceso realizado en el software Agisoft Metashape

En la Figura33 se observa el procedimiento de validación de una correcta georreferenciación de las imágenes capturadas con el dron, además de verificar que exista un traslape de imagen a imagen superior al 0.7 de calidad como se recomienda en las teorías consultadas.

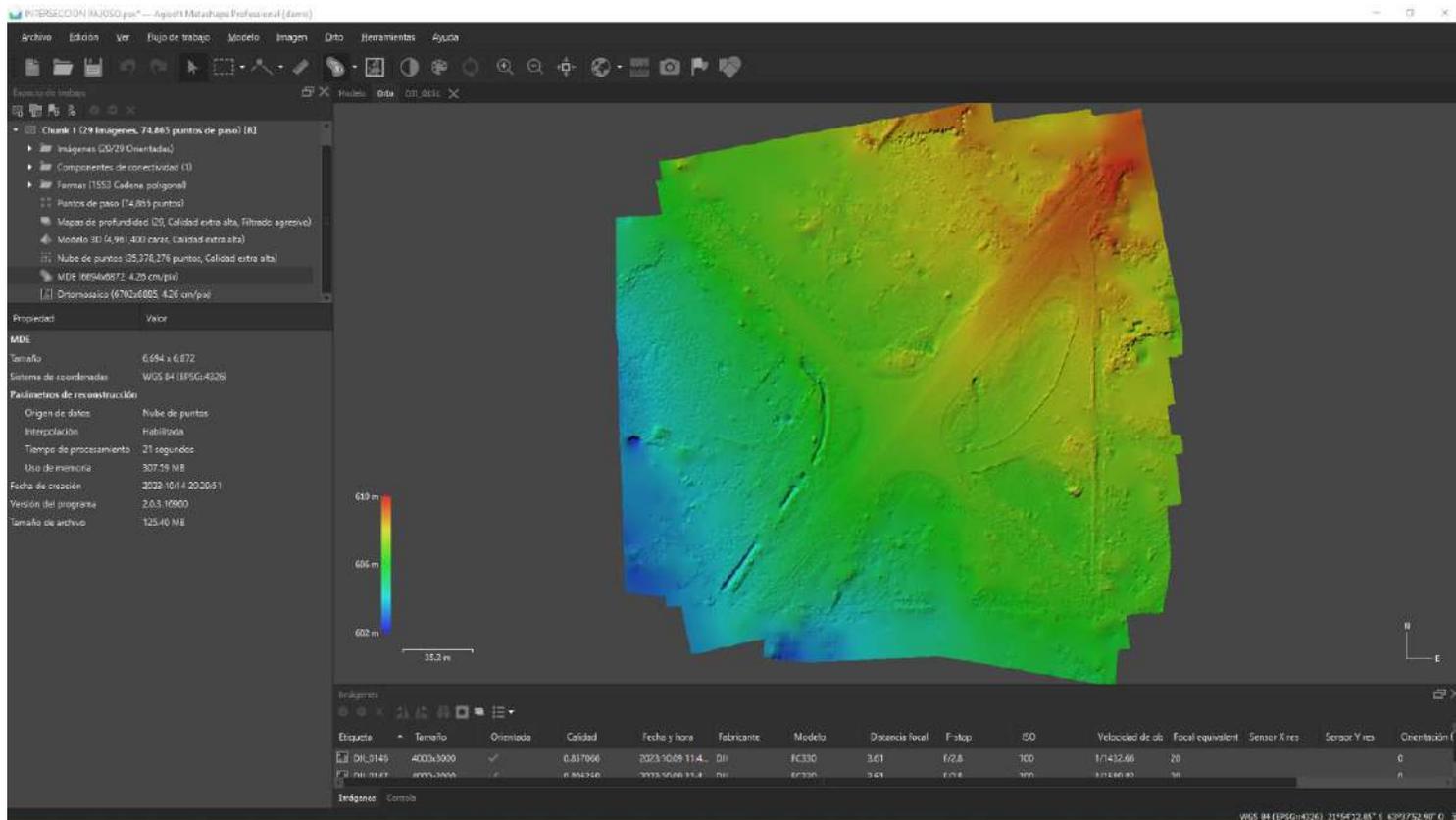
Figura34. Nube de puntos densa



Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla del proceso realizado en el software Agisoft Metashape

El siguiente paso fue la obtención de la nube puntos densa donde se procesó cada pixel de las fotografías para asignarles una elevación de acuerdo a criterios de iluminación que utiliza el software para realizar este proceso en la figura 34 se observa el resultado.

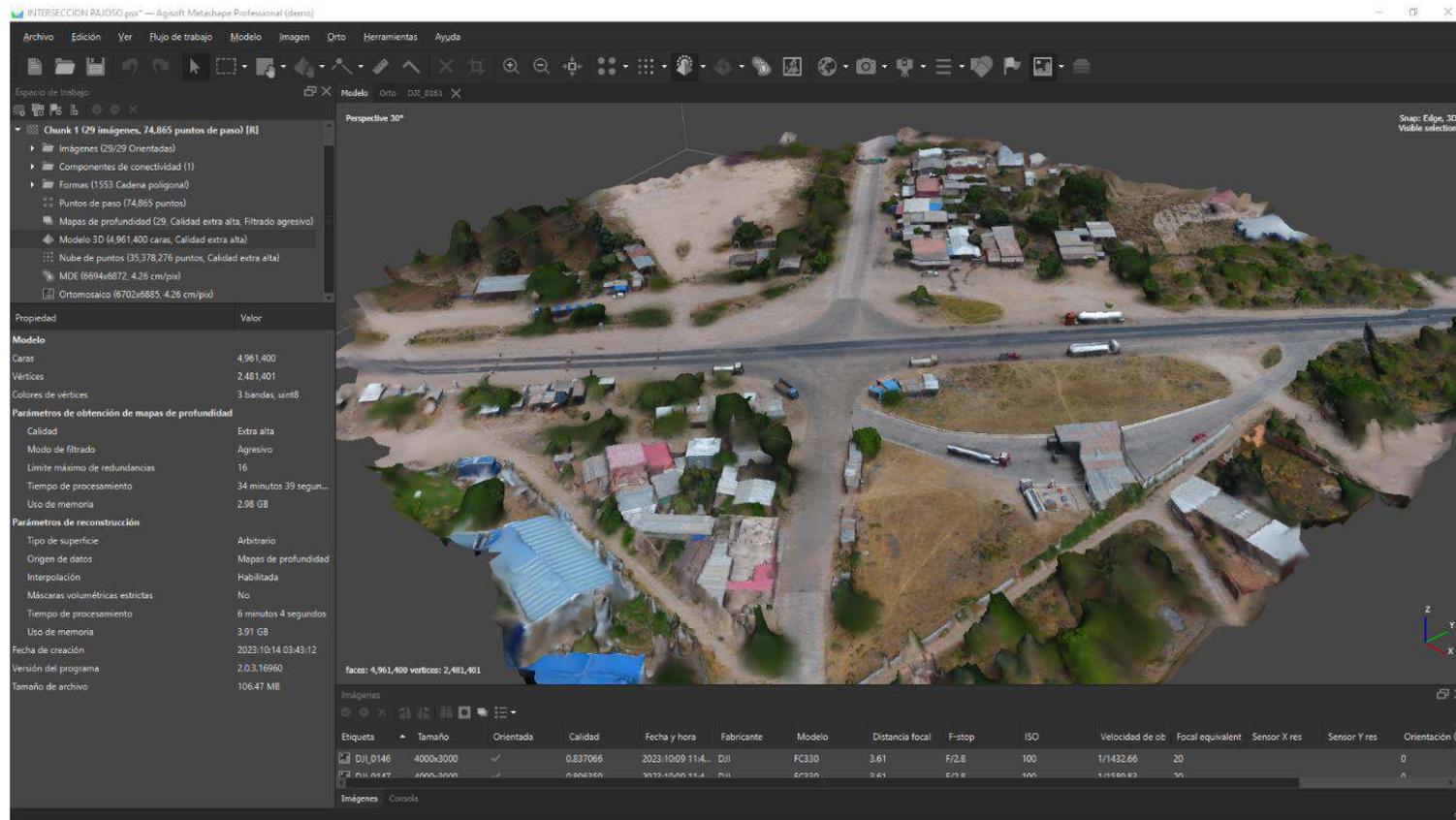
Figura35. Modelo digital del terreno (MDT)



Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla del proceso realizado en el software Agisoft Metashape

Para elaborar el modelo digital del terreno es preciso primero realizar un filtrado de la nube de puntos todos los puntos que no pertenezcan al terreno natural, en este paso se filtra los pixeles que no correspondan al terreno natural como ser los árboles, cables, techos de viviendas, vehículos, etc. El resultado de este proceso se muestra en la figura 35.

Figura36. Modelo 3D de la intersección



Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla del proceso realizado en el software Agisoft Metashape

Un último producto resultante es el modelo 3D de toda la intersección para usos de visualización de la zona a estudiar y tener una mayor comprensión de la zona.

3.6. Tiempo de recorrido

Con el fin de poder calibrar el comportamiento de conducción del conductor en la intersección se realizó la toma de datos del tiempo de recorrido que realizan los vehículos cuando circulan en un tramo de 130 metros en la intersección específicamente en la ruta F9 donde se registró los vehículos que circulaban de norte a sur.

Figura37. Ilustración del recorrido que se analizó en la intersección.



Fuente. Elaboración propia

Se ubico en el inicio del recorrido un cronometro, operado por una persona que cuando circule un vehículo por su punto inicie el cronometro y en el fin de recorrido se ubicó otra persona que controle el paso del vehículo por su punto de control y dar el aviso al que controla el cronometro que lo detenga. Y de esta manera conseguimos tomar los datos del tiempo de recorrido para la calibración el comportamiento de conductor que se usara en el software.

3.6.1. Tiempo de recorrido promedio de los vehículos

Para la calibración del modelo debemos determinar el tiempo de recorrido promedio de los datos registrados del tramo seleccionado. A continuación, se presenta los datos registrados en campo del tiempo de recorrido además de la determinación de la media aritmética de los datos o Tiempo Promedio de Recorrido.

Tabla 34. Tiempos de recorridos de campo.

TIPO	TIEMPO (s)
PESADO	15.06
MEDIANO	12.52
LIVIANO	10.53
PESADO	11.29
LIVIANO	15.01
MOTO	9.75
LIVIANO	10.71
LIVIANO	12.67
MEDIANO	12.96
PESADO	8.6
LIVIANO	16.3
MEDIANO	8.44
MOTO	14.53
MOTO	10.97
MEDIANO	9.5
LIVIANO	11.61
LIVIANO	7.48
LIVIANO	11.81
LIVIANO	11.98
LIVIANO	7.73
LIVIANO	11
LIVIANO	13.05
LIVIANO	11.26
MEDIANO	10.24
MEDIANO	11.26
LIVIANO	10.47
LIVIANO	12.58
MOTO	7.61
MEDIANO	13.14
MOTO	16.87
LIVIANO	11.71
MOTO	8.59
LIVIANO	8.9
Media	11.40
Desviación Estándar	2.38

Fuente. Elaboración propia

Como observamos obtenemos una media de 11.40 segundos con una desviación estándar de 2.38 segundos, esta media se pondrá a comparación con los datos que nos entregue la simulación de la intersección actual, con el tráfico aforado para realizar la

calibración del modelo de seguimiento de comportamiento del conductor en el software Vissim.

3.7. Geometría de la intersección actual

La construcción de la geometría actual de la intersección se realizó en el software de CIVIL 3D con el uso de la ortofoto generada del vuelo del dron para determinar los anchos de carriles radios de giros, anchos de bermas y sobrecanchos en la intersección.

Figura38. Geometría Actual de la Intersección Ruta F9 con la Ruta D29



Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla del plano elaborado en Civil 3D

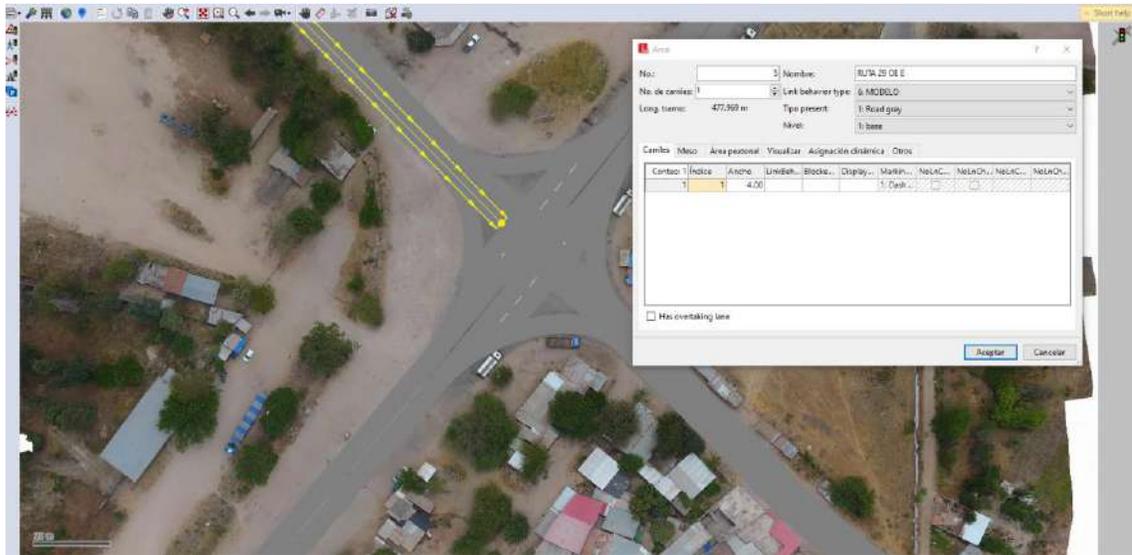
3.8. Modelado de la intersección actual en PTV VISSIM

Con los datos de campo ya procesados el siguiente paso es construir el modelo de la intersección y calibrar el modelo de comportamiento del conductor utilizando el tiempo de recorrido promedio de los vehículos calculados anteriormente.

3.8.1. Geometría

El primer paso es construir la geometría de la intersección utilizando los links y conectores del programa que representan los carriles, para lo cual se usó los datos de geometría anteriormente construida de la intersección.

Figura39. Modelado de la geometría de la intersección en el software.



Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla del proceso realizado en VISSIM

3.8.2. Composición de vehículos

La composición de vehículos es definir los tipos de vehículos, la velocidad deseada de los vehículos y la distribución de los tipos de vehículos.

Como la intersección tiene 4 accesos se debe elaborar cuatro composiciones con sus respectivos tipos de vehículos, velocidad y distribución de los vehículos.

Figura40. Composición de vehículos para los accesos.

Conteo	No	Nom
1	3	RUTA 9 SN
2	4	RUTA 9 NS
3	5	RUTA 29
4	6	ENTRADA A PAJOSO

Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla del proceso realizado en VISSIM

Para esta investigación se clasifico los vehículos en 4 grupos; motos, livianos, medianos y pesados. Esta clasificación la usamos dentro del programa para definir los tipos de vehículos que van a representarse en el modelo.

Figura41. Recuadro de elaboración de los tipos de vehículos

The image shows two windows from the VISSIM software. The left window, titled 'Vehicle Types', contains a table with the following data:

Conteo:	No	Nom	Categoría	Model2D3DDistr	ColorDistr1	OccupDistr	Capacity
1	100	Automóvil	Bike	10: Automóvil	1: Predeterminado	1: Single Occupancy	5
2	190	LGV	Car	19: LGV	1: Predeterminado	1: Single Occupancy	2
3	200	HGV	HGV	20: HGV	1: Predeterminado	1: Single Occupancy	2
4	300	Bus	Bus	30: Bus	1: Predeterminado	1: Single Occupancy	110
5	400	Tranvía	Tram	40: Tranvía	1: Predeterminado	1: Single Occupancy	215
6	510	Man	Pedestrian	100: Man	101: Shirt Man		0
7	520	Woman	Pedestrian	200: Woman	201: Shirt Woman		0
8	610	Hombre en Bicicleta	Bike	61: Hombre en Bicicleta	101: Shirt Man		0
9	620	Mujer en Bicicleta	Bike	62: Mujer en Bicicleta	201: Shirt Woman		0
10	630	MOTOS	Bike	400: MOTOS	1: Predeterminado		2
11	640	LIVIANOS	Car	500: LIVIANOS	1: Predeterminado	1: Single Occupancy	8
12	650	MEDIANOS	Bus	600: MEDIANOS	1: Predeterminado	1: Single Occupancy	50
13	660	PESADOS	HGV	700: PESADOS	1: Predeterminado		5

The right window, titled 'Tipo de vehículo', shows configuration for vehicle number 660, named 'PESADOS'. It includes settings for acceleration, deceleration, weight, power, and occupancy, all set to '2: HGV' or '11: HGV (deduced from function for cars with plausib...)'.

Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla del proceso realizado en VISSIM

Luego se crean las curvas de distribución normal agrupada de velocidad para los vehículos de cada acceso, estas curvas fueron determinadas con anterioridad en el apartado 3.5.

Figura42. Recuadro de distribución de velocidades para los accesos.

The image shows two windows from the VISSIM software. The left window, titled 'Desired Speed Distributions / Data points', contains a table with the following data:

Conteo:	No	Nom	LowerBound	UpperBound
21	1004	3.60 km/h (1.00 m/s) ±	3.10	4.10
22	1005	3.96 km/h (1.10 m/s) ±	3.46	4.46
23	1007	4.32 km/h (1.20 m/s) ±	3.82	4.82
24	1008	4.75 km/h (1.32 m/s) ±	3.35	6.15
25	1009	4.93 km/h (1.37 m/s) ±	3.48	6.38
26	1010	5.51 km/h (1.53 m/s) ±	3.89	7.13
27	1020	IMO-M <30	4.00	6.66
28	1021	IMO-F <30	3.35	5.58
29	1022	IMO-M 30-50	2.49	5.83
30	1023	IMO-F 30-50	2.56	4.28
31	1024	IMO-M >50	3.02	5.04
32	1025	IMO-F >50	2.02	3.38
33	1026	IMO-M MI1	2.30	3.82
34	1027	IMO-F MI1	1.55	2.56
35	1028	IMO-M MI2	1.98	3.28
36	1029	IMO-F MI2	1.33	2.20
37	1040	Fruin 1	2.11	6.62
38	1041	Fruin 2	2.11	6.62
39	1042	Praet-Milinski	0.00	8.10
40	1043	Stairs Kretz 1	0.72	4.68
41	1044	Stairs Kretz 2	0.36	4.14
42	1045	En Aeropuertos - S.B. Young	3.30	8.23
43	1046	On Moving Walkways - S.B. Young	0.00	8.23
44	1047	RUTA 9 SN	30.00	80.00
45	1048	RUTA 9 NS	35.00	75.00
46	1049	RUTA 29	40.00	90.00
47	1050	ENTRADA A PAJOSO	10.00	50.00
48	1051	BACHE	10.00	20.00

The right window, titled 'Distribución de velocidad deseada', shows configuration for vehicle number 1047, named 'RUTA 9 SN'. It includes settings for lower and upper limits (30.00 km/h and 80.00 km/h) and a graph of the cumulative distribution function.

Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla del proceso realizado en VISSIM

Por último, se ingresa la distribución de tipos de vehículo respecto al volumen de vehículos que ingresan a cada acceso, estas distribuciones se pueden observar en la Tabla 23 en este caso para el tráfico actual.

Figura43. Distribución de tipos de vehículos respecto al volumen.

Vehicle Compositions / Relative flows			
Conteo: 4	No	Nom	
1	3	RUTA 9 SN	
2	4	RUTA 9 NS	
3	5	RUTA 29	
4	6	ENTRADA A PAJOSO	

Conteo: 4	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	630: MOTOS	1047: RUTA 9 SN	0.116
2	640: LIVIANOS	1047: RUTA 9 SN	0.695
3	650: MEDIANOS	1047: RUTA 9 SN	0.092
4	660: PESADOS	1047: RUTA 9 SN	0.096

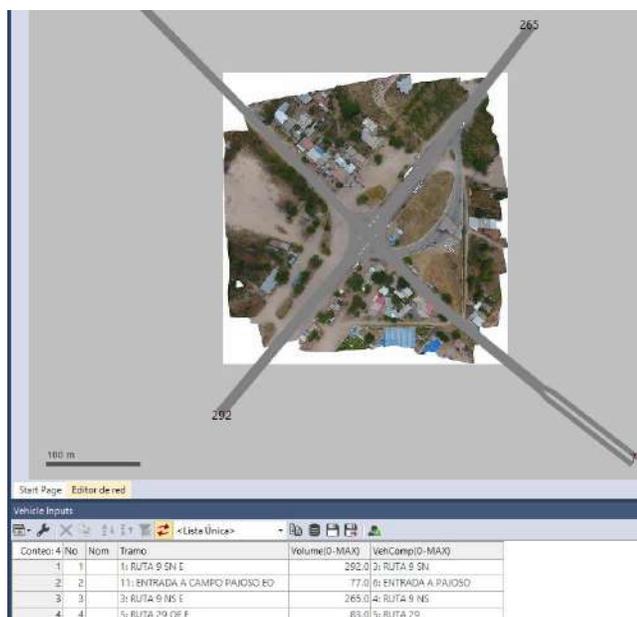
Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla del proceso realizado en VISSIM

En la Figura43 se observa el resultado final de la composición de vehículos para el acceso de la Ruta F9 SN, donde se ve la distribución de los 4 tipos de vehículos y la velocidad deseada elaborada para el acceso.

3.8.3. Entradas de vehículos

La entrada de vehículos es el ingreso de los volúmenes por hora de vehículos para cada acceso para lo cual se usaron los volúmenes del tráfico actual determinados en la tabla 22, la entrada de vehículos se establece por lo general al inicio del tramo del acceso.

Figura44. Entrada de volúmenes de vehículos en el modelo.



Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla del proceso realizado en VISSIM

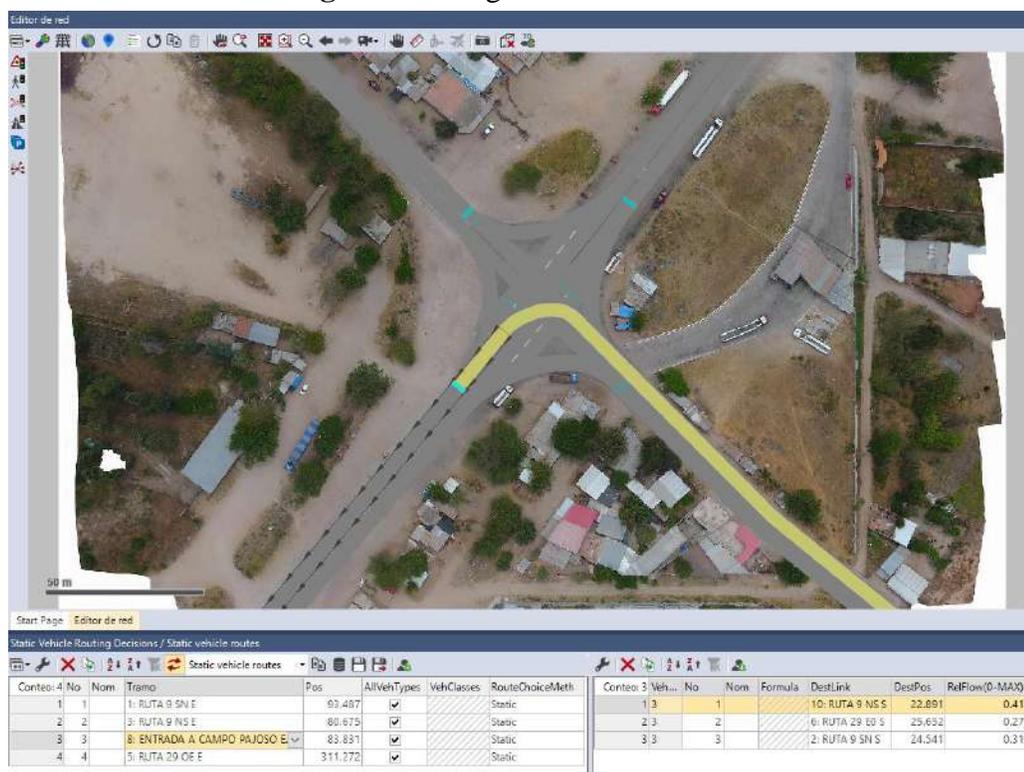
3.8.4. Asignación de rutas

En Vissim la asignación de rutas es definir la circulación de los vehículos, es decir asignar los giros que van a realizar los vehículos.

Además, se define el porcentaje de vehículos que seguirán las rutas definidas respecto a la entrada de vehículos, en este caso la entrada de volúmenes de vehículos de cada acceso.

Se recomienda que siempre el inicio de decisiones para seguir rutas o giros sean a suficiente distancia de los giros como mínimo 100 metros. De esta manera el vehículo podrá ir cambiando de carriles o desacelerando con antelación y no de manera abrupta.

Figura45. Asignación de rutas.



Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla del proceso realizado en VISSIM

En la columna RealFlow es donde se ingresa la distribución de vehículos para esa ruta respecto al volumen que ingresa. Estos datos de distribución se encuentran en la Tabla 23.

3.8.5. Áreas de conflicto y prioridades de paso

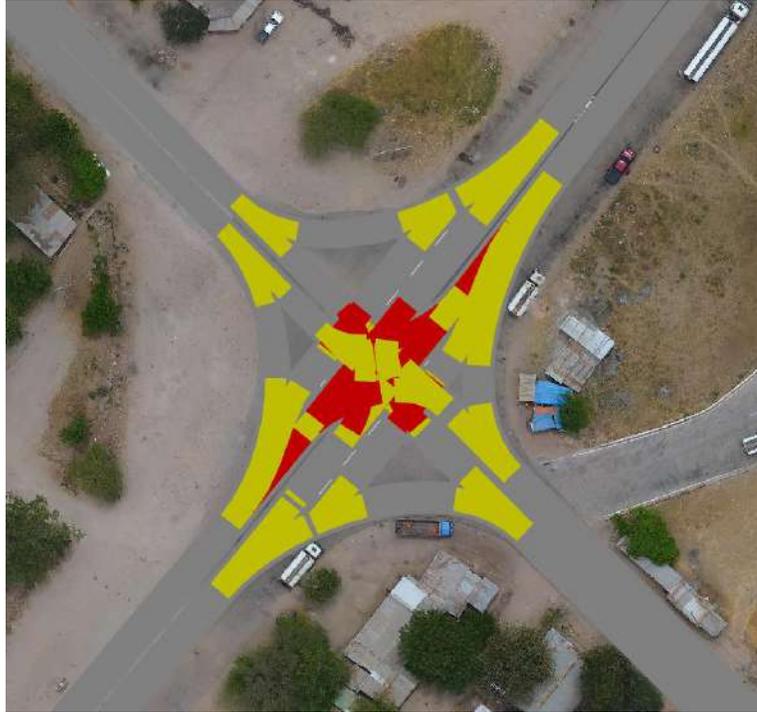
Las áreas de conflicto se generan entre los links y conectores que se traslapan, estas áreas de conflictos se generan automáticamente, las áreas de conflicto nos permiten dar prioridad de paso a una ruta dependiendo a criterios que establezcamos.

Las reglas de prioridad son similares a las áreas de conflicto, que nos permite generar condiciones de servidumbre de paso en los links y conectores, la diferencia es que

con las prioridades de paso podemos controlar más a detalle las condiciones de paso en las áreas de conflicto que se necesiten.

En el modelo se usó ambas opciones ya que solo usar la opción de áreas de conflictos en ciertos sectores no genera de forma adecuada la circulación de los vehículos.

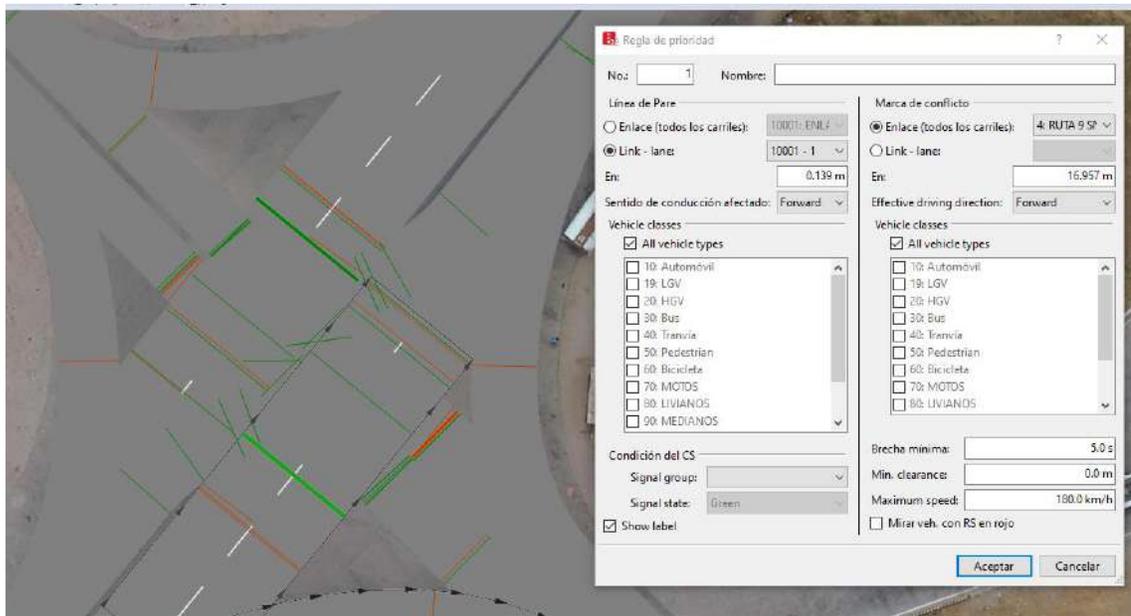
Figura46. Áreas de conflictos en la intersección.



Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla del proceso realizado en VISSIM

En la figura46 las áreas de conflicto pintadas de amarillo son de interacción pasiva donde ningún vehículo tiene prioridad de paso y las de color rojo son de interacción indeterminada donde el vehículo que ingrese primero al área de conflicto tiene la prioridad.

Figura47. Reglas de prioridad



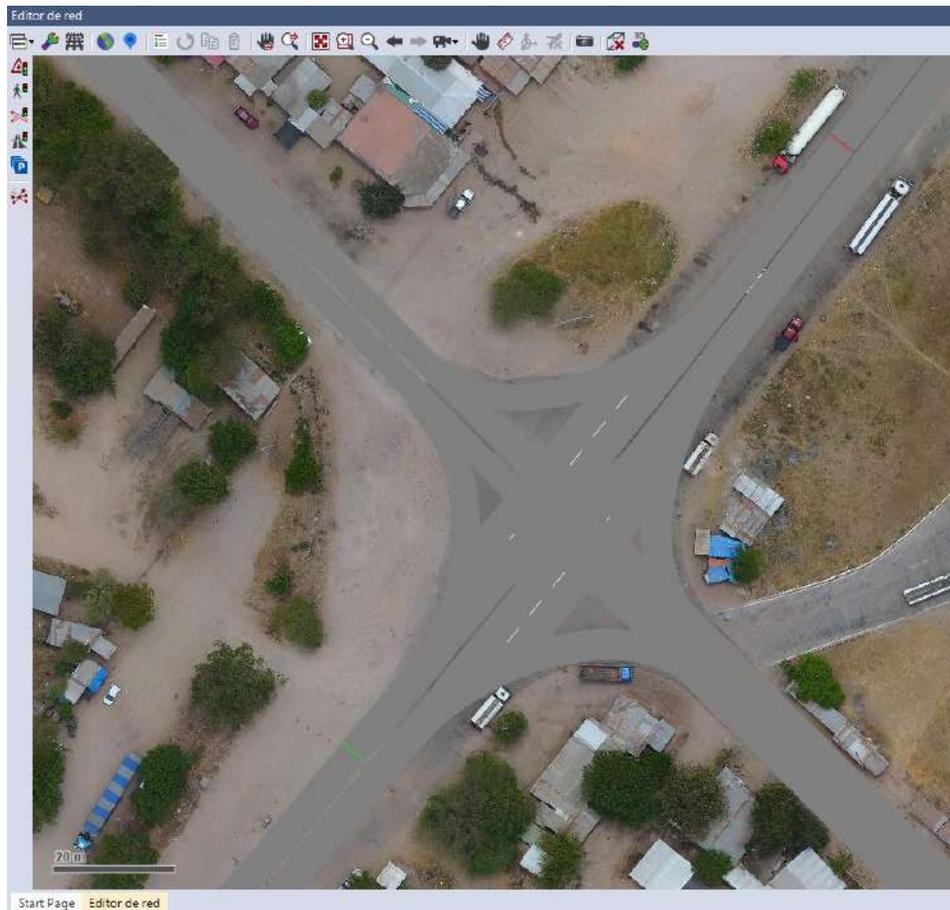
Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla del proceso realizado en VISSIM

En la figura47 se observa las prioridades de paso, además el cuadro que se usa para definir las, las líneas naranjas son las líneas de pare y las verdes son marcas de conflicto, si un vehículo se acerca a las líneas de pare y otro vehículo circula por las marcas de conflicto el vehículo en la línea de pare se detendrá por un lapso de tiempo que se establece en la brecha mínima, la brecha mínima es el tiempo que se supone que el vehículo tardara en despejar la ruta en las marcas de conflictos.

3.8.6. Tramo de análisis de tiempo de recorrido

En el modelo debemos ubicar el tramo de análisis del tiempo de recorrido para comparar con los datos obtenido de campo, este tramo de campo se tiene que es de 130 metros por lo cual en el modelo replicamos esta distancia de recorrido.

Figura48. Tramo de análisis para tiempo de recorrido.



Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla del proceso realizado en VISSIM

3.9. Calibración del modelo de comportamiento del conductor

En Vissim se tiene 2 modelos de comportamiento de conductor el Wiedemann 74 y el Wiedemann 99. El Modelo W. 74 está recomendado para condiciones urbanas y el Modelo W. 99 está recomendado para manejos en carreteras.

Para esta tesis usaremos el Modelo Wiedemann 99 ya que se ajusta más a las condiciones de la intersección. Este modelo cuenta de 10 parámetros utilizados en el cálculo de los umbrales entre vehículos, los detalles de estos parámetros se muestran en la Tabla35.

Tabla 35.Parámetros de la implementación del modelo Wiedemann 99.

Nom.	Unid.	Valor por defecto	Tipo de acción	Observaciones
CC0	m	1.5	Separación en detención	Distancia de seguridad entre parachoques
CC1	s	0.9	Intervalo de separación	$dx_safe = CC0 + v * CC1$
CC2	m	4	Variación de seguimiento	Restringe la oscilación longitudinal durante el seguimiento
CC3		-0.8	Umbral para iniciar el seguimiento	Controla el comienzo del proceso de desaceleración
CC4		-0.35	Umbral de Seguimiento (-)	Regulan diferencias de velocidad durante el estado de seguimiento. Se recomienda que tengan el mismo valor absoluto
CC5		0.35	Umbral de Seguimiento (+)	
CC6		11.44	Dependencia de la oscilación de velocidad	Influencia de la distancia en la oscilación de velocidad durante el proceso de seguimiento
CC7	m/s ²	0.25	Aceleración de oscilación	Aceleración real durante el proceso de oscilación
CC8	m/s ²	3.5	Aceleración desde detención	Aceleración deseada cuando se arranca desde la detención del vehículo
CC9	m/s ²	1.5	Aceleración a 80 km/h	Aceleración deseada circulando a 80 km/h

Fuente. Adaptado de Caceres, A., & Galarraga, J. (2015, November). *CALIBRACION DEL MODELO DE SEGUIMIENTO DE VISSIM EN CARRETERAS MULTICARRIL URUGUAY*. XXIX CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTE DA ANPET OURO PRETO, 9 a 13 DE NOVEMBRO DE 2015, Brazil.

Basándonos en las conclusiones obtenidas del artículo *Calibración del modelo de seguimiento de VISSIM en carreteras multicarril URUGUAY*, los autores definieron que el parámetro CC1 es el parámetro principal para lograr el ajuste de calibración y quedando el parámetro CC7 en segundo orden de importancia.

Los demás parámetros los autores definieron como no relevante en la calibración del modelo y se recomienda que los demás parámetros se mantengan por defectos.

Tabla 36. Resultados de tiempos de recorridos con distintos valores de CC1 y CC7 en Vissim

Nº de Sim.	CC0 (m)	CC1 (s)	CC7 (m/s ²)	T (s)
1	1.5	0.1	0.1	11.41
2	1.5	0.2	0.1	11.40
3	1.5	0.3	0.1	11.33
4	1.5	0.4	0.1	11.33
5	1.5	0.5	0.1	11.33
6	1.5	0.6	0.1	11.32
7	1.5	0.7	0.1	11.34
8	1.5	0.8	0.1	11.41
9	1.5	0.9	0.1	11.42
10	1.5	1.0	0.1	12.01
11	1.5	0.1	0.15	11.39
12	1.5	0.2	0.15	11.39
13	1.5	0.3	0.15	11.32
14	1.5	0.4	0.15	11.35
15	1.5	0.5	0.15	11.33
16	1.5	0.6	0.15	11.32
17	1.5	0.7	0.15	11.35
18	1.5	0.8	0.15	11.41
19	1.5	0.9	0.15	11.43
20	1.5	1.0	0.15	12.01
21	1.5	0.1	0.2	11.39
22	1.5	0.2	0.2	11.40
23	1.5	0.3	0.2	11.41
24	1.5	0.4	0.2	11.35
25	1.5	0.5	0.2	11.34
26	1.5	0.6	0.2	11.33
27	1.5	0.7	0.2	11.36
28	1.5	0.8	0.2	11.39
29	1.5	0.9	0.2	11.42
30	1.5	1.0	0.2	12.00
31	1.5	0.1	0.25	11.38
32	1.5	0.2	0.25	11.39
33	1.5	0.3	0.25	11.34
34	1.5	0.4	0.25	11.32
35	1.5	0.5	0.25	11.34
36	1.5	0.6	0.25	11.34
37	1.5	0.7	0.25	11.37
38	1.5	0.8	0.25	11.41
39	1.5	0.9	0.25	11.44
40	1.5	1.0	0.25	12.01
41	1.5	0.1	0.3	11.31
42	1.5	0.2	0.3	11.41
43	1.5	0.3	0.3	11.42
44	1.5	0.4	0.3	11.36
45	1.5	0.5	0.3	11.42
46	1.5	0.6	0.3	11.33
47	1.5	0.7	0.3	11.36
48	1.5	0.8	0.3	11.40
49	1.5	0.9	0.3	11.41
50	1.5	1.0	0.3	12.00
51	1.5	0.1	0.35	11.38
52	1.5	0.2	0.35	11.40
53	1.5	0.3	0.35	11.33
54	1.5	0.4	0.35	11.35
55	1.5	0.5	0.35	11.32
56	1.5	0.6	0.35	11.32
57	1.5	0.7	0.35	11.36
58	1.5	0.8	0.35	11.38
59	1.5	0.9	0.35	11.41
60	1.5	1.0	0.35	12.00

Fuente. Elaboración propia

De la tabla anterior destacamos las simulaciones 2, 22, 48 y 52 por que sus resultados son iguales a la media obtenida de campo, para demostrar que el modelo esta calibrado evaluaremos estas 4 opciones seleccionadas, para lo cual usaremos la herramienta StatKey. Esta herramienta nos permite realizar un análisis estadístico de

prueba de aleatorización para una diferencia de medias de 2 muestras. Donde una muestra será los datos recopilados de campo y la otra muestra serán los datos de VISSIM para cada opción seleccionada.

Esta prueba consiste en analizar si la aleatorización de los datos generados está dentro del nivel de confianza del 95 % y así afirmar la hipótesis nula de $\mu_1 = \mu_2$.

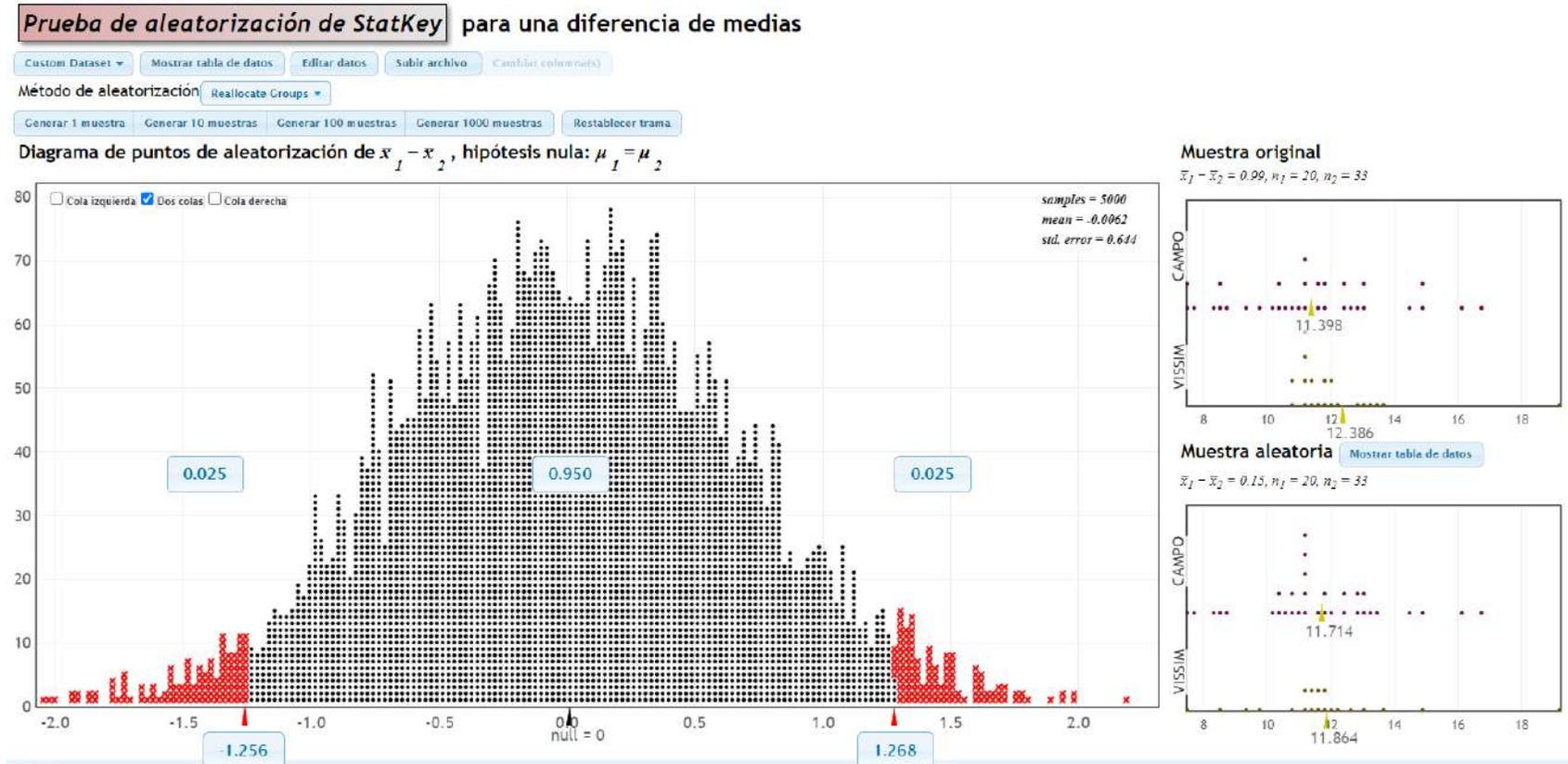
A continuación, se muestran las tablas con los datos de tiempos de recorrido del programa Vissim y los datos de campo y a su misma vez los gráficos y resultados de las pruebas para cada opción de la combinación de los parámetros del modelo de comportamiento de conductor Wiedemann 99.

