



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

Facultad de Ciencia y Tecnología

Ingeniería Civil

Estudio de mejora a la movilidad en la intersección de la Av. México, Unidad
Nacional, Av. 10 de Agosto y Av. Loja. Cuenca, Ecuador

Trabajo previo a la obtención del grado académico de:

Ingeniería Civil

Autores:

Genovez Alarcón Anahi Cristina

Reinoso Silva Shirley Marcela

Director:

Ing. Pablo Andrés Carvallo Corral

Cuenca – Ecuador

2024

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación con todo mi amor y cariño a mi padre Kleber, quien me apoyó y confió en mí incondicionalmente a lo largo de todo el proceso universitario. A mi hermana Erika, por haber sido una influencia fundamental en la persona que soy hoy; muchos de mis logros, incluido este, se lo debo a ella. A mi abuela Mariana y a mi hermana Melida, quienes fueron un consuelo inestimable durante mis años universitarios. A mi novio Fernando, cuyas palabras de aliento me motivaron constantemente a alcanzar mis anhelos. Finalmente, a mis amigos Joanne, José, Anahi, Alexandra, Dayanna, quienes compartieron conocimientos, alegrías y tristezas durante estos cinco años sin esperar nada a cambio.

Shirley Marcela Reinoso Silva

Con mucho amor dedico este trabajo de titulación, principalmente a mis padres, Miguel y Rocío, quienes me brindaron su apoyo incondicional, confiaron en mí y me enseñaron el significado de la perseverancia y el esfuerzo, siendo mi pilar fundamental a lo largo de este proceso. A mi abuelita Carmela, por sus bendiciones y su amor incondicional, que me ayudaron a no rendirme y me dieron fuerza durante los desafíos que me tocó enfrentar. A Leslie, Nathaly, Esteban, Joselyn, Alanís, Marcela, Alexandra y Dayanna, personas especiales en mi vida que me brindaron su amistad sincera y su apoyo incondicional. Con ellos compartí alegrías, tristezas y conocimientos; nos apoyamos mutuamente en cada momento desafiante, disfrutando cada instante juntos. Finalmente, a todas las personas que contribuyeron y formaron parte de mi vida durante estos años de carrera universitaria, gracias por brindarme su apoyo. Este logro también es de todos ustedes.

Anahi Cristina Genovez Alarcón

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a la Universidad del Azuay por proporcionarnos las herramientas y los medios necesarios para llevar a cabo la realización del presente proyecto de titulación. También, queremos agradecer al Ing. M.Sc. Pablo Carvalho Corral, nuestro tutor, por su orientación. Sus conocimientos y experiencia fueron fundamentales durante todo el proceso de la realización del proyecto. Finalmente, agradecemos a la Ingeniera Gissela Chávez por su apoyo incondicional y su tiempo. Sus conocimientos fueron de gran importancia para la culminación del presente proyecto de titulación.

RESUMEN

La congestión vehicular es uno de los principales problemas que enfrenta actualmente ciertas zonas de la ciudad de Cuenca. Por esta razón el objetivo principal del presente estudio fue mejorar las condiciones de tránsito en la intersección que conecta la Avenida México, Unidad Nacional, Avenida 10 de Agosto y Avenida Loja. Se buscó optimizar tanto la circulación de peatones como de vehículos y eliminar los problemas de congestión en la rotonda existente. Esta congestión es causada por el elevado flujo vehicular en las vías que conforman la intersección. Para llevar a cabo el análisis, se recopilaron los datos necesarios mediante conteos vehiculares manuales, levantamientos de placas y capturas aéreas con dron. Con estos datos y utilizando el software de simulación de tránsito AIMSUN 8.1.3, se realizó una modelación que permitió analizar la situación actual de tráfico y la situación de la intersección con una demanda de tráfico proyectada para cinco años. Se evaluaron variables como niveles de servicio, tiempos de demoras, longitudes de cola, velocidades instantáneas y la capacidad vehicular existente en la intersección. Se lograron evaluar las variables necesarias para la toma de decisiones respecto a las soluciones propuestas para resolver la problemática existente. En este proyecto se plantearon dos alternativas de solución, cuyos resultados fueron favorables, ya que se logró mejorar el nivel de servicio de la intersección completa con ambas alternativas planteadas. Finalmente, se evaluaron y compararon los resultados de las dos alternativas y se tomó la decisión sobre cuál de las dos es más eficiente.

Palabras clave: congestión, simulación de tránsito, Aimsun, niveles de servicio, capacidad vehicular, velocidades instantáneas.

ABSTRACT

Traffic jams are one of the main problems currently facing certain areas of the city of Cuenca. For this reason, the main objective of this study was to improve traffic conditions at the intersection that connects “Avenida Mexico”, “Unidad Nacional”, “Avenida 10 de Agosto” and “Avenida Loja”. We sought to optimize both pedestrian and vehicular circulation and eliminate problems related to traffic jams at the existing traffic circle. This congestion is caused by the high vehicular flow on the roads that make up the intersection. To carry out this analysis, the necessary data was collected through manual vehicle counts, license plate surveys and aerial drone captures. With this data and using the traffic simulation software AIMSUN 8.1.3, a modeling was carried out to analyze the current traffic situation and the situation of the intersection with a projected traffic demand for five years. Variables such as levels of service, delay times, queue lengths, instantaneous speeds and the existing vehicular capacity of the intersection were evaluated. The variables needed to make decisions regarding the solutions proposed to solve the existing problems were evaluated. In this project, two alternative solutions were proposed, the results of which were favorable, since the level of service of the entire intersection was improved with both alternatives. Finally, the results of the two alternatives were evaluated and compared, and a decision was made as to which of the two is more efficient.

Key Words: congestion, traffic simulation, Aimsun, levels of service, vehicle capacity, instantaneous speeds.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	1
JUSTIFICACIÓN	1
OBJETIVOS.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
CAPÍTULO 1.....	3
1. Marco Teórico.....	3
1.1. Estado del arte.....	3
1.2. Intersecciones rotatorias	4
1.3. Niveles de servicio	4
1.4. Capacidad vial.....	6
1.5. Demora	6
1.6. Teoría de colas	7
1.7. Velocidad	8
1.8. Volumen del tránsito	9
Densidad de tráfico.....	10
1.10. Flujo vehicular	10
1.12. Modelo microscópico de tráfico	15
1.13. Cogestión vehicular	15
1.14. Plataforma de simulación: AIMSUN.....	16

CAPÍTULO 2.....	17
2. Estudio del tráfico	17
2.1. Delimitación del área a partir del estudio de los volúmenes vehiculares	17
2.2. Estudio de los volúmenes vehiculares observados.....	17
2.3. Determinación del TPDA en la actualidad	19
2.4. Tasa de crecimiento	23
2.5. Determinación del TPDA futuro	25
2.6. Composición del tráfico.....	26
2.7. Elaboración del matriz origen destino	30
2.8. Variación horaria del flujo en la intersección	35
CAPITULO 3.....	38
3. MODELACIÓN DE LA RED	38
3.1. Diseño de la red.....	38
3.2. Ingreso de las matrices origen destino y la demanda de tráfico.....	39
3.3. Creación de las líneas de transporte público en la red de diseño	42
3.4. Grupos semafóricos en la red de diseño	44
3.5. Generación de escenario dinámico y el experimento microscópico	45
3.6. Calibración del modelo	47
3.7. Respuestas de la simulación.....	51
3.8. Prueba de proyecciones	56
CAPITULO 4.....	61
4. GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	61
4.1. Desarrollo de la alternativa 1	61
4.2. Resultados de la modelación de la alternativa 1	67
4.3. Desarrollo de la alternativa 2	70
4.4. Resultados de la modelación de la alternativa 2	73

4.5. Análisis y comparación de escenarios	75
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
ANEXOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 <i>Niveles de servicio de intersecciones rotatorias</i>	5
Tabla 1.2 <i>Niveles de servicio de intersecciones semaforizadas</i>	6
Tabla 1.3 <i>Consumos de combustibles del año 2021 en la provincia del Azuay</i>	12
Tabla 1.4 <i>Conteo automático del 12 al 18 de febrero del 2020 en la Av.24 de Mayo</i>	13
Tabla 1.5 <i>Conteo manual de la intersección que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. Loja y Av. 10 de Agosto</i>	14
Tabla 2.1 <i>Tabla resumen del estudio de volumen vehicular de la intersección completa</i>	18
Tabla 2.2 <i>Tabla resumen del estudio de volumen vehicular de la Unidad Nacional</i>	18
Tabla 2.3 <i>Tabla resumen del estudio de volumen vehicular de la Av. México</i>	18
Tabla 2.4 <i>Tabla resumen del estudio de volumen vehicular de la Av. Loja</i>	19
Tabla 2.5 <i>Tabla resumen del estudio de volumen vehicular de la Av. 10 de Agosto</i>	19
Tabla 2.6 <i>Factores de expansión del tráfico promedio diario anual de la intersección completa</i>	20
Tabla 2.7 <i>Factores de expansión del tráfico promedio diario anual de la Unidad Nacional</i>	20
Tabla 2.8 <i>Factores de expansión del tráfico promedio diario anual de la Av. México</i>	20
Tabla 2.9 <i>Factores de expansión del tráfico promedio diario anual de la Av. Loja</i>	20
Tabla 2.10 <i>Factores de expansión del tráfico promedio diario anual de la Av. 10 de Agosto</i>	21
Tabla 2.11 <i>Tabla resumen del cálculo del tráfico promedio diario anual para la intersección completa y cada una de las calles que la conforman</i>	21
Tabla 2.12 <i>Tasas de crecimiento vehicular en Ecuador</i>	24
Tabla 2.13 <i>Crecimiento poblacional de la provincia del Azuay</i>	24
Tabla 2.14 <i>Evolución del producto interno bruto (PIB) en el Ecuador</i>	24
Tabla 2.15 <i>Proyección del TPDA a futuro de la intersección completa para 5 y 10 años</i>	25
Tabla 2.16 <i>Proyección del TPDA a futuro de la Unidad Nacional para 5 y 10 años</i>	25

Tabla 2.17 <i>Proyección del TPDA a futuro de la Av. México para 5 y 10 años</i>	26
Tabla 2.18 <i>Proyección del TPDA a futuro de la Av. Loja para 5 y 10 años</i>	26
Tabla 2.19 <i>Proyección del TPDA a futuro de la Av. 10 de Agosto para 5 y 10 años</i>	26
Tabla 2.20 <i>Matriz de coincidencias para vehículos livianos</i>	32
Tabla 2.21 <i>Matriz de coincidencias para camiones</i>	32
Tabla 2.22 <i>Matriz de coincidencias para buses</i>	33
Tabla 2.23 <i>Porcentaje de coincidencias con respecto al conteo volumétrico</i>	33
Tabla 2.24 <i>Volúmenes vehiculares totales correspondientes a la hora pico de la intersección completa</i>	34
Tabla 2.25 <i>Matriz origen destino correspondiente a los vehículos livianos de la intersección completa</i>	34
Tabla 2.26 <i>Matriz origen destino correspondiente a los camiones de la intersección completa</i>	34
Tabla 2.27 <i>Matriz origen destino correspondiente a los buses de la intersección completa</i>	35
Tabla 3.1 <i>Tabla resumen de factores correspondientes a cada una de las líneas de transporte público existentes en la intersección que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. Loja y Av. 10 de Agosto</i>	43
Tabla 3.2 <i>Tiempos de cada fase para los grupos semafóricos existentes</i>	45
Tabla 3.3 <i>Datos reales necesarios para la validación</i>	48
Tabla 3.4 <i>Validación de datos con el método estadístico</i>	50
Tabla 3.5 <i>Resultado de los parámetros de tráfico de la intersección que une la Av. 10 de Agosto, Av. Loja, Av. México y Unidad Nacional</i>	51
Tabla 3.6 <i>Resultados finales del análisis de la simulación de la red</i>	54
Tabla 3.7 <i>Proyección de tránsito para vehículos livianos</i>	56
Tabla 3.8 <i>Proyección de tránsito para vehículos pesados</i>	56
Tabla 3.9 <i>Proyección de tránsito para buses</i>	56
Tabla 3.10 <i>Matriz Origen-Destino de vehículos livianos proyectada para 5 años</i>	57

Tabla 3.11 <i>Matriz Origen-Destino de vehículos pesados proyectada para 5 años</i>	57
Tabla 3.12 <i>Matriz Origen-Destino de buses proyectada para 5 años</i>	57
Tabla 3.13 <i>Resultado de los parámetros de tráfico de la intersección que une la Av. 10 de Agosto, Av. Loja, Av. México y Unidad Nacional para la proyección de 5 años.</i>	60
Tabla 4.1 <i>Resultados de la simulación de la primera alternativa</i>	68
Tabla 4.2 <i>Resultados de la simulación de la segunda alternativa</i>	73
Tabla 4.3 <i>Análisis comparativo de los resultados de los cuatro escenarios plantados</i>	76
Tabla 4.4 <i>Análisis comparativo de los niveles de servicio de los cuatro escenarios plantados con respecto a la intersección semaforizada</i>	77
Tabla 4.5 <i>Análisis comparativo de los niveles de servicio de los cuatro escenarios plantados con respecto a la intersección rotatoria</i>	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 <i>Accesos de la rotonda que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. Loja y Av. 10 de Agosto</i>	17
Figura 2.2 <i>Estación 1: Unidad Nacional</i>	22
Figura 2.3 <i>Estación 2: Av. México</i>	22
Figura 2.4 <i>Estación 3: Av. Loja</i>	22
Figura 2.5 <i>Estación 4: Av. 10 de Agosto</i>	23
Figura 2.6 <i>Distribución del tráfico promedio anual respecto al TPDA de la intersección completa</i>	23
Figura 2.7 <i>Distribución del tráfico en la rotonda que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. 10 de Agosto y Av. Loja</i>	27
Figura 2.8 <i>Porcentajes de la composición del tráfico vehicular (mayor a 4 ruedas) de la intersección que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. 10 de Agosto y Av. Loja</i>	27
Figura 2.9 <i>Distribución del tráfico durante la hora pico en la mañana dentro la rotonda de estudio</i>	28
Figura 2.10 <i>Distribución del tráfico durante la hora pico en la tarde dentro la rotonda de estudio</i>	28
Figura 2.11 <i>Distribución de tráfico de la Unidad Nacional</i>	29
Figura 2.12 <i>Distribución de tráfico de la Avenida México</i>	29
Figura 2.13 <i>Distribución de tráfico de la Avenida Loja</i>	30
Figura 2.14 <i>Distribución de tráfico de la Avenida 10 de Agosto</i>	30
Figura 2.15 <i>Entradas y salidas a la rotonda que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. 10 de Agosto y Av. Loja</i>	31
Figura 2.16 <i>Variación horaria del flujo de la intersección de estudio</i>	35
Figura 2.17 <i>Variación horaria del flujo de la Unidad Nacional</i>	36
Figura 2.18 <i>Variación horaria del flujo de la Av. México</i>	36
Figura 2.19 <i>Variación horaria del flujo de la Av. Loja</i>	37

Figura 2.20 <i>Variación horaria del flujo de la Av. 10 de Agosto</i>	37
Figura 3.1 <i>Diseño de la red</i>	38
Figura 3.2 <i>Centroides en cada una de las vías que conforma la intersección de estudio</i>	40
Figura 3.3 <i>Ingreso de las matrices OD en el software Aimsun 8.1.3</i>	40
Figura 3.4 <i>Intervalo de tiempo de máxima demanda simulado</i>	41
Figura 3.5 <i>Demanda de tráfico de la intersección que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. Loja y Av. 10 de Agosto</i>	41
Figura 3.6 <i>Rutas de las líneas de transporte público existentes en la intersección que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. Loja y Av. 10 de Agosto</i>	42
Figura 3.7 <i>Plan integral de transporte público</i>	43
Figura 3.8 <i>Grupos semafóricos y tiempos de fase</i>	44
Figura 3.9 <i>Plan de control semafórico ingresado en la red de diseño</i>	45
Figura 3.10 <i>Generación del escenario dinámico actual</i>	46
Figura 3.11 <i>Generación del experimento microscópico</i>	47
Figura 3.12 <i>Generación de las replicaciones a través del experimento</i>	47
Figura 3.13 <i>Detectores en la red de diseño</i>	48
Figura 3.14 <i>Validación de datos con el método gráfico lineal</i>	49
Figura 3.15 <i>Validación de datos con el método de regresión lineal</i>	51
Figura 3.16 <i>Vías que conforman la intersección de estudio</i>	52
Figura 3.17 <i>Niveles de servicio para rotonda generados por el software Aimsun</i>	52
Figura 3.18 <i>Niveles de servicio para intersecciones semaforizadas generados por el software Aimsun</i>	53
Figura 3.19 <i>Gráfica de longitud de cola respecto al modelo actual</i>	53
Figura 3.20 <i>Gráfica de tiempos de demora respecto al modelo actual</i>	54
Figura 3.21 <i>Niveles de servicio para rotonda generados por el Aimsun en el modelo proyectado</i>	58

Figura 3.22 <i>Niveles de servicio para intersecciones semaforizadas generados por el Aimsun en el modelo proyectado.....</i>	59
Figura 3.23 <i>Gráfica de la longitud de cola respecto al modelo proyectado.....</i>	59
Figura 3.24 <i>Gráfica de tiempos de demora respecto al modelo proyectado</i>	60
Figura 4.1 <i>Geometría actual de la curva entre la Avenida 10 de Agosto y Avenida Loja.....</i>	63
Figura 4.2 <i>Mejora geométrica en la curva entre la Avenida 10 de Agosto y Avenida Loja ..</i>	63
Figura 4.3 <i>Modificaciones geométricas en la intersección de estudio</i>	63
Figura 4.4 <i>Plan semafórico de la primera alternativa.....</i>	66
Figura 4.5 <i>Niveles de servicio generados por el software Aimsun de la primera alternativa</i>	68
Figura 4.6 <i>Gráfica de tiempo de demora respecto a la alternativa 1.....</i>	69
Figura 4.7 <i>Gráfica de longitud de cola media respecto a la alternativa 1</i>	69
Figura 4.8 <i>Ingreso al paso deprimido de la segunda alternativa.....</i>	71
Figura 4.9 <i>Ruta subterránea del paso deprimido de la segunda alternativa</i>	71
Figura 4.10 <i>Vista en planta de la segunda alternativa en la intersección de estudio</i>	72
Figura 4.11 <i>Primera vista en 3D de la segunda alternativa en la intersección de estudio ...</i>	72
Figura 4.12 <i>Segunda vista en 3D de la segunda alternativa en la intersección de estudio ...</i>	73
Figura 4.13 <i>Niveles de servicio generados por el software Aimsun de la alternativa 2.....</i>	74
Figura 4.14 <i>Gráfica de longitud de cola media respecto a la alternativa 2</i>	74
Figura 4.15 <i>Gráfica de tiempo de demora respecto a la alternativa 2.....</i>	75

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la ciudad de Cuenca ha experimentado una problemática significativa en cuanto a la movilidad, la cual se atribuye a la tasa de crecimiento del parque automotor. El desequilibrio entre el aumento de vehículos y la falta de capacidad de las vías ha generado desafíos en cuanto a la gestión de la movilidad urbana en distintas zonas de la ciudad (Municipio de Cuenca, 2015).

En el redondel que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. 10 de agosto y Av. Loja, con el fin de analizar el tráfico se llevará a cabo una inspección visual con la finalidad de evaluar el flujo vehicular. Esta evaluación se centrará principalmente en la identificación de áreas con problemas significativos y en la determinación del número de personal necesario para llevar a cabo los respectivos conteos vehiculares.

Para lograr una representación precisa y detallada del terreno se llevarán a cabo capturas aéreas utilizando un dron, esto ayudará también para la modelación del escenario base. Una vez que se cuente con los datos topográficos de la zona y se haya obtenido una comprensión inicial de las posibles causas de los problemas de tráfico, se procederá a efectuar conteos vehiculares y peatonales, con el fin de obtener el volumen horario de diseño en horas de máxima demanda. Al conocer los horarios con mayor demanda vehicular se procederá a la elaboración de la matriz de origen destino, mediante un levantamiento de placas. Una vez que se cuente con la totalidad de datos requeridos, se procederá a la utilización de software especializado para obtener la modelación de la intersección. Una vez que contemos con el modelo final, se procederá a la calibración y validación del mismo, para la determinación del nivel de servicio actual de la zona de estudio, con el fin de proponer una mejora a la problemática en cuestión.

JUSTIFICACIÓN

El redondel que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. 10 de agosto y Av. Loja, está ubicado en una zona transitada por una gran cantidad de vehículos, tanto de carácter público como privado. Según el plan de movilidad y espacios públicos de Cuenca algunas de las vías que conforman la intersección presentan un porcentaje de saturación del 20% al 40% a lo largo del día, sin embargo existen periodos críticos, especialmente durante las horas pico, en donde vías como la Av. 10 de Agosto, Av. Loja, Primero de Mayo y la Unidad Nacional generan un conflicto alto de demoras y congestión vehicular al saturarse (Municipio de Cuenca, 2015).

En un conversatorio con el director de movilidad de Cuenca, Mgst. Pablo Carvallo, expuso que una de las causas principales de la congestión vehicular en la zona radica en la modificación realizada para la incorporación del tranvía, la cual implicó la eliminación de un carril de circulación en la Avenida De las Américas, y dado que la avenida en análisis es paralela al corredor que conforma la intersección de estudio, los vehículos que anteriormente transitaban por la Avenida de las Américas han buscado vías alternas, generando así un desplazamiento del tráfico hacia la zona de análisis, dando lugar a un problema crítico de congestión vehicular.

Por otro lado, se debe considerar también que una fracción de los vehículos que ingresan a la rotonda durante las horas de máxima demanda agravan las condiciones del tráfico, generando congestión vehicular, la cual perjudica la fluidez circulatoria dentro de las calles que conforman la rotonda, ya que son vías colectoras que sirven de alimentación vial a los principales viarios de la ciudad de Cuenca (Municipio de Cuenca, 2015).

Por estas razones el presente proyecto propone un análisis profundo sobre el comportamiento vial de la rotonda y un proceso de modelación de la misma. Con el fin de optimizar la movilidad de la zona, reduciendo la congestión vehicular de cada una de las vías. Para lograrlo, es necesario proponer varias alternativas basadas en la información obtenida en campo y en los resultados generados mediante el software de modelación, con el propósito de obtener soluciones viables a los problemas previamente mencionados.

OBJETIVOS

Objetivo general

Propuesta de una alternativa de mejora a la movilidad en la intersección Av. México, Unidad Nacional, Av. 10 de agosto y Av. Loja.

Objetivos específicos

- Realizar el levantamiento de información de la intersección que conforma la rotonda.
- Determinar el comportamiento del tráfico vehicular de los viarios de la intersección.
- Determinar los niveles de servicio y la capacidad vial de la rotonda.
- Modelar el tráfico de manera microscópica y comparar con la información recolectada en campo.
- Plantear una solución a los problemas encontrados dentro de la zona de estudio.

CAPÍTULO 1

1. Marco Teórico

1.1. Estado del arte

En un estudio realizado por Vega y Zaira (2018), titulado “Análisis de la Capacidad y Niveles de Servicio de las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca pertenecientes a la Red Vial Nacional”, se buscó evaluar el incremento del flujo vehicular debido a la alta demanda de transporte interprovincial e interdistrital, dado que esto influye de manera significativa en la serviciabilidad de las vías de ingreso a la ciudad de Cajabamba. Para el desarrollo del análisis, se realizaron aforos manuales de las vías de estudio durante una semana completa, analizando el volumen del tráfico, las características geométricas, la velocidad de viaje y la composición vehicular de acuerdo con la metodología del HCM 2000. Se examinaron los niveles de servicio, resultando que la mayoría de las vías que conforman la intersección operan con niveles de servicio bajos y con casi su capacidad total, lo cual indica niveles de congestión elevados. Como resultado, se propusieron algunas soluciones a corto, mediano y largo plazo. Se identificó que las causas principales de los problemas de flujo vehicular son los espacios reducidos de la vía, tanto para carriles como para bermas, lo que dificulta el tránsito de buses y vehículos pesados en horas de máxima demanda, generando demoras y dificultando las maniobras de rebase. Las propuestas se implementaron en los niveles de servicio desfavorables, obteniendo mejoras en el análisis del nivel de servicio y en la calidad de la circulación de las vías.

Vera et al (2021), en su estudio titulado “Análisis del nivel de servicio en la intersección de las avenidas Manabí y América, Portoviejo, Ecuador”, realizaron una investigación cuyo objetivo fue determinar el nivel de servicio en la intersección, con el fin de evaluar el índice de confort que la intersección brinda a los usuarios. Para el análisis, se desarrolló una metodología basada en el estudio de las secciones geométricas y la señalización existente en la intersección. Se llevaron a cabo aforos vehiculares y peatonales durante varios días estratégicos de la semana. Los resultados del análisis se fundamentaron en las demoras por carril, el volumen de flujo, y el flujo de saturación. Se identificaron niveles de servicio bajos, clasificados como tipo D y C. Como resultado se propuso elaborar un plan integral de gestión basado en medidas generales de solución, tales como campañas de conciencia para usuarios, restricción de tránsito

vehicular liviano, restricción de estacionamiento y control de pasos peatonales y ciclistas.

Peña (2015), en su proyecto titulado “Propuesta de mejora de niveles de servicio en dos intersecciones”, evaluó el grado de saturación de dos intersecciones en el distrito de Miraflores de la ciudad de Lima. Para ello, se realizó el cálculo de las demoras y se determinó el nivel de servicio actual. La metodología empleada se basó en un aforo manual y en la recopilación de datos proporcionados por la Municipalidad de Miraflores. Para plantar las soluciones, se evaluaron los ciclos semafóricos con el objetivo de mejorar el nivel de servicio y agilizar el tránsito en las horas de máxima demanda. Finalmente, se propuso una solución acorde a la realidad de cada intersección para mejorar sus condiciones.