Tabla 37. Tiempos de recorridos de VISSIM para $CC1=0.2$ y $CC7=0.1$, y de campo

TIEMPO DE RECORRIDO	
VISSIM	CAMPO
10.78	15.06
11.33	12.52
19.21	10.53
11.21	11.29
13.09	15.01
13.45	9.75
11.42	10.71
13.38	12.67
12.41	12.96
12.21	8.6
12.2	16.3
13.84	8.44
11.85	14.53
11.65	10.97
11.23	9.5
11.28	11.61
11.4	7.48
12.91	11.81
10.96	11.98
11.91	7.73
	11
	13.05
	11.26
	10.24
	11.26
	10.47
	12.58
	7.61
	13.14
	16.87
	11.71
	8.59
	8.9

Fuente. Elaboración propia

Gráfico 9. Prueba de Aleatorización de tiempos de recorrido para CC1=0.2 y CC7=0.1



Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla de la herramienta StatKey

Tabla 38. Tiempos de recorridos de VISSIM para
CC1=0.2 y CC7=0.2, y de campo

TIEMPO DE RECORRIDO	
VISSIM	CAMPO
10.78	15.06
12.23	12.52
18.2	10.53
11.27	11.29
11.83	15.01
13.19	9.75
11.29	10.71
12.69	12.67
12.38	12.96
11.3	8.6
12.03	16.3
13.78	8.44
11.9	14.53
11.87	10.97
11.22	9.5
11.28	11.61
11.4	7.48
12.88	11.81
10.9	11.98
12.22	7.73
	11
	13.05
	11.26
	10.24
	11.26
	10.47
	12.58
	7.61
	13.14
	16.87
	11.71
	8.59
	8.9

Fuente. Elaboración propia

Tabla 39. Prueba de Aleatorización de tiempos de recorrido para CC1=0.2 y CC7=0.2

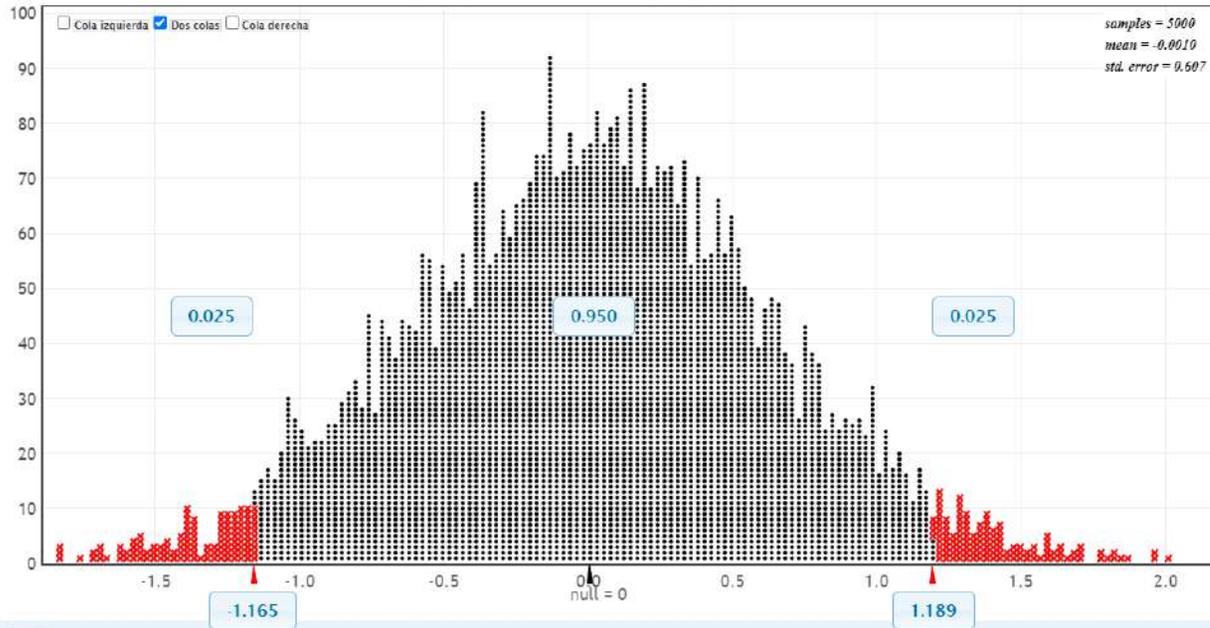
Prueba de aleatorización de StatKey para una diferencia de medias

Custom Dataset ▾ Mostrar tabla de datos Editar datos Subir archivo Cambiar columna(s)

Método de aleatorización Reasignar grupos ▾

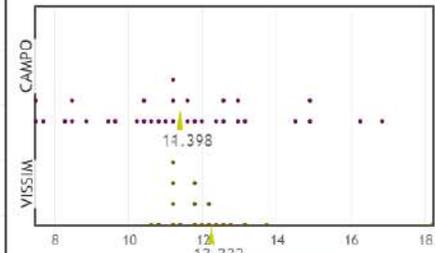
Generar 1 muestra Generar 10 muestras Generar 100 muestras Generar 1000 muestras Restablecer trama

Diagrama de puntos de aleatorización de $\bar{x}_1 - \bar{x}_2$, hipótesis nula: $\mu_1 = \mu_2$



Muestra original

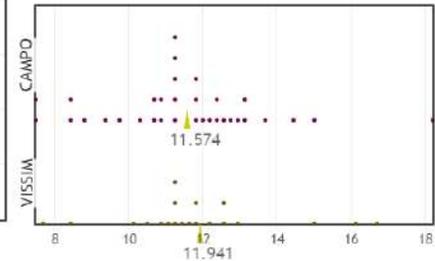
$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 0.83, n_1 = 20, n_2 = 33$



Muestra aleatoria

Mostrar tabla de datos

$\bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 0.37, n_1 = 20, n_2 = 33$



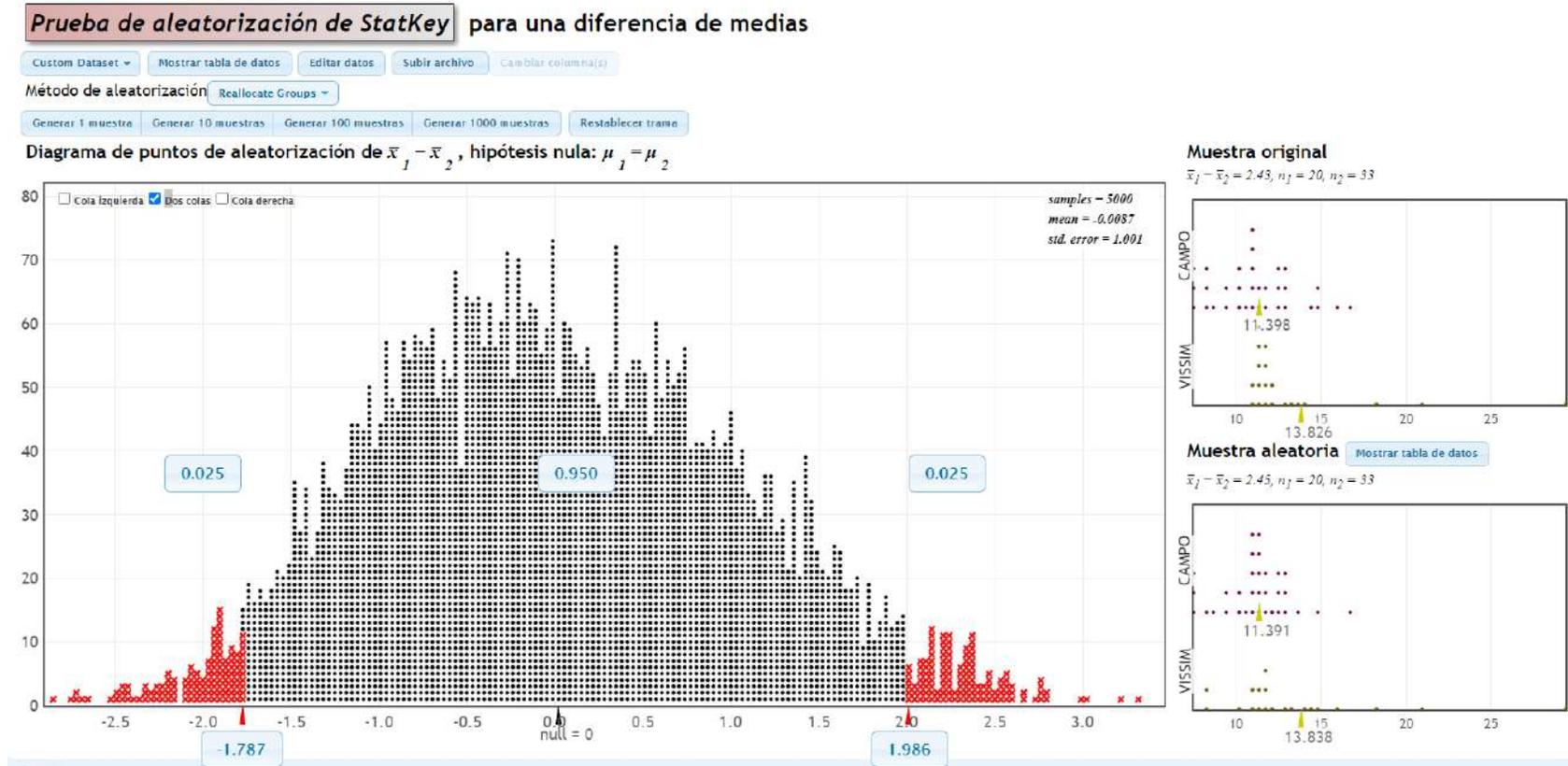
Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla de la herramienta StatKey

Tabla 40. Tiempos de recorridos de VISSIM para
CC1= 0.8 y CC7=0.3, y de campo

TIEMPO DE RECORRIDO	
VISSIM	CAMPO
21.22	15.06
11.48	12.52
11.42	10.53
11.71	11.29
12.11	15.01
13.92	9.75
11.69	10.71
13.45	12.67
29.43	12.96
18.41	8.6
11.94	16.3
14.28	8.44
12.08	14.53
11.96	10.97
12.02	9.5
11.33	11.61
11.4	7.48
13.06	11.81
11.16	11.98
12.44	7.73
	11
	13.05
	11.26
	10.24
	11.26
	10.47
	12.58
	7.61
	13.14
	16.87
	11.71
	8.59
	8.9

Fuente. Elaboración propia

Gráfico 10. Prueba de Aleatorización de tiempos de recorrido para CC1=0.8 y CC7=0.3



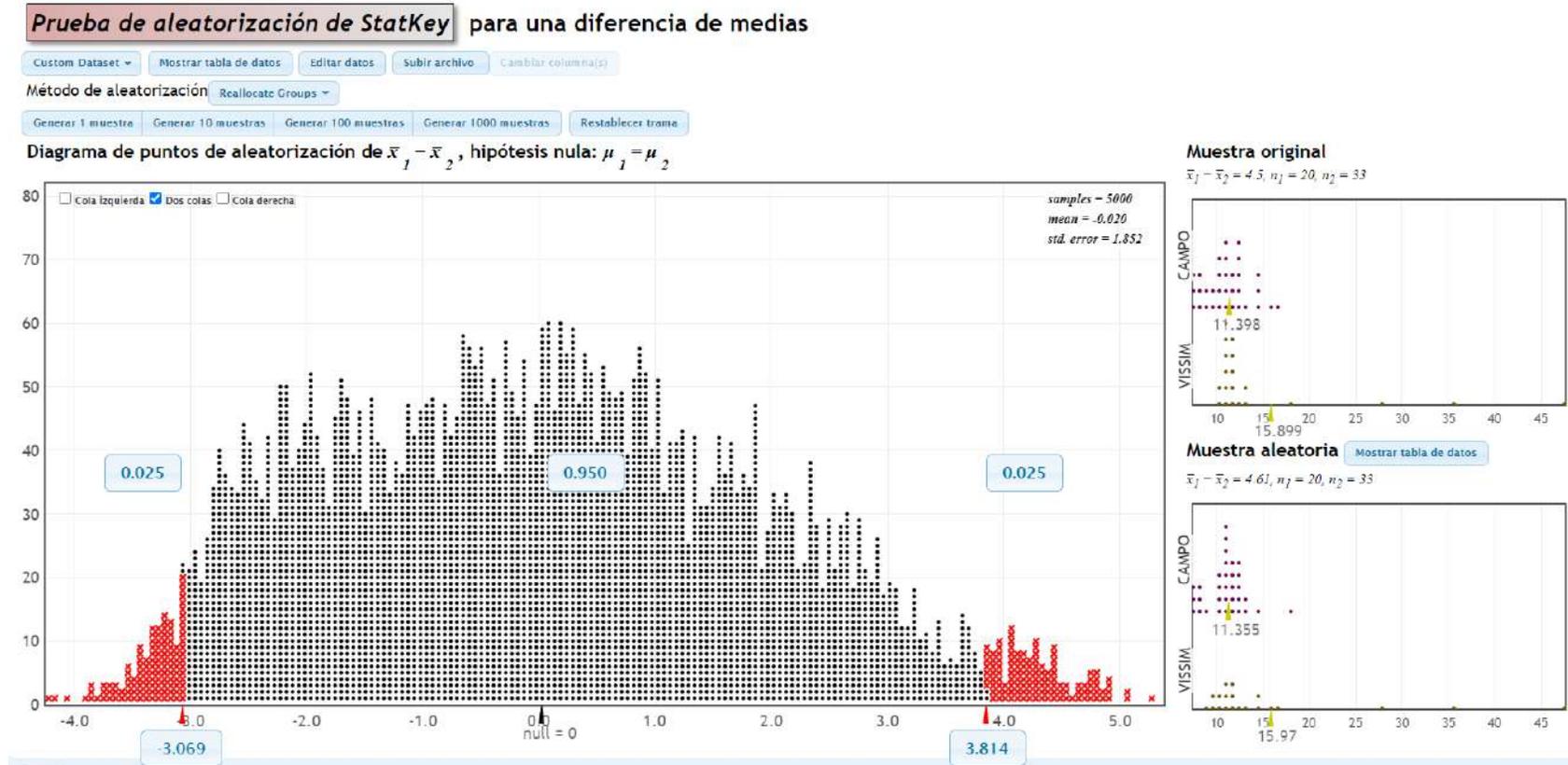
Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla de la herramienta StatKey

Tabla 41. Tiempos de recorridos de VISSIM para
CC1=0.2 y CC7=0.35 y de campo

TIEMPO DE RECORRIDO	
VISSIM	CAMPO
10.85	15.06
12.2	12.52
18.13	10.53
11.19	11.29
13.05	15.01
13.37	9.75
11.25	10.71
13.14	12.67
35.74	12.96
11.29	8.60
11.94	16.30
47.53	8.44
11.79	14.53
11.87	10.97
11.21	9.50
11.27	11.61
11.4	7.48
27.95	11.81
10.91	11.98
11.9	7.73
	11.00
	13.05
	11.26
	10.24
	11.26
	10.47
	12.58
	7.61
	13.14
	16.87
	11.71
	8.59
	8.9

Fuente. Elaboración propia

Gráfico 11. Prueba de Aleatorización de tiempos de recorrido para CC1=0.2 y CC7=0.35



Fuente. Elaboración propia, captura de pantalla de la herramienta StatKey

Analizando los resultados de las pruebas se determina lo siguiente las opciones 48 y 52 quedan descartadas por el hecho que la diferencia de la media de la muestra de campo y las muestras del VISSIM están fuera del rango de confianza del 95% negando la hipótesis nula de $u_1 = u_2$.

Por otro lado, las opciones 2 y 22 la diferencia de medias entre las muestras de campo y de VISSIM se encuentran dentro del rango del 95% de confiabilidad, lo que afirma la hipótesis nula $u_1 = u_2$ se acepta. Esto corrobora que estas dos opciones corroboran una correcta calibración del modelo.

Por último, entre las 2 opciones validas se analiza el error de la desviación estándar de ambas muestras de donde se observa que la opción 22 presenta un error del 0.607 y la opción 2 un error de 0.644 dando la conclusión de usar la opción 22 para usar en el modelo.

$$CC0 = 1.5 / CC1 = 0.2 / CC7 = 0.2$$

CAPÍTULO IV
ANÁLISIS, DISEÑO Y CÁLCULOS

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS, DISEÑO Y CÁLCULOS

4.1. Análisis de la intersección del tráfico actual con el tráfico futuro.

Para comprender el comportamiento que se espera un futuro se usara el tráfico proyectado a 20 años usando el software PTV Vissim.

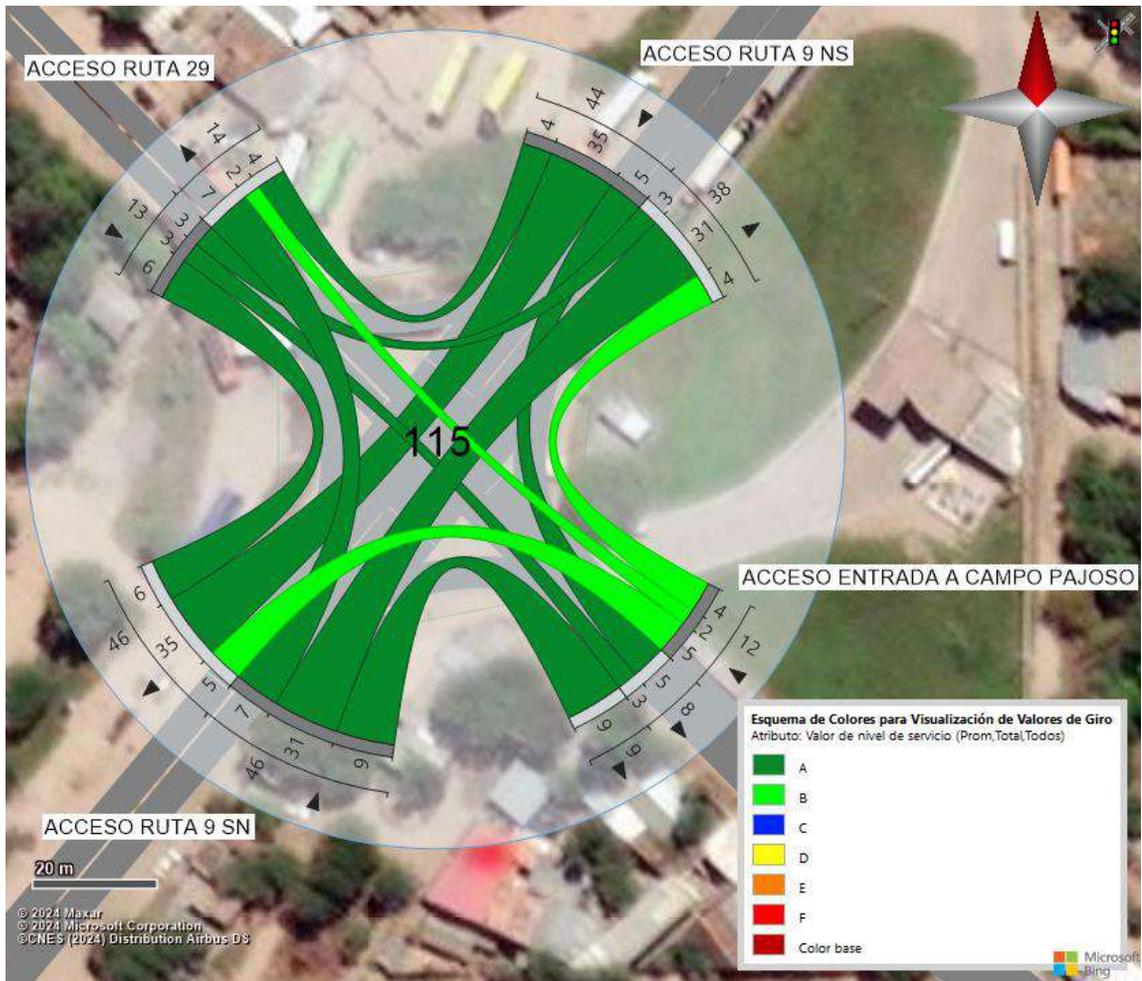
Los Resultados que se obtuvieron para 20 simulaciones con distintas semillas de aleatoriedad son los siguientes.

Tabla 42. Veh que circulan por la intersección y Nivel de Servicio

Sim.	Actual		T= 20 años	
	Veh	Niv. De Serv.	Veh	Niv. De Serv.
1	114	A	383	E
2	97	A	377	E
3	109	A	371	D
4	125	A	203	F
5	126	A	258	F
6	112	A	318	E
7	116	A	309	F
8	93	A	250	F
9	119	A	230	F
10	122	A	204	F
11	102	A	346	E
12	126	A	209	F
13	112	A	240	E
14	113	A	184	F
15	130	A	245	F
16	116	A	255	F
17	122	A	269	E
18	112	A	250	F
19	118	A	259	F
20	115	A	125	F
Prom.	115	A	264	F
Desv. Estnd.	10		68	
Min	93		125	
Max	130		383	

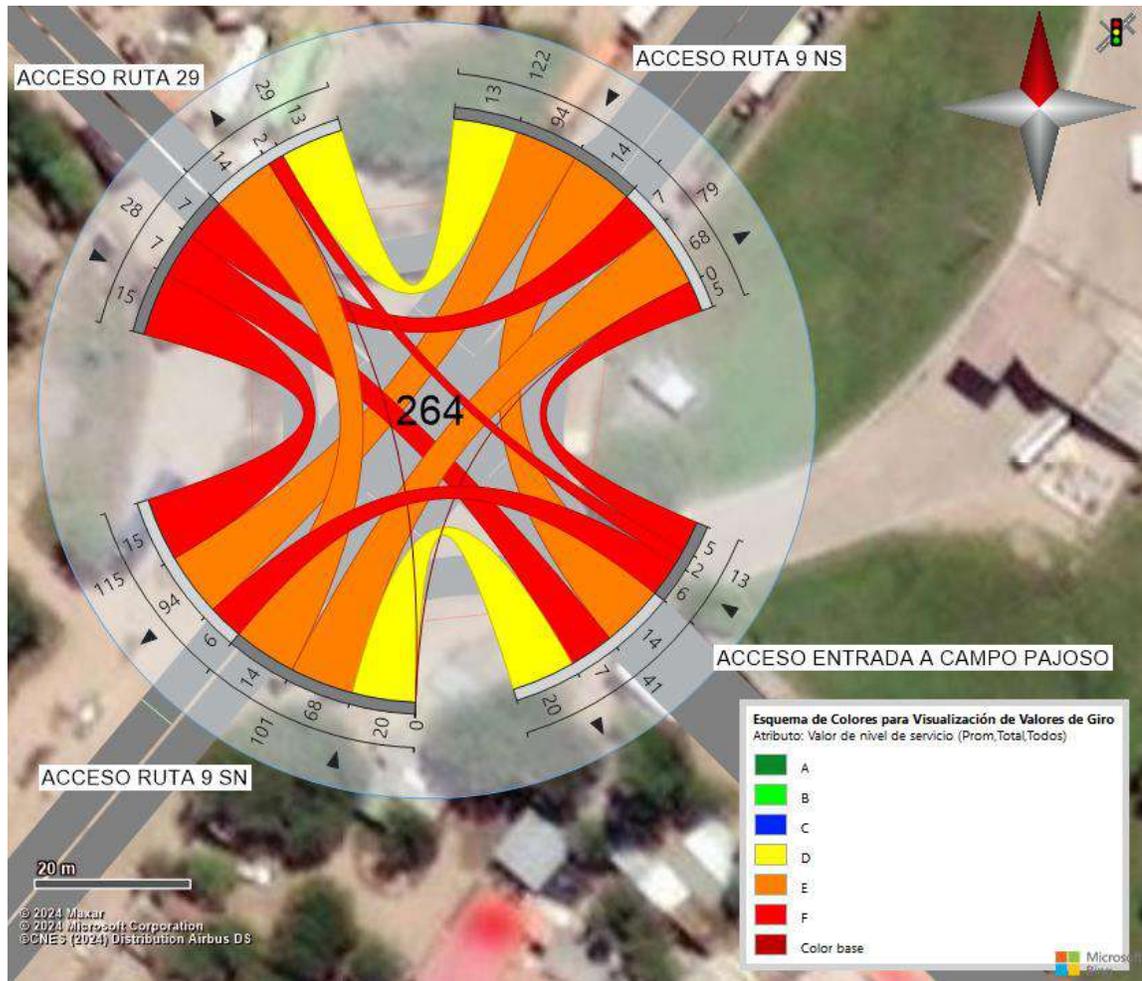
Fuente. Elaboración propia, el tiempo de evaluación fue 600 seg. En el software.

Figura49. Resultado del Trafico Actual



Fuente. Elaboración propia

Figura50. Resultado del Trafico Futuro



Fuente. Elaboración propia

Por otro lado, también tenemos información de la longitud de cola que se forman en los accesos.

Tabla 43. Longitud de cola de cada acceso.

Acceso	Actual				Futuro			
	Sur R9	Norte R9	Entr. a Campo Pajoso	Ruta D29	Sur R9	Norte R9	Entr. a Campo Pajoso	Ruta D29
1	0.00	0.00	9.68	0.00	241.93	34.09	179.44	61.93
2	0.00	0.00	14.91	10.51	247.08	27.39	183.73	222.57
3	0.00	0.00	19.49	8.84	237.47	49.77	173.30	26.20
4	0.00	0.00	6.72	11.16	249.98	120.58	131.18	184.35
5	0.00	23.47	10.62	11.53	241.62	141.17	185.65	116.21
6	0.00	0.00	15.58	8.68	235.24	41.02	168.85	259.76
7	0.00	27.09	10.75	8.86	243.38	65.95	204.67	118.01
8	0.00	0.00	9.35	8.87	242.78	111.22	192.67	160.32
9	0.00	0.00	9.56	11.15	244.91	172.51	211.56	148.93
10	0.00	14.31	6.77	12.93	241.15	159.78	203.80	199.36
11	0.00	0.00	17.68	11.93	232.75	52.68	145.80	106.45
12	0.00	30.76	8.63	23.01	242.25	152.10	151.66	251.04
13	4.88	5.89	25.33	0.00	234.02	110.88	249.06	154.35
14	0.00	0.00	19.78	8.48	245.95	149.25	214.78	173.12
15	11.56	0.00	33.51	11.25	243.75	124.58	203.06	110.89
16	0.00	25.47	30.56	25.72	240.30	116.14	123.21	151.37
17	0.00	21.06	31.43	19.11	235.45	85.02	200.23	124.32
18	12.07	7.69	18.37	0.00	236.09	163.57	106.88	84.37
19	0.00	11.78	26.33	0.00	239.92	116.63	238.58	152.41
20	0.00	10.19	31.13	12.63	245.06	181.61	205.66	170.89
Prom.	1.43	8.89	17.81	10.24	241.05	108.80	183.69	148.84
Desv. Estnd.	3.72	10.97	9.05	7.00	4.65	49.13	37.14	58.87
Min	0.00	0.00	6.72	0.00	232.75	27.39	106.88	26.21
Max	12.07	30.76	33.51	25.72	249.98	181.61	249.06	259.76

Fuente. Elaboración Propia, los datos recopilados de la simulación son en un intervalo de tiempo de 600 seg.

Figura51. Longitud de cola tráfico actual



Fuente. Elaboración propia

Figura52. Longitud de Cola Trafico Futuro



Fuente. Elaboración propia

Se constata que la intersección en su situación actual tiene una buena condición de flujo vehicular para el tráfico actual al constatarse que su nivel de servicio es del Nivel A y esto se respalda con los datos de Longitud de cola, donde ningún acceso presenta una longitud de cola preocupante, siendo la máxima promedia de las 20 simulaciones de 8.85 m en el acceso de la entrada de campo Pajoso.

En el caso del tráfico futuro proyectado se tiene datos preocupantes del funcionamiento de la intersección, la intersección presenta nivel de servicio F lo que nos indica que el flujo vehicular es inestable y se corrobora con los datos de longitud de cola elevados, teniendo resultados de longitud de colas máximas por arriba de los 250 m en cada acceso siendo el acceso de la ruta D29 con la longitud cola máxima de 493.71 m.

Visualmente se observa en la corrida de la simulación, que el flujo vehicular es caótico, lo que genera a los vehículos tomar decisiones que generan conflictos, y puedan generar situaciones de riesgos para los usuarios.

Por este Motivo se plantea establecer alternativas que den solución a estos problemas que se prevea puedan suscitarse en la intersección.

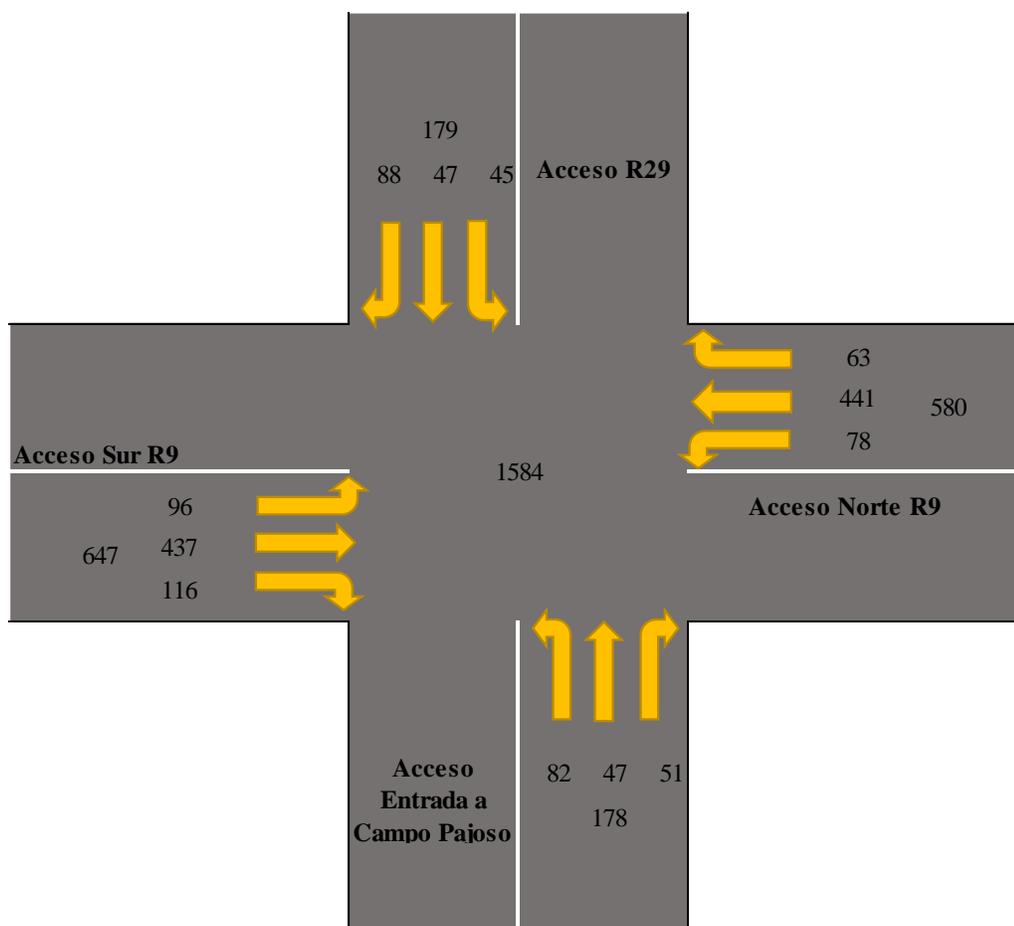
4.2. Alternativas.

Las alternativas que se van a plantear serán dispositivos de control de tráfico y modificaciones de geometría de la intersección, donde cada alternativa será evaluada en una simulación de tráfico usando el PTV VISSIM

4.2.1. Semaforización de la intersección con la geometría actual.

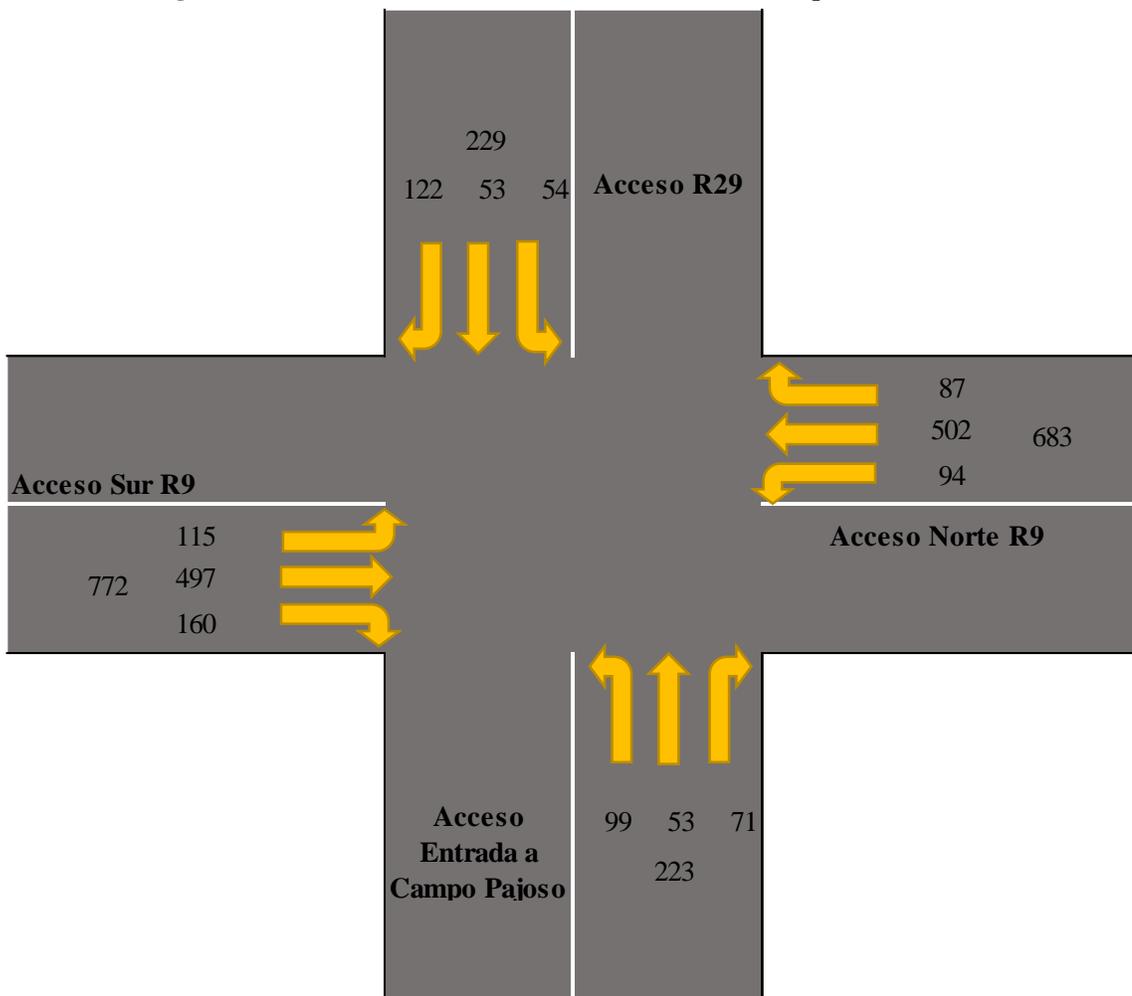
Para la Semaforización se usó el método del HCM

Figura53. Distribución de volúmenes resultados de la simulación con el tráfico Futuro.



Fuente. Elaboración propia, los volúmenes están en unidades de Veh/h

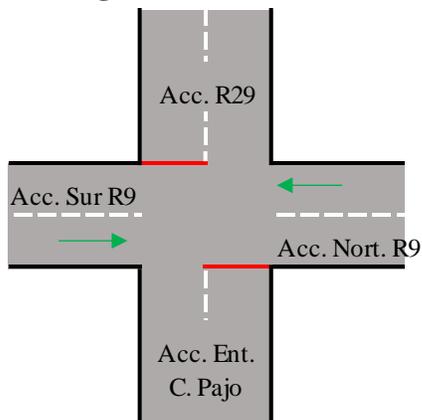
Figura54. Volúmenes transformados a vehículos equivalentes.



Fuente. Elaboración propia

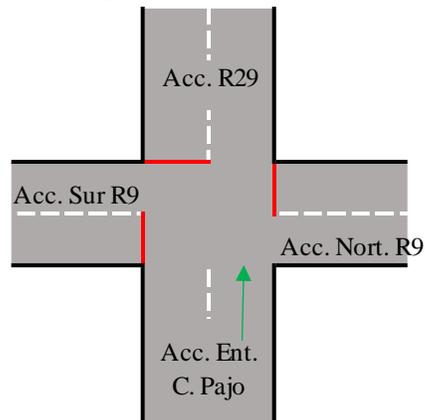
4.2.1.1. Fases de semaforización.

Figura55. Fase 1



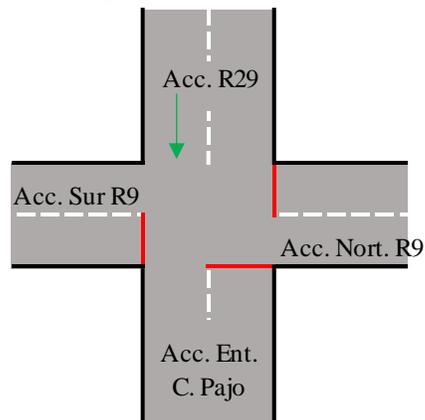
Fuente. Elaboración propia

Figura56. Fase 2



Fuente. Elaboración propia

Figura57. Fase 3



Fuente. Elaboración propia

4.2.1.2. Tiempos de semaforización.

El tiempo para el ciclo óptimo de las 3 Fases es el siguiente:

$$Co = 86 \text{ segundos}$$

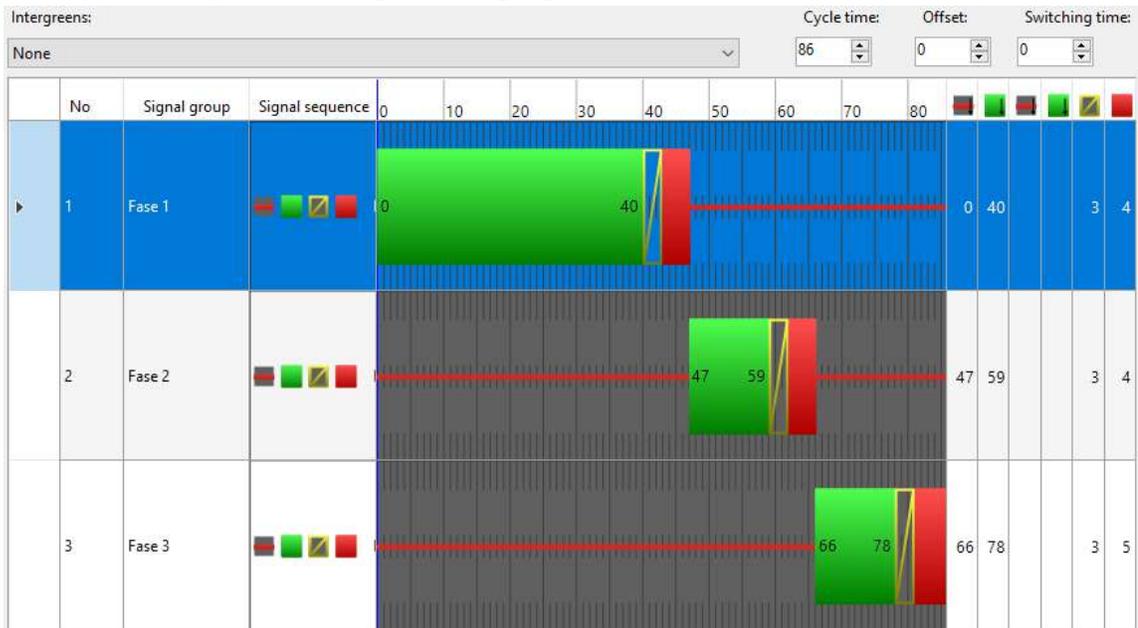
Los tiempos de los semáforos para cada fase son los siguientes

G1=40 seg. A1=3 seg. TR1=4 seg.

G2=12 seg. A2=3 seg. TR2=4 seg.

G3=12 seg. A3=3 seg. TR3=5 seg.

Figura58. Diagrama de programación de fases en Vissim



Fuente. Elaboración propia

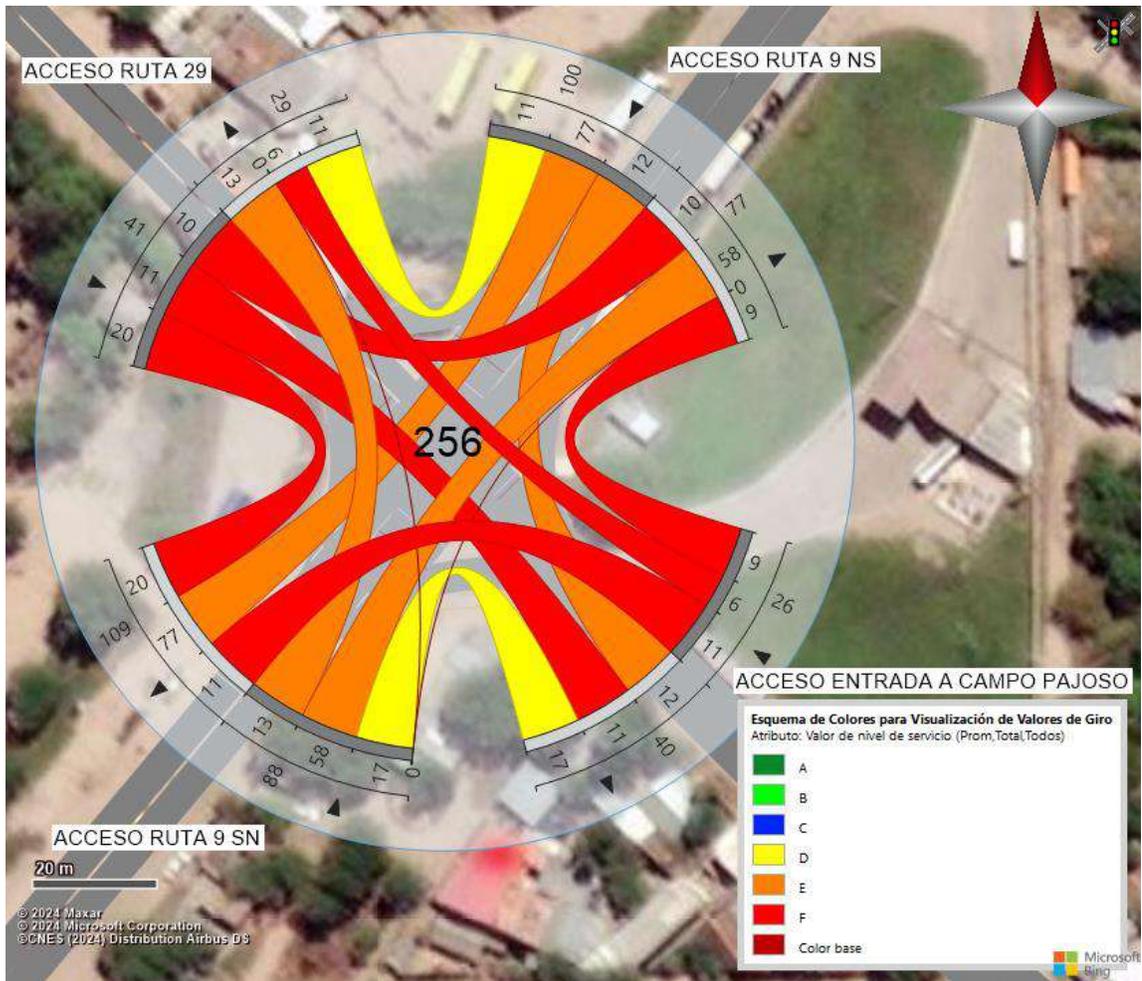
4.2.1.3. Resultados

Tabla 44. Veh que circulan por la intersección y Nivel de Servicio

Sim.	Semaforización	
	Veh	Niv. De Serv.
1	272	E
2	282	E
3	269	E
4	259	E
5	273	E
6	253	E
7	243	E
8	250	E
9	264	E
10	244	E
11	242	E
12	261	E
13	266	E
14	280	E
15	247	E
16	239	E
17	241	F
18	242	E
19	251	E
20	241	E
Prom.	256	E
Desv. Estnd.	14	
Min	239	
Max	282	

Fuente. Elaboración propia

Figura59. Resultado de volúmenes con semáforos



Fuente. Elaboración propia

Tabla 45.Longitud de Cola de intersección semaforizada

Semaforización				
Acceso	Sur R9	Norte R9	Entr. a Campo Pajoso	Ruta D29
1	245.82	159.56	378.63	186.00
2	236.83	149.47	358.89	405.77
3	241.19	159.74	315.32	147.99
4	243.17	165.41	244.35	304.99
5	252.26	169.01	333.48	228.82
6	245.46	148.15	265.61	486.84
7	245.09	153.32	363.54	213.57
8	244.57	168.46	357.44	150.94
9	242.84	195.80	366.94	139.76
10	246.43	168.29	358.89	350.14
11	239.11	165.98	170.67	272.19
12	243.98	175.36	219.81	410.29
13	238.69	169.83	373.87	279.46
14	241.55	168.48	361.25	194.36
15	246.32	177.34	361.91	256.21
16	236.71	169.59	328.19	235.39
17	247.66	185.47	367.61	308.93
18	243.24	181.33	205.48	290.57
19	242.04	167.72	368.56	316.07
20	248.38	152.64	362.25	277.19
Prom.	243.57	167.54	323.14	272.77
Desv. Estd.	3.92	12.01	64.45	92.31
Min	236.71	148.15	170.67	139.76
Max	252.26	195.80	378.66	486.84

Fuente. Elaboración propia

Figura60. Longitud de cola de los accesos con semáforos



Fuente. Elaboración propia

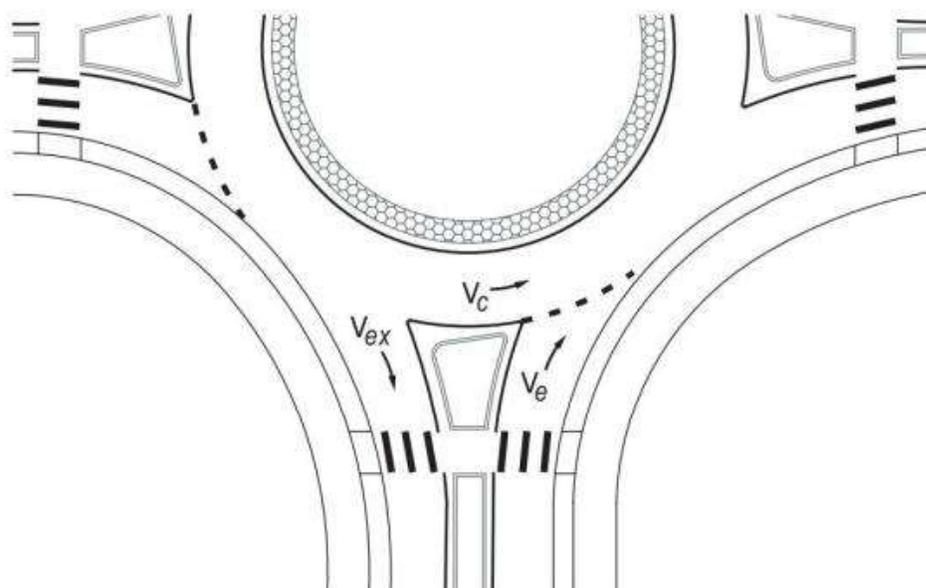
4.2.2. Alternativa rotonda (modificación geométrica)

4.2.2.1. Diseño geométrico

Para el diseño geométrico de las intersecciones hay que tomar en cuenta el tipo de intersección que se desea proyectar. En este caso se consideró una intersección a nivel tipo rotonda, para lo cual se usó la GUIA INFORMATIVA PARA ROTONDAS (2010).