1.2. Intersecciones rotatorias

Las intersecciones rotatorias también conocidas como rotondas o redondeles son intersecciones que trabajan en círculo alrededor de una isla central, en la que el tránsito se moviliza en sentido anti-horario. Su funcionalidad es el descongestionamiento en horas de máxima demanda. Une todas las vías posibles y ofrece la misma limitación para todos los movimientos en la intersección, asegurando las mejores condiciones sin priorizar a ningún usuario. Respecto a su geometría debe tener cierta curvatura y circunstancias deseables, estas se encargarán de regular la velocidad en el tránsito por lo que disminuye los accidentes viales. La eficiencia de una rotonda se determina por su capacidad y su nivel de servicio, estos están relacionados directamente con el intervalo crítico y el intervalo de seguimiento que dependen de las condiciones del lugar de estudio. Sin embargo, su eficiencia se pierde cuando existe una diferencia en el orden de magnitud entre el tráfico principal y el secundario (Depiante & Galarraga, 2015)

1.3. Niveles de servicio

De acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) 2010 los niveles de servicio miden el desempeño vial, las medidas que se usan para determinar estos niveles se llaman medidas de servicio. Para rotondas, conforme se detalla en la **Tabla 1.1**, se asigna el nivel F cuando la relación entre el volumen y la capacidad de un carril supera 1, sin considerar el retraso del control. Por otro lado, al evaluar los niveles de servicio en las áreas de aproximación e

intersección, la relación se fundamenta exclusivamente en el retraso del control (Highway Capacity Manual, 2010).

Por otro lado, el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) 2010 destaca los criterios utilizados para determinar los niveles de servicio en intersecciones semaforizadas, los cuales difieren de los valores para intersecciones rotatorias y se fundamentan en mediciones de rendimiento obtenidas a partir de evaluaciones de usuarios en situaciones reales. Un indicador clave es el concepto de retardo, el cual cuantifica el incremento en el tiempo de viaje como resultado del control de las señales de tráfico. Además se emplea una relación volumen-capacidad para evaluar el grado en que un conjunto de carriles aprovecha la capacidad disponible en una fase determinada (Highway Capacity Manual, 2010).

En el contexto específico de intersecciones semaforizadas, cuando un retardo experimentado por un grupo de carriles es inferior a 80 segundos por vehículo y la relación volumen- capacidad es menor o igual a 1,0, indica que la duración del ciclo semafórico es corta y que la progresión de la señal es favorable para el flujo vehicular. Por otro lado, cuando la relación volumen capacidad alcanza o supera el valor de 1,0 indica que la capacidad máxima del ciclo semafórico ha sido alcanzada, lo que señala una deficiencia en la capacidad del sistema (Highway Capacity Manual, 2010). Estas condiciones se detallan en la **Tabla 1.2** correspondientes a dicho manual.

En general el HCM 2010 describe seis niveles de servicio, como se indica en la **Tabla 1.1** para intercesiones rotatorias y en la **Tabla 1.2** para intersecciones semaforizadas, denominados: A, B, C, D, E y F siendo “A” el nivel que representa las mejores condiciones viales con un flujo libre y el “F” el nivel con las peores condiciones representando un pésimo nivel con flujo forzado y las maniobras de circulación son difíciles de efectuar (Highway Capacity Manual, 2010)

Tabla 1.1 Niveles de servicio de intersecciones rotatorias

Demora por control (s/veh)	Nivel de servicio por relación volumen-capacidad v/c	
	v/c ≤ 1	v/c > 1
0-10	A	F
>10-15	B	F
>15-25	C	F
>25-35	D	F
>35-50	E	F
>50	F	F

Fuente: Highway Capacity Manual, 2010.

Tabla 1.2 Niveles de servicio de intersecciones semaforizadas

Demora por control (s/veh)	Nivel de servicio por relación volumen-capacidad v/c	
	v/c ≤1	v/c >1
0-10	A	F
>10-20	B	F
>20-35	C	F
>35-55	D	F
>55-80	E	F
>80	F	F

Fuente: Highway Capacity Manual, 2010.

1.4. Capacidad vial

La capacidad vial que se describe como un estudio principal sobre la máxima cantidad de personas y vehículos que pueden atravesar un tramo de vía en un determinado intervalo de tiempo bajo las condiciones físicas, los sistemas de regulación y el tráfico (Sánchez *et al.*, 2022).

Para determinar la capacidad de un sistema vial, es esencial tener un conocimiento tanto sus características geométricas como de las correspondientes a los flujos vehiculares. La capacidad de igual manera, puede conceptualizarse como la medida de la calidad de servicio vial que proporciona a los usuarios. Este análisis se realiza típicamente en un intervalo de tiempo estándar de 15 minutos, considerando que es el periodo corto para el cual puede observarse una circulación estable (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

Para obtener la capacidad de una sección vial por parte del flujo vehicular se requiere de varios factores. En primer lugar, es necesario que exista una demanda de tráfico adecuada en el punto de entrada a la vía. Además, debe garantizarse que no haya una sección precedente de menor capacidad que obstruya el flujo de tráfico en la entrada. Por último, resulta fundamental que no haya una sección posterior de menor capacidad que provoque la formación de una cola de vehículos que alcance la salida de sección en cuestión (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018; Iglesias & Vásquez, 2018).

1.5. Demora

La prolongación de los tiempos de viaje da como consecuencia las demoras que se reconocen cuando el flujo vehicular es detenido o forzado. En una vía las demoras se registran en unidades

de tiempo perdido, debe anotarse la causa y frecuencia de la misma en el lugar que ocurre (Vera *et al.*, 2021).

Las demoras son tiempos de viajes perdidos a causa del congestionamiento y los dispositivos de control de tránsito, es decir, diferencia entre la relación del movimiento observado y la relación del movimiento considerado normal para tipos de usuarios en vías urbanas. Estas demoras son ocasionadas por el flujo variable que presenta el tránsito en diferentes accesos, puesto que existen periodos donde la demanda vehicular puede llegar a ser muy grande (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

Existen demoras periódicas que se dan arriba del cuello de botella en las mismas horas del día y las demoras no periódicas o también llamadas demoras operacionales, esta se dan producto de accidentes, cierres viales tanto en carriles como de calzada (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

Por otro lado, tenemos demoras fijas que son causadas por dispositivos de control, estos son independientes de los volúmenes e interferencias presentes del tránsito. Por otro lado, las demoras de tiempo parado son las demoras donde los vehículos no se encuentran en movimiento. Finalmente, las demoras de tiempo de viaje es la diferencia entre el tiempo de viaje total y el tiempo calculado en atravesar el acceso a una velocidad media en donde el flujo es descongestionado (Iglesias & Vásquez, 2018).

1.6. Teoría de colas

Las demoras y las colas son resultados directos del congestionamiento vehicular, representando fenómenos de espera asociados a los problemas de tráfico. En el contexto de intersecciones semaforizadas, resulta necesario realizar estimaciones de dichas demoras y colas, con el fin de determinar el nivel de servicio que estas intersecciones ofrecen. Este proceso de estimación se encuentran vinculado a los patrones de llegada de vehículos, los cuales representan la demanda, así como a la calidad del servicio proporcionado por la intersección, reconocido como la oferta. En este sentido, la teoría de colas se define como una herramienta esencial para el análisis de este fenómeno, valiéndose de la aplicación de modelos y algoritmos matemáticos. En general, la variabilidad del flujo de tránsito constituye la causa fundamental de las situaciones de demoras y colas observadas (Osores, 2016; Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

1.7. Velocidad

La velocidad se define como la relación que existe entre la distancia recorrida por una partícula con el intervalo de tiempo empleado para dicho recorrido (Díaz Solorzano & González Díaz, 2010). La velocidad constante es una relación lineal entre la distancia y el tiempo, se representa con la **Ecuación 1.1** y comúnmente se expresa en términos de kilómetros por hora.

$$V = \frac{d}{t} \qquad \text{Ecuación 1.1}$$

Donde:

V= velocidad constante (km/h)

d= distancia recorrida (km)

t= Tiempo de recorrido (horas)

En relación con la velocidad aplicada al movimiento de los vehículos, se puede identificar tres categorías de velocidades. Estas se definen de la siguiente manera:

- **Velocidad de viaje**

La velocidad de viaje se define como la relación entre la distancia total recorrida por un vehículo y el tiempo total empleado en el viaje, incluyendo tanto el tiempo de recorrido como los tiempos de demora (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

- **Velocidad de recorrido**

La velocidad de recorrido se calcula como la relación entre la distancia total recorrida y el tiempo en el que el vehículo permanece en movimiento, es decir, excluyendo los periodos de parada o detención. En esta medida, el tiempo de espera no se considera. Esta velocidad se establece siempre como igual o mayor que la velocidad de viaje (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

- **Velocidad instantánea o de punto**

La velocidad instantánea, también conocida como velocidad de punto, es la velocidad a la que un vehículo atraviesa un punto determinado de vía, en un instante preciso (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

1.8. Volumen del tránsito

El volumen del tránsito es un concepto importante, puesto que define la cantidad de individuos o vehículos que atraviesan un punto particular en un período de tiempo determinado. Su valor es calculado con la aplicación de la **Ecuación 1.2**. Dentro de este contexto se introduce el concepto de volumen horario de máxima demanda (VHMD), el cual refiere al valor máximo del número de vehículos que circulan a través de una sección de carril durante un periodo continuo de 60 minutos (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

Es importante destacar que el volumen en un punto de tránsito no puede ser mayor que su capacidad vial, sin embargo, esto puede ocurrir cuando la capacidad se estima teóricamente sin realizar una comparación directa con observaciones hechas en campo (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

$$Q = \frac{N}{T} \qquad \text{Ecuación 1.2}$$

Donde:

Q = vehículos que pasan por unidad de tiempo.

N = número total de vehículos.

T = período determinado.

1.9. Factor de la hora de máxima demanda

El concepto del factor de la hora de máxima demanda (FHMD) es una medida que captura la variabilidad del flujo vehicular durante una hora determinada. El mismo se calcula comparando el volumen de tráfico registrado durante una hora de máxima demanda y el valor máximo de circulación durante el periodo de tiempo dado dentro de dicha hora. Esta relación se obtiene mediante la **Ecuación 1.3**; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la cual consiste en multiplicar el número de veces que ese periodo de tiempo cabe en una hora, donde se consideran periodos típicos de 5, 10 o 15 minutos, siendo este último el más común empleado para el análisis y estudios de tráfico (Mozo, 2011; Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

$$FHMD = \frac{VHMD}{N (q_{max})} \qquad \text{Ecuación 1.3}$$

Donde:

FHMD = factor de hora de máxima demanda.

VHMD = volumen horario de máxima demanda.

N = número de períodos durante la hora de máxima demanda.

Respecto al valor que se obtiene de este factor, su interpretación refleja la distribución de los flujos vehiculares a lo largo de los 15 minutos durante la hora de máxima demanda. Cuando el factor se acerca a la unidad, denotar una distribución normal. Por otro lado, si el factor se aleja de la unidad, esto sugiere una distribución poco uniforme en su flujo (Mozo, 2011).

Densidad de tráfico

La densidad de tráfico describe la cantidad de vehículos en reposo o en movimiento presentes en un momento específico sobre un tramo de vía en particular y es expresada en términos de vehículos por unidad de longitud. Una densidad vehicular elevada se correlaciona con la restricción de movilidad vehicular, por lo es considerada como un indicador relevante para detectar si hay o no congestión vehicular (Naranjo Torres, 2015).

1.10. Flujo vehicular

El flujo vehicular describe el número de vehículos que transitan por una determinada sección de vía en un intervalo de tiempo, menor a una hora, por lo general 15 minutos, esto permite establecer el nivel de eficiencia de la operación. Este valor se obtiene mediante la aplicación de la **Ecuación 1.4**. El análisis del flujo vehicular ayuda a desarrollar modelos microscópicos (Sarango & Díaz, 2020).

$$VHP = \frac{V}{FHP} \qquad \text{Ecuación 1.4}$$

Donde:

VHP= tasa de flujo durante los 15 minutos más cargados.

V = Volumen durante la hora de máxima demanda.

FHMD = Factor de hora pico.

1.11. Determinación del tráfico promedio diario anual (TPDA)

La metodología usada para calcular el tráfico es el volumen del tráfico promedio diario anual cuya abreviatura es el TPDA, este se calculará a partir de la **Ecuación 1.5**, la cual utiliza las observaciones puntuales del tráfico y considera el análisis de los factores de variación, estos están definidos en la **Ecuación 1.6**. Los factores de variación del tráfico nos permiten relacionar las observaciones actuales y las previas, lo que nos posibilita determinar el TPDA del año en el que se elabore el estudio (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018; Castillo, 2011).

$$TPDA = TO * Fe \quad \text{Ecuación 1.5}$$

$$Fe = fh * fd * fs * fm \quad \text{Ecuación 1.6}$$

Donde:

Factor horario (Fh): Permite transformar el volumen de tráfico que se haya registrado en un determinado número de horas a un volumen diario promedio. Este valor se encuentra aplicando la **Ecuación 1.7**.

$$Fh = \frac{\text{Total tráfico del conteo automático del día correspondiente al conteo manual}}{\text{Total del conteo automático que corresponde al conteo manual}} \quad \text{Ecuación 1.7}$$

Factor diario (Fd): Se calcula con la **Ecuación 1.8**. Este factor facilita la conversión del volumen de tráfico diario promedio en un volumen semanal promedio.

$$Fd = \frac{\text{Promedio del tráfico diario semanal de conteo automático}}{\text{Tráfico del día calendario correspondiente al conteo manual}} \quad \text{Ecuación 1.8}$$

Factor semanal (Fs): Facilita la transformación del volumen semanal promedio de tráfico en volumen mensual promedio. Su valor se obtiene mediante la aplicación de la **Ecuación 1.9**.

$$Fs = \frac{\text{Promedio del tráfico semanal del mes conteo automático}}{\text{Tráfico de la semana correspondiente conteo manual}} \quad \text{Ecuación 1.9}$$

Factor mensual (Fm): Este factor se obtiene mediante la **Ecuación 1.10**, permitiendo la conversión del volumen mensual promedio de tráfico en tráfico promedio diario anual (TPDA).

$$Fm = \frac{\text{Prom mensual consumo de combustible del año más reciente al conteo manual}}{\text{Consumo de combustible del mes correspondiente contiene el conteo manual}} \quad \text{Ecuación 1.10}$$

Para el cálculo de este factor resulta indispensable recurrir a la tabla de consumo de combustible, la cual consiste en las estadísticas relativas al consumo de combustibles, específicamente diésel premium, extra y súper, correspondientes al período más cercano al año en el que se llevó el conteo manual del tráfico observado (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018). La obtención de estos datos puede realizarse a través de la Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos (ARCH).

En el contexto de nuestra investigación, se emplearán los datos correspondientes a la provincia del Azuay del año 2021, los cuales se encuentran detallados en la **Tabla 1.3**. Estos datos, proporcionados por la Secretaría de Hidrocarburos del Ecuador, representan la información más reciente disponible para nuestro análisis.

Tabla 1.3 *Consumos de combustibles del año 2021 en la provincia del Azuay*

MES	GASOLINA SUPER	GASOLINA ECOPAÍS	DIESEL PREMIUM	SUMA
ENE	399077	4675844	3480425	8555346
FEB	412440	4648490	3304785	8365715
MAR	404948	5170699	3767804	9343451
ABR	326243	4574423	3465984	8366650
MAY	299164	4420854	4178804	8898822
JUN	362108	5055097	4614578	10031783
JUL	411595	5421990	4827320	10660905
AGO	393056	5291276	4713002	10397334
SEP	372716	5237703	4743268	10353687
OCT	402645	5379903	4704750	10487298
NOV	371575	5266828	4597030	10235433
DIC	419071	5912326	4854034	11185431
TOTAL	4574638	61055433	51251784	116881855

Fuente: Secretaría de hidrocarburos del Ecuador, 2023

Conteo automático

Este procedimiento ofrece datos relativos al flujo vehicular global. Se requiere llevar a cabo una observación automatizada de manera ininterrumpida durante 24 horas al día, durante un lapso ideal de una semana, en una vía cuyas características operativas y geométricas se asemejen a las del entorno de estudio. Esta práctica posibilita la conservación de un historial del tránsito en dicha vía y permite la supervisión simultánea de múltiples carriles (Urrego *et al.*, 2009).

Para la presente investigación, se utilizará un registro automatizado del flujo vehicular realizado en la Avenida 24 de Mayo, llevado a cabo del 12 al 18 de febrero de 2020. Los datos relativos a este conteo automatizado fueron suministrados por el centro de semaforización computarizada de Cuenca. Dado que no se dispone de información respecto a un registro automatizado para la intersección de estudio, se recurrió al conteo automatizado realizado en la intersección de la Avenida 24 de Mayo, cuyos detalles se presentan en la **Tabla 1.4**.

Tabla 1.4 *Conteo automático del 12 al 18 de febrero del 2020 en la Av.24 de Mayo*

CONTEO AUTOMATICO DE TRAFICO								
Calle principal: Av. 24 de Mayo					Fecha: 12/02/2020-18/02/2020			
Hora	Miér	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Lunes	Martes	TOTAL
00:00-01:00	78	55	79	144	101	24	41	522
01:00-02:00	13	20	38	82	75	11	22	261
02:00-03:00	10	9	38	104	74	12	6	253
03:00-04:00	10	10	30	57	44	8	1	160
04:00-05:00	25	16	28	56	27	16	11	179
05:00-06:00	61	52	64	79	60	43	36	395
06:00-07:00	349	294	294	148	105	241	285	1716
07:00-08:00	560	531	532	279	178	358	533	2971
08:00-09:00	503	486	486	364	284	372	496	2991
09:00-10:00	510	452	509	383	283	443	391	2971
10:00-11:00	614	457	549	472	360	425	448	3325
11:00-12:00	628	490	643	578	465	521	499	3824
12:00-13:00	806	629	812	596	490	605	586	4524
13:00-14:00	861	701	888	670	519	656	628	4923
14:00-15:00	682	605	764	622	452	488	477	4090
15:00-16:00	784	609	796	585	473	526	515	4288
16:00-17:00	722	631	744	560	379	544	527	4107
17:00-18:00	730	598	716	586	386	633	583	4232
18:00-19:00	675	671	701	488	321	659	589	4104
19:00-20:00	599	506	671	452	312	583	502	3625
20:00-21:00	447	398	488	404	250	420	338	2745
21:00-22:00	311	302	399	368	191	306	326	2203
22:00-23:00	220	223	436	228	112	175	217	1611
23:00-24:00	103	143	227	153	46	95	115	882
TOTAL	10301	8888	10932	8458	5987	8164	8172	60902

Fuente: Central de semaforización computarizado de Cuenca

Conteo manual

Por otro lado, es necesario el conteo manual, el cual proporciona una clasificación de los diferentes tipos de vehículos, lo que posibilita obtener una muestra representativa que refleje la cantidad y la tipología del tráfico que se experimenta en un lugar específico. El conteo

manual deberá realizarse durante 12 horas consecutivas en cada una de las intersecciones (Monetti *et al.*, 2018).

Para este estudio se desarrolló un conteo manual como se indica en la **Tabla 1.5**, el cual se realizó en las calles Av. México, Unidad Nacional, Av. 10 de Agosto y Av. Loja, y se llevó a cabo el día 22 de marzo del 2024 desde las 7:00 am hasta las 19:00 pm.

Tabla 1.5 *Conteo manual de la intersección que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. Loja y Av. 10 de Agosto*

CONTEO VOLUMETRICO DE LA INTERSECCION 2024												
TOTAL	30125	570	844	30	6	3027	403	1471	35004	3170	31575	
HORA	Liviano	Bus	Cam C2	Cam C3	Cam C4	Motos	Bici	Peatón	TOTAL	Hora pico	Veh > 4 llantas	q15 veh/h
7:00 - 7:15	551	17	16	0	0	31	7	16	622		584	2489
7:15 - 7:30	647	15	10	3	1	32	10	14	719		677	2875
7:30 - 7:45	626	26	10	0	0	50	21	24	732		661	2928
7:45 - 8:00	704	16	10	0	0	57	17	27	805	2878	731	3221
8:00 - 8:15	630	17	10	1	0	32	14	28	705	2961	659	2821
8:15 - 8:30	629	18	15	1	0	57	10	15	731	2974	663	2924
8:30 - 8:45	636	12	19	1	0	56	8	21	732	2974	668	2928
8:45 - 9:00	623	10	16	0	0	61	10	25	721	2890	650	2886
9:00 - 9:15	623	11	10	0	2	51	9	18	705	2890	646	2821
9:15 - 9:30	552	10	11	0	0	64	5	26	642	2801	574	2570
9:30 - 9:45	555	13	19	0	0	55	4	19	646	2715	587	2585
9:45 - 10:00	640	9	9	0	0	63	7	16	727	2721	658	2909
10:00 - 10:15	557	8	15	1	0	53	11	15	645	2661	580	2581
10:15 - 10:30	578	13	17	2	0	51	9	17	669	2688	610	2676
10:30 - 10:45	525	9	19	0	1	54	14	15	622	2664	554	2489
10:45 - 11:00	543	10	21	1	0	56	7	20	638	2574	575	2550
11:00 - 11:15	563	8	17	1	0	47	11	26	647	2576	589	2589
11:15 - 11:30	548	10	21	0	0	64	4	22	646	2553	579	2585
11:30 - 11:45	531	9	23	0	0	64	6	9	632	2563	562	2528
11:45 - 12:00	596	9	19	2	1	49	9	16	683	2609	626	2733
12:00 - 12:15	641	14	35	2	0	71	12	32	775	2736	692	3100
12:15 - 12:30	643	10	28	0	0	86	11	40	778	2868	681	3112
12:30 - 12:45	670	9	25	0	0	74	9	107	787	3023	704	3148
12:45 - 13:00	663	13	31	0	0	79	8	78	794	3134	707	3176
13:00-13:15	664	19	22	1	0	82	11	80	799	3158	706	3196
13:15-13:30	671	10	17	0	0	85	7	89	790	3170	698	3160
13:30-13:45	628	18	23	0	0	65	5	50	739	3122	669	2956
13:45-14:00	639	17	18	0	0	78	6	66	758	3086	674	3032
14:00-14:15	618	10	22	0	0	74	7	32	731	3018	650	2924

14:15-14:30	599	9	10	1	0	56	15	19	691	2919	620	2764
14:30-14:45	546	13	30	0	0	74	8	25	672	2852	590	2688
14:45-15:00	662	13	15	0	0	76	3	25	770	2864	691	3080
15:00-15:15	664	10	24	0	0	75	6	14	779	2912	698	3115
15:15-15:30	647	9	22	2	0	90	4	24	773	2994	680	3092
15:30-15:45	694	10	25	2	0	75	5	19	810	3132	730	3241
15:45-16:00	616	6	17	1	0	68	7	24	714	3076	640	2855
16:00-16:15	652	12	17	5	0	75	4	30	765	3062	686	3061
16:15-16:30	707	10	6	1	0	52	5	19	781	3070	723	3122
16:30-16:45	625	9	18	2	1	59	5	19	719	2978	655	2875
16:45-17:00	719	10	17	0	0	49	13	16	808	3073	746	3233
17:00-17:15	668	16	16	0	0	52	6	15	759	3066	701	3035
17:15-17:30	727	15	13	0	0	62	15	41	833	3119	756	3332
17:30-17:45	636	13	18	1	0	87	7	51	762	3161	668	3046
17:45-18:00	697	9	14	0	0	60	2	35	782	3135	720	3126
18:00-18:15	658	10	8	0	0	63	6	19	743	3119	675	2974
18:15-18:30	680	10	16	0	0	74	9	57	788	3075	705	3153
18:30-18:45	625	12	17	0	0	74	13	25	742	3056	655	2970
18:45-19:00	609	6	10	0	0	62	5	31	691	2965	624	2764

Fuente: propia

1.12. Modelo microscópico de tráfico

Los modelos microscópicos, siendo estos la evaluación individual de vehículos, poniendo énfasis en su interacción mutua, mediante las variables de distribución de intervalos y espaciamientos en relación con el flujo y la densidad. Al estudiar cuidadosamente cada vehículo en el entorno vial, son capaces de desglosar y examinar una gran cantidad de datos. Estos modelos, resultan útiles para circunstancias de flujo libre del tráfico (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018; Ramos, 2017).

1.13. Cogestión vehicular

La congestión vehicular representa un tema de investigación importante, ya que su problemática incide en la prolongación de los tiempos de viaje entre dos puntos específicos. Una de las causas principales de la congestión vehicular se atribuye al incremento del número de vehículos en circulación y a la limitación de espacios para la circulación del tráfico actual (Duarte *et al.*, 2023).

1.14. Plataforma de simulación: AIMSUN

Para entender el por qué se crean los problemas de movilidad, es necesario examinar las características de la infraestructura vial mediante un levantamiento en campo y una modelación y calibración de los datos recopilados. Este análisis es fundamental para la identificación y la evaluación de posibles alternativas de solución (Estrada *et al.*, 2017).

Para lograr lo antes mencionado, es necesario el uso de un software especializado como la plataforma Aimsun. Este es un simulador de tráfico que contribuye a soluciones a corto y mediano plazo para la planificación y los problemas de operación, logrando obtener las mejores rutas y la simulación de los vehículos dentro de la red. Es una herramienta que abarca la simulación de 3 tipos de modelos de transporte microscópica, mesoscópica y macroscópica en un solo software. Ofrece varias opciones para modelar diferentes escenarios en la misma red: demandas, planes de control, horarios de transporte público, acciones de gestión de tráfico y anulación de atributos de la red (Molina & Obregón, 2018).