Que da como recomendación para definir el número de carriles en los accesos y la rotonda, aplicar el uso los volúmenes de entradas y volúmenes de conflicto en la rotonda donde los volúmenes de conflicto se definen como la suma de todos los volúmenes de vehículos que entran en conflictos con los volúmenes de vehículos de entrada en cada acceso en la figura 62 se ilustra con mayor claridad estos volúmenes.

Figura 61. Volúmenes de tráfico en una rotonda



Fuente. Tomado de Roundabouts: An Information Guide, por National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, (2010)

V_e = Volúmenes de tráfico de entrada.

V_c = Volúmenes de tráfico de conflicto.

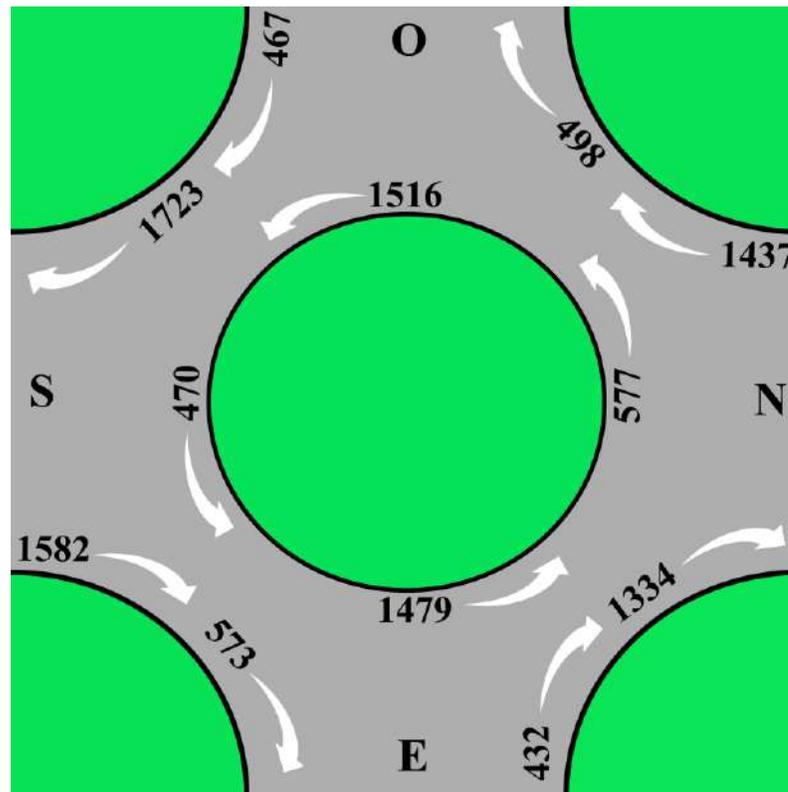
V_{ex} = Volúmenes de tráfico de salida.

Tabla 46. Umbral de volumen para determinar el número de carriles de entrada

Rango de volúmenes (suma de volúmenes de entrada y conflicto)	Número de carriles requeridos
0 a 1000 veh/h	Una entrada con un solo carril probablemente sea suficiente.
1000 a 1300 veh/h	Es posible que se necesite una entrada con 2 carriles.
1300 a 1800 veh/h	Una entrada con un solo carril puede ser suficiente si realiza un análisis más detallado.
Más de 1800 veh/h	Una entrada con 2 carriles probablemente sea suficiente. Es posible que se requieran más de 2 carriles de entrada.
	Se debe realizar un análisis más detallado para verificar el número de carriles requeridos

Fuente. Adaptado de Roundabouts: An Information Guide, por National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine, (2010)

Figura62. Distribución de volúmenes de tráfico futuro a 20 años en una rotonda



Fuente. Elaboración propia

Volumen de entrada + Volumen de conflicto = comparar con la tabla 41

$$1582 + 470 = 2052 > 1800 \text{ más de 2 carriles.}$$

$$432 + 1911 = 1911 > 1800 \text{ más de 2 carriles.}$$

$$1437 + 577 = 2014 > 1800 \text{ más de 2 carriles.}$$

$$467 + 1516 = 1983 > 1800 \text{ más de 2 carriles.}$$

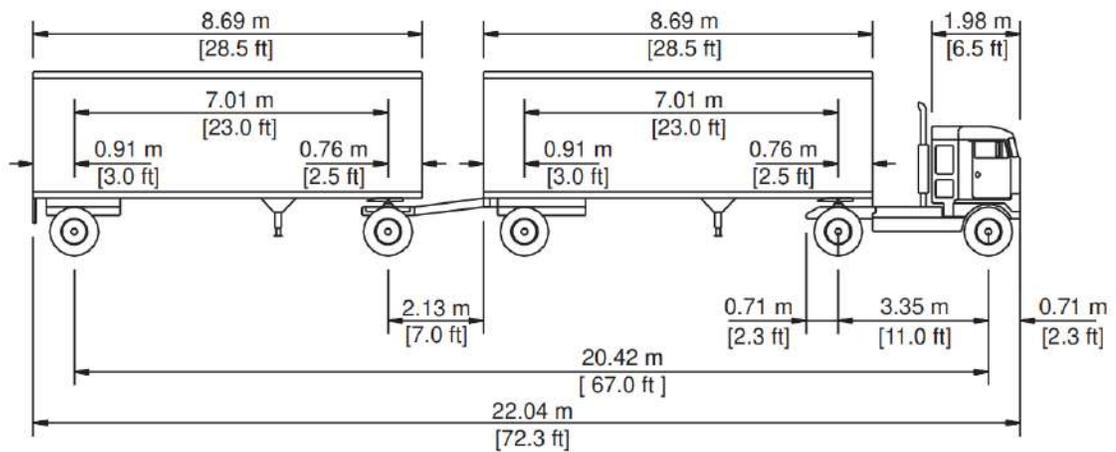
Del análisis de volúmenes de conflicto con los de entrada se opta construir una rotonda de 3 carriles al ver que en todos los accesos se obtiene como recomendación usar más de 2 carriles, esta rotonda se diseñará para que se ajuste a la nueva doble vía de la ruta F9 en ejecución, las características de esta carretera es que es una carretera tipo autoruta con dos calzadas unidireccionales de 11.84 m, las calzadas son triple carril con un ancho de carril de 3.5 m de ancho. Bermas externas e internas de 1 m de ancho.

Es importante cuidar los radios de giros para lo cual hay que definir 2 parámetros de diseño que son el vehículo de diseño y la velocidad del proyecto.

En el caso del vehículo de diseño se refiere al vehículo más grande que se prevé circulara en la intersección, por observación del lugar se adopta como vehículo de diseño al vehículo WB-20D – “Double Bottom” Semi-trailer/trailer.

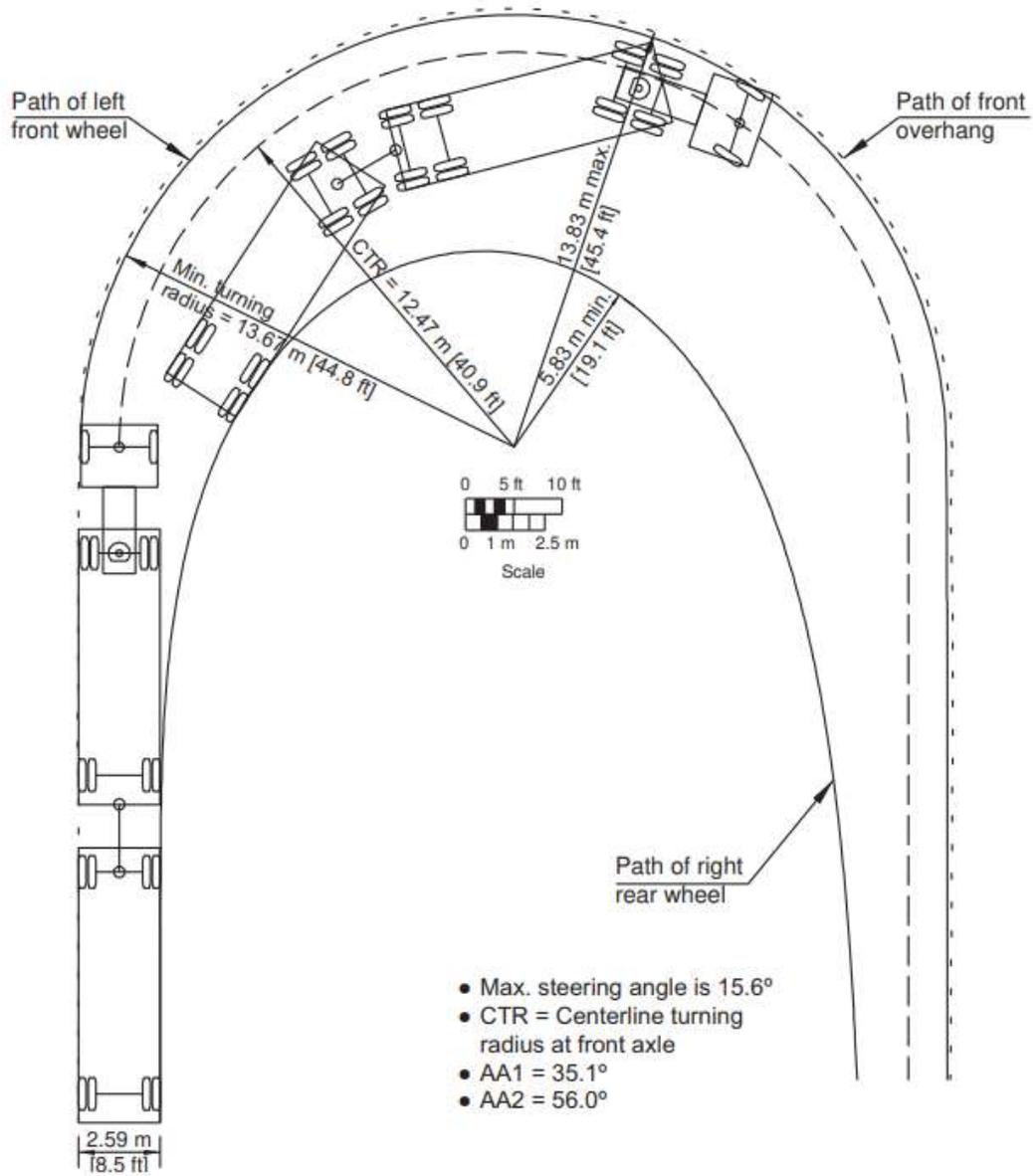
Este vehículo es una clase específica de vehículo de diseño utilizada por la AASTHO para el diseño de geometría de carreteras, curvas, intersecciones y otras infraestructuras viales. Este vehículo se refiere a un camión articulado que cumple con las características de los camiones articulados de mayor tamaño que circulan en la intersección actualmente.

Figura63. Dimensiones del vehículo de diseño WB-20D



Fuente. Tomado de A Policy on Geometric Design of Highways and streets, por AASHTO 2011

Figura64. Radio giro mínimo del vehículo de diseño WB-20



Fuente. Tomado de A Policy on Geometric Design of Highways and streets, por AASHTO 2011

La velocidad de diseño adoptada para la intersección fue de 40km/h esto por recomendaciones de la GUIA INFORMATIVA PARA ROTONDAS (2010) en la tabla 3 del capítulo 2.

La geometría de la rotonda se diseñó usando el software de Civil 3D donde se usó la normativa AASTHO implementada en el software, en el Civil 3D se cuenta ya con una biblioteca de intersecciones tipo rotonda con parámetros ya normados, análisis de radios de giro y velocidades de diseño. Para nuestro caso se usó la Triple Lane Roundabout. Que es un diseño de rotonda establecida por la US Federal Highways Administration, esta rotonda es de 3 carriles y por esta característica es que la seleccionamos, ya que el diseño de esta rotonda se acomoda a los parámetros establecidos.

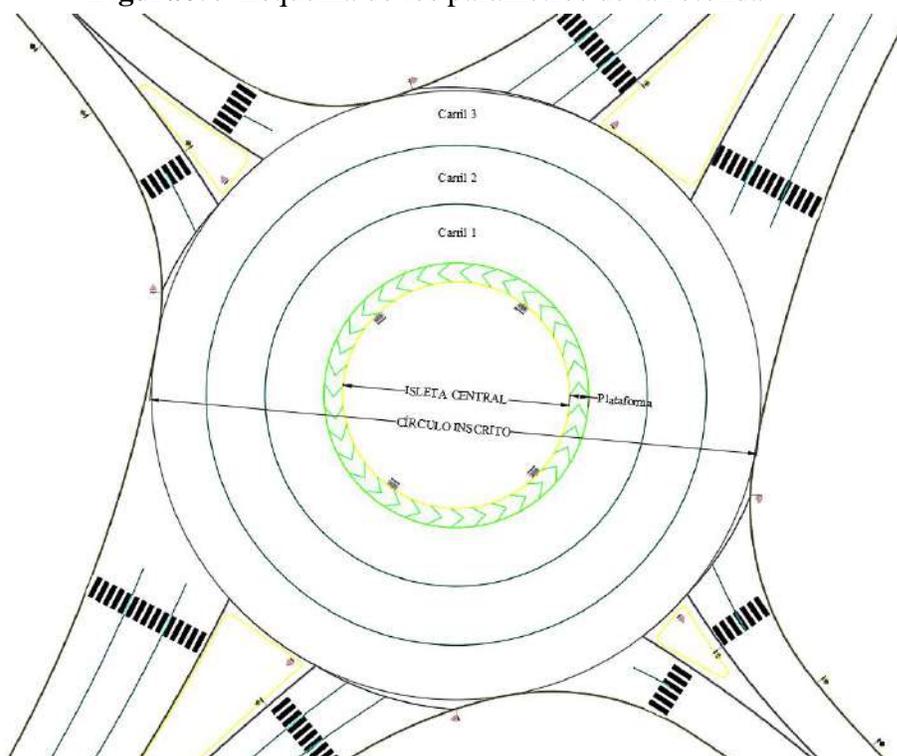
Los parámetros definidos de la nueva intersección tipo rotonda son:

Tabla 47. Parámetros geométricos de calzada de la rotonda

Descripción	Unidad	Magnitud
Diámetro de la isleta central	m	27
Diámetro del círculo inscrito	m	72.92
Ancho de plataforma de seguridad	m	2.26
Diámetro de Plataforma de seguridad	m	31.6
Ancho de carril 1	m	7
Ancho de carril 2	m	7
Ancho de carril 3	m	6.5
Ancho de calzada	m	20.5

Fuente. Elaboración Propia

Figura65. Esquema de los parámetros de la rotonda



Fuente. Elaboración Propia.

Tabla 48. Parámetros del Acceso Sur

Descripción	Unidad	Magnitud
Ancho de Calzada de ingreso	m	15
Ancho de Calzada de salida	m	15
Radio de entrada borde separador de calzada	m	350
Radio de salida borde separador de calzada	m	230
Radio de entrada borde exterior de calzada	m	60
Radio de salida borde exterior de calzada	m	174
Radio entre accesos	m	40
Longitud de isla separadora	m	20
Bombeo	%	2

Fuente. Elaboración propia

Tabla 49.Parámetros del Acceso Norte

Descripción	Unidad	Magnitud
Ancho de Calzada de ingreso	m	15
Ancho de Calzada de salida	m	15
Radio de entrada borde separador de calzada	m	300
Radio de salida borde separador de calzada	m	210
Radio de entrada borde exterior de calzada	m	70
Radio de salida borde exterior de calzada	m	90
Radio entre accesos	m	40
Longitud de isla separadora	m	20
Bombeo	%	2

Fuente. Elaboración propia

Tabla 50.Parámetros del Acceso Oeste

Descripción	Unidad	Magnitud
Ancho de Calzada de ingreso	m	8
Ancho de Calzada de salida	m	8
Radio de entrada borde separador de calzada	m	150
Radio de salida borde separador de calzada	m	135
Radio de entrada borde exterior de calzada	m	50
Radio de salida borde exterior de calzada	m	35
Radio entre accesos	m	50
Longitud de isla separadora	m	12
Bombeo	%	2

Fuente. Elaboración propia

Tabla 51.Parámetros del Acceso Este

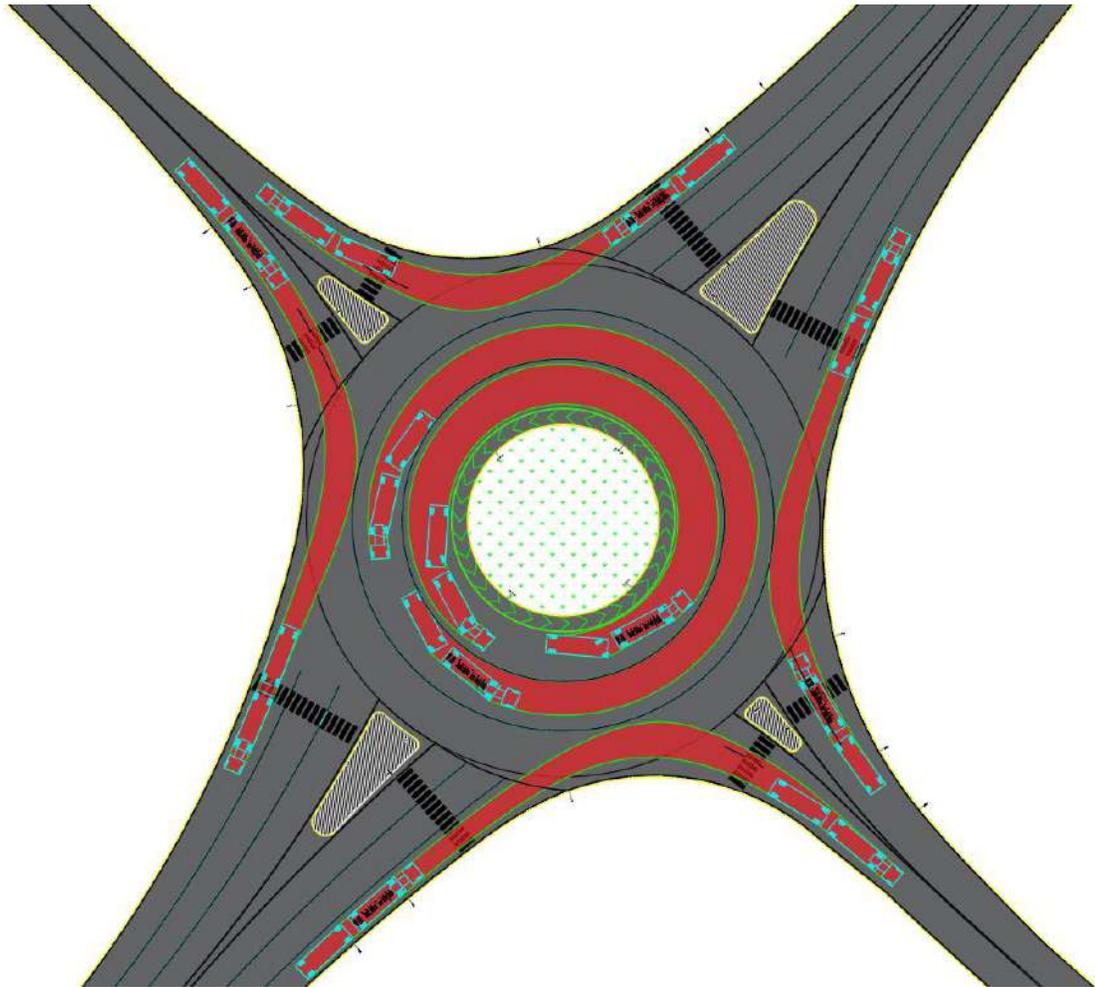
Descripción	Unidad	Magnitud
Ancho de Calzada de ingreso	m	8
Ancho de Calzada de salida	m	8
Radio de entrada borde separador de calzada	m	150
Radio de salida borde separador de calzada	m	90
Radio de entrada borde exterior de calzada	m	60
Radio de salida borde exterior de calzada	m	35
Radio entre accesos	m	60
Longitud de isla separadora	m	10
Bombeo	%	2

Fuente. Elaboración propia

Para mayores detalles de la geometría de la intersección tipo rotonda ver el Anexo 7 de planos.

Para corroborar que la geometría de la intersección este correctamente diseñada se usa la herramienta de Autodesk Vehicle Tracking, que nos permite simular los radios de giro que realizaría el vehículo de diseño en la intersección.

Figura66. Radios de giro que realizaría el vehículo WB-20D en la intersección



Fuente. Elaboración propia

Como se observa en la Figura 66 no se ve ningún conflicto para que el vehículo de diseño realice los giros en la intersección respaldando el correcto diseño geométrico de la intersección es el adecuado.

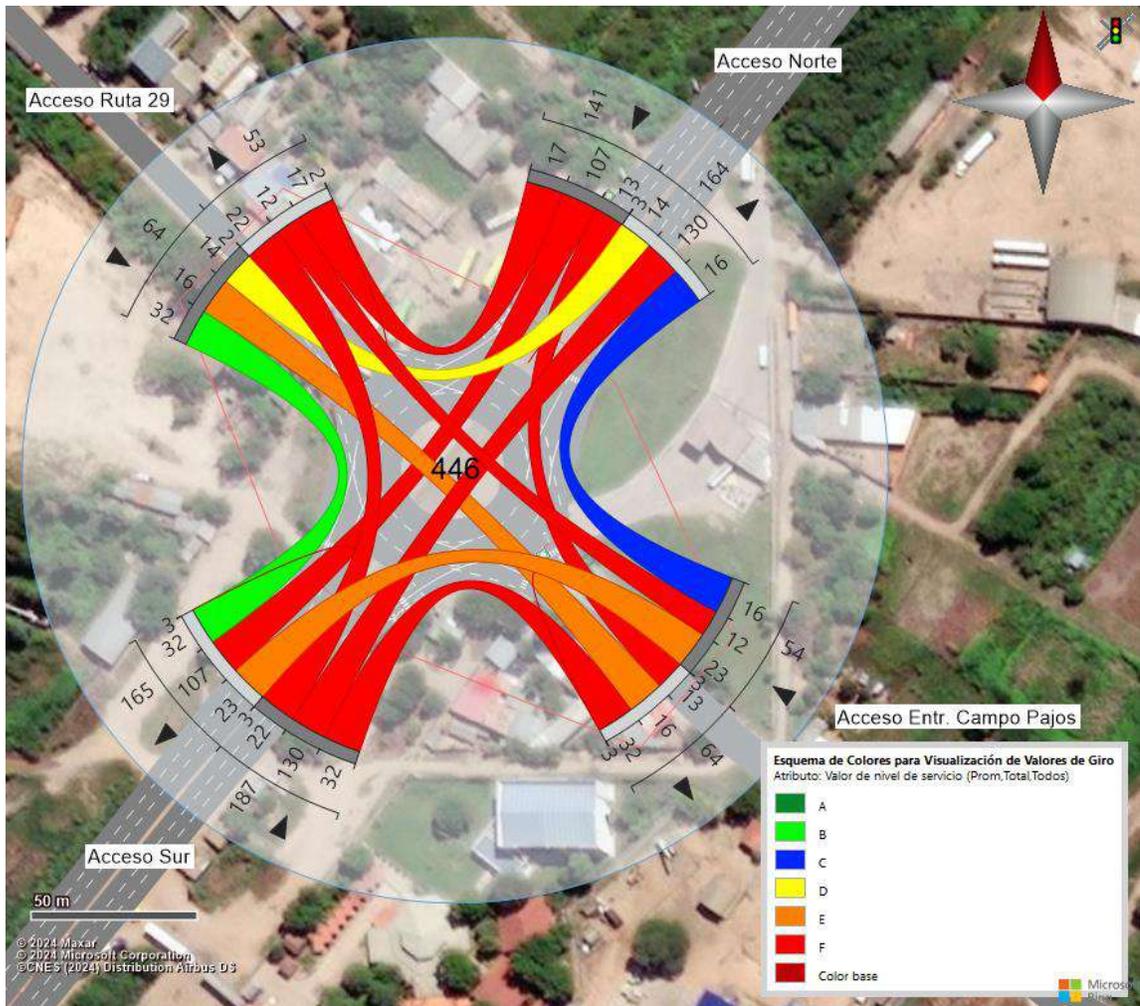
4.2.2.2. Resultados de simulación

Tabla 52.Resultado de veh. que circulan en la rotonda y nivel de servicio

Sim.	Rotonda	
	Veh	Niv. De Serv.
1	466	E
2	494	D
3	488	D
4	489	E
5	436	E
6	427	F
7	418	F
8	408	E
9	419	F
10	431	F
11	354	F
12	482	F
13	394	F
14	429	F
15	434	F
16	451	F
17	465	F
18	486	E
19	475	E
20	479	E
Prom.	446	F
Desv. Estnd.	38	
Min	354	
Max	494	

Fuente. Elaboración propia

Figura67. Resultados de volúmenes rotonda



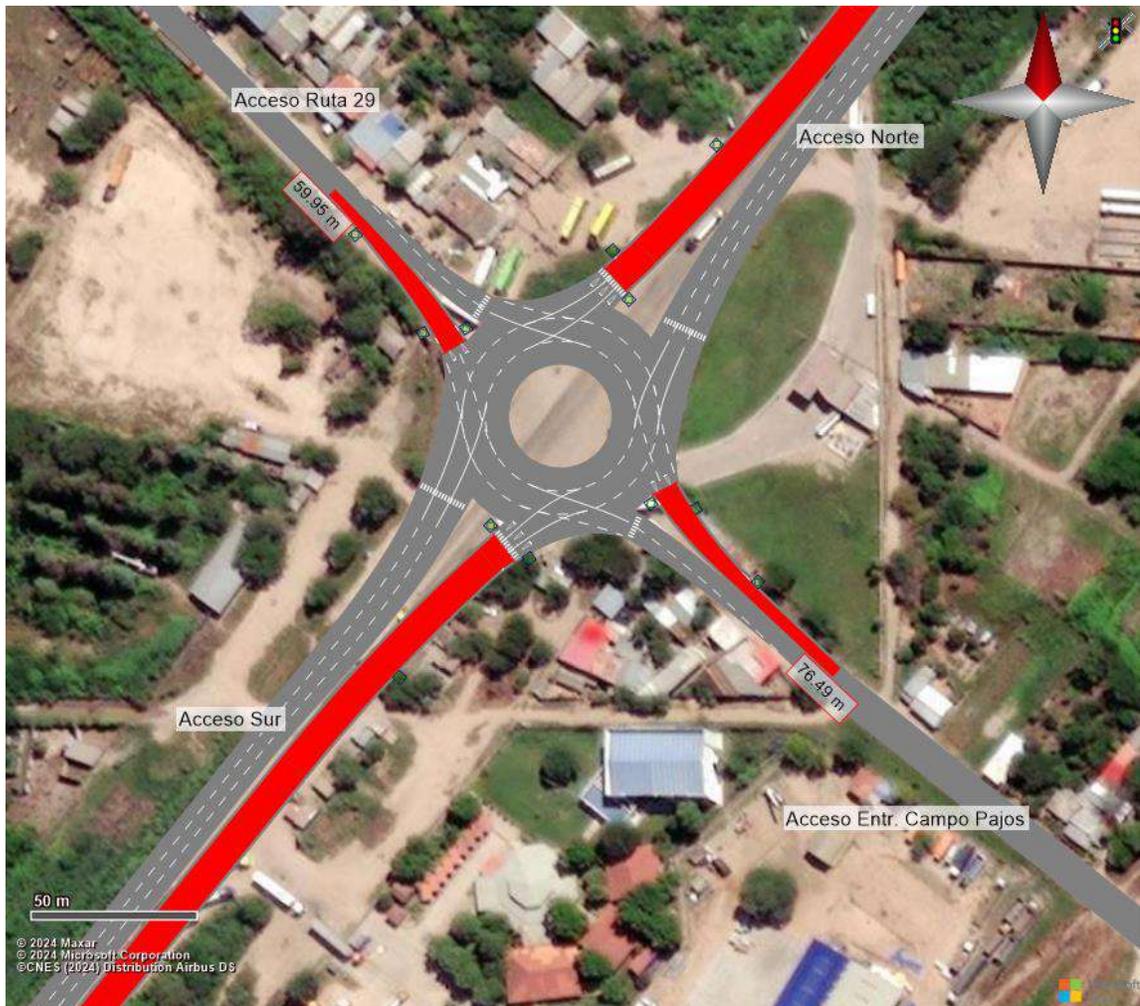
Fuente. Elaboración propia

Tabla 53.Longitud de cola en cada acceso de la rotonda

Rotonda				
Acceso	Sur R9	Norte R9	Entr. a Campo Pajoso	Ruta D29
1	242.68	213.92	93.54	40.02
2	78.14	165.50	48.71	68.40
3	182.19	53.24	41.65	33.11
4	160.25	195.27	113.25	27.25
5	288.99	259.14	51.01	41.44
6	228.98	337.29	28.18	79.31
7	309.56	283.94	55.09	45.47
8	114.92	339.58	45.76	27.16
9	183.69	342.59	266.28	29.11
10	338.71	294.84	48.07	99.73
11	337.16	357.76	70.37	171.91
12	201.02	245.54	30.19	81.32
13	249.86	352.46	181.30	104.64
14	350.26	271.34	39.48	41.33
15	268.67	350.12	44.40	38.22
16	217.48	243.95	64.04	27.46
17	312.75	304.99	87.12	47.43
18	152.74	212.53	54.75	54.43
19	209.08	153.78	98.36	105.19
20	97.61	266.09	68.25	35.94
Prom.	226.24	262.19	76.49	59.94
Desv. Estd.	81.67	79.88	56.98	37.32
Min	78.14	53.24	28.18	27.16
Max	350.26	357.76	266.28	171.91

Fuente. Elaboración de Propia

Figura68. Longitud de cola en los accesos de la rotonda



Fuente. Elaboración propia

4.2.3. Alternativa rotonda semaforizada

Esta alternativa se plantea después de observar en la simulación un flujo vehicular caótico e inestable y obtener resultados desfavorables.

Las fases que se establecieron fueron 2 fases

4.2.3.1. Tiempos de semaforización

El ciclo óptimo para las 2 fases calculado es el siguiente.

$$Co = 76 \text{ segundos}$$

Los tiempos para cada Fase fueron los siguientes.

$$G1=40 \text{ seg.} \quad A1=3 \text{ seg.} \quad TR1=6 \text{ seg.}$$

$$G2=18 \text{ seg.} \quad A2=3 \text{ seg.} \quad TR2=6 \text{ seg.}$$

Los detalles del cálculo se encuentran en el Anexo 5 SemafORIZACIÓN.

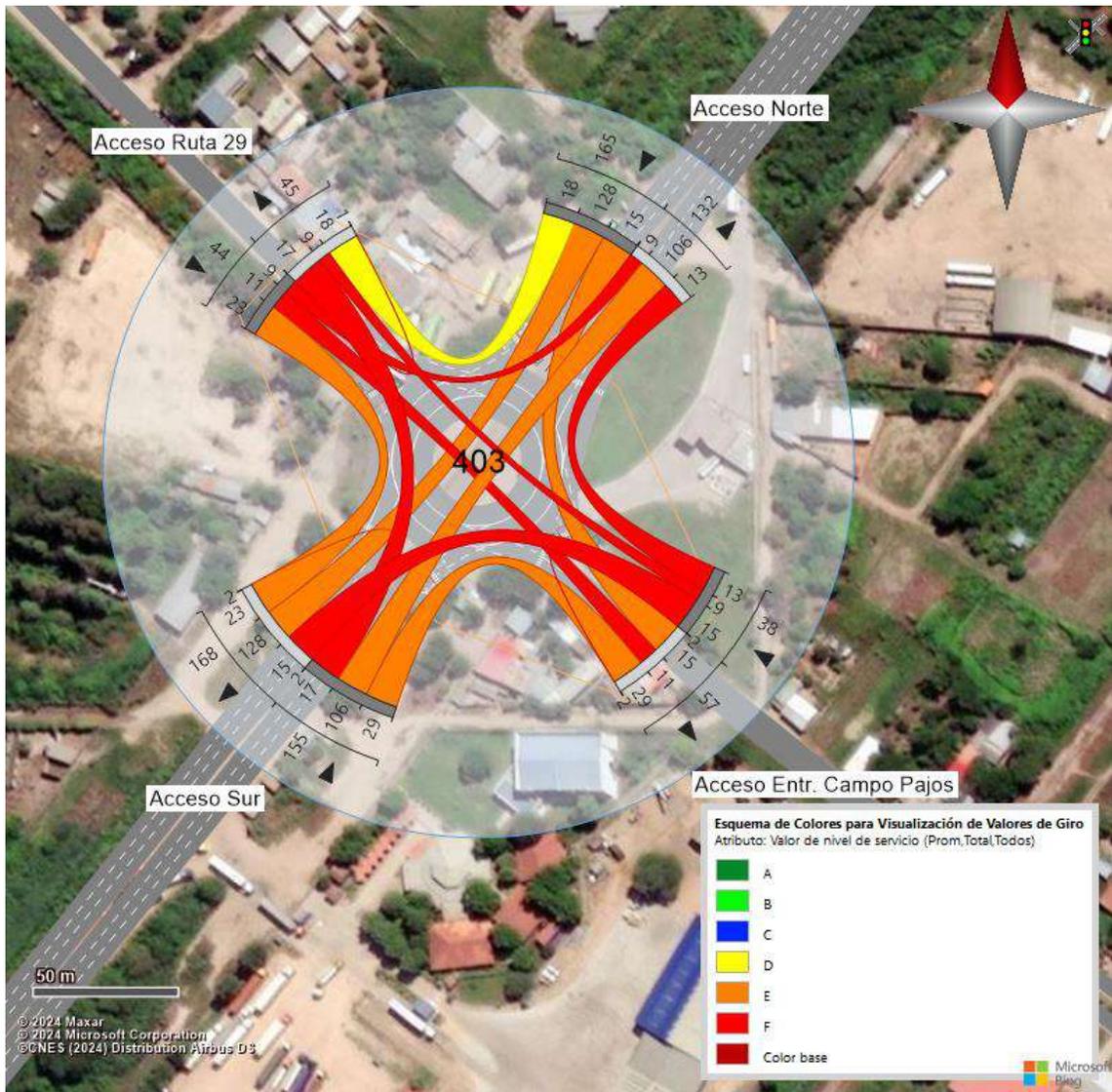
4.2.3.2. Resultados de simulación

Tabla 54. Resultados de Veh que circulan por la rotonda SemafORIZADA y Nivel de Servicio

Sim.	Rotonda SemafORIZADA	
	Veh	Niv. De Serv.
1	457	E
2	490	D
3	129	B
4	435	E
5	444	E
6	297	F
7	443	E
8	390	E
9	462	E
10	347	F
11	288	D
12	477	E
13	383	D
14	496	D
15	471	E
16	414	E
17	328	E
18	388	F
19	493	D
20	426	E
Prom.	403	E
Desv. Estnd.	90	
Min	129	
Max	496	

Fuente. Elaboración de propia

Figura69. Resultados de volúmenes de rotonda semaforizada



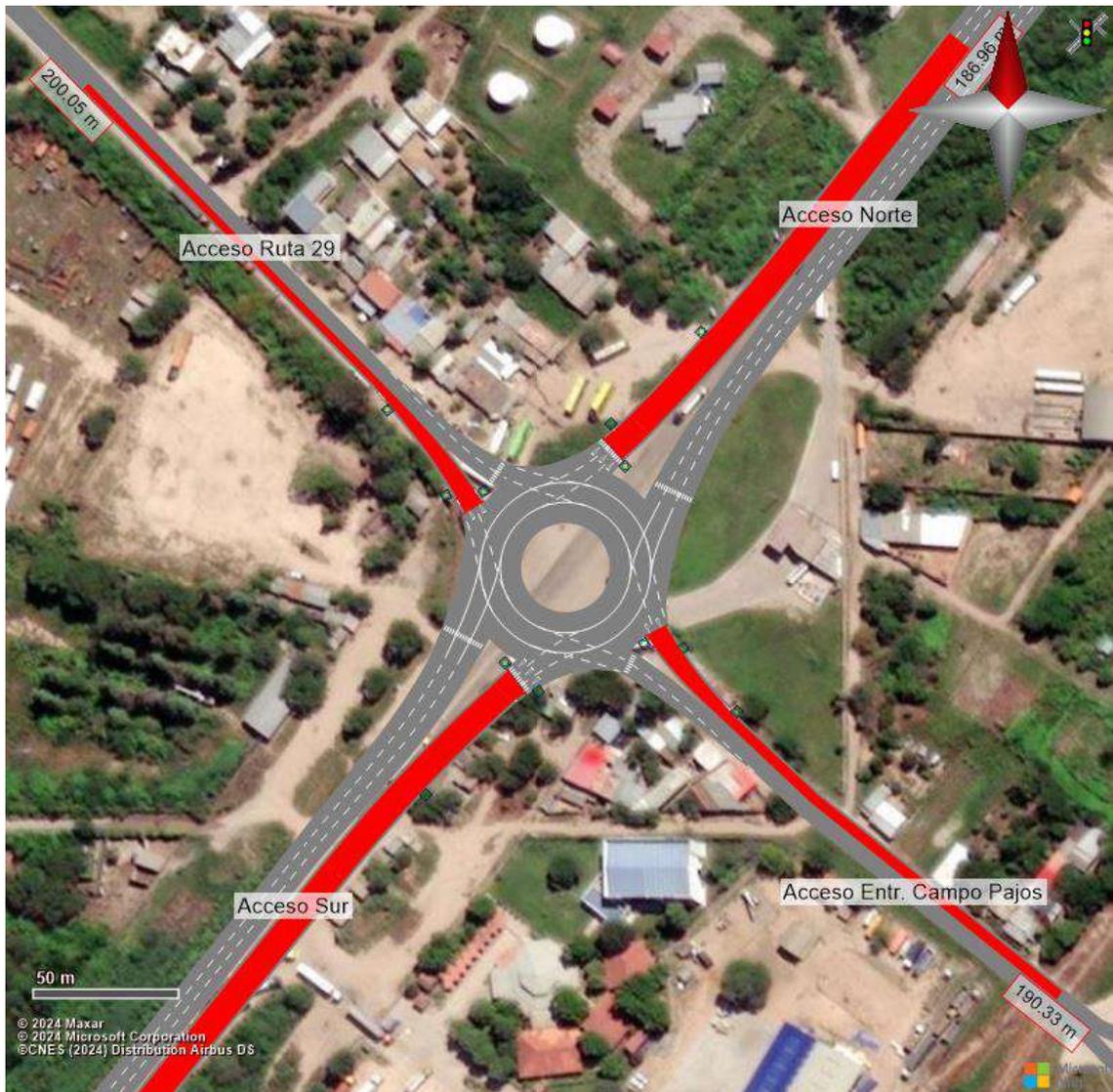
Fuente. Elaboración propia

Tabla 55. Longitud de cola de cada acceso de rotonda semaforizada

Rotonda Semaforizada				
Acceso	Sur R9	Norte R9	Entr. a Campo Pajoso	Ruta D29
1	246.51	146.31	182.37	129.76
2	97.80	122.55	106.86	281.41
3	332.43	357.71	266.52	481.66
4	318.01	78.01	159.11	168.26
5	319.00	116.28	186.24	125.55
6	348.40	279.11	130.69	267.28
7	274.39	250.94	170.01	68.26
8	202.63	250.89	137.13	84.21
9	256.16	156.99	267.63	114.63
10	335.72	307.45	189.83	314.11
11	335.19	217.04	224.19	367.99
12	245.16	87.24	88.26	232.18
13	183.55	290.18	306.39	227.89
14	230.72	72.32	172.30	151.50
15	258.39	130.02	248.29	206.05
16	335.76	145.52	155.97	123.24
17	348.01	307.08	321.53	171.56
18	337.35	192.81	109.78	181.38
19	146.83	97.82	212.02	131.01
20	334.21	132.85	171.45	172.97
Prom.	274.31	186.96	190.33	200.05
Desv. Estnd.	73.24	88.51	65.31	102.08
Min	97.80	72.32	88.26	68.25
Max	348.40	357.70	321.53	481.66

Fuente. Elaboración propia

Figura70. Longitud de cola de cada acceso de la rotonda con semáforos



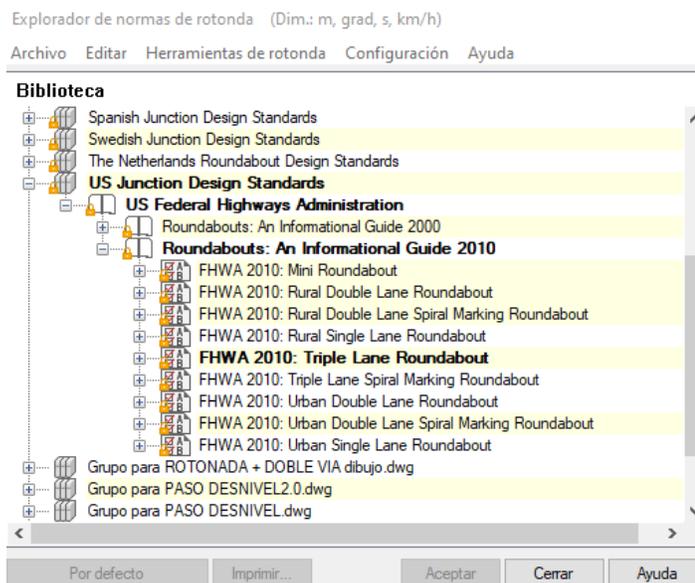
Fuente. Elaboración propia

4.2.4. Alternativa intersección con paso a desnivel

Esta intersección cuenta con la característica de construir un paso a desnivel de la ruta con mayor circulación, en este caso se decidió canalizar los vehículos de la ruta F9 que circulan de frente en ambos sentidos por un paso a desnivel de manera que se descongestione la intersección. Además, cambiaremos a una rotonda de dos carriles para el intercambio de carriles en la intersección.