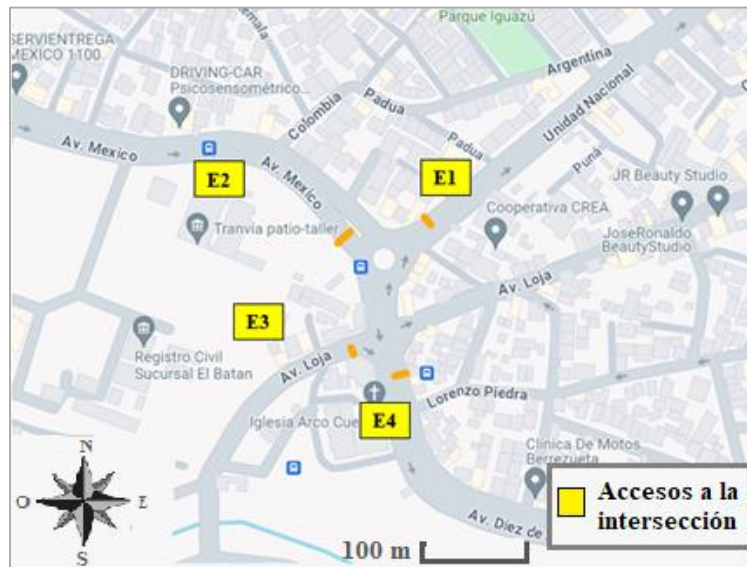
CAPÍTULO 2

2. Estudio del tráfico

2.1. Delimitación del área a partir del estudio de los volúmenes vehiculares

Se establecieron cuatro estaciones para el día de conteo, cada una correspondiente a una de las cuatro vías que integran la intersección de estudio. El conteo volumétrico se llevó a cabo exclusivamente en los puntos de entrada a la rotonda. La Unidad Nacional fue designada como la estación 1, seguida por la Avenida México como la estación 2, la Avenida Loja como la estación 3, y finalmente, la Avenida 10 de Agosto como la estación 4. La **Figura 2.1**, representa los accesos a la rotonda que fueron objeto de conteo.

Figura 2.1 Accesos de la rotonda que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. Loja y Av. 10 de Agosto



Nota: Adaptado de “Redondel del Crea”, por A.Genovez y M.Reinoso, 2024, Google maps, 2022.

2.2. Estudio de los volúmenes vehiculares observados

Los datos del tráfico observado que se muestran a continuación fueron levantados el día viernes 22 de Marzo del 2024 de 07h00 hasta las 19h00 en la intersección que une la Av. México, Unidad Nacional, Av.10 de Agosto y Av. Loja. Los datos que se detallan a continuación son: flujos vehiculares “VHP”, volumen de tráfico “Q”, volumen horario de máxima demanda “VHDM” y determinación del factor horario de máxima demanda “FHMD” para cada una de las vías que conforman la rotonda, así como de la intersección en su totalidad. Los resultados de estos datos fueron adquiridos mediante el empleo de la **Ecuación 1.2**, la **Ecuación 1.3** y la **Ecuación 1.4**; cuyas especificaciones se detallan en el capítulo 1 del presente estudio.

La intersección completa, tal como se evidencia en la **Tabla 2.1**, registra un total de 35004 vehículos durante el período de observación. Además, se identifica un volumen horario de máxima demanda de 3170 vehículos, mientras que en los 15 minutos con mayor afluencia se registra un volumen de 799 vehículos. También se puede observar el factor horario de máxima demanda, el cual se estima en 0,992, y se observa un flujo vehicular de 3196 vehículos durante los 15 minutos de mayor carga.

Tabla 2.1 *Tabla resumen del estudio de volumen vehicular de la intersección completa*

Intersección completa	
TOTAL	35004
VHMD	3170
Q15	799
FHMD	0,992
VHD	3196

Fuente: Propia

A continuación, se presentan en la **Tabla 2.2**, **Tabla 2.3**, **Tabla 2.4** y **Tabla 2.5** los resultados correspondientes al estudio volumétrico para cada una de las vías que componen la rotonda, las cuales son la Unidad Nacional, la Avenida México, la Avenida Loja y la Avenida 10 de Agosto.

Tabla 2.2 *Tabla resumen del estudio de volumen vehicular de la Unidad Nacional*

Unidad Nacional	
TOTAL	9817
VHMD	1012
Q15	250
FHMD	1,012
VHD	1000

Fuente: Propia

Tabla 2.3 *Tabla resumen del estudio de volumen vehicular de la Av. México*

Av. México	
TOTAL	5844
VHMD	663
Q15	125
FHMD	1,325
VHD	500

Fuente: Propia

Tabla 2.4 *Tabla resumen del estudio de volumen vehicular de la Av. Loja*

Av. Loja	
TOTAL	10833
VHMD	1020
Q15	263
FHMD	0,969
VHD	1052

Fuente: Propia

Tabla 2.5 *Tabla resumen del estudio de volumen vehicular de la Av. 10 de Agosto*

Av. 10 de Agosto	
TOTAL	8876
VHMD	847
Q15	226
FHMD	0,937
VHD	904

Fuente: Propia

2.3. Determinación del TPDA en la actualidad

En el proceso para el cálculo del TPDA, se ha respaldado en los criterios establecidos por el Ministerio de Transporte y Obras públicas y en las directrices proporcionadas por el libro “Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones” de Cal y Mayor y Cárdenas Grisales. Este enfoque metodológico utiliza factores de expansión, los cuales sirven para establecer relaciones entre las observaciones actuales y aquellas ocurridas en periodos anteriores, permitiendo así la determinación del TPDA. Los resultados del cálculo de dichos factores para la intersección completa, así como de cada una de las calles que la conforman, se detallan en la **Tabla 2.6**, **Tabla 2.7**, **Tabla 2.8**, **Tabla 2.9**, **Tabla 2.10** y se derivan de los datos obtenidos del conteo manual realizado el día 22 de marzo del 2024. Los datos del conteo correspondiente a la intersección completa se presentan en la **Tabla 1.5**.

Cada factor fue calculado conforme a la **Ecuación 1.6**, la **Ecuación 1.7**, la **Ecuación 1.8**, la **Ecuación 1.9**, **Ecuación 1.10** y con el uso de la **Tabla 1.3** y de la **Tabla 1.4**, las cuales están definidas en el capítulo 1 del documento referido.

Tabla 2.6 Factores de expansión del tráfico promedio diario anual de la intersección completa

Cálculo de los factores de expansión	
TO	31575
Fh	1,343
Fd	0,796
Fs	1,000
Fm	1,042
Fe	1,114

Fuente: Propia

Tabla 2.7 Factores de expansión del tráfico promedio diario anual de la Unidad Nacional

Cálculo de los factores de expansión	
TO	8828
Fh	1,343
Fd	0,796
Fs	1,000
Fm	1,042
Fe	1,114

Fuente: Propia

Tabla 2.8 Factores de expansión del tráfico promedio diario anual de la Av. México

Cálculo de los factores de expansión	
TO	5281
Fh	1,343
Fd	0,796
Fs	1,000
Fm	1,042
Fe	1,114

Fuente: Propia

Tabla 2.9 Factores de expansión del tráfico promedio diario anual de la Av. Loja

Cálculo de los factores de expansión	
TO	9617
Fh	1,343
Fd	0,796
Fs	1,000
Fm	1,042
Fe	1,114

Fuente: Propia

Tabla 2.10 Factores de expansión del tráfico promedio diario anual de la Av. 10 de Agosto

Cálculo de los factores de expansión	
TO	8188
Fh	1,343
Fd	0,796
Fs	1,000
Fm	1,042
Fe	1,114

Fuente: Propia

A partir de los factores calculados se determinó el tráfico promedio diario anual de cada de las calles que conforman la intersección de estudio, así como el tráfico promedio diario anual total de la intersección. Esta evaluación se llevó a cabo siguiendo la **Ecuación 1.5**, la cual se basa en el empleo de los factores de expansión previamente calculados, así como en el número total de vehículos que atravesaron cada una de las vías en donde se llevó a cabo el conteo. Los resultados obtenidos de esta metodología se encuentran detallados en la **Tabla 2.11**.

Tabla 2.11 Tabla resumen del cálculo del tráfico promedio diario anual para la intersección completa y cada una de las calles que la conforman

TPDA CALCULADO	
INTERSECCIÓN	TPDA
Intersección completa	35181
Unidad Nacional	9836
Av. México	5884
Av. Loja	10715
Av. 10 de Agosto	9123

Fuente: propia

El tráfico promedio anual registrado en la intersección completa tiene un valor de 35181 vehículos, según se observa en los resultados presentados previamente. Dado que la intersección cuenta con cuatro estaciones de conteo, se puede observar que la estación 1, correspondiente a la Unidad Nacional según se muestra en la **Figura 2.2**, registra un Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) de 9836 vehículos, equivalente al 27,96 % del total del tráfico. Por otro lado, la Avenida México, que corresponde a la estación 2 como se muestra en la **Figura 2.3**, registra un TPDA de 5884 vehículos, representando también el 26,73 % del tráfico total. La Avenida Loja, identificada como la estación 3 según se muestra en la **Figura 2.4**, presenta un TPDA de 10715 vehículos, equivalente al 30,46 % del total. Finalmente, la estación 4, correspondiente a la Avenida 10 de Agosto como se observa en la **Figura 2.5**, exhibe un

TPDA de 9123 vehículos, lo que representa el 25,93 % del total del tráfico promedio anual. Los porcentajes correspondientes al tráfico de cada de las estaciones con respecto a la intersección total se muestran en la **Figura 2.6**.

Figura 2.2 Estación 1: Unidad Nacional



Nota: Adaptado de “Redondel del Crea”, por A.Genovez y M.Reinoso, 2024, Google maps, 2022

Figura 2.3 Estación 2: Av. México



Nota: Adaptado de “Redondel del Crea”, por A.Genovez y M.Reinoso, 2024, Google maps, 2022.

Figura 2.4 Estación 3: Av. Loja



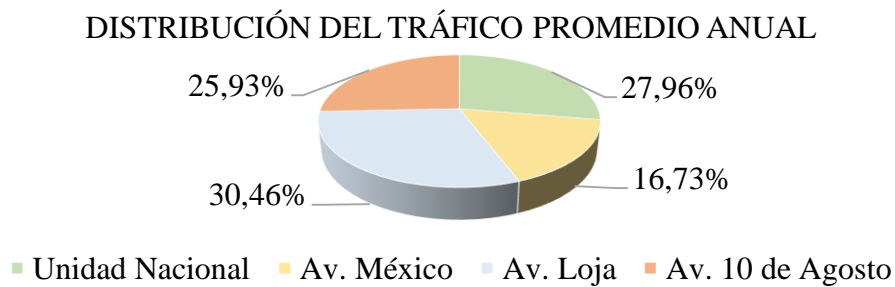
Nota: Adaptado de “Redondel del Crea”, por A.Genovez y M.Reinoso, 2024, Google maps, 2022.

Figura 2.5 Estación 4: Av. 10 de Agosto



Nota: Adaptado de “Redondel del Crea”, por A.Genovez y M.Reinoso, 2024, Google maps, 2022.

Figura 2.6 Distribución del tráfico promedio anual respecto al TPDA de la intersección completa



Fuente: Propia

2.4. Tasa de crecimiento

El enfoque metodológico utilizado se apoya en la recopilación de datos poblacionales para obtener información relevante sobre el crecimiento demográfico y el crecimiento del parque automotor. Posteriormente, se emplea el método lógit para los vehículos livianos, el cual consiste en calcular la tasa de motorización (número de vehículos por cada mil habitantes) a partir del crecimiento poblacional y el historial de vehículos matriculados en la provincia del Azuay durante los últimos años, con el fin de establecer una ecuación de ajuste y proyección considerando posibles tasas de saturación, donde la tasa de motorización tiende a estabilizarse en un período determinado. En cuanto a los vehículos pesados, la metodología se fundamenta en analizar la evolución del PIB y el consumo de combustible, mientras que para los autobuses se utiliza el método de crecimiento poblacional (Cal y Mayor & Cárdenas Grisales, 2018).

En la **Tabla 2.12** se indican las tasas de crecimiento de cada tipo de vehículo.

Tabla 2.12 *Tasas de crecimiento vehicular en Ecuador*

Tasa de crecimiento			
Periodo	Livianos	Buses	Camiones
2022-2025	3,59%	1,03%	3,20%
2025-2030	3,11%	0,99%	2,84%
2030-2034	2,64%	0,94%	2,52%

Fuente: Propia

Los datos relativos al crecimiento poblacional y al registro histórico de vehículos matriculados en la provincia del Azuay fueron adquiridos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC), como se muestra en la **Tabla 2.13**. Por otro lado, la información concerniente a la evolución del Producto Interno Bruto (PIB) fue obtenida a partir de los archivos proporcionados por el Banco Central del Ecuador, estos datos se observan en **Tabla 2.14**.

Tabla 2.13 *Crecimiento poblacional de la provincia del Azuay*

Años	Población
1950	250975,00
1962	274642,00
1974	367324,00
1982	442019,00
1990	506090,00
2001	599546,00
2010	710766,00
2022	801609,00

Fuente: Instituto nacional de estadísticas y censos (INEC), 2022

Tabla 2.14 *Evolución del producto interno bruto (PIB) en el Ecuador*

PIB del Ecuador	
2011	56964
2012	68392
2013	71627
2014	76553
2015	89480
2016	90311
2017	92356
2018	91039
2019	96560
2020	86999
2021	89703
2022	109167

Fuente: Banco Central del Ecuador, 2022

2.5. Determinación del TPDA futuro

Para determinar el tráfico promedio diario anual a futuro de cada uno de los tipos de vehículos se utilizó cada una de sus tasas de crecimiento y se proyectó para 5 y 10 años por medio de la **Ecuación 2.1**, la cual corresponde a la del tráfico futuro.

$$Tf = Ta * (1 + i)^n \quad \text{Ecuación 2.1}$$

La proyección del el tráfico promedio diario anual se llevó a cabo tanto para la intersección en su totalidad como para cada una de las vías que la integran, con el propósito de obtener una comprensión más detallada del funcionamiento de la rotonda en un periodo temporal de cinco y diez años, y así poder tomar decisiones encaminadas a mejorar su desempeño tanto actual como futuro. Los resultados de dichas proyecciones se encuentran presentados en la **Tabla 2.15**, **Tabla 2.16**, **Tabla 2.17**, **Tabla 2.18** y en la **Tabla 2.19**. Los resultados de la intersección en su totalidad proporcionan una estimación total de 41107 vehículos para un período de 5 años y de 46978 vehículos para un lapso de 10 años.

Tabla 2.15 Proyección del TPDA a futuro de la intersección completa para 5 y 10 años

PROYECCIONES DE LOS VEHÍCULOS				
AÑOS	95,41%	1,81%	2,79%	Total
	Livianos	Buses	Camiones	
TPDA (2024)	33566	635	980	35181
TPDA (2025)	34771	642	1011	36425
TPDA (2029)	39308	668	1131	41107
TPDA (2030)	40532	674	1163	42370
TPDA (2034)	44993	700	1285	46978

Fuente: Propia

Tabla 2.16 Proyección del TPDA a futuro de la Unidad Nacional para 5 y 10 años

PROYECCIONES DE LOS VEHÍCULOS				
AÑOS	95,89%	1,23%	2,88%	Total
	Livianos	Buses	Camiones	
TPDA (2024)	9432	121	284	9836
TPDA (2025)	9770	122	293	10185
TPDA (2029)	11045	127	327	11500
TPDA (2030)	11389	128	337	11854
TPDA (2034)	12643	133	372	13148

Fuente: Propia

Tabla 2.17 Proyección del TPDA a futuro de la Av. México para 5 y 10 años

PROYECCIONES DE LOS VEHÍCULOS				
AÑOS	96,77%	0,60%	2,63%	Total
	Livianos	Buses	Camiones	
TPDA (2024)	5694	35	155	5884
TPDA (2025)	5899	36	160	6094
TPDA (2029)	6668	37	179	6884
TPDA (2030)	6876	37	184	7097
TPDA (2034)	7633	39	203	7874

Fuente: Propia

Tabla 2.18 Proyección del TPDA a futuro de la Av. Loja para 5 y 10 años

PROYECCIONES DE LOS VEHÍCULOS				
AÑOS	96,57%	1,20%	2,22%	Total
	Livianos	Buses	Camiones	
TPDA (2024)	10348	129	238	10715
TPDA (2025)	10720	130	246	11096
TPDA (2029)	12118	136	275	12529
TPDA (2030)	12496	137	283	12915
TPDA (2034)	13871	142	312	14325

Fuente: Propia

Tabla 2.19 Proyección del TPDA a futuro de la Av. 10 de Agosto para 5 y 10 años

PROYECCIONES DE LOS VEHÍCULOS				
AÑOS	92,65%	3,91%	3,45%	Total
	Livianos	Buses	Camiones	
TPDA (2024)	8452	356	314	9123
TPDA (2025)	8756	360	324	9440
TPDA (2029)	9898	374	363	10635
TPDA (2030)	10206	378	373	10958
TPDA (2034)	11330	392	412	12134

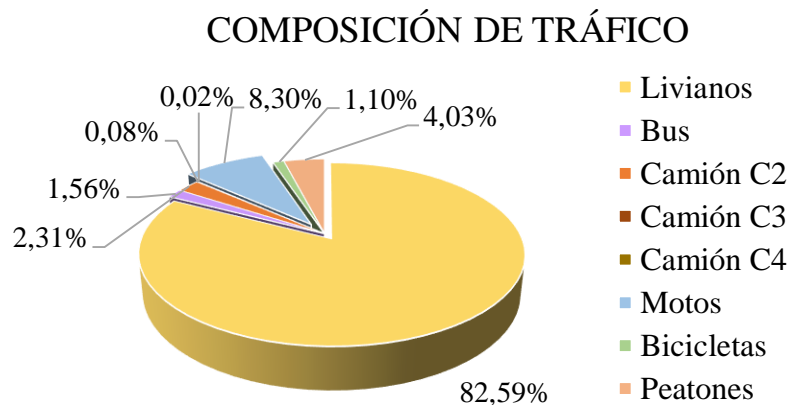
Fuente: Propia

2.6. Composición del tráfico

Como se puede apreciar en la **Figura 2.7**, durante las 12 horas de conteo, el tipo de vehículo liviano es el principal demandante dentro de la composición del tráfico con el 82,59 %, seguida por las motocicletas con el 8,30 %, los camiones de tipo C2 con el 2,31 %, los buses con el 1,56 %, las bicicletas con el 1,10 %, los camiones tipo C3 con el 0,08% y finalmente los camiones de tipo C4 con el 0,02%. Es necesario recalcar que también se realizó un conteo peatonal el cual representa el 4,03 % dentro de esta composición.

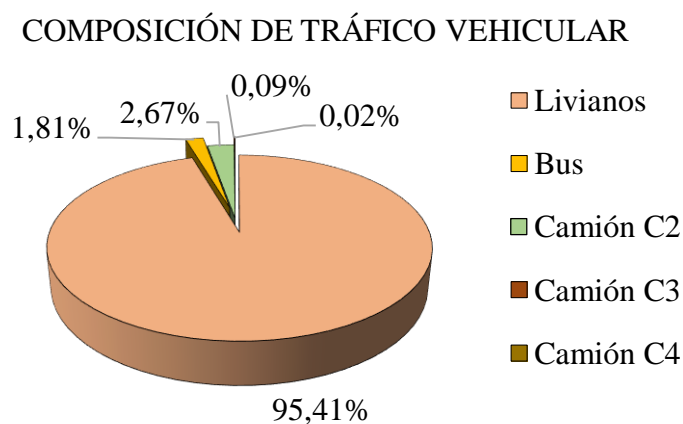
Por otro lado, es importante destacar que en la **Figura 2.8** se presenta únicamente la composición del tráfico vehicular, centrándose específicamente en los vehículos motorizados de cuatro ruedas o más. Con el objetivo de obtener una comprensión más exhaustiva y completa de la distribución vehicular dentro de la rotonda

Figura 2.7 Distribución del tráfico en la rotonda que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. 10 de Agosto y Av. Loja



Fuente: Propia.

Figura 2.8 Porcentajes de la composición del tráfico vehicular (mayor a 4 ruedas) de la intersección que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. 10 de Agosto y Av. Loja



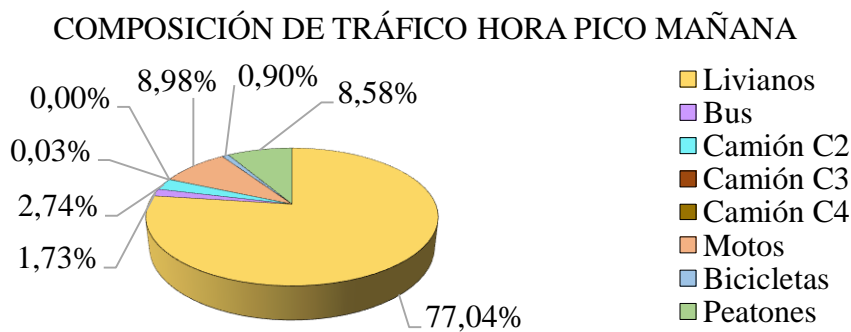
Fuente: Propia

También se realizó un análisis de la composición vehicular de la rotonda durante las horas pico, dividiendo este período en dos segmentos: la hora pico de la mañana, comprendida entre las 12:30 y las 13:30, y la hora pico de la tarde, que abarcó desde las 17:00 hasta las 18:00 horas. Esta división se realizó con el propósito de obtener una comprensión más detallada del

comportamiento de la intersección en momentos de alta demanda durante el día. En el escenario de la mañana, como se puede observar en la **Figura 2.9**, los vehículos livianos representan el mayor porcentaje de demanda, con un 30%. Les siguen las motocicletas con un 20%, los camiones tipo C2 con un 10%, los autobuses con un 7%, las bicicletas con un 5%, los camiones tipo C3 con un 4%, y finalmente, los camiones tipo C4 con un 2%. Además, se realizó un conteo peatonal, el cual corresponde al 3% de la distribución durante la hora pico. Este análisis contribuye a una comprensión más integral del flujo vehicular y peatonal en momentos de mayor congestión en la intersección.

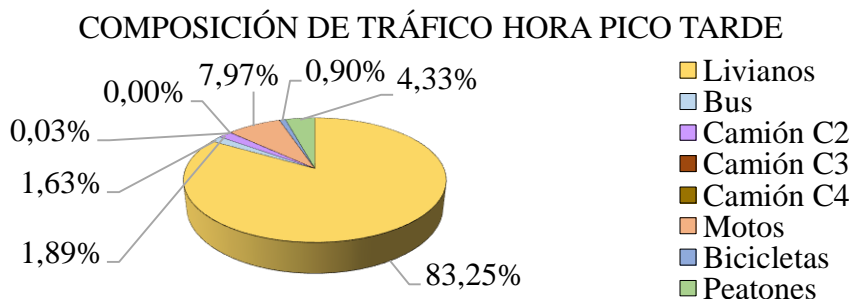
Por otro lado, la distribución del escenario de la tarde muestra similitudes con el de la mañana, ya que los vehículos livianos continúan siendo la categoría con mayor demanda. Estos resultados se encuentran representados en la **Figura 2.10**.

Figura 2.9 Distribución del tráfico durante la hora pico en la mañana dentro la rotonda de estudio



Fuente: Propia

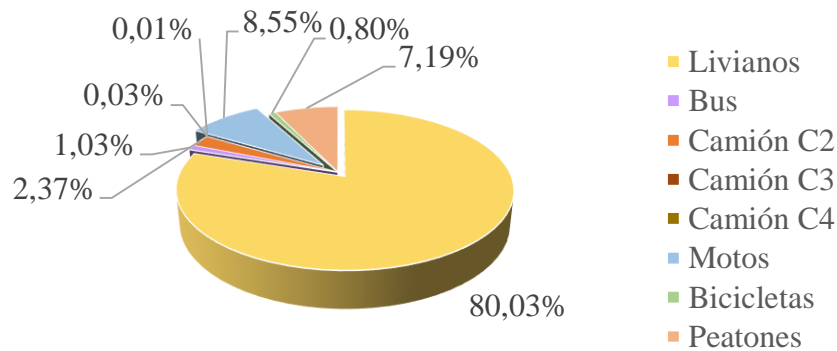
Figura 2.10 Distribución del tráfico durante la hora pico en la tarde dentro la rotonda de estudio



Fuente: Propia

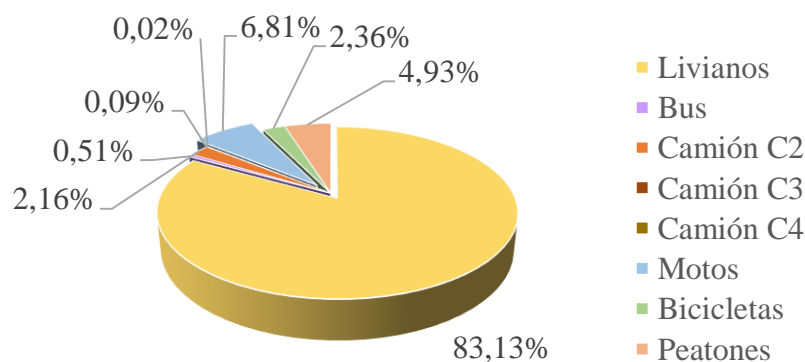
Finalmente, se procedió a realizar un análisis de la composición del tráfico para cada una de las vías que integran la intersección. Este análisis proporciona una visión detallada de la distribución de vehículos en el área de estudio. Los resultados revelan que, de manera consistente en todas las vías, el vehículo liviano se refleja como el tipo de vehículo predominante, representando más del 80% del total del tráfico registrado. Por otro lado, se observa que el camión tipo C4, con un porcentaje de demanda inferior al 1%, es el vehículo menos frecuente en todas las vías analizadas. Esta información es esencial para comprender la dinámica del tráfico. Los detalles específicos de este análisis se encuentran presentados en la **Figura 2.11**, **Figura 2.12**, **Figura 2.13** y en la **Figura 2.14**, las cuales proporcionan una visualización clara y concisa de los resultados obtenidos.

Figura 2.11 *Distribución de tráfico de la Unidad Nacional*



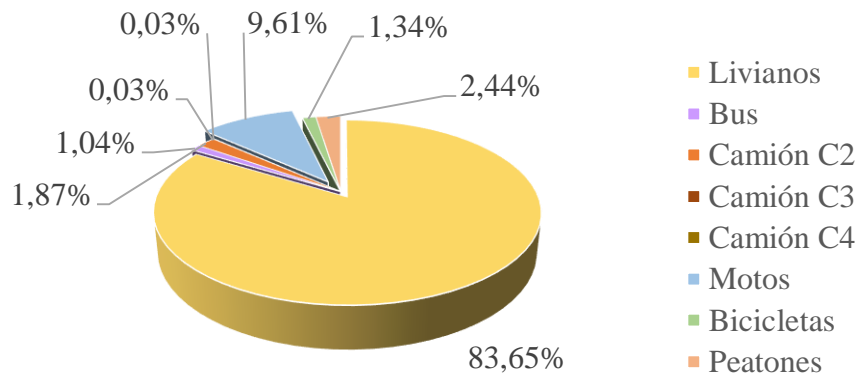
Fuente: Propia

Figura 2.12 *Distribución de tráfico de la Avenida México*



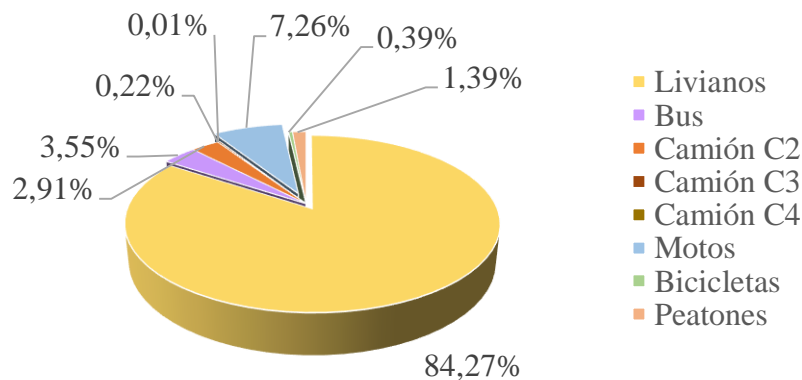
Fuente: Propia

Figura 2.13 Distribución de tráfico de la Avenida Loja



Fuente: Propia

Figura 2.14 Distribución de tráfico de la Avenida 10 de Agosto



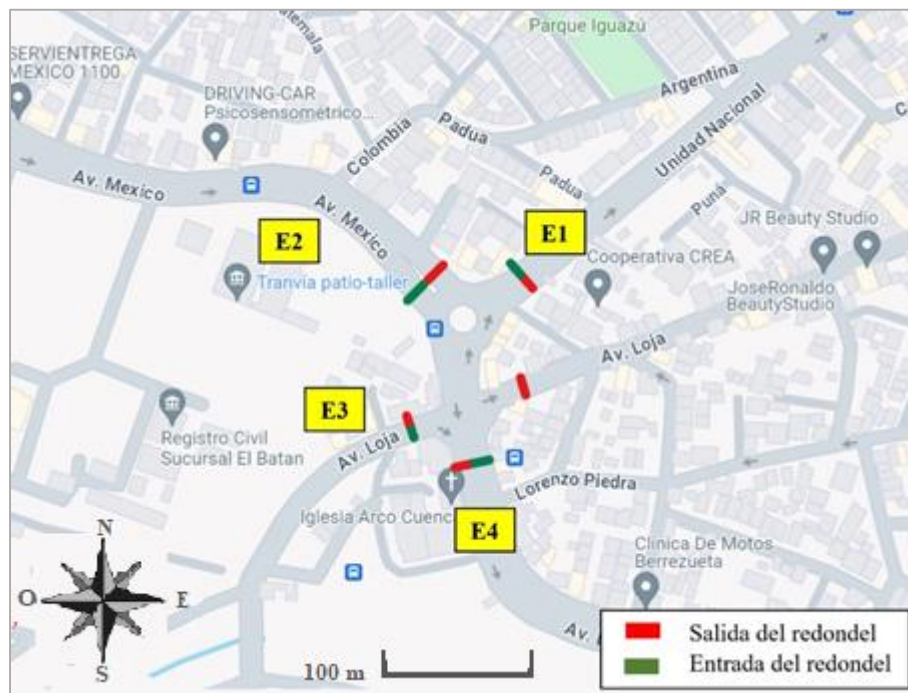
Fuente: Propia

2.7. Elaboración del matriz origen destino

El análisis de la matriz Origen-Destino (OD) constituye una herramienta de gran utilidad en el estudio de desplazamientos vehiculares, ya que permite ordenar y cuantificar los flujos generados entre múltiples puntos geográficos. Es decir, facilita la síntesis de la generación y atracción de viajes desde diversas áreas de origen hacia áreas de destino, ofreciendo así información importante para la toma de decisiones de infraestructura y diseño de redes de transporte. Sus ventajas se evidencian en la capacidad para determinar el volumen de desplazamientos, clasificar vías de transporte y evaluar la eficiencia y capacidad del sistema de transporte en cuestión (Ariza & Álvaro, 2018; Gómez & Méndez, 2017).

El proceso de elaboración de la matriz Origen-Destino requirió la realización de un levantamiento de datos en campo. Este levantamiento se llevó a cabo durante un periodo de 2 horas en donde el flujo vehicular fue el máximo. La distribución de la intersección rotatoria se dividió en cuatro estaciones estratégicamente ubicadas, cada estación fue designada de manera que garantice la presencia de personal tanto en el punto de entrada como en el de salida de las vías pertinentes, tal como se ilustra en la **Figura 2.15**.

Figura 2.15 Entradas y salidas a la rotonda que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. 10 de Agosto y Av. Loja



Nota: Adaptado de “Redondel del Crea”, por A.Genovez y M.Reinoso, 2024, Google maps, 2022.

Las estaciones identificadas son las siguientes: la estación 1 (E1) corresponde a la Unidad Nacional, la estación 2 (E2) a la Av. México, la estación 3 (E3) a la Av. Loja y la estación 4 (E4) a la Avenida 10 de Agosto. Durante el proceso de levantamiento de datos, se recopiló información relativa a diversos tipos de transporte, incluyendo vehículos livianos, pesados y de transporte público. Cabe destacar que, en el caso del transporte liviano, se optó por limitar el registro a vehículos comprendidos en un rango de colores que va desde blanco hasta negro, debido que esta gama de colores es un indicador altamente representativo de las unidades vehiculares que actualmente circulan en la ciudad de Cuenca.

Posteriormente, con base en la información recolectada durante el levantamiento de datos en campo, se procedió a la elaboración de una hoja de cálculo destinada al procesamiento de los

flujos de entrada y salida de vehículos en las estaciones mencionadas anteriormente. Dicha herramienta de análisis permitirá identificar la distribución de los viajes realizados por cada tipo de vehículo, proporcionando así una visión detallada de los patrones de movilidad en el área de estudio.

En la **Tabla 2.20** se presenta la matriz de coincidencias correspondiente a los vehículos de categoría livianos, el cual fue derivado a partir de los datos procesados durante el levantamiento de información.

Tabla 2.20 *Matriz de coincidencias para vehículos livianos*

LIVIANOS						
ORIGEN / DESTINO	AV. 10 DE AGOSTO	UNIDAD NACIONAL	AV. LOJA	AV. MEXICO	AV. LOJA2	TOTAL
AV. 10 DE AGOSTO	17	154	87	285	28	571
UNIDAD NACIONAL	92	12	256	62	4	426
AV. LOJA	44	103	10	31	150	338
AV. MEXICO	135	140	45	8	2	330

Fuente: Propia

En la **Tabla 2.21**, se observa el matriz de coincidencias de los vehículos pesados obtenida partir de la información levantada.

Tabla 2.21 *Matriz de coincidencias para camiones*

CAMIONES						
ORIGEN / DESTINO	AV. 10 DE AGOSTO	UNIDAD NACIONAL	AV. LOJA	AV. MEXICO	AV. LOJA2	TOTAL
AV. 10 DE AGOSTO	1	5	1	22	0	29
UNIDAD NACIONAL	6	0	6	11	0	23
AV. LOJA	3	7	1	3	10	24
AV. MEXICO	7	10	0	2	0	19

Fuente: Propia

Por otro lado, en la **Tabla 2.22** se presenta la matriz de coincidencias específica para los buses. Es pertinente especificar que en esta instancia no se incluye los buses urbanos en la tabla, dado que este tipo de transporte público será ingresado mediante un procedimiento distinto.

Tabla 2.22 *Matriz de coincidencias para buses*

BUSES						
ORIGEN / DESTINO	AV. 10 DE AGOSTO	UNIDAD NACIONAL	AV. LOJA	AV. MEXICO	AV. LOJA2	TOTAL
AV. 10 DE AGOSTO	1	0	0	19	4	24
UNIDAD NACIONAL	9	0	0	0	0	9
AV. LOJA	0	0	0	0	2	2
AV. MEXICO	2	0	0	2	0	4

Fuente: Propia

Para garantizar la eficacia y precisión de la matriz de coincidencias, era necesario que ésta cumpliera con un criterio mínimo de coincidencia del 30% en cuanto al recuento volumétrico de vehículos levantados en el mismo día. Esta verificación se llevó a cabo mediante el cálculo de la proporción entre el número total de coincidencias de placas y el número total de vehículos registrados en el conteo volumétrico para cada tipo de transporte: liviano, pesado y público. Tal como se muestra en la **Tabla 2.23**.

Tabla 2.23 *Porcentaje de coincidencias con respecto al conteo volumétrico*

HORA	LIVIANOS		CAMIONES		BUSES	
	COINCIDENCIAS	VOLUM	COINCIDENCIAS	VOLUM	COINCIDENCIAS	VOLUM
12H00	1665	5219	95	199	39	110
14H00	31,90%		47,74%		35,45%	

Fuente: Propia

Hasta este punto del análisis del estudio se dispone de la matriz de coincidencias con el propósito de proceder con elaboración de la matriz OD. Resulta importante llevar a cabo la multiplicación del volumen total registrado en cada vía durante el intervalo horario comprendido entre las 12:00 y 14:00, por la matriz de coincidencias expresada en términos porcentuales. Es relevante destacar que estos términos deben estar clasificados en grupos de livianos, pesados y buses. Los registros de los volúmenes totales correspondientes a cada vía en la intersección se encuentran detallados en la **Tabla 2.24**. De igual manera, la estructura y contenido de la matriz OD se encuentra detalla en la **Tabla 2.25**, **Tabla 2.26** y en la **Tabla 2.27**.

Tabla 2.24 Volúmenes vehiculares totales correspondientes a la hora pico de la intersección completa

VOLUMÉTRICO EN LA HORA PICO						
LIVIANOS		PESADOS		BUSES		TOTAL
AV. 10 DE AGOSTO	1326	AV. 10 DE AGOSTO	53	AV. 10 DE AGOSTO	69	1448
UNIDAD NACIONAL	1547	UNIDAD NACIONAL	61	UNIDAD NACIONAL	16	1624
AV. LOJA	1555	AV. LOJA	59	AV. LOJA	19	1633
AV. MÉXICO	791	AV. MEXICO	29	AV. MÉXICO	6	826
TOTAL						5531

Fuente: Propia

Tabla 2.25 Matriz origen destino correspondiente a los vehículos livianos de la intersección completa

LIVIANOS						
ORIGEN/DESTINO	AV. 10 DE AGOSTO	UNIDAD NACIONAL	AV. LOJA	AV. MEXICO	AV. LOJA2	TOTAL
AV. 10 DE AGOSTO	39	358	202	662	65	1326
UNIDAD NACIONAL	334	44	930	225	15	1547
AV. LOJA	202	474	46	143	690	1555
AV. MEXICO	324	336	108	19	5	791
TOTAL						5219

Fuente: Propia

Tabla 2.26 Matriz origen destino correspondiente a los camiones de la intersección completa

CAMIONES						
ORIGEN/DESTINO	AV. 10 DE AGOSTO	UNIDAD NACIONAL	AV. LOJA	AV. MEXICO	AV. LOJA2	TOTAL
AV. 10 DE AGOSTO	2	9	2	40	0	53
UNIDAD NACIONAL	16	0	16	29	0	61
AV. LOJA	7	17	2	7	25	59
AV. MEXICO	11	15	0	3	0	29
TOTAL						202

Fuente: Propia

Tabla 2.27 Matriz origen destino correspondiente a los buses de la intersección completa

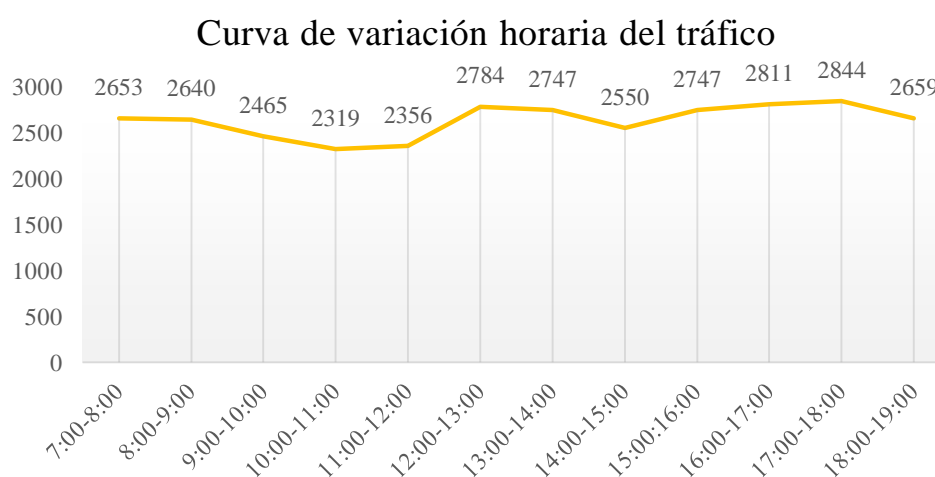
MATRIZ OD - BUSES						
ORIGEN/DESTINO	AV. 10 DE AGOSTO	UNIDAD NACIONAL	AV. LOJA	AV. MEXICO	AV. LOJA2	TOTAL
AV. 10 DE AGOSTO	1	0	0	19	4	24
UNIDAD NACIONAL	9	0	0	0	0	9
AV. LOJA	0	0	0	0	11	11
AV. MEXICO	2	0	0	2	0	4
TOTAL						48

Fuente: Propia

2.8. Variación horaria del flujo en la intersección

El periodo del estudio del comportamiento vehicular como se muestra en la **Figura 2.16**. fue a partir de las 7h00 hasta las 19h00, la variación total del flujo de la intersección empieza con 2653 vehículos entre las 7h00 y 8h00, luego sufre una baja entre las 8h00 y 11h00, para luego ascender llegando a un primer pico de 2784 vehículos entre las 12h00 y 13h00, después vuelve a ocurrir una baja a 2550 vehículos entre las 13h00 hasta las 15h00 y finalmente llega a su segundo pico de 2844 vehículos entre las 18h00 y 19h00. Cabe recalcar que este análisis de variación horaria solo se realizó con motorizados de 4 llantas o más, con el fin de tener mayor exactitud en el estudio de comportamiento vehicular.

Figura 2.16 Variación horaria del flujo de la intersección de estudio

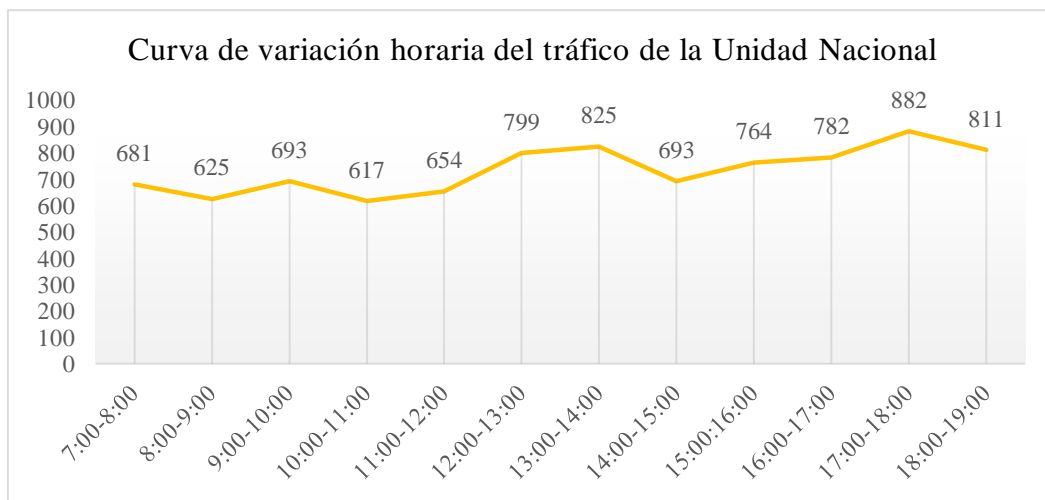


Fuente: Propia

Se llevó a cabo el análisis de la variación horaria del flujo vehicular para cada una de las vías que conforman la rotonda de estudio, con el propósito de obtener una comprensión más

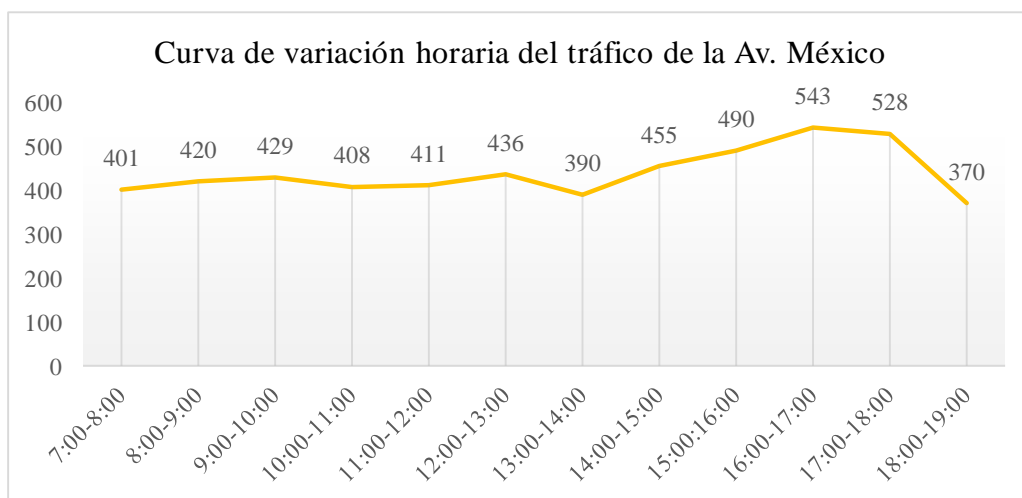
completa del comportamiento vehicular, considerando que cada vía experimenta una hora de máxima demanda diferente. En la **Figura 2.17** se presenta la variación horaria de la Unidad Nacional, donde se observa un pico de 882 vehículos entre las 17:00 y las 18:00 horas. Por otro lado, en la Avenida México, su pico vehicular se registra entre las 16:00 y las 17:00 horas, con un total de 543 vehículos, como se muestra en la **Figura 2.18**. La Avenida Loja exhibe su pico de 894 vehículos entre las 8:00 y las 9:00 horas, tal como se observa en la **Figura 2.19**. Finalmente, en la **Figura 2.20** se representa el pico vehicular de la Avenida 10 de Agosto, correspondiente a 804 vehículos entre las 7:00 y las 8:00 horas.

Figura 2.17 Variación horaria del flujo de la Unidad Nacional



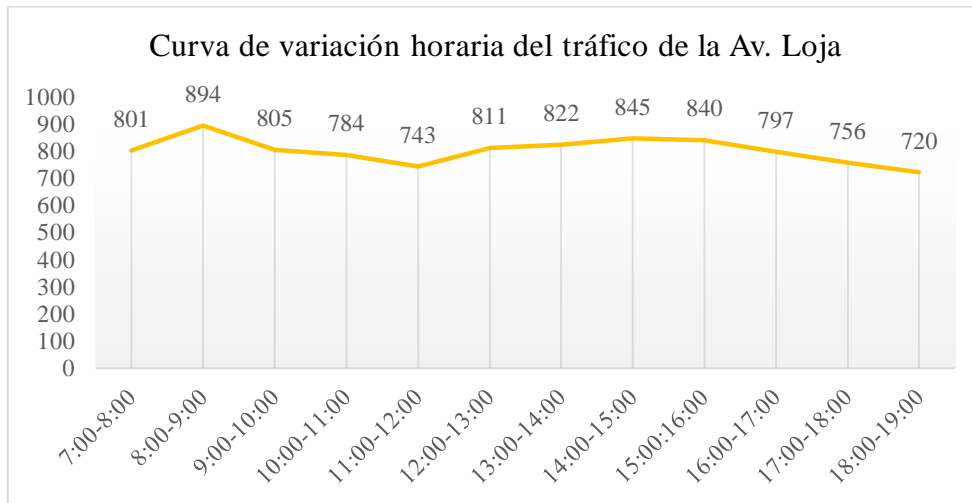
Fuente: Propia

Figura 2.18 Variación horaria del flujo de la Av. México



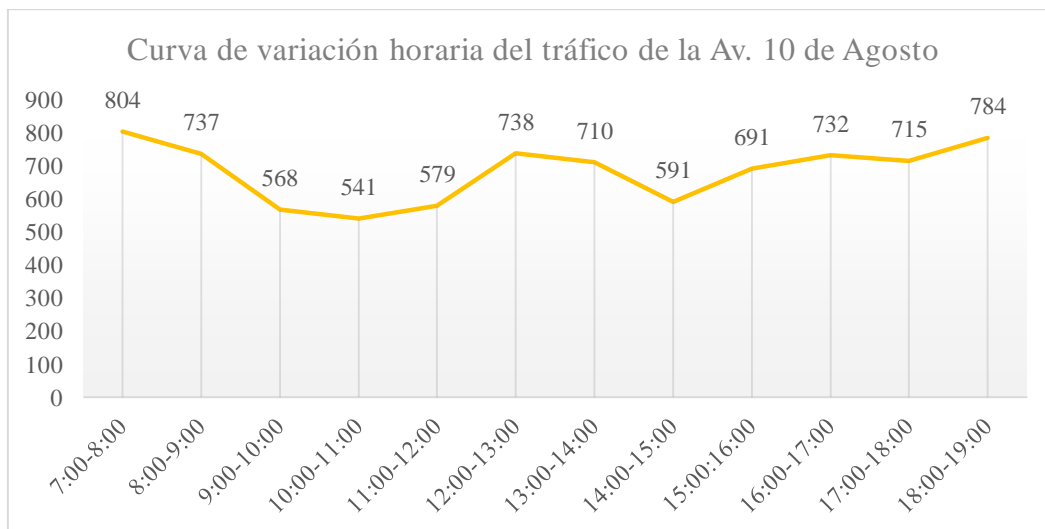
Fuente: Propia

Figura 2.19 Variación horaria del flujo de la Av. Loja



Fuente: Propia

Figura 2.20 Variación horaria del flujo de la Av. 10 de Agosto



Fuente: Propia

CAPITULO 3

3. MODELACIÓN DE LA RED

3.1. Diseño de la red

Para la modelación de la red objeto de análisis en el software AIMSUN 8.1.3 se ha empleado la captura de imágenes aéreas mediante el uso de un dron. A partir de la topografía obtenida, se ha trazado la geometría de las vías, así como la disposición de la rotonda y los cruces peatonales, con la mayor precisión posible. Este enfoque es esencial dada la naturaleza de la micro modelación, donde el software considera la geometría vial para evaluar el comportamiento individual de cada vehículo. Aspectos como el ancho de los carriles, la señalización, los semáforos y otros elementos específicos de la infraestructura vial son tomados en cuenta para caracterizar el comportamiento de los vehículos en la red. Además, se ha integrado la señalización correspondiente en cada punto para garantizar una evaluación precisa del comportamiento vehicular. Todos los resultados derivados de la simulación se basan en las condiciones existentes en las dos horas de máxima demanda, en este caso entre las 12h00 y 14h00. El diseño final de la red se presenta en la **Figura 3.1**.