La rotonda al igual que la anterior se seleccionó de la biblioteca de rotonda del software de Civil 3D que es la Rural Double Lane Roundabout normada por la US Federal Highways Administration de su guía 2010.

Figura71. Biblioteca de Rotondas de Civil 3D.



Fuente. Elaboración propia

Los parámetros del diseño de la nueva intersección son los siguientes:

Tabla 56. Parámetros de la calzada de la rotonda

Descripción	Unidad	Magnitud
Diámetro de la isleta central	m	35
Diámetro del círculo inscrito	m	67
Ancho de plataforma de seguridad	m	2
Diámetro de Plataforma de seguridad	m	39
Ancho de carril 1	m	7
Ancho de carril 2	m	7
Ancho de calzada	m	16
Bombeo	%	2

Fuente. Elaboración propia

Tabla 57. Parámetros del acceso ruta F9 S-N.

Descripción	Unidad	Magnitud
Ancho de calzada de ingreso	m	7
Ancho de calzada de salida	m	7
Radio de entrada borde separador de calzada	m	30
Radio de salida borde separador de calzada	m	45
Radio de entrada borde exterior de calzada	m	104
Radio de salida borde exterior de calzada	m	75
Radio entre accesos	m	40
Separación entre Carriles	m	17
Bombeo	%	2

Fuente. Elaboración propia

Tabla 58.Parámetros del acceso ruta F9 N-S.

Descripción	Unidad	Magnitud
Ancho de calzada de ingreso	m	7
Ancho de calzada de salida	m	7
Radio de entrada borde separador de calzada	m	30
Radio de salida borde separador de calzada	m	45
Radio de entrada borde exterior de calzada	m	85
Radio de salida borde exterior de calzada	m	97
Radio entre accesos	m	40
Separación entre Carriles	m	17
Bombeo	%	2

Fuente. Elaboración propia

Tabla 59.Parámetros del acceso ruta D29.

Descripción	Unidad	Magnitud
Ancho de calzada de ingreso	m	7
Ancho de calzada de salida	m	7
Radio de entrada borde separador de calzada	m	113
Radio de salida borde separador de calzada	m	90
Radio de entrada borde exterior de calzada	m	63
Radio de salida borde exterior de calzada	m	63
Radio entre accesos	m	40
Longitud de isla separadora	m	10
Bombeo	%	2

Fuente. Elaboración propia

Tabla 60.Parámetros del acceso Entrada a Campo Pajoso.

Descripción	Unidad	Magnitud
Ancho de Calzada de ingreso	m	7
Ancho de Calzada de salida	m	7
Radio de entrada borde separador de calzada	m	60
Radio de salida borde separador de calzada	m	94
Radio de entrada borde exterior de calzada	m	40
Radio de salida borde exterior de calzada	m	50
Radio entre accesos	m	40
Longitud de isla separadora	m	10
Bombeo	%	2

Fuente. Elaboración propia

Tabla 61.Parámetros de rampa de acceso Sur. al Puesto a Desnivel

Descripción	Unidad	Magnitud
Calzada		2 (unidireccional)
Número de carriles		2
Ancho de carriles	m	3.5
Carril central de separación	m	0.8
Pendiente longitudinal	%	7
Longitud	m	150
Bombeo	%	2

Fuente. Elaboración propia

Tabla 62.Parámetros de rampa de acceso N al Puesto a Desnivel

Descripción	Unidad	Magnitud
Calzada		2 (unidireccional)
Número de carriles		2
Ancho de carriles	m	3.5
Carril central de separación	m	0.8
Pendiente longitudinal	%	6
Longitud	m	100
Bombeo	%	2

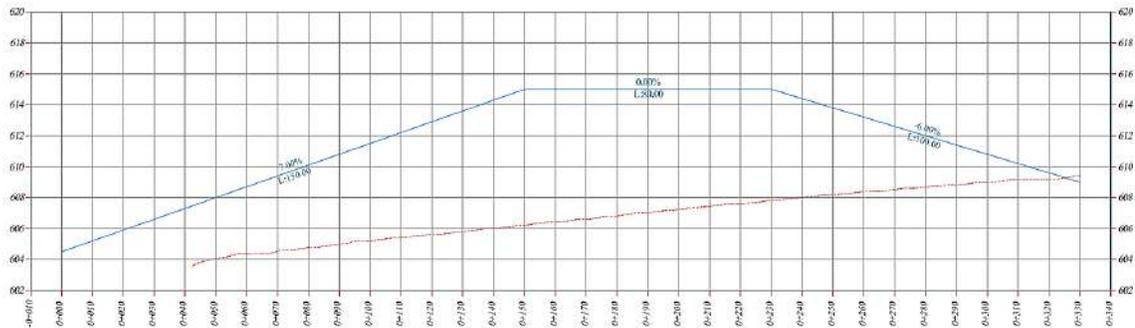
Fuente. Elaboración propia

Tabla 63.Parámetros del puente a desnivel

Descripción	Unidad	Magnitud
Ancho del Tablero	m	15.8
Longitud	m	80
Desnivel de rotonda a parte baja de la viga	m	5.8
Ancho de calzada unidireccional	m	7
Número de carriles		2
Ancho de Carriles	m	3.5
Bombeo	%	2

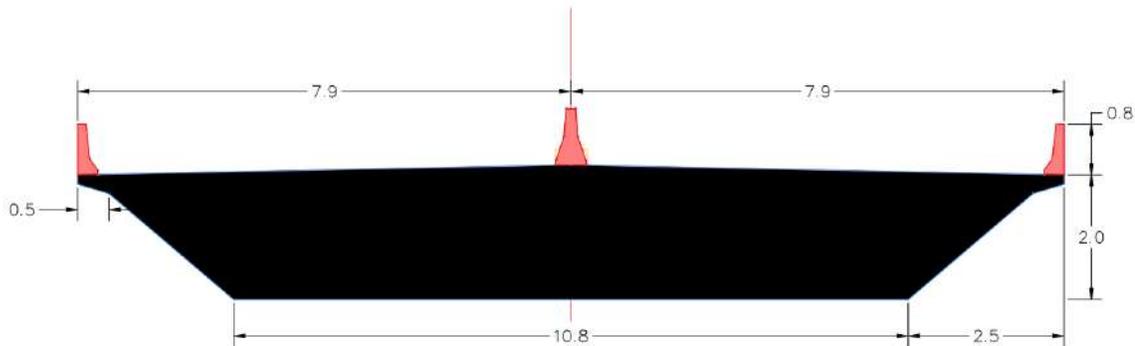
Fuente. Elaboración propia

Figura72. Perfil de ruta F9 rampas de accesos y puente a desnivel



Fuente. Elaboración propia

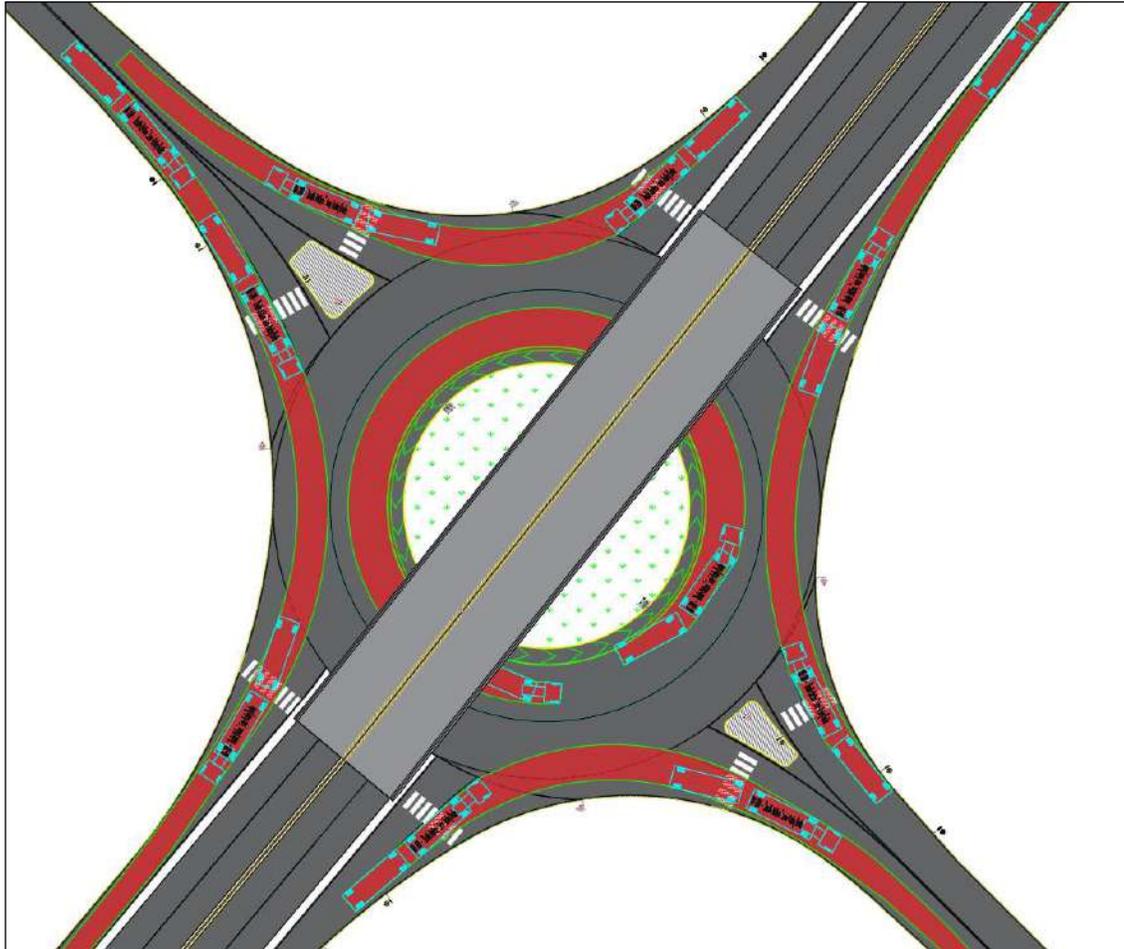
Figura73. Sección transversal del puente a desnivel



Fuente. Elaboración propia

Con el fin de comprobar si el diseño geométrico de la intersección está correctamente se procede a usar la herramienta de Autodesk Vehicle Tracking usada ya anteriormente.

Figura 74. Radios de giros que realizaría el vehículo WB-20D en la intersección



Fuente. Elaboración propia

Como se observa en la Figura 74 no existe ningún conflicto para que el vehículo de diseño tome las curvas que se diseñaron en la intersección, validando el correcto diseño geométrico de la intersección a desnivel.

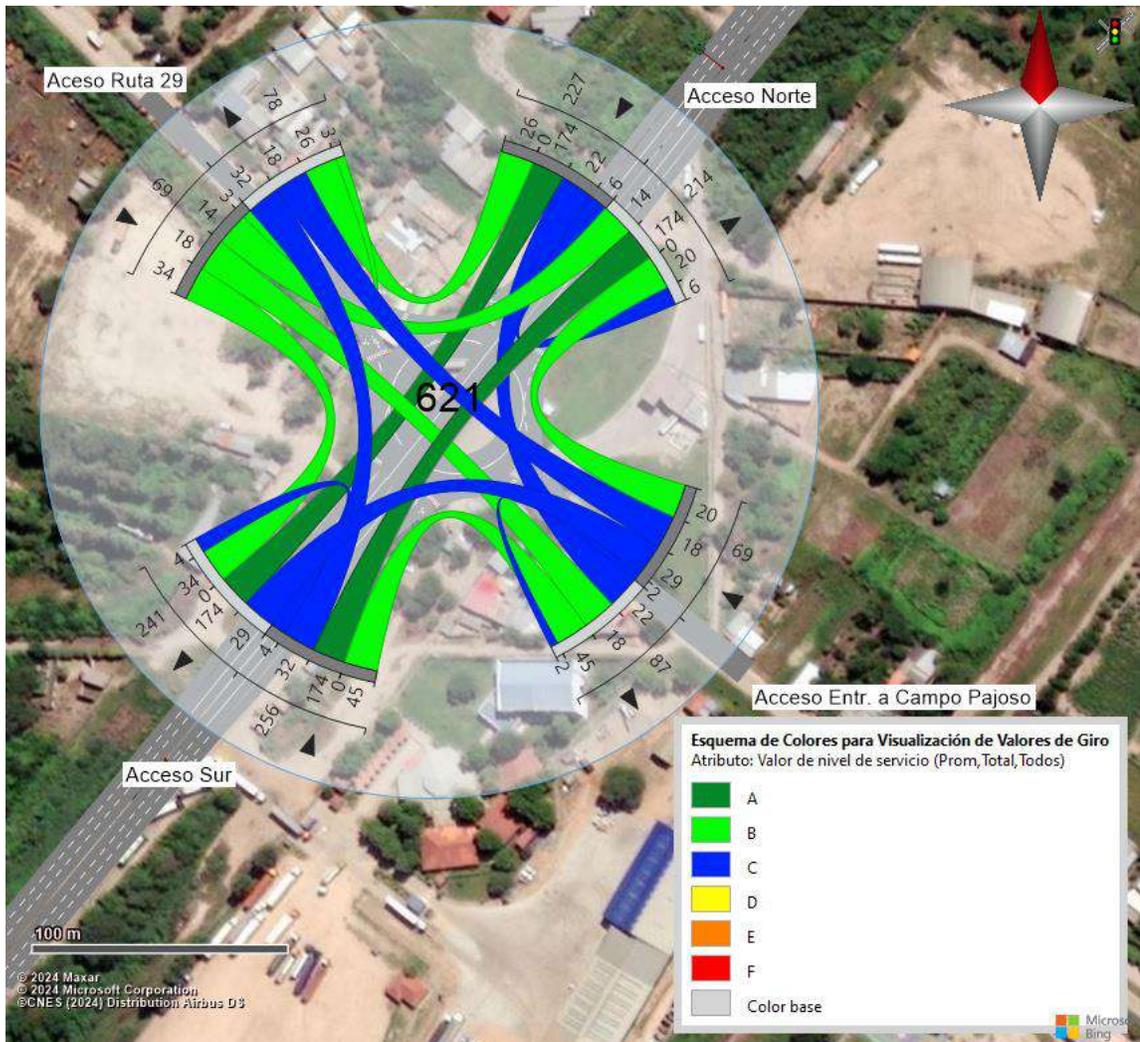
4.2.4.1. Resultados de simulación

Tabla 64. Resultados de veh. que circulan por la intersección con paso a desnivel y nivel de servicio

Sim.	Inter. con paso a desnivel	
	Veh	Niv. De Serv.
1	633	A
2	606	A
3	587	A
4	638	A
5	620	C
6	633	A
7	653	A
8	577	A
9	630	A
10	632	B
11	610	A
12	597	A
13	622	A
14	633	A
15	662	A
16	611	A
17	661	A
18	598	A
19	609	A
20	600	A
Prom.	621	A
Desv. Estnd.	23	
Min	577	
Max	662	

Fuente. Elaboración propia

Figura75. Resultados de volúmenes y nivel de servicio en paso a desnivel



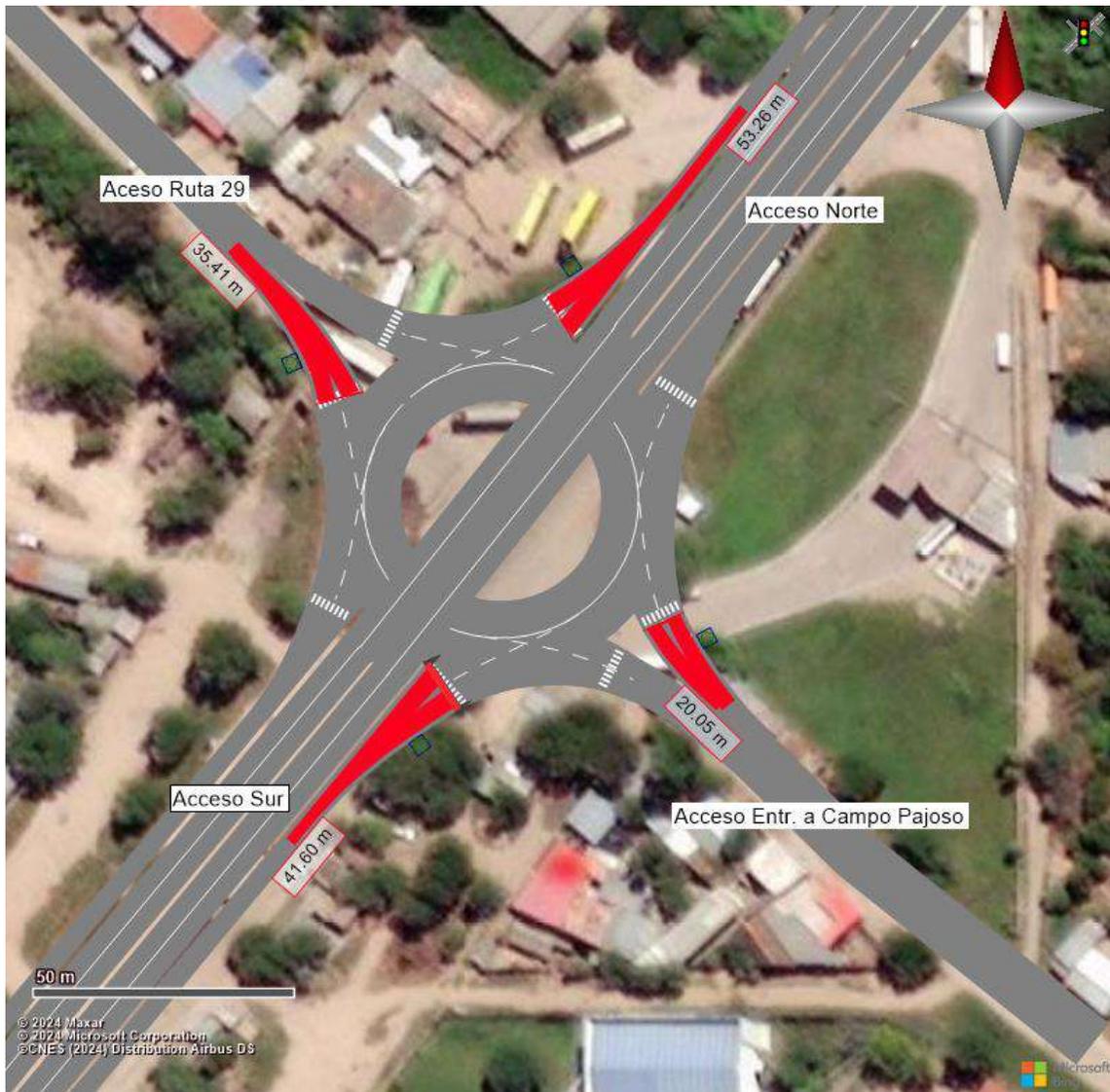
Fuente. Elaboración propia

Tabla 65. Resultado de longitud de cola de accesos
alternativa paso a desnivel

Inter. Con Paso a Desnivel				
Acceso	Sur R9	Norte R9	Entr. a Campo Pajoso	Ruta D29
1	24.49	30.42	44.25	55.54
2	32.37	30.34	40.23	37.77
3	22.07	19.60	0.00	27.96
4	24.78	105.88	22.04	23.88
5	134.70	215.12	28.98	33.94
6	153.33	36.10	0.00	29.12
7	35.31	130.15	13.65	23.98
8	17.43	29.77	0.00	46.94
9	40.00	93.84	7.50	7.40
10	43.03	132.42	40.84	26.24
11	42.68	22.87	16.49	32.17
12	28.15	15.95	32.15	38.38
13	30.16	33.55	7.58	15.04
14	13.88	57.40	17.30	79.29
15	24.76	9.77	36.72	36.22
16	11.73	18.80	41.58	20.08
17	28.23	36.89	31.16	46.56
18	34.75	10.11	0.00	21.07
19	83.45	25.39	10.94	61.50
20	6.69	10.71	9.54	45.01
Prom.	41.60	53.25	20.05	35.41
Desv. Estd.	38.57	54.45	15.72	16.96
Min	6.69	9.77	0.00	7.40
Max	153.33	215.12	44.25	79.29

Fuente. Elaboración propia

Figura76. Longitud de cola en los accesos alternativa paso a desnivel



Fuente. Elaboración propia

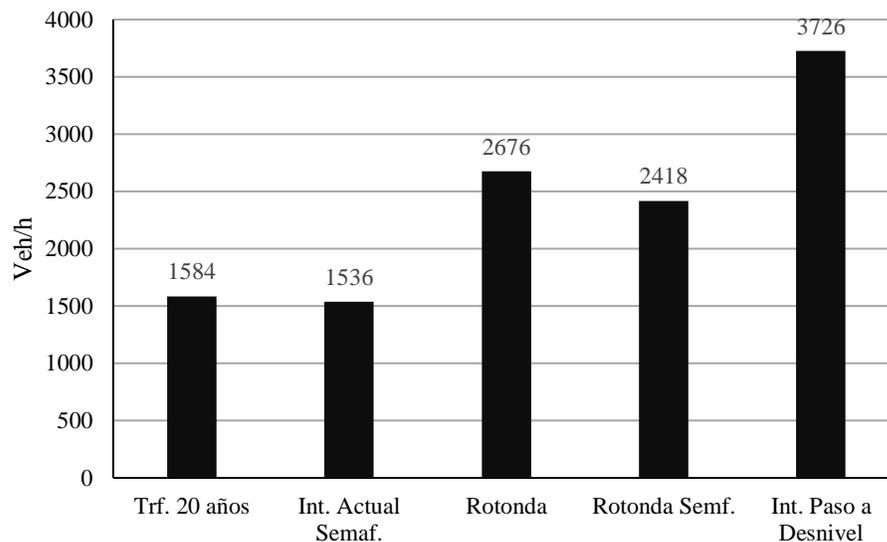
4.3. Análisis y comparación de resultados.