Figura 3.1 *Diseño de la red*



Fuente: Aimsun

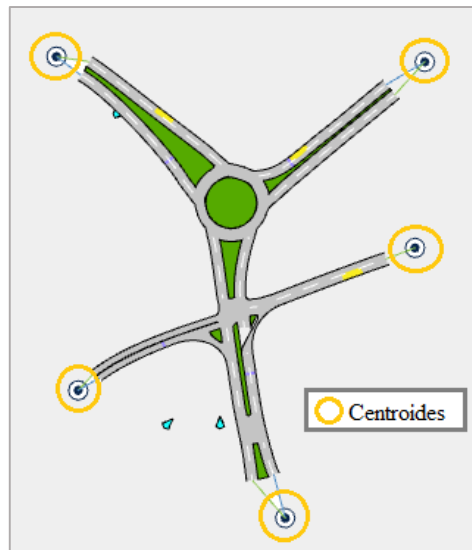
En el contexto del diseño de la red vial, otro parámetro importante es el tipo de vía, dado que este factor ejerce una influencia directa sobre la velocidad de desplazamiento de los vehículos dentro de la intersección. De acuerdo a la información suministrada por la Dirección de Movilidad de la ciudad de Cuenca revela que las vías integrantes del redondel se clasifican como vías colectoras. Conforme a las disposiciones normativas vigentes, se establece que la velocidad máxima permitida en este tipo de vías de 40 km/h. Esta limitación de velocidad se fundamenta en las condiciones de seguridad vial y de flujo vehicular, garantizando condiciones adecuadas para el tránsito en dicho entorno.

3.2. Ingreso de las matrices origen destino y la demanda de tráfico

Para la alimentación de la red de transporte, se procedió a utilizar los datos provenientes de la matriz de origen-destino. Dichos datos, correspondientes a cada categoría de vehículos (livianos, buses y camiones), fueron obtenidos a partir del registro de placas realizado durante el periodo comprendido entre las 12h00 y 14h00 del día viernes 22 de marzo, tal como se mencionó previamente. Además, se incorporaron al modelo los datos provenientes del sistema de control semafórico vigente en la intersección de la Avenida 10 de Agosto y la Avenida Loja durante las dos horas de diseño establecidas. De igual manera, se tuvieron en cuenta las interrupciones al tráfico ocasionadas por diversos puntos dentro de la red, tales como las paradas de autobús, con el propósito de recrear una situación actual que refleje el comportamiento real de la intersección de estudio. Posteriormente, se detallará el proceso llevado para cada una de las etapas realizadas en el diseño de la red.

Inicialmente, se procedió a la delimitación de los centroides dentro de la red de diseño, los cuales se observan en la **Figura 3.2**. Esta actividad se lleva a cabo como paso previo a la determinación de la demanda de tráfico mediante la matriz Origen-Destino (OD), dado que es de suma importancia definir la disposición y la conectividad de los centroides asociados a dicha matriz. Esto permite establecer qué vías atraen tráfico y cuáles lo generan. En este contexto, el proceso comienza con la creación de los centroides, los cuales enlazan mediante conectores con las secciones de entrada y salida correspondientes. Dicha conexión se realiza teniendo en cuenta los flujos de entrada y salida de vehículos dentro de la intersección de estudio (Transmilenio S.A., 2013).

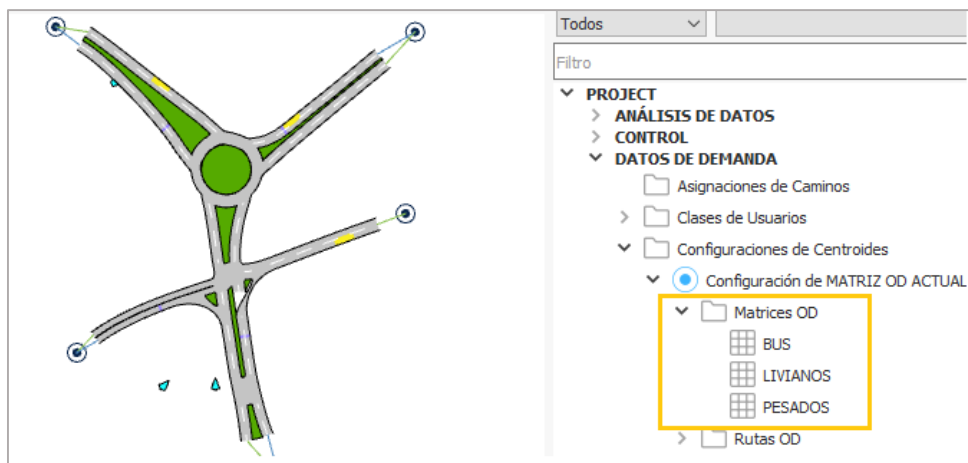
Figura 3.2 Centroides en cada una de las vías que conforma la intersección de estudio



Fuente: Aimsun

Tras la determinación de centroides, se procede al ingreso de la matriz Origen-Destino (OD) para diferentes tipos de vehículos, en este caso se ingresa para vehículos livianos, camiones y buses, como se puede observar en la **Figura 3.3**. Esta fase implica la integración de los datos obtenidos de las matrices generadas previamente en el segundo capítulo del presente estudio. La matriz OD correspondiente a los vehículos livianos se presenta en **Tabla 2.25**, mientras que la matriz para vehículos pesados se muestra en la **Tabla 2.26**, y la matriz para buses se exhibe en la **Tabla 2.27**. En el software utilizado, es esencial ajustar de manera adecuada los parámetros pertinentes a cada tipo de vehículos, así como los valores de tiempo inicial y duración asociados para cada matriz.

Figura 3.3 Ingreso de las matrices OD en el software Aimsun 8.1.3

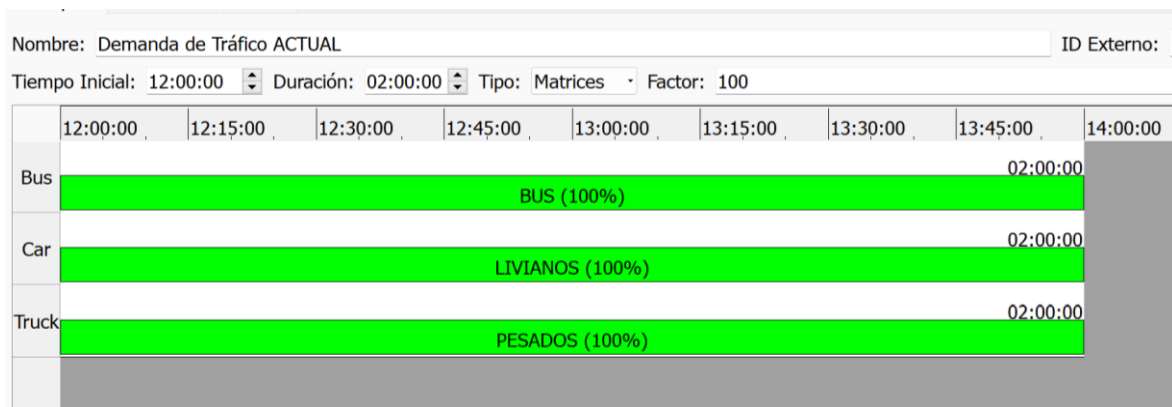


Fuente: Aimsun

Una vez ingresadas las matrices pertinentes, se procede a la formulación de la demanda de tráfico, proceso que especifica el inicio y la duración del intervalo de tiempo de máxima demanda como se muestra en la

Figura 3.4, además de la selección de las distintas categorías de vehículos. En esta fase, se contempla la visualización de la demanda de tráfico asignada al escenario objeto de análisis. La síntesis de esta demanda para la intersección completa se puede observar en la **Figura 3.5**. Posteriormente se procede con la asignación de las rutas origen-destino para cada vía, mediante la asignación de porcentajes correspondientes a los vehículos que transitan por cada una de estas rutas de acuerdo a las características al flujo vehicular. Dichas rutas se delinean en base a las matrices origen destino, con el objetivo de obtener un flujo simulado que se asemeje al comportamiento observado en condiciones reales.

Figura 3.4 Intervalo de tiempo de máxima demanda simulado



Fuente: Aimsun

Figura 3.5 Demanda de tráfico de la intersección que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. Loja y Av. 10 de Agosto

	832: UNIDAD NACIONAL	835: AV. MEXICO	838: AV. LOJA	841: AV. 10 DE AGOSTO	844: AV. LOJA2	Total
832: UNIDAD NACIONAL	44	254	946	350	15	1609
835: AV. MEXICO	351	25	108	338	5	827
838: AV. LOJA	491	150	48	209	715	1613
841: AV. 10 DE AGOSTO	367	733	204	49	96	1449
Total	1253	1162	1306	946	831	5498

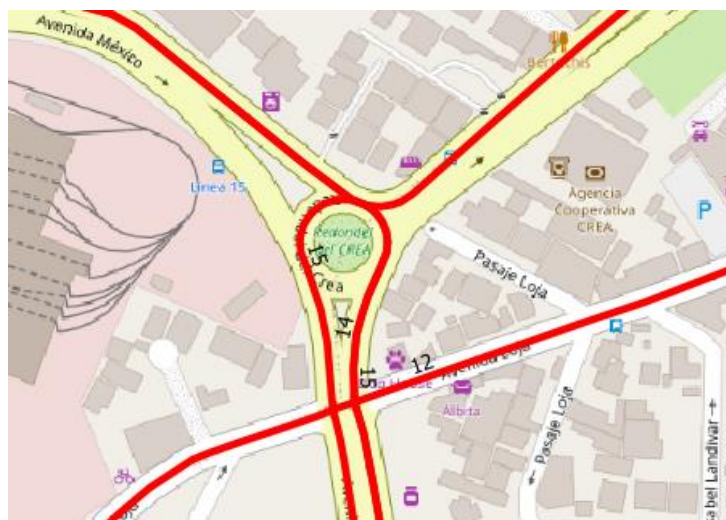
Fuente: Aimsun

3.3. Creación de las líneas de transporte público en la red de diseño

En el proceso de modelación, resulta imperativo incorporar las líneas de transporte público existentes en la intersección de estudio, dado que los buses urbanos no están contemplados en la matriz de origen-destino de buses. Para llevar a cabo esta actividad, es necesario identificar las tres paradas ubicadas en la intersección: la primera se encuentra en la Unidad Nacional, la segunda en la Avenida México y la tercera en la Avenida Loja. Es importante destacar que la longitud de estas paradas debe ser al menos 12 metros para garantizar su adecuado funcionamiento, dado que los autobuses tienen esta dimensión estándar.

Una vez integradas las paradas en la red de diseño, se procede a establecer el conjunto de tramos que conforman cada una de las líneas de autobús existentes, con el propósito de generar las rutas origen- destino correspondiente a dichas líneas. Para ello, se identificarán las líneas en operación dentro del área de estudio, de acuerdo con la información proporcionada por la Dirección de Movilidad de Cuenca. En este punto, se han identificado cuatro líneas de autobús en funcionamiento. La primera de ellas es la L15 Baguanchi, que accede a la rotonda por la Unidad Nacional y sale por la Avenida 10 de Agosto. La segunda línea es la L12 Quinta Chica, cuyo recorrido se limita exclusivamente a la Avenida Loja. A continuación, se encuentra la línea 14 Feria Libre, cuyo trayecto coincide con la línea L15 Campus Balzay, ingresando a la rotonda desde la Av. 10 de Agosto y saliendo por la Unidad Nacional. La disposición de estas rutas se puede visualizar en la **Figura 3.6**.

Figura 3.6 Rutas de las líneas de transporte público existentes en la intersección que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. Loja y Av. 10 de Agosto



Fuente: Dirección de movilidad de la ciudad de Cuenca.

Posteriormente, se han asignado las paradas correspondientes a cada una de las líneas de autobús mencionadas. Para la línea L15 Baguanchi, la parada se sitúa en la Unidad Nacional; para la línea L12 Quinta Chica, la parada se encuentra en la Avenida Loja. Finalmente, la parada para las líneas L14 Feria Libre y L15 Campus Balzay están ubicadas en la Avenida México.

Una vez definidas las paradas, se procede a establecer los horarios de funcionamiento para cada línea. Se crea una franja horaria en la que se determina la frecuencia de paso y el tiempo de estancia en cada parada. Estos datos se presentan en la **Tabla 3.1**, detallando la información correspondiente a cada una de las líneas.

Tabla 3.1 *Tabla resumen de factores correspondientes a cada una de las líneas de transporte público existentes en la intersección que une la Av. México, Unidad Nacional, Av. Loja y Av. 10 de Agosto*

LINEAS DE BUS	Frecuencia de paso (min)	Tiempo de estancia (seg)	Horario de simulación
L15 Bahuanchi	12	15	12h00-14h00
L12 Quinta Chica	12	15	12h00-14h00
L14 Feria Libre	10	15	12h00-14h00
L15 Campus Balzay	12	15	12h00-14h00

Fuente: Propia

Finalmente, se elabora el plan integral de transporte público, que engloba todas las líneas definidas anteriormente. Este plan se visualiza en la **Figura 3.7**, proporcionando una representación global del sistema de transporte público en la zona de estudio (Transmilenio S.A., 2013).

Figura 3.7 *Plan integral de transporte público*

Líneas y Horarios de Transporte Público Disponibles			
Filtro			
Horarios de Líneas de Transporte Público	Tiemp	Tiempo Final	Incluidas
✓992: Línea de Transporte Público L15 CAMP 993: L15 CAMPUS	12:00...	14:00:00	Sí
✓990: Línea de Transporte Público L12 991: L12	12:00...	14:00:00	Sí
✓988: Línea de Transporte Público L14 989: L14	12:00...	14:00:00	Sí
✓986: Línea de Transporte Público L15 BAGUA 987: L15 BAGUANCHI	12:00...	14:00:00	Sí

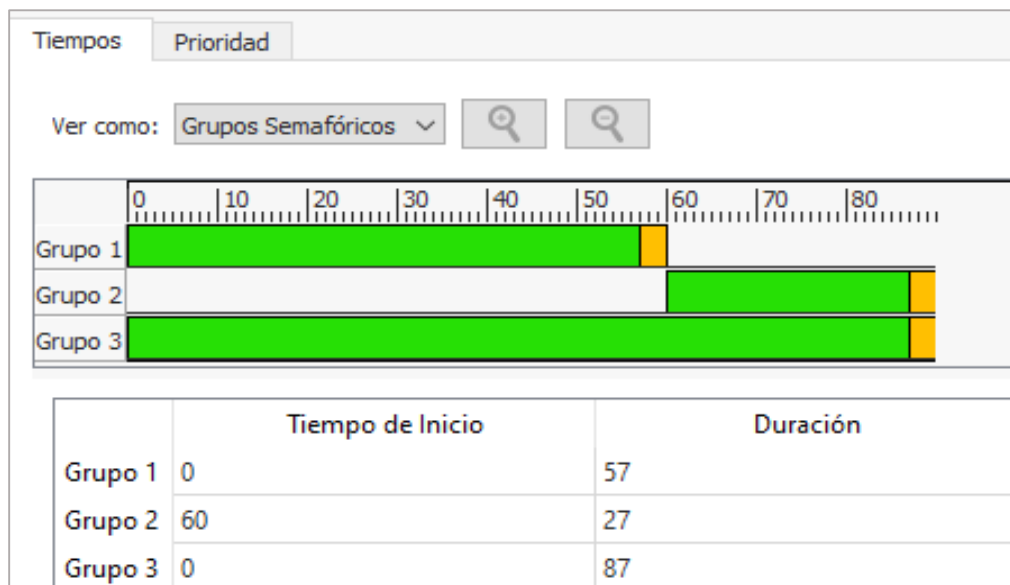
Fuente: Aimsun

3.4. Grupos semafóricos en la red de diseño

La intersección de estudio está conformada por una rotonda y una intersección semafórica, esta última conecta la Avenida Loja y la Avenida 10 de Agosto, facilitando el acceso a la rotonda. La primera etapa para el diseño de la intersección semaforizadas dentro de la red consiste en la identificación de los grupos semafóricos presentes, en este caso se cuenta con tres grupos distintos. El primer grupo comprende el flujo de vehículos procedentes de la Av. Loja, circulando de Oeste a Este. Por su parte, el segundo grupo se compone de dos trayectos: uno que va desde la Av.10 de Agosto hacia la rotonda en dirección Sur-Norte, y otro que se desplaza desde la rotonda hacia la Av. 10 de Agosto en sentido contrario, es decir, de Norte a Sur. Por último, el tercer grupo está constituido por aquellos vehículos que realizan el giro desde la Av. 10 de Agosto hacia la Av. Loja, en dirección Norte-Oeste, cabe recalcar que el giro de este último grupo siempre está habilitado, es decir su fase siempre se encuentra en color verde.

Una vez definidos los grupos semafóricos, se procede a establecer los tiempos de las diferentes fases del semáforo (verde, rojo y ámbar) para cada uno de ellos. Los tiempos de cada uno se obtuvieron a través de un levantamiento en campo y los resultados se presentan en la **Tabla 3.2**. Luego de tener claro los tiempos para cada una de las fases dentro de cada grupo semafórico, se ingresan los resultados en el software como se observa en la **Figura 3.8**.

Figura 3.8 Grupos semafóricos y tiempos de fase



Fuente: Aimsun

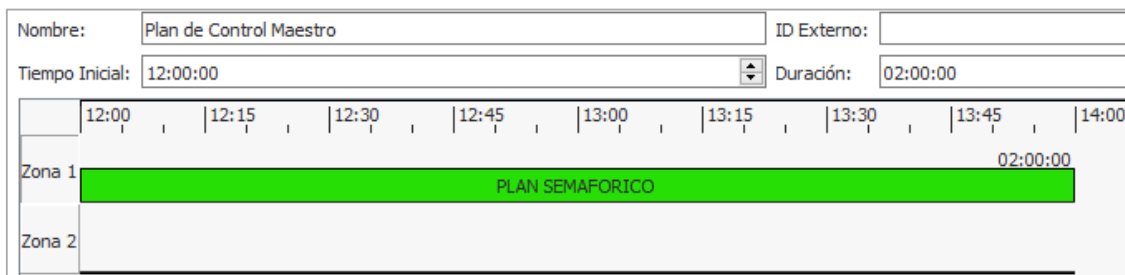
Tabla 3.2 *Tiempos de cada fase para los grupos semafóricos existentes*

GRUPOS SEMAFÓRICOS	TIEMPOS DE FASE EN SEGUNDOS			
	VERDE	AMBAR	ROJO	FASE
GRUPO 1	60	3	30	90
GRUPO 2	30	3	60	90
GRUPO 3	90	3	0	90

Fuente: Propia

Finalmente, se elabora un Plan de Control Maestro con el objetivo de coordinar todos los grupos semafóricos en un único escenario. Dicho plan se detalla en la **Figura 3.9**, representando las dos horas de máxima demanda, las cuales van desde las 12h00 hasta las 14h00 (Transmilenio S.A., 2013).

Figura 3.9 *Plan de control semafórico ingresado en la red de diseño*



Fuente: Aimsun

3.5. Generación de escenario dinámico y el experimento microscópico

La realización de la simulación final de la intersección de estudio implica la implementación de un proceso específico en el software Aimsun 8.1.3, que comprende la creación de un escenario dinámico, la configuración del experimento y la ejecución replicaciones microscópicas.

Inicialmente, se procede a la creación del escenario dinámico, integrando los elementos recopilados previamente, como la demanda de tráfico actual, el plan de transporte público y el plan de control maestro. Estos componentes se consideran cruciales para la representación de la simulación y se pueden observar ingresados en la **Figura 3.10**.

Posteriormente, se da inicio a la elaboración del experimento, en el cual se analizarán los resultados de la simulación. En este contexto, se determina el modelo a emplear y se establecen parámetros globales pertinentes para el experimento. La información recolectada tal como la

demanda de tráfico se registra en el experimento, el cual adopta un enfoque microscópico. Esto se puede observar en la **Figura 3.11**.

Una vez definido el experimento, se procede a generar un conjunto de replications y calcular su media, con el propósito de consolidar los datos obtenidos, en este caso son 5 replications. Las replications generadas se pueden observar en la **Figura 3.12**. Cada replicación se distingue por sus condiciones únicas, lo que conlleva a la producción de resultados variados. Esta diversidad busca simular la complejidad de las situaciones de tráfico real, donde incluso circunstancias de tráfico aparentemente idénticas pueden generar respuestas diferentes en cuanto a su comportamiento. Cabe recalcar que para el cálculo de la media y las replications es necesario ingresar un archivo con los datos reales, sin embargo esto será explicado de manera detalla más adelante (Transmilenio S.A., 2013).

Finalmente, para llevar a cabo la simulación, se selecciona la replicación deseada y se elige el tipo de simulación a emplear. Aimsun 8.1.3 ofrece dos alternativas: la simulación animada, que permite la visualización detallada de los vehículos y demás elementos ingresados; y la simulación Batch, una opción rápida que carece de visualización gráfica pero facilita un análisis eficiente de los datos ingresados (Transmilenio S.A., 2013).

En conclusión, este proceso garantiza simulación eficaz de la intersección de estudio, permitiendo una evaluación eficiente del comportamiento del tráfico en diversos escenarios y condiciones.

Figura 3.10 *Generación del escenario dinámico actual*

The screenshot displays the configuration window for a dynamic scenario in Aimsun. The fields are as follows:

- Nombre:** Escenario Dinámico ACTUAL
- Tiempos**
 - Fecha Simulada:** 18/4/2024
 - Tiempo Simulado Inicial:** 12:00:00
- Ciclo de Detección:** El mismo que el Paso de Simulación 1
- Tráfico**
 - Demanda de Tráfico:** Demanda de Tráfico ACTUAL
 - Plan de Transporte Público:** 995: Plan de Transporte Público ACTUAL
 - Asignación de caminos:** Ninguno
- Plan de Control Maestro:** Plan de Control Maestro

Fuente: Aimsun

Figura 3.11 *Generación del experimento microscópico*

Nombre: Experimento Micro SRC 876

Asignación Dinámica de Tráfico

Carga de la Red: Simulador Microscópico Método de Asignación: Elección Estocástica de Rutas

Peatones

Simulador de Peatones Aimsun Legion for Aimsun

Estado Inicial de Simulación

Usando Calentamiento: 553: Demanda de Tráfico ACTUAL

Usando un Estado Inicial Salvado: Ninguno

Fuente: Aimsun

Figura 3.12 *Generación de las replicaciones a través del experimento*

▼ ESCENARIOS

▼ (📄) Escenario Dinámico ACTUAL

▼ Experimento Micro SRC 876

- AVG Media 878
- RPL Replicación 879
- RPL Replicación 881
- RPL Replicación 882
- RPL Replicación 883
- RPL Replicación 884

Fuente: Aimsun

3.6. Calibración del modelo

Una vez creada la infraestructura de la red y la finalizada la recopilación de datos mediante el conteo volumétrico y el levantamiento de placas vehiculares, se obtuvo información esencial, incluyendo el número de vehículos, la de matriz origen-destino, velocidades, tiempos semafóricos, entre otros parámetros pertinentes. Con este conjunto de datos a disposición, se llevó a cabo la ejecución de un escenario dinámico conforme a lo especificado con anterioridad. Este escenario dinámico, compuesto por 5 replicaciones distintas, tiene como finalidad principal la generación de resultados válidos, cuya elaboración se basa en la media aritmética derivada de las mencionadas replicaciones.

El objetivo de la calibración del modelo consiste en contrastar los datos simulados con aquellos observados en la realidad. Para alcanzar este objetivo, se requiere, en primer lugar, establecer

detectores en ubicaciones estratégicas de la red, con el propósito de comparar los datos generados por el modelo con los datos reales de la intersección de estudio, la ubicación de los detectores se muestran en la **Figura 3.13**. La configuración de los detectores se especifica de la siguiente manera: D1 corresponde a la Avenida Loja, D2 a la Avenida 10 de Agosto, D3 a la Avenida México y D4 a la Unidad Nacional. En segundo lugar, se procede a la definición del conjunto de datos reales dentro del escenario dinámico en cuestión. Estos datos reales se fundamentan en los flujos vehiculares registrados en cada una de las vías que conforman la intersección de estudio durante las dos horas de análisis, el proceso para calcular el flujo vehicular se detalla en el primer capítulo del presente proyecto. La tabla de datos reales y detectores incorporados al escenario dinámico se presenta en la **Tabla 3.3**.

Tabla 3.3 Datos reales necesarios para la validación

VÍAS	DETECTORES	FLUJOS VEHICULARES	Hora final
AV. LOJA	D1	896	14:00:00
AV. 10 DE AGOSTO	D2	828	14:00:00
AV. MÉXICO	D3	448	14:00:00
UNIDAD NACIONAL	D4	667	14:00:00

Fuente: Propia.

Figura 3.13 Detectores en la red de diseño



Fuente: Aimsun.

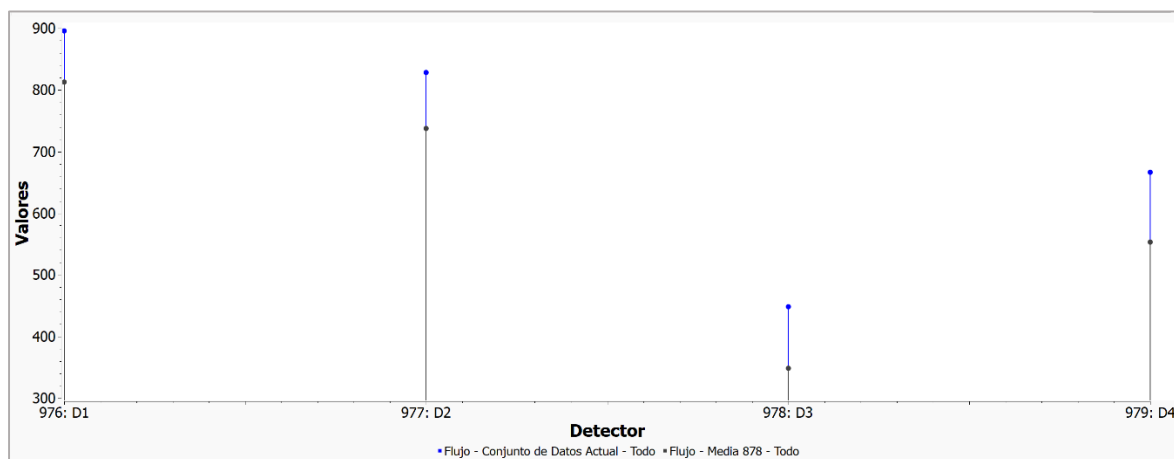
Luego de la incorporación de los datos reales y la disposición de detectores en cada una de las vías de la intersección, se inicia el proceso de calibración del modelo. En este contexto, se llevaron a cabo tres métodos de calibración:

- Método gráfico

Con este método se compara los flujos vehiculares calculados con los datos obtenidos mediante el conteo vehicular realizado en campo durante las dos horas de máxima demanda. Este análisis se lleva a cabo mediante la utilización de cuatro detectores estratégicamente ubicados en puntos específicos dentro de las cuatro vías que constituyen la intersección objeto de estudio. El propósito principal de esta comparación es facilitar la validación precisa de la información modelada.

Para el análisis de los resultados se establece que cuanto mayor sea la proximidad entre las representaciones gráficas de los datos reales y los datos simulados, mayor será la precisión en la calibración del modelo. Este proceso, garantiza que la simulación de la red fue realizada correctamente. Los resultados de este método de calibración se puede observar en la **Figura 3.14**, la cual exhibe la verificación satisfactoria de la calibración del sistema.

Figura 3.14 Validación de datos con el método gráfico lineal



Fuente: Aimsun.

- Método estadístico

En este método, el software Aimsun calcula tanto la diferencia absoluta como relativa entre cada par de conjuntos de datos, compuestos por los datos empíricos y los generados por simulación. Esto se logra mediante el cálculo del estadístico GEH, con el propósito de evaluar las desviaciones en cada uno de los detectores de ajuste situados en las distintas vías de la intersección. Este factor se calcula mediante la **Ecuación 3.1** y se establece que cuando el resultado del estadístico GEH es inferior a 5, se considera que el modelo ha sido calibrado de

manera óptima, lo que indica una concordancia adecuada con las condiciones operativas observadas en la intersección objeto de análisis (Chávez & Cubides, 2018).

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

M= Flujo vehicular generado por del modelo de tráfico.

C= Flujo vehicular real.

Los resultados obtenidos mediante este método se muestran en la **Tabla 3.4**.

Tabla 3.4 Validación de datos con el método estadístico

Estación	Objeto	Flujo - Datos Actual - Todo	Flujo - Media 878 - Todo	Dif Absoluta	Dif Relativa (%)	GEH (%)
Loja	976: D1	896	812,9	-83,1	-9,27455	2,84287
Av. 10 de Agosto	977: D2	828	737,6	-90,4	-10,9179	3,23105
Av. México	978: D3	448	348,7	-99,3	-22,1652	4,97527
Unidad Nacional	979: D4	667	553,2	-113,8	-17,0615	4,60725
	Media	709,75	613,1	-96,65	-13,6175	3,91411

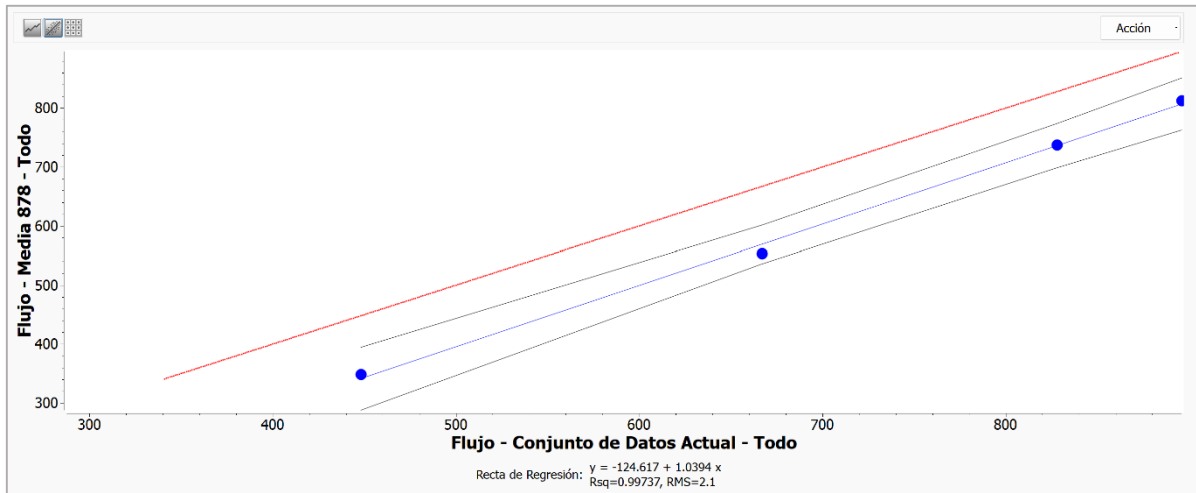
Fuente: Propia.

- Método de regresión lineal

De la misma manera que el método anterior, la validación se basa en la comparación entre los datos observados y los datos generados mediante la simulación, con la diferencia que este método emplea un modelo de regresión lineal, el cual permite anticipar cómo se comportará una variable, ya sea predicha o dependiente en función de otra, la cual es independiente. En general, existe regresión entre los valores de una variable con respecto a otra cuando se identifica una línea, conocida como línea de regresión, la cual se ajusta de manera cercana a los valores observados (Dagnino, 2014).

En este contexto, es necesario que el coeficiente de ajuste en la gráfica de regresión lineal sea superior a 0,95, lo cual confirma que la congruencia entre la simulación y la realidad tiene un nivel significativo de fiabilidad. Los resultados de este método que se muestran en la **Figura 3.15** son satisfactorios, pues el coeficiente de ajuste tiene un valor de 0,997, indicando que el modelo simulado es correcto.

Figura 3.15 Validación de datos con el método de regresión lineal



Fuente: Aimsun.

3.7. Respuestas de la simulación

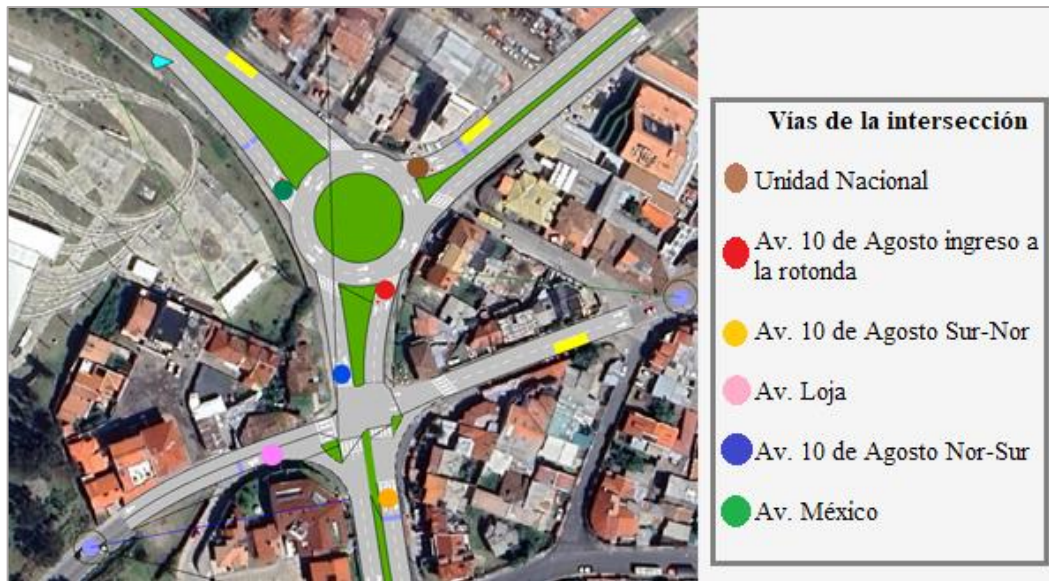
Luego de verificar la calibración de la simulación, se procedió a la obtención de las respuestas mediante la adquisición de los parámetros del tráfico existente. Este proceso fue llevado a cabo con el respaldo del software AIMSUN 8.1.3, el cual se basa en las directrices establecidas por el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010). Los parámetros de tráfico evaluados incluyen: la demora, la longitud de cola basándose en el número de vehículos, la velocidad, la relación entre la velocidad y capacidad, y por último, el nivel de servicio. Estos parámetros fueron recopilados para cada vía que conforma la intersección bajo estudio y se encuentran presentados de manera detallada en la **Tabla 3.5**. La distribución de las vías está especificada en la **Figura 3.16**.

Tabla 3.5 Resultado de los parámetros de tráfico de la intersección que une la Av. 10 de Agosto, Av. Loja, Av. México y Unidad Nacional

PARÁMETROS	ESTACIONES					
	Av. Loja	Av. 10 de Agosto S-N	Av. 10 de Agosto Ingreso rotonda	Av. México	Unidad Nacional	Av. 10 de Agosto N-S
Nivel de servicio	A	B	C	F	F	B
Demora (s)	8,36	12,62	15,82	347,18	213,73	21,07
Cola (veh)	8,47	5,32	5,92	18,8	19,17	4,92
Velocidad (km/h)	28,79	23,94	15,22	1,03	1,67	19,82
V/C	1,63	0,74	1,02	0,35	0,55	0,79

Fuente: Aimsun.

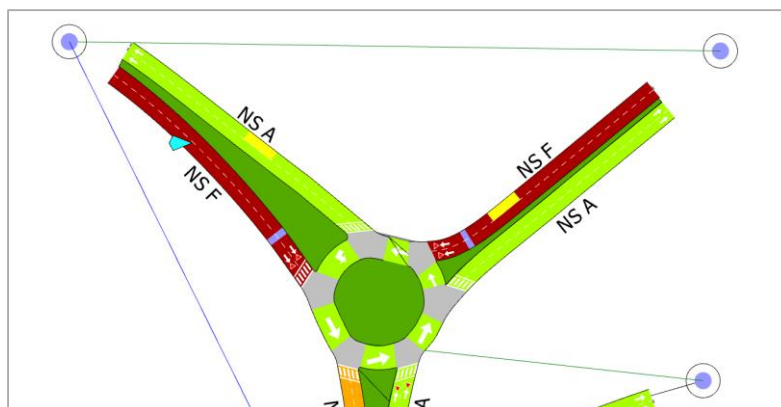
Figura 3.16 Vías que conforman la intersección de estudio



Fuente: Aimsun.

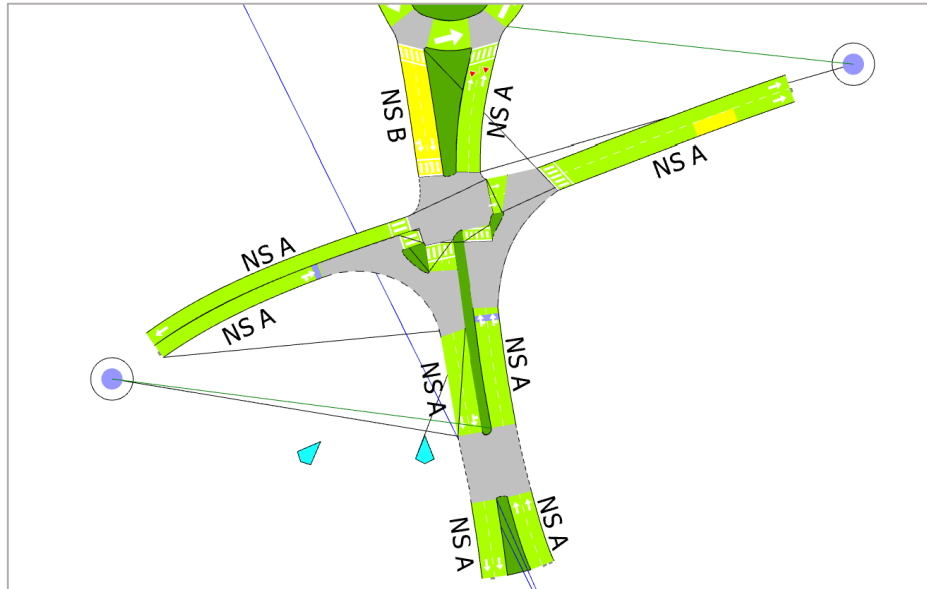
La respuesta a la simulación llevada a cabo mediante el software Aimsun, se han determinado los niveles de servicio correspondientes tanto para la rotonda como para la intersección semaforizada. Estos niveles de servicio se han representado visualmente en la **Figura 3.17** y en la **Figura 3.18**, donde se utiliza el color rojo para los niveles de servicio calificados como F, y el color verde para representar los niveles de servicio clasificados como A. La **Figura 3.17** exhibe los resultados pertenecientes a la rotonda, mientras que la **Figura 3.18** presenta los resultados correspondientes a la intersección semaforizada.

Figura 3.17 Niveles de servicio para rotonda generados por el software Aimsun



Fuente: Aimsun.

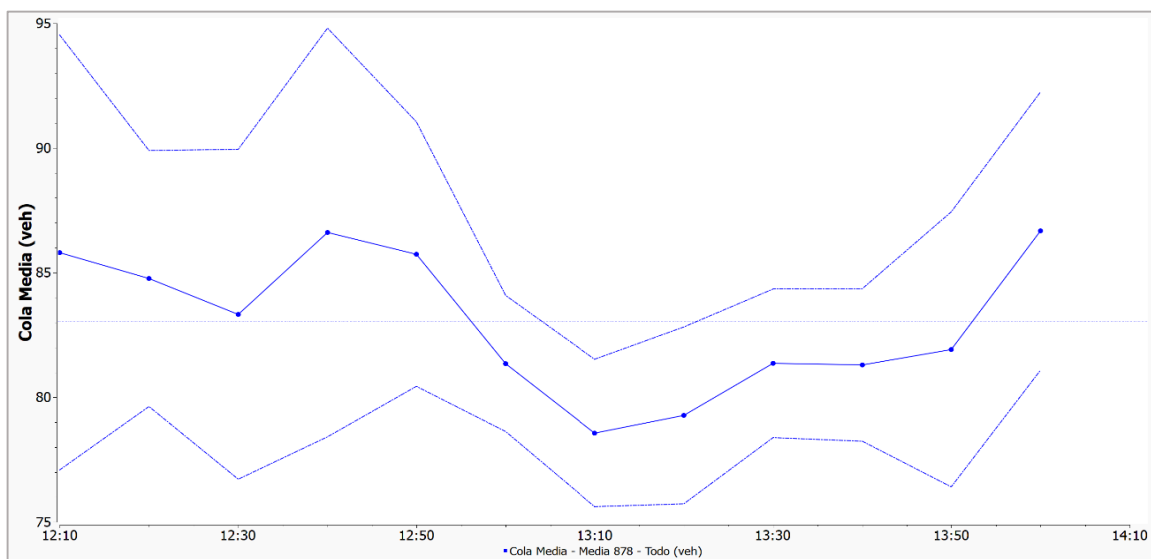
Figura 3.18 Niveles de servicio para intersecciones semaforizadas generados por el software Aimsun



Fuente: Aimsun.

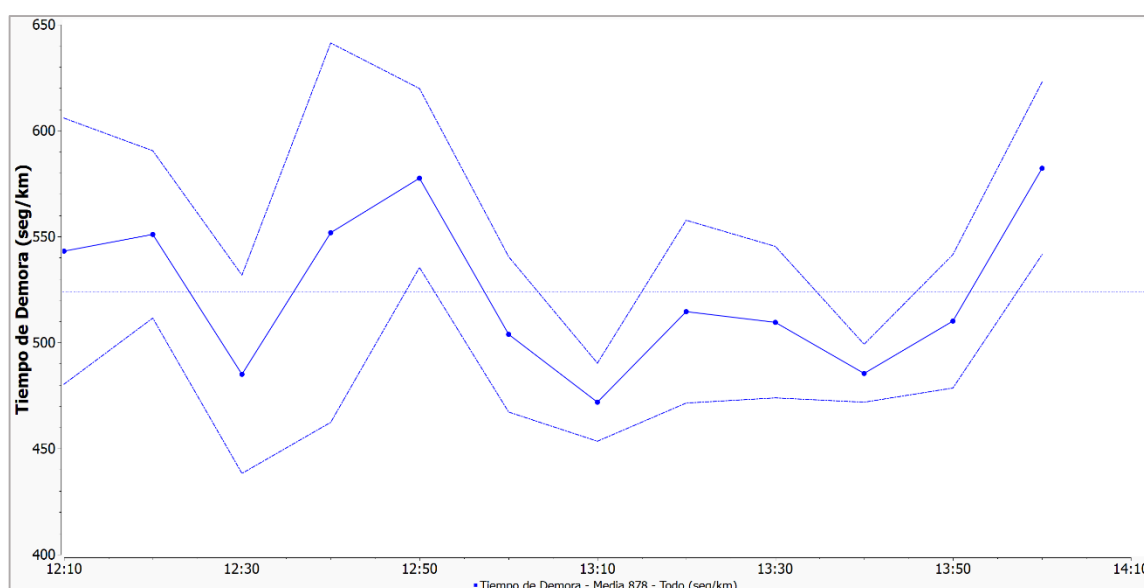
Una de las variables sometidas a análisis gráfico consistió en la longitud de la cola, la cual se encuentra representada en la **Figura 3.19**. De igual manera, se analizó la variación de los tiempos de demora a lo largo del tiempo, la cual se presenta en la **Figura 3.20**. Estas dos variables fueron examinadas en intervalos de 30 minutos a lo largo de la duración total de la simulación, que abarcó un periodo de dos horas.

Figura 3.19 Gráfica de longitud de cola respecto al modelo actual



Fuente: Propia

Figura 3.20 Gráfica de tiempos de demora respecto al modelo actual



Fuente: Propia.

Por último, se exhiben en la **Tabla 3.6** las respuestas derivadas de la simulación de la red de diseño, que abarca la totalidad de la intersección. Estas respuestas surgen de la modelación efectuada de las dos horas de máxima demanda, comprendidas entre las 12h00 y las 14h00. A partir de estos resultados se puede confirmar que la intersección actualmente enfrenta problemas de congestión, los cuales generan demoras significativas, colas extensas, reducción de velocidades, densidades vehiculares elevadas, así como interrupciones en el flujo vehicular, entre otros parámetros críticos relacionales con la movilidad.

Tabla 3.6 Resultados finales del análisis de la simulación de la red

Serie Temporal	Valor	Desviación Estándar	Unidades
Cola Media - Todo	83,06	2,44	veh
Cola Media - Car	79,22	2,43	veh
Cola Media - Truck	2,87	0,3	veh
Cola Media - Bus	0,97	0,22	veh
Cola Virtual Máxima - Todo	1203,8	95,29	veh
Cola Virtual Máxima - Car	1145	94,5	veh
Cola Virtual Máxima - Truck	51,8	7,92	veh
Cola Virtual Máxima - Bus	10,00	1,73	veh
Cola Virtual Media - Todo	884,78	63,13	veh
Cola Virtual Media - Car	845,66	58,25	veh
Cola Virtual Media - Truck	33,77	7,09	veh
Cola Virtual Media - Bus	5,49	0,52	veh
Contaje de Entrada - Todo	4881,8	ND	veh
Contaje de Entrada - Car	4597,6	ND	veh
Contaje de Entrada - Truck	173,6	ND	veh
Contaje de Entrada - Bus	110,6	ND	veh
Flujo - Todo	2443,6	28,19	veh/h

Flujo - Car	2301,7	26,05	veh/h
Flujo - Truck	86,5	7,64	veh/h
Flujo - Bus	55,4	5,14	veh/h
Flujo de Entrada - Todo	2440,9	27,97	veh/h
Flujo de Entrada - Car	2298,8	26,29	veh/h
Flujo de Entrada - Truck	86,8	7,37	veh/h
Flujo de Entrada - Bus	55,3	5,07	veh/h
Número de Cambios de Carril - Todo	1342,73	26,19	#/km
Número de Cambios de Carril - Car	1297,06	25,4	#/km
Número de Cambios de Carril - Truck	28,8	2,67	#/km
Número de Cambios de Carril - Bus	16,88	3,23	#/km
Número de Paradas - Todo	3,04	0,11	#/veh/km
Número de Paradas - Car	3,05	0,11	#/veh/km
Número de Paradas - Truck	2,77	0,13	#/veh/km
Número de Paradas - Bus	3,17	0,22	#/veh/km
Tiempo de Demora - Todo	523,91	18,76	seg/km
Tiempo de Demora - Car	526	19,57	seg/km
Tiempo de Demora - Truck	587,02	28,37	seg/km
Tiempo de Demora - Bus	338,28	29,66	seg/km
Tiempo de Espera en Cola Virtual - Todo	891,85	71,76	sec
Tiempo de Espera en Cola Virtual - Car	908,18	72,51	sec
Tiempo de Espera en Cola Virtual - Truck	900,73	115,23	sec
Tiempo de Espera en Cola Virtual - Bus	199,47	27	sec
Tiempo de Parada - Todo	508,1	17,78	seg/km
Tiempo de Parada - Car	510,6	18,64	seg/km
Tiempo de Parada - Truck	568,69	28,65	seg/km
Tiempo de Parada - Bus	309,68	29,88	seg/km
Tiempo de Viaje - Todo	607,5	18,79	seg/km
Tiempo de Viaje - Car	608,45	19,6	seg/km
Tiempo de Viaje - Truck	672,33	28,35	seg/km
Tiempo de Viaje - Bus	466,76	27,33	seg/km
Tiempo Total de Viaje - Todo	238,59	7,77	h
Tiempo Total de Viaje - Car	225,25	7,58	h
Tiempo Total de Viaje - Truck	9,13	0,92	h
Tiempo Total de Viaje - Bus	4,21	0,57	h
Vehículos Dentro - Todo	124	9,51	veh
Vehículos Dentro - Car	116,4	6,99	veh
Vehículos Dentro - Truck	4,8	2,95	veh
Vehículos Dentro - Bus	2,8	1,3	veh
Vehículos Esperando para Entrar - Todo	1203,8	95,29	veh
Vehículos Esperando para Entrar - Car	1144,6	94,18	veh
Vehículos Esperando para Entrar - Truck	49,6	6,23	veh
Vehículos Esperando para Entrar - Bus	9,6	1,95	veh
Velocidad - Todo	12,91	0,7	km/h
Velocidad - Car	13	0,73	km/h
Velocidad - Truck	11,08	0,79	km/h
Velocidad - Bus	12,05	1,19	km/h

Fuente: Aimsun

3.8. Prueba de proyecciones

Para el planteamiento, análisis y comparación de los escenarios que se abordarán en los siguientes apartados de este proyecto, se ha efectuado una proyección del flujo vehicular a mediano plazo, correspondiente a un periodo de cinco años.

Las predicciones relativas a los vehículos livianos, pesados y buses se han llevado a cabo mediante métodos específicos para cada categoría vehicular, cuyos procedimientos están detallados en el segundo capítulo del presente estudio.

En la **Tabla 3.7**, **Tabla 3.8** y en la **Tabla 3.9** se presentan las cifras correspondientes al número de vehículos pertenecientes a cada categoría que acceden a la red vial, tanto en la actualidad como en la proyección futura.

Tabla 3.7 *Proyección de tránsito para vehículos livianos*

Livianos			
INGRESOS	ACTUAL	TASA DE CRECIMIENTO	MEDIANO PLAZO 5 AÑOS
Av. Loja	1555	3,11%	1821
Av. 10 de Agosto	1326	3,11%	1553
Unidad Nacional	1547	3,11%	1812
Av. México	791	3,11%	926

Fuente: Propia.

Tabla 3.8 *Proyección de tránsito para vehículos pesados*

Camiones			
INGRESOS	ACTUAL	TASA DE CRECIMIENTO	MEDIANO PLAZO 5 AÑOS
Av. Loja	29	2,84%	68
Av. 10 de Agosto	61	2,84%	61
Unidad Nacional	59	2,84%	70
Av. México	29	2,84%	33

Fuente: Propia.

Tabla 3.9 *Proyección de tránsito para buses*

Buses			
INGRESOS	ACTUAL	TASA DE CRECIMIENTO	MEDIANO PLAZO 5 AÑOS
Av. Loja	19	0,99%	20
Av. 10 de Agosto	69	0,99%	72
Unidad Nacional	16	0,99%	17
Av. México	6	0,99%	6

Fuente: Propia.

Después de realizar la proyección de la demanda de tráfico, se procedió a la elaboración de la matriz proyectada origen-destino utilizando estos datos. Esta matriz será incorporó en el software Aimsun 8.1.3 de la misma manera que se ingresó la matriz origen-destino correspondiente a los datos actuales. La **Tabla 3.10**, **Tabla 3.11** y la **Tabla 3.12** muestran las matrices correspondientes a cada categoría de vehículos.

Tabla 3.10 *Matriz Origen-Destino de vehículos livianos proyectada para 5 años*

LIVIANOS						
ORIGEN/DESTINO	AV. 10 DE AGOSTO	UNIDAD NACIONAL	AV. LOJA	AV. MEXICO	AV. LOJA 2	TOTAL
AV. 10 DE AGOSTO	46	419	237	775	76	1553
UNIDAD NACIONAL	391	51	1089	264	17	1812
AV. LOJA	237	555	54	167	808	1821
AV. MEXICO	379	393	126	22	6	926
TOTAL						6112

Fuente: Propia.

Tabla 3.11 *Matriz Origen-Destino de vehículos pesados proyectada para 5 años*

CAMIONES						
ORIGEN/DESTINO	AV. 10 DE AGOSTO	UNIDAD NACIONAL	AV. LOJA	AV. MEXICO	AV. LOJA 2	TOTAL
AV. 10 DE AGOSTO	2	11	2	46	0	61
UNIDAD NACIONAL	18	0	18	33	0	70
AV. LOJA	9	20	3	9	28	68
AV. MEXICO	12	17	0	3	0	33
TOTAL						232

Fuente: Propia.