Tabla 66. Volúmenes promedio de Veh/h que pasan por la intersección

Alternativa	Veh/h	N. de serv.
Trf. 20 años	1584	F
Int. actual semaf.	1536	E
Rotonda	2676	F
Rotonda semf.	2418	E
Int. paso a desnivel	3726	A

Fuente. Elaboración propia

Gráfico 12. Veh/h de cada alternativa



Fuente. Elaboración propia

Analizando los resultados se observa que, al implementar un ciclo semafórico en la intersección en las condiciones actuales, en las simulaciones se observa que el flujo vehicular es más organizado y seguro en la intersección, pero el número de vehículos que circulan se reduce y el nivel de servicio de la intersección se reduce al nivel E lo que no llega a cumplir con nuestro propósito.

En el caso de la alternativa de implementar una intersección tipo rotonda se tiene que el número de vehículos que circula en la intersección incrementa, pero al igual que en la intersección sin implementar ningún tipo de dispositivo de control de tráfico el flujo vehicular es caótico e inestable causando problemas de seguridad vial, el nivel de servicio de la intersección tipo rotonda también se encuentra en el nivel F.

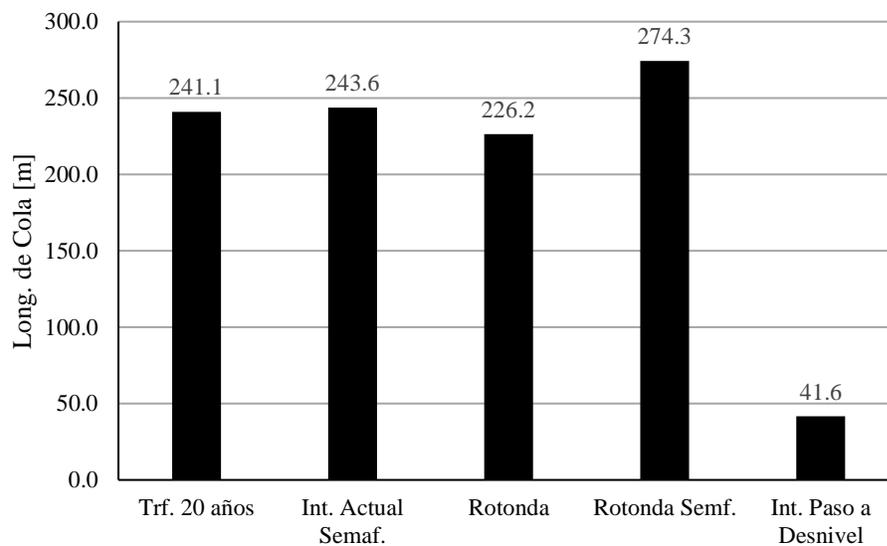
Empleando en la intersección tipo rotonda un ciclo semafórico se logra que el flujo vehicular sea más ordenado y brinde mayor seguridad vial, pero el número de vehículos que circula en la intersección disminuye lo que presenta el mismo problema de implementar semáforos en la intersección original, el nivel de servicio de esta alternativa disminuye al nivel E, pero este cambio no es muy significativo.

En vista que las alternativas a nivel dieron resultados muy pobres en cuestión de abordar a solucionar los problemas que presentaría un incremento de tráfico como se espera con los datos estadísticos, se realiza el análisis de una nueva alternativa pero de tipo a desnivel, en este caso con un paso a desnivel que canalice el movimiento de vehículo

de mayor demanda, que en este caso es el movimiento directo de los accesos Sur y Norte de la ruta F9, en esta intersección a desnivel se tiene resultados satisfactorios donde el número de vehículos que circulan en la intersección aumentan significativamente en comparación de las otras alternativas propuestas a nivel, por otra parte se observa en la simulación un flujo vehicular estable y ordenado, lo que se refleja en el resultado del nivel de servicio de la intersección que en este caso se encuentra en la categoría A.

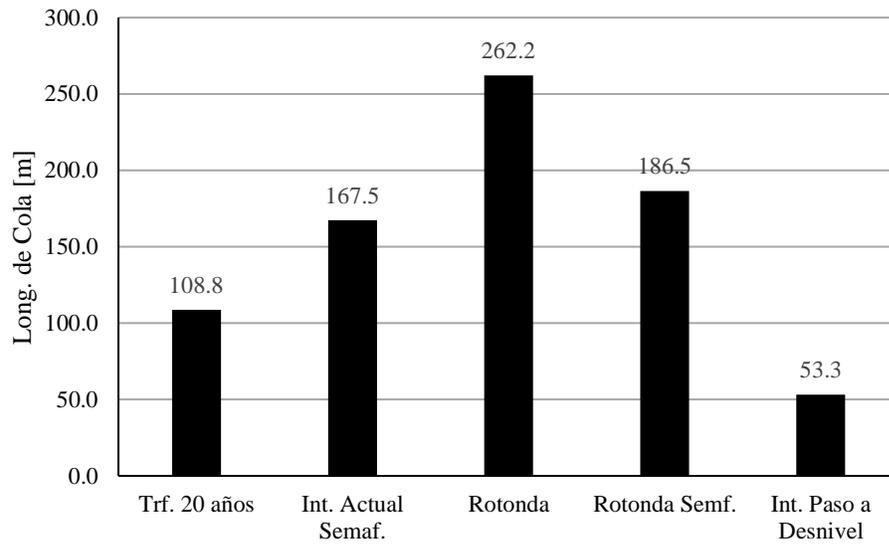
Por otro lado, compararemos la longitud de cola que se forma en cada acceso de la intersección para cada alternativa simulada.

Gráfico 13. Longitud de cola del acceso sur ruta F9



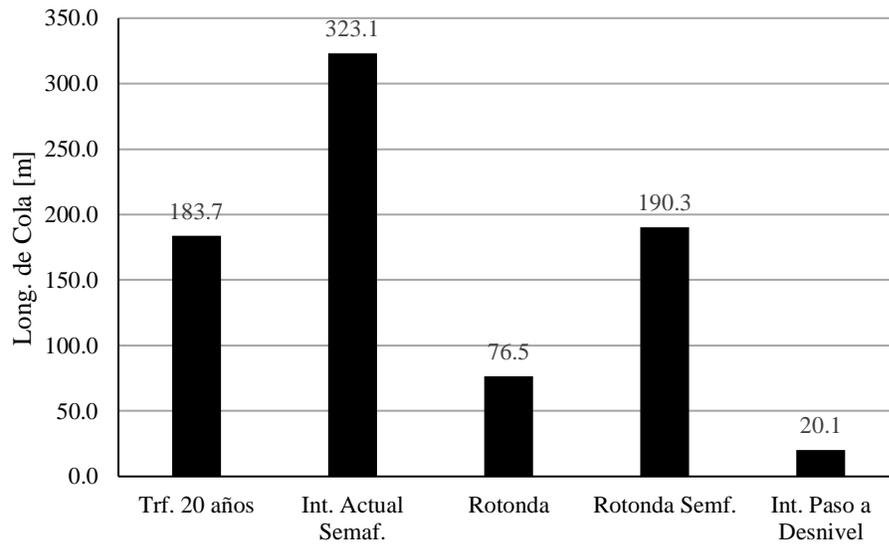
Fuente. Elaboración propia

Gráfico 14. Longitud de cola del acceso norte ruta F9



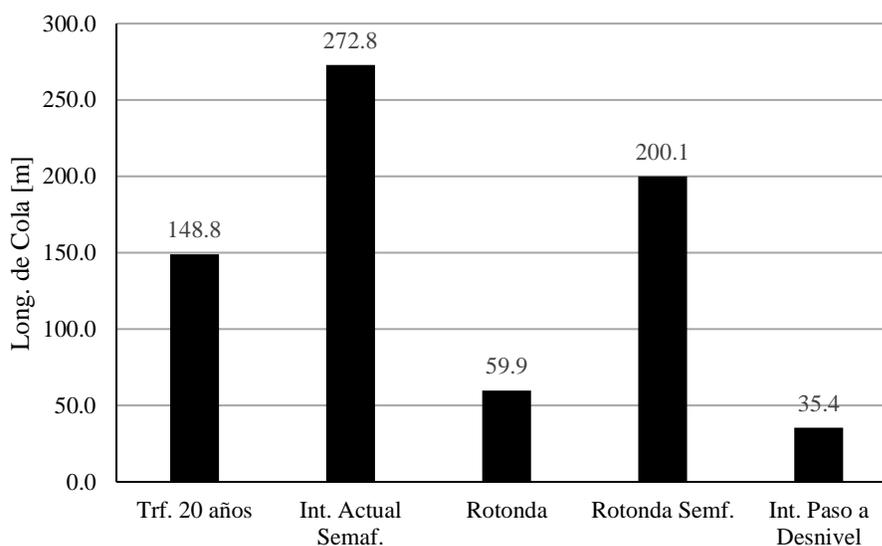
Fuente. Elaboración propia

Gráfico 15. Longitud de cola del acceso Entr. a Campo Pajoso



Fuente. Elaboración propia

Gráfico 16. Longitud de cola acceso ruta D29



Fuente. Elaboración propia

Los resultados de la longitud de cola de cada acceso nos muestran que, en las alternativas a nivel analizadas, los resultados son longitudes de colas demasiadas extensa, que refleja los resultados que se obtienen sobre el nivel de servicio de las alternativas.

En el caso de la alternativa a desnivel las longitudes de cola en los accesos disminuyen satisfactoriamente en comparación de las alternativas a nivel reflejando de esa manera que el resultado de su nivel de servicio A es correcto y que la alternativa con un paso desnivel es la más óptima.

4.4. Prueba de verificación de hipótesis

Como nuestra tesis se enfoca en ver como los resultados de nuestra investigación mejora el flujo vehicular en la intersección después de proponer una nueva alternativa, lo que nos indica que tenemos una pre y pos medición, por lo que se define que la prueba de hipótesis que se realizara para nuestra investigación es una prueba T-STUDENT para muestras relacionadas.

La hipótesis de investigación de esta tesis dice:

La condición del flujo vehicular en la intersección de la Ruta F9 con la Ruta D29 mejora significativamente para la implementación de una alternativa de flujo.

Como esta hipótesis tiene una condicionante de mejora su conector de la hipótesis alternativa es ($>$) mayor que. Lo que define la siguiente hipótesis nula y alternativa:

4.4.1. Hipótesis nula (h0)

La condición del flujo vehicular en la intersección de la Ruta F9 con la Ruta D29 no mejora significativamente para la implementación de una alternativa de flujo.

$$H_0 : \mu_{alternativa} \leq \mu_{actual}$$

4.4.2. Hipótesis alternativa (h1)

La condición del flujo vehicular en la intersección de la Ruta F9 con la Ruta D29 mejora significativamente para la implementación de una alternativa de flujo.

$$H_1 : \mu_{alternativa} > \mu_{actual}$$

Para validar estas hipótesis se debe determinar el valor Tc estadístico y compararlo con el valor estadístico crítico (t) para un nivel de confianza de investigación y nivel de significancia propuesto.

4.4.3. Cálculo del valor estadístico crítico (t)

Nivel de confianza de la investigación: NC = 95 %

Nivel de Significancia propuesto: $\alpha = 5 \% \rightarrow 0.05$

Grados de Libertad:

$$v = n_{simulaciones} - 1$$

$$v = 20 - 1$$

$$v = 19$$

Usando el software Excel y su función:

$$fx = INV.T(1 - \alpha; v)$$

Se determina el valor (t): $t = 1.72913281$

4.4.4. Cálculo del valor estadístico (tc).

En este caso como en la intersección se cuenta 4 accesos el análisis de cálculo de este valor se debe realizar para cada acceso teniendo como tal el siguiente proceso de cálculo usando el software de SPSS Statistics.

Tabla 67.Diferencia de datos del flujo de acuerdo al tipo de intersección

T=20 años	T=20 años Semaforizada	Rotonda	Rotonda semaforizada	Paso a Desnivel	Dif Par 1	Dif Par 2	Dif Par 3	Dif Par 4
383	272	466	457	633	-111	83	74	250
377	282	494	490	606	-95	117	113	229
371	269	488	129	587	-102	117	-242	216
203	259	489	435	638	56	286	232	435
258	273	436	444	620	15	178	186	362
318	253	427	297	633	-65	109	-21	315
309	243	418	443	653	-66	109	134	344
250	250	408	390	577	0	158	140	327
230	264	419	462	630	34	189	232	400
204	244	431	347	632	40	227	143	428
346	242	354	288	610	-104	8	-58	264
209	261	482	477	597	52	273	268	388
240	266	394	383	622	26	154	143	382
184	280	429	496	633	96	245	312	449
245	247	434	471	662	2	189	226	417
255	239	451	414	611	-16	196	159	356
269	241	465	328	661	-28	196	59	392
250	242	486	388	598	-8	236	138	348
259	251	475	493	609	-8	216	234	350
125	241	479	426	600	116	354	301	475

Fuente. Elaboración propia

Tabla 68. Estadística de muestras relacionadas.

		Media	N	Desv. desviación	Desv. error promedio
Par 1	T=20 Semf.	255.9500	20	14.06554	3.14515
	T=20	264.2500	20	68.34962	15.28344
Par 2	Rotonda	446.2500	20	37.53717	8.39357
	T=20	264.2500	20	68.34962	15.28344
Par 3	Rotonda Semf.	402.9000	20	90.28079	20.18740
	T=20 años	264.2500	20	68.34962	15.28344
Par 4	Paso a Desnivel	620.6000	20	23.45746	5.24525
	T=20 años	264.2500	20	68.34962	15.28344

Fuente. Elaboración propia, resultados del SPSS

Tabla 69. Prueba de muestras relacionadas.

		Diferencias emparejadas					tc	gl	Sig. (bilateral)
		Media	Desv. desviación	Desv. error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
					Inferior	Superior			
Par 1	Semaf T=20 años	-8.30	66.14	14.79	-39.25	22.65	-0.56	19	0.581
Par 2	Rotonda T=20 años	182.00	79.41	17.76	144.84	219.16	10.25	19	0.000
Par 3	Rotnd Semf T=20 años	138.65	131.84	29.48	76.95	200.35	4.70	19	0.000
Par 4	Paso Desnivel T=20 años	356.35	72.95	16.31	322.21	390.49	21.85	19	0.000

Fuente. Elaboración propia, resultados del SPSS

4.4.5. Comparación de valores estadísticos

$Si t_c > t \rightarrow H_0$ cae en region de rechazo.

Par 1:

$-0.56 > 1.729$ NO CUMPLE H_0 Cae en la región de aceptación

Par 2:

$10.25 > 1.729$ CUMPLE H_0 Cae en la región de rechazo

Par 3:

$4.70 > 1.729$ CUMPLE H_0 Cae en la región de rechazo

Par 4:

$21.85 > 1.729$ CUMPLE H_0 Cae en la región de rechazo

4.4.6. Conclusión sobre las hipótesis

H_1 se acepta para las pruebas emparejadas Par 1, Par 2 y Par 3, en el caso del Par 1 se acepta la hipótesis H_0 .

Con esto se concluye que, para las alternativas de rotonda, rotonda semaforizada e intersección con un paso a desnivel, se acepta la hipótesis de esta investigación.

Para la alternativa de semaforizar la intersección con su geometría actual no se acepta la hipótesis de esta investigación.

4.5. Presupuesto general

Con el fin de dar una idea del costo aproximado de la alternativa más favorable se elaboró un presupuesto general con ayuda de precios unitarios de proyectos similares, obteniendo el siguiente presupuesto referencial.

Tabla 70. Presupuesto general de la alternativa a desnivel

Nº	Descripción	Und.	Cantidad	Unitario Bs	Parcial Bs
> M01 - Actividades Preliminares					9984.48
1	Replanteo de obra	glb	1.00	6705.60	6705.60
2	Desbroce	ha	1.00	3278.88	3278.88
> M02 - Movimiento de Tierras					1546745.73
1	Excavación	m ³	6269.21	16.75	105009.27
2	Rellenos	m ³	18975.21	75.98	1441736.46
> M03 - Estructuras					21776452.35
1	Pilas de Apoyos	m ³	126.60	6477.15	820007.19
2	Estribos	m ³	524.75	6295.71	3303673.82
3	Muro de Contención	m ³	1572.38	6295.71	9899248.49
4	Viga Pretensada	m ³	631.28	9076.62	5729888.67
5	Tablero	m ³	347.63	5821.23	2023634.18
> M04 - Conformación de Calzadas					4866387.17
1	Prov. y Confor Subrasante Mejorada y Transporte	m ³	4255.65	71.11	302619.27
2	Prov. y Confor. Capa Sub Base	m ³	3191.74	137.91	440172.86
3	Prov. y Confor. Capa Base	m ³	3191.74	177.54	566661.52
4	Imprimación Bituminosa	m ²	10639.13	15.85	168630.21
5	Carpeta de Concreto Asfáltico	m ³	1595.87	2123.17	3388303.31
> M05 - Seguridad y Señalización					468552.52
1	Muro de Defensa Lateral	m	157.80	478.62	75526.24
2	Muro Divisor New Jersey	m	330.00	933.51	308058.30
3	Señalización Horizontal	glb	1.00	52567.98	52567.98
4	Señalización Vertical	glb	1.00	32400.00	32400.00
Total, presupuesto:					28668122.25

Fuente. Elaboración propia

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACION

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El análisis del flujo vehicular proyectado se realizó con el apoyo de simulaciones hechas en el software PTV VISSIM. lo que nos pudo ayudar a identificar que el tipo de intersección actual de cuatro ramales a nivel presenta una condición de flujo vehicular inestable y forzado en sus cuatros ramales. Por lo cual como resultado para mejorar la condición del flujo se planteó 3 alternativas a nivel y una a desnivel, las cuales se sometieron a un análisis con el apoyo de simulaciones en el PTV VISSIM ,se corrobora que la condición del flujo vehicular mejora en 2 alternativas que son: rotonda y rotonda semaforizada, pero estas mejoras no son significativas porque al analizar su nivel de servicio de las alternativas se corrobora que su condición es de un nivel de servicio F y E dejándonos con un resultado a medias, por lo cual se planteó una intersección con un paso a desnivel donde se demostró que las mejoras en el flujo vehicular significativas al obtener un flujo vehicular promedio de $V= 625$ veh/h con un nivel de servicio A, en comparación a las demás alternativas a nivel, esta alternativa es la más óptima para afrontar los desafíos que proponen un aumento significativo del flujo vehicular en 20 años.

El análisis minucioso que se realizó a las teorías que sustentas a las intersecciones viales, facilito tener una comprensión detallada de los factores que más inciden en la funcionalidad de las intersecciones con condiciones de alto flujo vehicular.

Los aforos realizados en la intersección permiten obtener datos precisos de los volúmenes del tráfico actual. siendo estos aforos la base fundamental las proyecciones futuras y realización de simulaciones de tráfico vehicular en el software PTV VISSIM.

Se recopilo exitosamente las velocidades puntuales de los accesos de ingreso a la intersección. lo que nos ayudó a calibrar de manera más precisa las condiciones del modelo del tráfico vehicular en el software de PTV VISSIM.

AL usar un dron para obtener la fotogrametría del lugar resulto ser una herramienta valiosa como alternativa a realizar levantamientos topográficos con instrumentos clásicos; ya que la fotogrametría nos permitió determinar un Modelo Digital de Terreno que facilito el análisis geométrico del área de estudio.

Basados en los datos obtenidos y con el apoyo del software de Civil 3D el cual cuenta con normativas de diseño geométrico implementadas en su base de datos, se diseñó una Rotonda de 3 carriles como alternativa de solución para mejorar la condición del flujo vehicular en la intersección. cumpliendo con los parámetros establecidos por la normativa usada o vigente.

Las simulaciones de tráfico mostraron como la intersección actual puede comportarse al tráfico presente y futuro, identificando como la condición del flujo vehicular decae y si no se implementa una solución a largo plazo que genera conflictos.

Las alternativas diseñadas a través de las simulaciones demostraron que se puede identificar una alternativa que dé una solución viable para prevenir los problemas futuros de congestión y seguridad vial.

5.2. Recomendaciones

- Dado que la simulación de la intersección con el tráfico proyectado para el futuro mostró un deterioro en el índice de flujo vehicular. se recomienda la implementación de la alternativa de mejora diseñada. Esta solución permitirá mantener la fluidez vehicular y mejorar la seguridad en la intersección de la Ruta F9 con la Ruta D29.
- Las simulaciones realizadas con el software PTV VISSIM demostraron ser una herramienta eficaz para anticipar problemas de tráfico. Se sugiere su aplicación en otras intersecciones o elementos viales para evaluar o analizar las condiciones de tráfico y poder detectar problemas de tráfico y abordarlos de manera correcta.
- Es de vital importancia realizar la calibración adecuada del modelo de tráfico con las condiciones locales donde se pretende realizar los análisis implementando las simulaciones usadas con el software PTV VISSIM o cualquier otro programa de simulaciones de tráfico vehicular.
- Aunque el crecimiento vehicular es un factor importante en la proyección de tráfico, se recomienda que en estudios futuros se consideren también factores externos. como el desarrollo urbano y económico de la región. que puedan influir en los patrones de tránsito y la infraestructura vial necesaria.

- Es recomendable establecer un sistema regular de monitoreo del tráfico vehicular mediante aforos periódicos, con el fin de ajustar las proyecciones futuras y validar la eficacia de las soluciones implementadas. Esto también ayudaría a detectar posibles cambios en las tendencias del flujo vehicular a tiempo.
- Finalmente. antes de la implementación de la solución propuesta. se recomienda realizar una evaluación económica más detallada que permita asegurar la factibilidad del proyecto en términos de costos, Además. es importante valorar el impacto social de la obra. garantizando que la solución no solo resuelva el problema de tráfico; sino que también mejore la calidad de vida de los usuarios de la vía y de la comunidad en general.