Tabla 3.12 *Matriz Origen-Destino de buses proyectada para 5 años*

BUSES						
	AV. 10 DE AGOSTO	UNIDAD NACIONAL	AV. LOJA	AV. MEXICO	AV. LOJA 2	TOTAL
AV. 10 DE AGOSTO	8	0	0	32	32	72
UNIDAD NACIONAL	0	0	0	0	0	0
AV. LOJA	0	0	0	0	0	0
AV. MEXICO	3	0	0	3	0	6
TOTAL						78

Fuente: Propia.

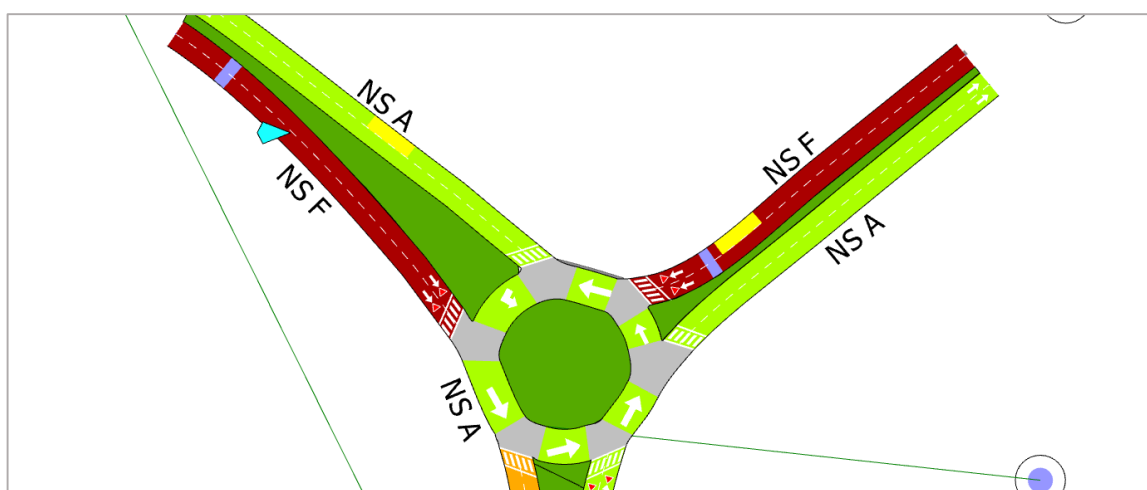
En lo que respecta a la simulación del modelo proyectado, se conserva la misma configuración de la red de diseño, y se mantiene el escenario dinámico con los planes de control semafórico de transporte público inalterados. La única modificación realizada radica en la actualización de la demanda de tráfico mediante la incorporación de las nuevas matrices de origen-destino correspondientes al periodo proyectado.

En similitud con la modelación de los datos actuales, los resultados proyectados pueden ser visualizados en el software Aimsun, presentado los niveles de servicio tanto para la rotonda como para la intersección semaforizada. Estos resultados se exponen en la **Figura 3.21** para la rotonda, y en la **Figura 3.22** para la intersección semaforizada.

En el contexto del estudio, se ha establecido una gama de colores para representar los distintos niveles de servicio. Conforme a estas codificaciones, el color rojo representa el nivel de servicio más desfavorable, caracterizado por el nivel F. Para los niveles de servicio intermedios, se han empleado tonalidades dentro de la gama de naranjas. Por último, el color verde ha sido designado para representar los niveles de servicio que exhiben las condiciones más favorables, correspondiente al nivel A. Este proceso facilita la interpretación visual de los resultados obtenidos en la simulación.

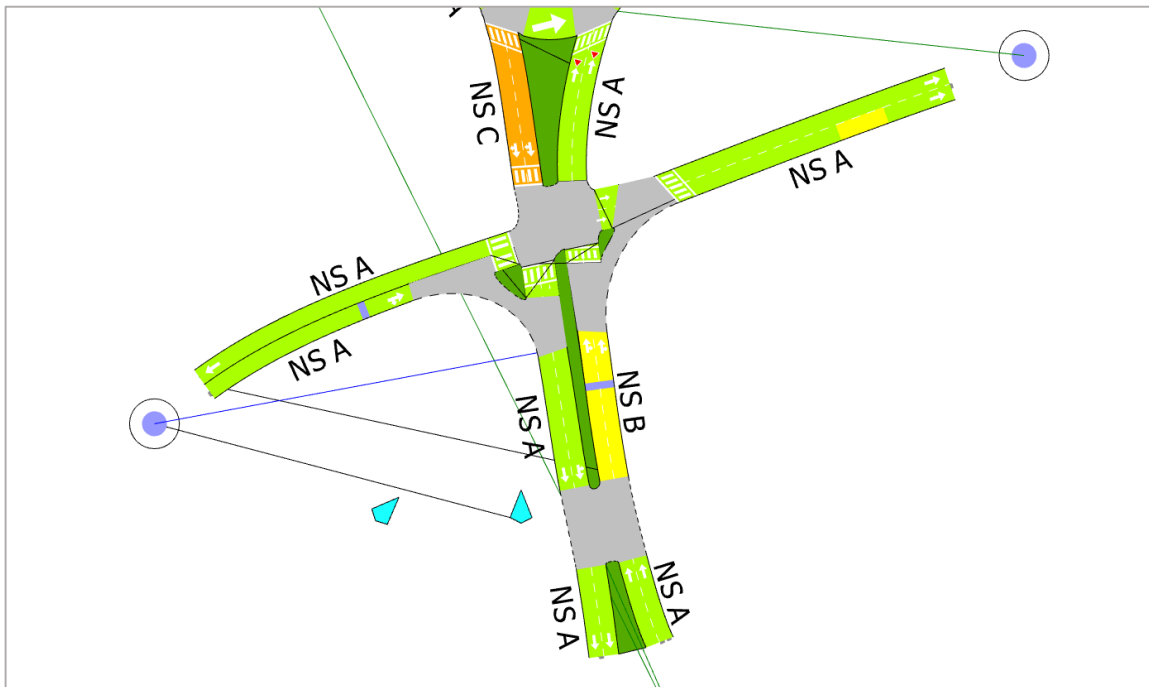
En lo que respecta al análisis gráfico de los resultados, se han considerado variables pertinentes como la longitud de cola y los tiempos de demora, los cuales fueron evaluados durante las dos horas de máxima demanda. Dichos análisis se encuentran representados en la **Figura 3.23** y en **Figura 3.24**

Figura 3.21 Niveles de servicio para rotonda generados por el Aimsun en el modelo proyectado



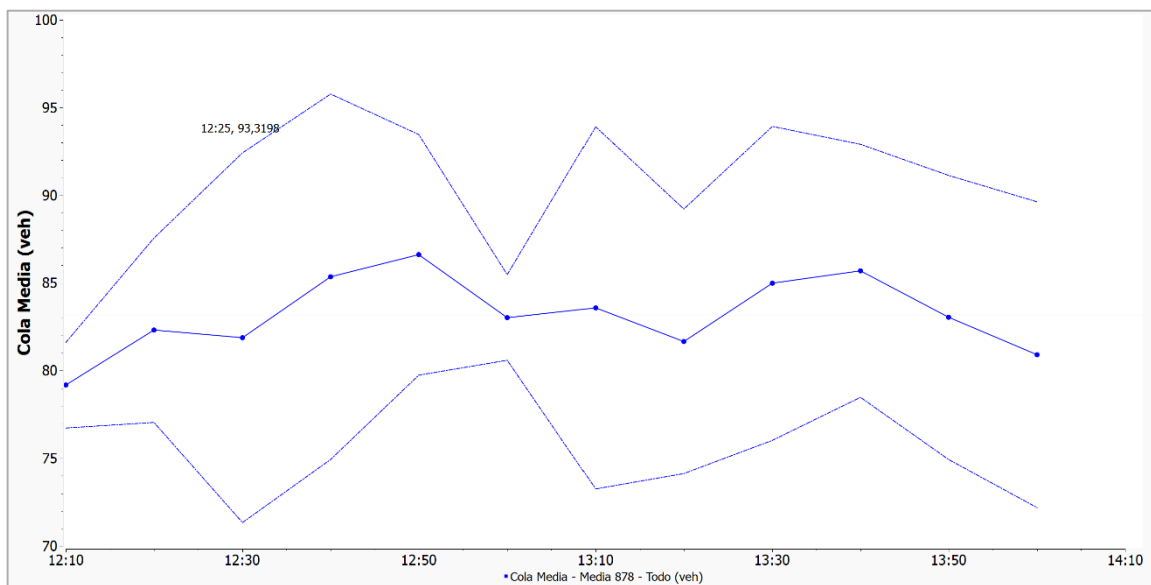
Fuente: Aimsun.

Figura 3.22 Niveles de servicio para intersecciones semaforizadas generados por el Aimsun en el modelo proyectado



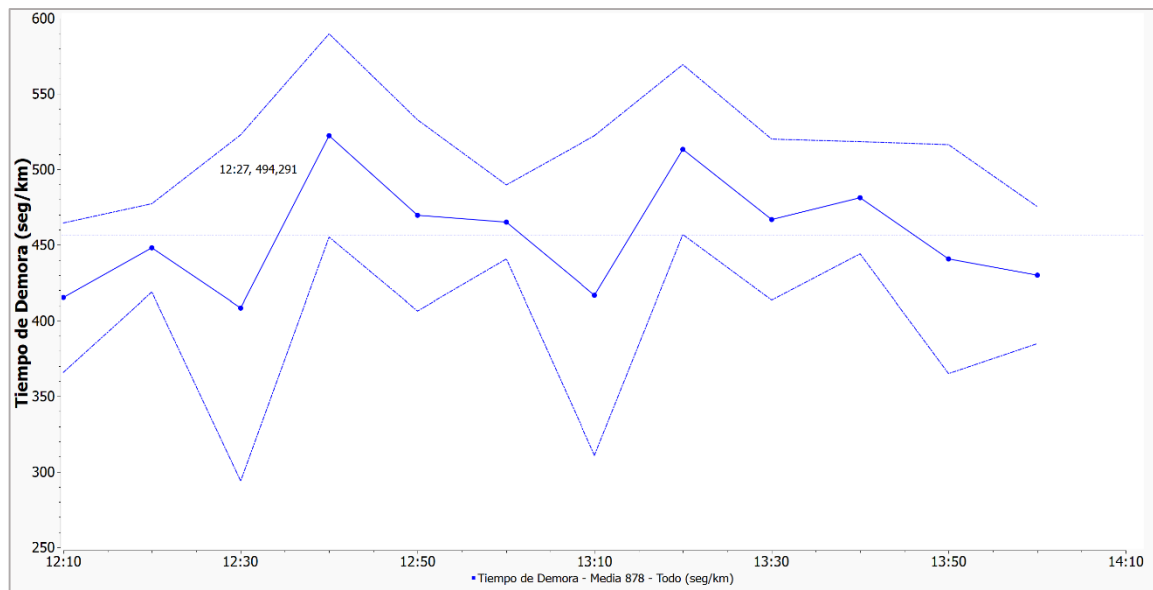
Fuente: Aimsun

Figura 3.23 Gráfica de la longitud de cola respecto al modelo proyectado



Fuente: Aimsun

Figura 3.24 Gráfica de tiempos de demora respecto al modelo proyectado



Fuente: Aimsun

Por último, se generan las respuestas de la simulación permitientes para una proyección a cinco años. Estos resultados engloban diversas variables, tales como niveles de servicio, los tiempos de demora, las longitudes de colas y la relación entre el volumen y la capacidad. Este análisis tiene como propósito brindar una comprensión más completa del comportamiento de la intersección en un lapso de tiempo medio, abarcando un periodo proyectado de cinco años. En cuanto a los resultados presentados detalladamente en la **Tabla 3.13**, se puede observar que las condiciones de movilidad previstas para los 5 años son negativas, ya que la intersección presenta un alto grado de congestión, provocando interrupciones en el flujo vehicular y tiempos de demoras muy altos en la mayoría de vías de que conforman la intersección.

Tabla 3.13 Resultado de los parámetros de tráfico de la intersección que une la Av. 10 de Agosto, Av. Loja, Av. México y Unidad Nacional para la proyección de 5 años.

PARÁMETROS	ESTACIONES					
	Av. Loja	Av. 10 de Agosto S-N	Av. 10 de Agosto ingreso redondel	Av. México	Unidad Nacional	Av. 10 de Agosto N-S
Nivel de servicio	A	B	C	F	F	C
Demora (s)	9,11	23,85	15,50	312,80	167,73	20,18
Cola (veh)	11,80	7,80	7,00	19,00	19,00	6,00
Velocidad (km/h)	26,85	16,89	11,87	1,23	2,10	17,35
V/C	1,88	0,87	1,20	0,37	0,66	0,93

Fuente: Aimsun.

CAPITULO 4

4. GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS

Con el objetivo de alcanzar soluciones precisas para mejorar la movilidad dentro de la intersección, y así obtener niveles de servicio adecuados, se propone dos alternativas que serán sometidas a un análisis comparativo de los resultados obtenidos a través de la simulación en el software Aimsun 8.1.3. Este análisis se realizará sobre el modelo proyectado para 5 años y se centrará en la evaluación de tiempos de demora, niveles de servicio y la longitud de las colas presentes en la intersección que conecta la Unidad Nacional, la Avenida 10 de Agosto, la Avenida México y Avenida Loja.

4.1. Desarrollo de la alternativa 1

Según los datos recopilados y procesados, es posible llegar a la conclusión que los principales conflictos de congestión en la intersección se originan en la Unidad Nacional y en la Avenida México, debido a la proximidad del semáforo con la rotonda, lo cual provoca interrupciones en el flujo vehicular dentro de la intersección, especialmente en la rotonda. Por lo que, se propone tres implementaciones, las cuales se detallan a continuación:

- **Modificación en la geometría de la rotonda y de la Avenida 10 de Agosto en sentido norte-sur**

Esta mejora infraestructural implica la adición de un carril tanto dentro de la rotonda como en la Avenida 10 de Agosto en dirección norte-sur. La decisión de implementar estos cambios se fundamentó en la observación de que, en determinadas horas del día, la rotonda opera efectivamente como si dispusiera de dos carriles, sin embargo la ausencia de señalización en la calzada limita su uso a un solo carril. Se determinó que el ancho de la vía permitiría la creación de dos carriles de 4,20 metros cada uno, dimensiones acordes con las especificaciones establecidas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).

Esta modificación facilitará una distribución más eficiente del tráfico en la rotonda, garantizando un flujo vehicular más fluido y reduciendo las demoras para los vehículos que acceden a la misma. Además, en relación con la Avenida 10 de Agosto en sentido norte-sur, se plantea la creación de un nuevo carril que permita una circulación en línea recta. Esta medida resulta necesario debido a la congestión generada, ya que en el tramo de la Avenida 10 de Agosto al cruzar la Avenida Loja existen dos carriles, lo que genera una diferencia de jerarquía.

La decisión de implementar este cambio también se basó en las regulaciones establecidas por la Normativa Ecuatoriana de Normalización, en particular en lo que respecta a los anchos de carriles y veredas. Dado que el ancho de la calzada es de 6,90 metros, se dividió en tres partes iguales para la construcción de los tres carriles adicionales. Cada carril tendrá un ancho de 3 metros, mientras que se reservarán 2 metros para la vereda, de acuerdo a los estándares aceptados por la INEN.

Para lograr esta configuración geométrica, fue necesario reducir el ancho 1,47 metros del parterre adyacente a la vía, así como disminuir 0,53 centímetros el ancho de la vereda en el lado opuesto, dado que previamente tenía un ancho de 2,53 metros. Estos ajustes resultarán en una calzada con tres carriles de 3 metros de ancho cada uno, de los cuales dos se dirigirán a la Avenida 10 de Agosto en sentido norte-sur y un carril se dirigirá a la Avenida Loja en sentido norte-oeste. Este ajuste permitirá una distribución más equitativa del tráfico y evitará la formación de cuellos de botella en este tramo de la vía.

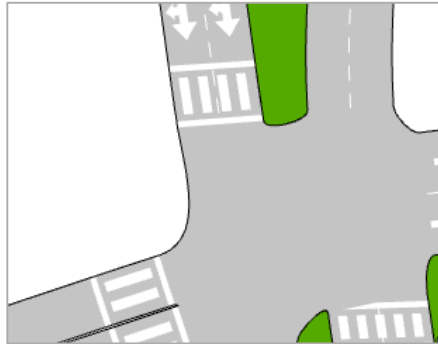
Se propone finalmente mejorar el radio de la curvatura en la esquina formada por la Avenida Loja y la Avenida 10 de Agosto, debido a que la curva existente presenta un radio muy reducido, lo que conlleva a que los vehículos realicen maniobras que generen demoras al ingresar a la Avenida Loja. Inicialmente, el radio de la curva era de 5,43 metros, tal como se muestra en la **Figura 4.1**. Para abordar esta problemática, se amplió el radio de la curva hasta alcanzar un valor de 11,55 metros, transformándola así en una curva más abierta y de fácil acceso hacia la Avenida Loja. Esta modificación tiene como objetivo principal reducir la brusquedad del giro y disminuir las demoras asociadas a este punto de la intersección.

Para llevar a cabo este cambio, fue necesario realizar ajustes en la vereda adyacente, lo que implicó la reducción del espacio de una infraestructura existente para asegurar que la vereda mantenga el ancho mínimo de 2 metros, conforme a lo estipulado por la Normativa Ecuatoriana de Normalización (INEN). Esta adaptación se muestra en la **Figura 4.2**, donde se observa la nueva configuración de la esquina tras la ampliación del radio de curva.

En resumen, la implementación conjunta de todas estas adaptaciones geométricas en la intersección objeto de estudio busca mejorar sustancialmente sus condiciones operativas. El objetivo principal es reducir de manera significativa la congestión vehicular y, por ende, los tiempos de demora, con el fin de lograr niveles de servicio más eficientes. Todas estas modificaciones fueron realizadas utilizando el software Aimsun 8.1.3, con el propósito de obtener resultados que faciliten el análisis de los cambios implementados y respalden la toma

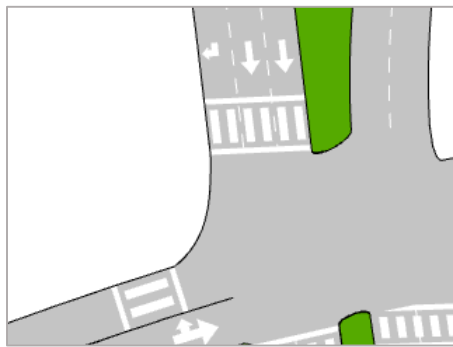
de decisiones pertinentes. La **Figura 4.3** muestra detalladamente las adaptaciones geométricas mencionadas anteriormente, aplicadas en la intersección.

Figura 4.1 Geometría actual de la curva entre la Avenida 10 de Agosto y Avenida Loja



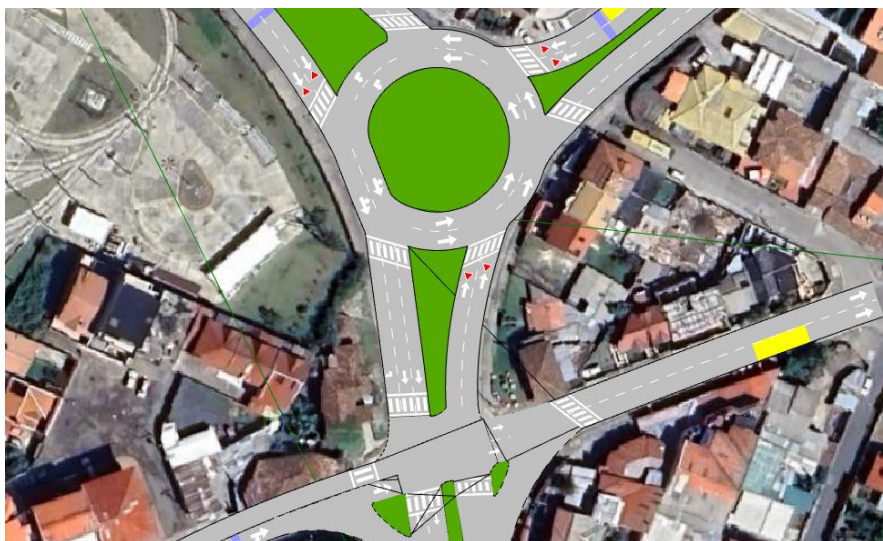
Fuente: Aimsun.

Figura 4.2 Mejora geométrica en la curva entre la Avenida 10 de Agosto y Avenida Loja



Fuente: Aimsun.

Figura 4.3 Modificaciones geométricas en la intersección de estudio



Fuente: Aimsun.

- **Cambio del ciclo semafórico en la intersección que une la Avenida 10 de Agosto y la Avenida Loja**

La presente propuesta contempla la modificación del ciclo semafórico actual, el cual tiene una duración total de 90 segundos. Dentro de la intersección se identifican tres grupos semafóricos distintos: el primero dirigido al tráfico de la Avenida Loja en dirección oeste-este, con una asignación de 60 segundos para el verde, seguido de 3 segundos de la luz ámbar y 30 segundos de luz roja. En contraste, el segundo grupo corresponde al flujo vehicular de la Avenida 10 de Agosto en dirección norte-sur y sur-norte, con una asignación de 30 segundos para el verde, seguido de 3 segundos de luz ámbar y 60 segundos de luz roja. Por último, el tercer grupo corresponde al tráfico desde la Avenida 10 de Agosto hacia la Avenida Loja en dirección norte-oeste, en el cual el semáforo permanece en verde constantemente, permitiendo el giro en todo momento.

Sin embargo, este plan semafórico conlleva significativos problemas de congestión. La congestión se origina debido a que el flujo vehicular proveniente de la Avenida 10 de Agosto, en sentido norte-sur, se ve considerablemente afectado por el prolongado tiempo de luz roja, lo cual, dada su proximidad a rotonda, resulta en la formación de una cola que obstruye el flujo dentro de la rotonda y genera congestión en las vías adyacentes, específicamente en la Avenida México y la Unidad Nacional. Cabe recalcar que, si bien es necesario asignar un tiempo prolongado de luz verde para el flujo de la Avenida Loja con el fin de evitar la congestión en este tramo, esta medida igualmente ocasiona problemas de congestión en las demás vías de la intersección.

Ante las circunstancias expuestas, se ha reconocido la necesidad de encontrar un ciclo semafórico óptimo que no perjudique el tráfico en ninguna de las vías dentro de la intersección, garantizando un flujo vehicular continuo y eficiente. Con éste propósito, se llevaron a cabo iteraciones que implicaban la modificación de diferentes ciclos, evaluando su desempeño para determinar el más adecuado. Todas las iteraciones fueron simuladas utilizando el software Aimsun, permitiendo así evaluar las respuestas y los efectos de cada variación en las condiciones de tráfico y circulación.

La primera iteración consistió en intercambiar únicamente las fases en los dos primeros grupos semafóricos, manteniendo constante la duración del ciclo. Específicamente se ajustó al tiempo de luz verde a 30 segundos, al rojo a 60 segundos y el ámbar se mantuvo en 3 segundos para el primer grupo, mientras que para el segundo grupo se asignó un tiempo de luz verde de 60

segundos, seguido de 3 segundos de ámbar y 30 segundos de rojo. Si bien esta iteración logró mejorar la fluidez del tráfico en la rotonda, se observó un deterioro en las condiciones de circulación en la Avenida Loja. Por consiguiente, esta alternativa fue descartada.

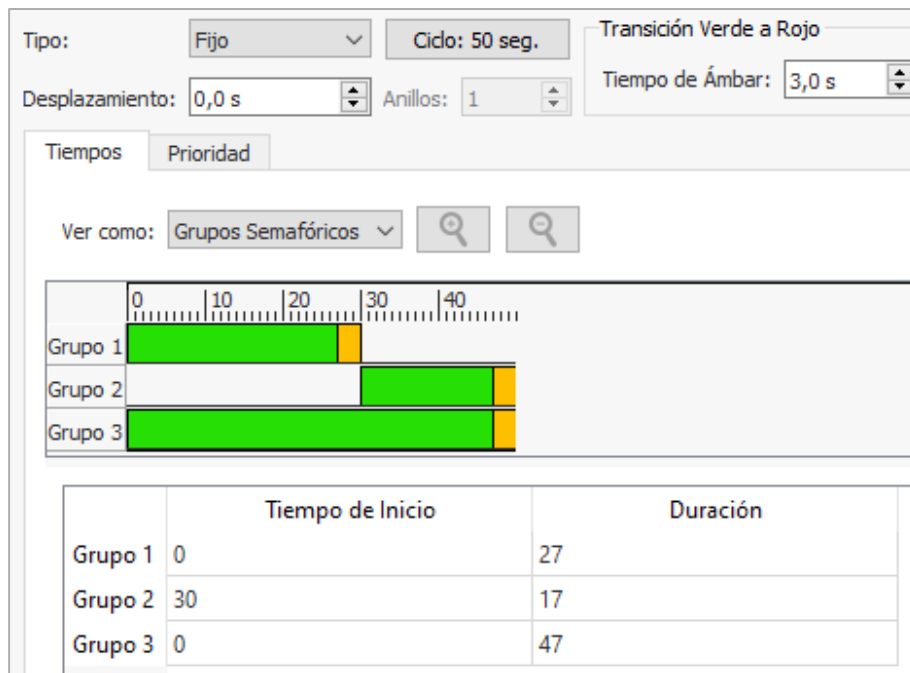
La segunda iteración implicó la reducción del ciclo semafórico a una duración de 60 segundos. En esta configuración, tanto para los dos primeros grupos semafóricos, el tiempo de luz verde se ajustó a 30 segundos, seguido de 30 segundos de luz roja, manteniendo constante el intervalo de 3 segundos de luz ámbar. Para el tercer grupo, cuya fase permanece en verde de manera continua, se asignó un tiempo total de 60 segundos. No obstante, esta iteración reveló que la Avenida Loja requería un menor tiempo de luz roja en comparación con la Avenida 10 de Agosto, dado su mayor volumen de tráfico. Aunque se observó una mejora en la circulación dentro de la rotonda, las condiciones de tráfico de la Avenida Loja continuaron siendo deficientes. Como resultado, la iteración 2 también fue descartada.

Finalmente, se llevó a cabo una última iteración que consistió en la implementación de un ciclo semafórico con una duración total de 50 segundos. En este ciclo, se asignaron tiempos específicos de luz verde, roja y ámbar para cada uno de los grupos semafóricos. Para el grupo 1, se destinaron 30 segundos de luz verde, 20 segundos de luz roja y 3 segundos de luz ámbar. Por otro lado, para el grupo 2, se asignaron 20 segundos de luz verde, seguidos de 3 segundos de luz ámbar y 30 segundos de luz roja. Respecto al tercer grupo, se determinó que su fase de luz verde duraría el tiempo total del ciclo, es decir 50 segundos.

Esta iteración demostró una mejora significativa en las condiciones de circulación tanto dentro de la rotonda como en la intersección semaforizada. El ciclo de menor duración contribuyó a reducir la longitud de la cola en la Avenida 10 de Agosto en sentido norte-sur, durante la espera de luz roja, lo que permitió mantener un flujo continuo dentro de la rotonda. Además facilitó un tránsito más fluido en la Avenida México y la Unidad Nacional. De igual manera, al reducir el tiempo de luz roja en la Avenida Loja, se evitó la congestión en esta vía y se garantizó un flujo vehicular interrumpido en periodos prolongados.

Este enfoque resultó ser efectivo para optimizar el funcionamiento de la intersección de estudio y mejorando el flujo vehicular en todas las vías involucradas. El plan semafórico definitivo, derivado de la tercera iteración se muestra en la **Figura 4.4**.

Figura 4.4 Plan semafórico de la primera alternativa



Fuente: Aimsun.

- Señalización de la intersección

Es importante que la circulación peatonal y vehicular sea regulada mediante una adecuada señalización de tránsito para asegurar un flujo ordenado, seguro y fluido. La implementación de estas señales deben normalizarse conforme a criterios técnicos que determinen su ubicación y propósito específicos (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011).

Según la Dirección de Movilidad de ciudad de Cuenca, uno de los principales problemas de movilidad es la deficiente señalización, tanto horizontal como vertical, en las intersecciones rotatorias existentes. La rotonda de estudio no es una excepción. Como se mencionó anteriormente, se ha planificado la adaptación de la rotonda a dos carriles, cuyos anchos se ajustan perfectamente a la calzada existente. Por lo tanto, solo es necesario la implementación de señalización horizontal, que será normalizada en tamaño, contraste y color según lo estipulado por las normas INEN para captar la atención de los usuarios que transitan por la intersección. Esta señalización mejorará la funcionalidad y continuidad del flujo vehicular. Las señales horizontales propuestas incluyen líneas longitudinales que ayudarán a delimitar los anchos de dos los carriles en la rotonda y los tres carriles en el tramo modificado de la Avenida 10 de Agosto.

Adicionalmente, se modificará la ubicación de los pasos peatonales, situados en la Unidad Nacional y la Avenida México a 11 metros antes del ingreso a la rotonda, y en la Avenida 10 de Agosto a 6 metros antes de la entrada y salida de la misma. Esta reubicación mejorará la fluidez vehicular, ya que los pasos peatonales ubicados directamente en los accesos a la rotonda tienden a interrumpir el flujo de tráfico. La señalización de estos pasos peatonales se realizará mediante líneas transversales, conforme a las disposiciones de las normas INEN.

Finalmente, la señalización vertical proporcionará información sobre rutas, direcciones y puntos de interés. Este sistema de transmisión de información combina colores y formas, con el fin de que el usuario interprete de manera correcta el mensaje (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2011). En este caso, se emplearán triángulos de “ceda el paso” en las vías correspondientes y leyendas para indicar la ubicación de las paradas de buses.

- **Diseño geométrico en planta de la primera alternativa**

El diseño geométrico en planta de una vía se basa en la proyección de sus características y su eje real sobre un plano horizontal. Este diseño está compuesto por una serie de tramos rectos que se enlazan entre sí mediante curvas (Cárdenas, 2013).

Es fundamental contar con un diseño geométrico adecuado de la infraestructura vial, ya que la falta de un diseño apropiado puede provocar accidentes y reducir tanto la comodidad como la seguridad de los usuarios. Para lograr un diseño eficiente, es necesario llevar a cabo un correcto estudio del tráfico existente, así como el análisis de otros factores que influyen en dicho diseño (Hipolito, 2020).

En este caso, una vez realizados todos los estudios de tráfico y el análisis de la simulación de la primera alternativa, se propone llevar a cabo el diseño geométrico en planta correspondiente. Esta alternativa sugiere modificaciones en la infraestructura y en la señalización de la intersección de estudio, por lo que todos estos detalles serán reflejados en el plano del diseño geométrico en planta, el cual se encuentra en el **Anexo F**.

4.2. Resultados de la modelación de la alternativa 1

En respuesta a la simulación de esta alternativa, se empleó la demanda de tráfico proyecta y se analizaron diversas variables, tales como longitud de cola, el tiempo de demoras, la velocidad y los niveles de servicio. Todos estos resultados se presentan en la **Tabla 4.1**. Cabe recalcar que los niveles de servicio, se establecieron en base a los tiempos de demora de cada una de las vías que conforma la intersección de estudio.

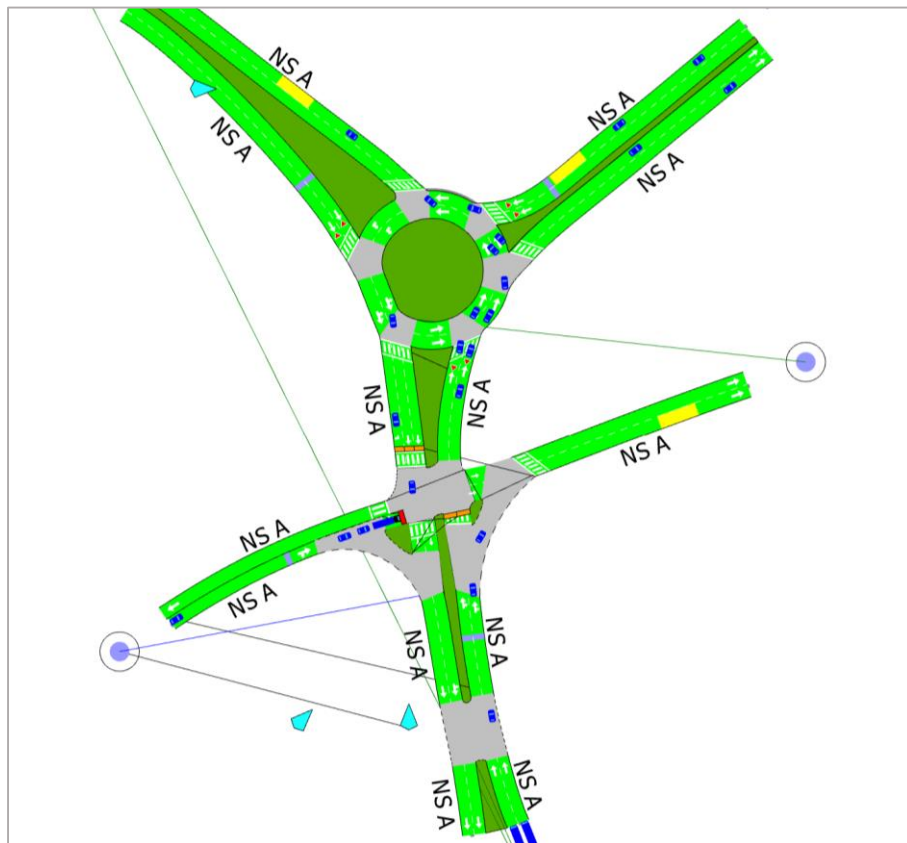
Con base en los resultados, se pudo observar que las condiciones del tráfico en la intersección estudiada mejoraron significativamente. En particular, se redujo el tiempo de demora y, en cuanto a los niveles de servicio de toda la intersección, como se muestra en la **Figura 4.5**, se pasó de niveles de servicio críticos a niveles de servicio tipo A, lo cual representan un resultado favorable para la alternativa propuesta.

Tabla 4.1 Resultados de la simulación de la primera alternativa

PARÁMETROS	ESTACIONES					
	Av. Loja	Av. 10 de Agosto S-N	Av. 10 de Agosto ingreso redondel	Av. México	Unidad Nacional	Av. 10 de Agosto N-S
Nivel de servicio	A	A	A	A	A	A
Demora (s)	4,4	1,73	1,97	1,61	3,74	4,39
Cola (veh)	8,02	2,57	2,1	1,17	3,17	2,2
Velocidad (km/h)	30,5	35,23	27,85	38,97	33,86	31,84
V/C	1,88	0,87	1,2	0,48	0,95	0,81

Fuente: Propia.

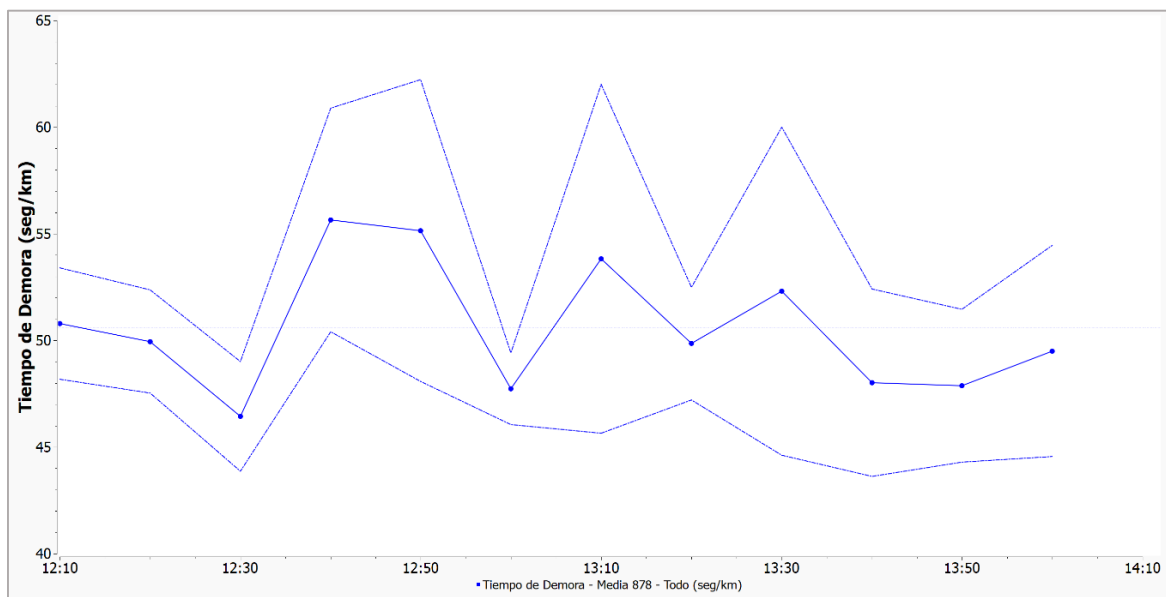
Figura 4.5 Niveles de servicio generados por el software Aimsun de la primera alternativa



Fuente: Propia.

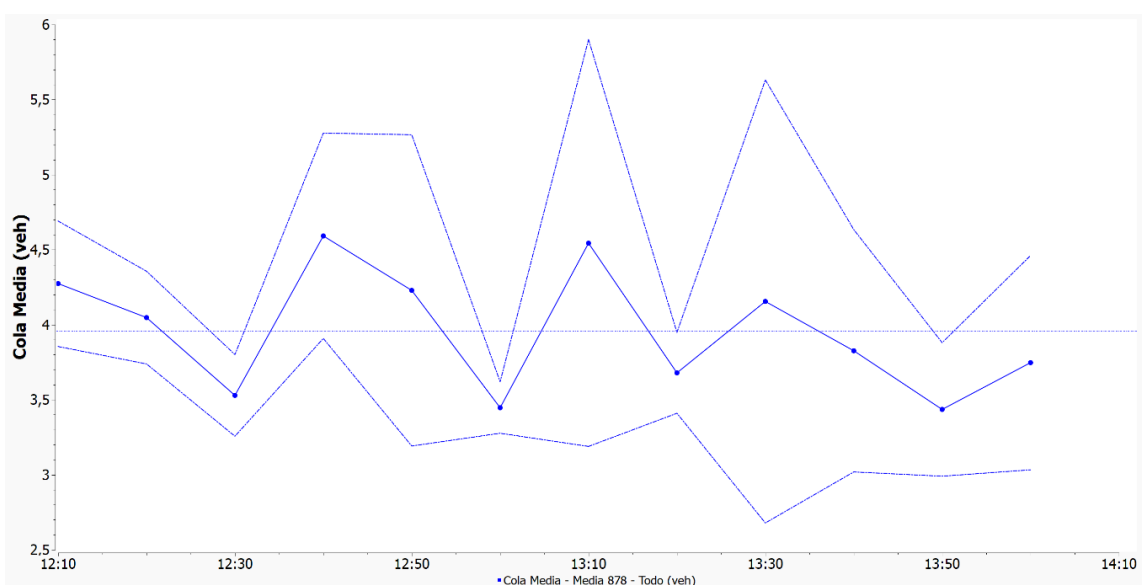
Por último se analizó gráficamente los tiempos de demora, como se muestra en la **Figura 4.6**, y la longitud de cola, como se observa en la **Figura 4.7** correspondiente. En estas gráficas, se pueden apreciar que los valores disminuyen notablemente en comparación con la simulación de la demanda proyectada bajo las condiciones de la infraestructura actual de la intersección. Esto confirma una vez más que las condiciones de tránsito con esta propuesta mejoran considerablemente.

Figura 4.6 Gráfica de tiempo de demora respecto a la alternativa 1



Fuente: Propia.

Figura 4.7 Gráfica de longitud de cola media respecto a la alternativa 1



Fuente: Propia.

4.3. Desarrollo de la alternativa 2

De igual manera, esta propuesta se enfoca en los dos puntos más conflictivos de la red, pero con alternativas más complejas. Una de las causas principales de la congestión es la intersección semaforizada, cuya proximidad a la rotonda genera largas colas que interrumpen el flujo vehicular dentro de la misma.

Dado este contexto, se plantea la construcción de un paso deprimido con el fin de eliminar por completo la intersección semaforizada. Este mejoramiento consiste en la construcción de un paso deprimido que distribuye el flujo vehicular desde la Avenida Loja hacia la Unidad Nacional, la Avenida México y a la Avenida Loja en sentido oeste-este, todo ello de manera subterránea.

La propuesta plantea una altura de 6 metros para el paso deprimido, considerando las alturas de camiones y autobuses que circulan por esas vías. Los anchos de los carriles se establecieron en 4 metros y 3 metros, dependiendo del tramo, el recorrido subterráneo contará con dos carriles en el recorrido subterráneo y un carril en las vías de incorporación hacia la Unidad Nacional, la Avenida México y a la Avenida Loja, todo esto para asegurar una circulación más ordenada y fluida.

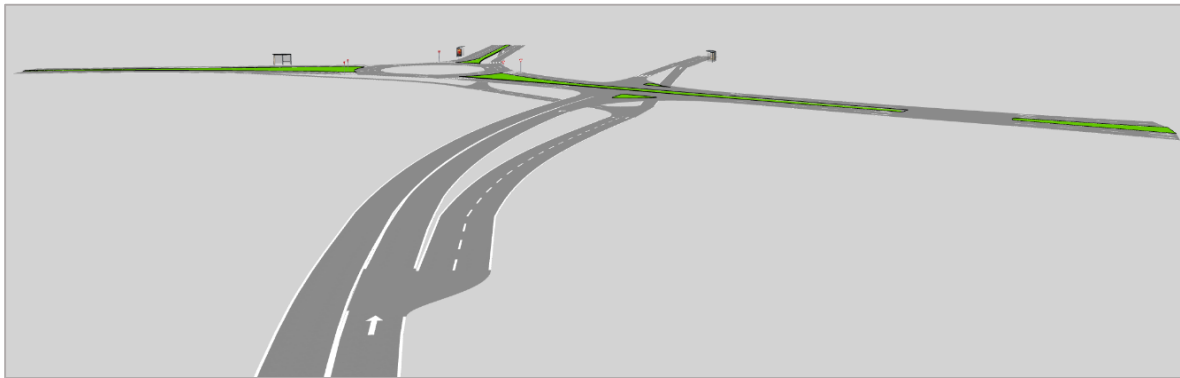
Para la construcción de esta solución, es necesario añadir un carril al inicio de la Avenida Loja en sentido oeste-este, destinado al ingreso al paso deprimido, con una distancia previa antes de comenzar el recorrido subterráneo, todo conforme a la normativa vigente. Además, el parterre será unido desde la rotonda hacia el existente en la Avenida 10 de Agosto, ya que no habrá tránsito desde la Avenida Loja hacia la rotonda por encima del paso deprimido, dado que esta ruta será subterránea. Este espacio puede mejorar en términos de decoración y aspectos ambientales, proporcionando un aspecto más estético a la intersección.

Por otro lado, en la Unidad Nacional, Avenida México y la Avenida Loja se mantendrán las paradas de autobuses. En la Avenida México, se procurará dejar la parada de autobús antes de la incorporación del flujo subterráneo a la vía normal, para evitar interrupciones de tráfico en esa zona. La incorporación del flujo vehicular a la Unidad Nacional y a la Avenida México se realizará por el carril izquierdo, mientras que en la Avenida Loja se hará por el carril derecho.

En cuanto a la ruta subterránea, el flujo vehicular ingresará al paso deprimido mediante la Avenida Loja, como se muestra en la **Figura 4.8**. Una vez dentro del paso, que cuenta con dos carriles, los usuarios tendrán tres opciones: dirigirse hacia la Avenida Loja en sentido oeste-este de manera lineal, o dirigirse hacia la Avenida México o a la Unidad Nacional tomando el

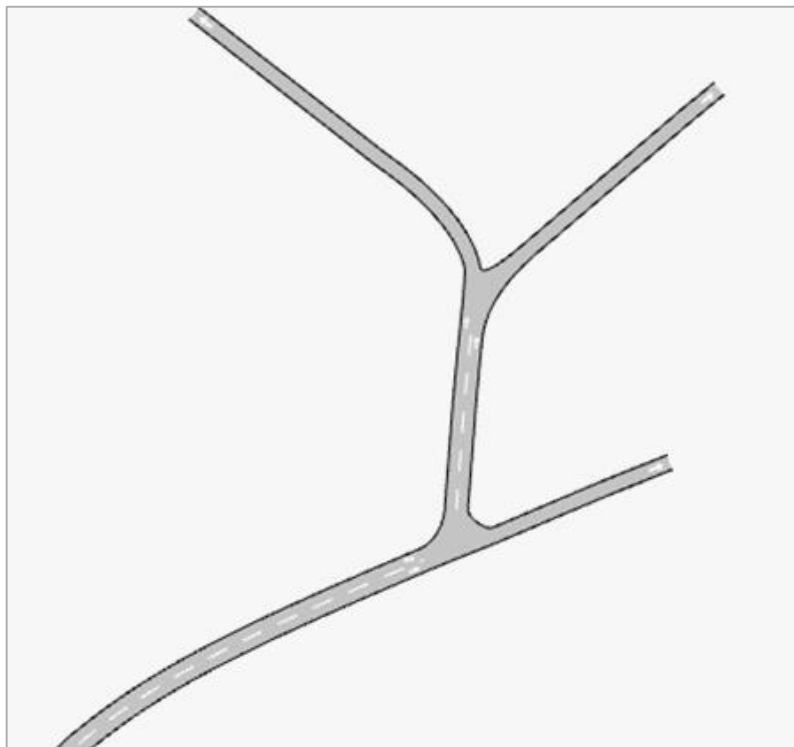
carril izquierdo y girando hacia el norte, para luego ingresar nuevamente a dos carriles. Los que deseen ir hacia la Avenida México tomarán el carril izquierdo, mientras que aquellos que deseen dirigirse hacia la Unidad Nacional podrán hacerlo por cualquiera de los dos carriles. Estas rutas facilitarán un flujo ordenado, fluido y sin congestión. La ruta subterránea se puede observar en la **Figura 4.9**, mientras que los detalles del diseño en diferentes vistas de la segunda alternativa previamente descrita, se presentan en la **Figura 4.10**, la **Figura 4.11** y en la **Figura 4.12**.

Figura 4.8 Ingreso al paso deprimido de la segunda alternativa



Fuente: Aimsun.

Figura 4.9 Ruta subterránea del paso deprimido de la segunda alternativa



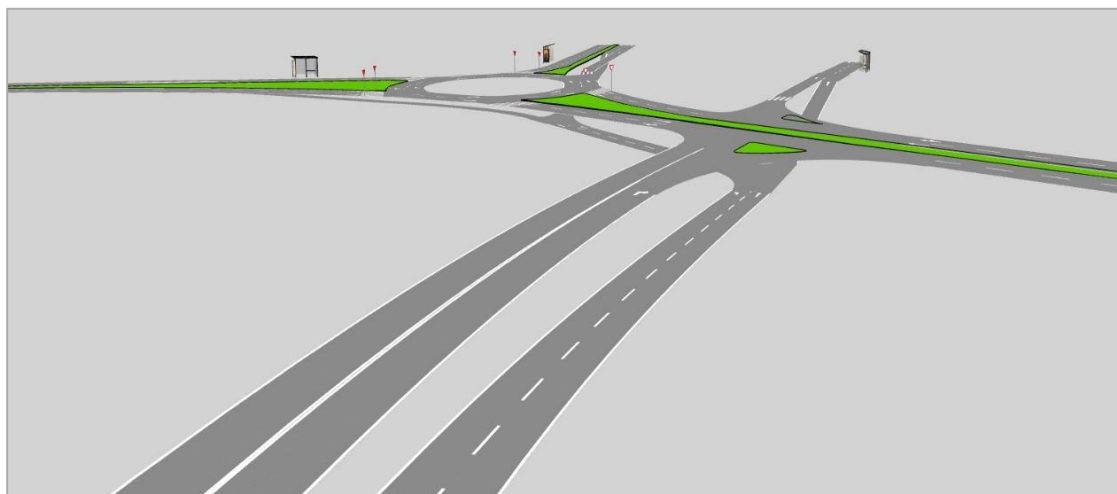
Fuente: Aimsun.

Figura 4.10 Vista en planta de la segunda alternativa en la intersección de estudio



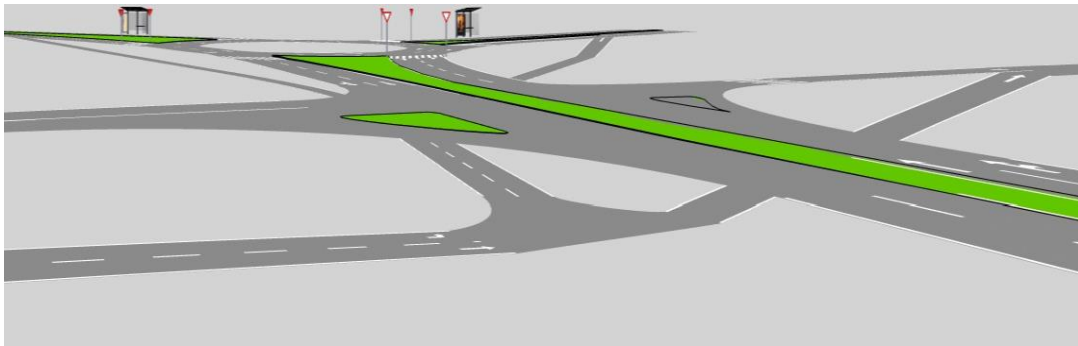
Fuente: Aimsun.

Figura 4.11 Primera vista en 3D de la segunda alternativa en la intersección de estudio



Fuente: Aimsun.

Figura 4.12 Segunda vista en 3D de la segunda alternativa en la intersección de estudio



Fuente: Aimsun.

4.4. Resultados de la modelación de la alternativa 2

Para la modelación de la de la segunda alternativa, se empleó la demanda de tráfico proyecta como se hizo para la primera alternativa. De manera similar, se analizaron la longitud de cola, la velocidad, el tiempo de demoras y los niveles de servicio. Todos estos resultados de las variables descritas se presentan en la **Tabla 4.2**.

Con base en los resultados obtenidos, se pudo observar que las condiciones del tráfico en la intersección de estudio mejoraron significativamente. Estos resultados muestran condiciones más favorables en comparación con la modelación actual e incluso superarán a las de la primera alternativa. Se logró reducir el tiempo de demora, disminuir la longitud de cola y obtener niveles de servicio favorables para toda la intersección, como se observa en la **Figura 4.13**. Esto garantiza un flujo vehicular sin interrupciones, ordenado y en condiciones óptimas de circulación.

Tabla 4.2 Resultados de la simulación de la segunda alternativa

PARÁMETROS	ESTACIONES					
	Av. Loja	Av. 10 de Agosto S-N	Av. 10 de Agosto ingreso redondel	Av. México	Unidad Nacional	Av. 10 de Agosto N-S
Nivel de servicio	A	A	A	A	A	A
Demora (s)	0,09	0,09	0,34	1,8	4,84	0,23
Cola (veh)	0	0	0,15	0,97	3,58	0
Velocidad (km/h)	42,2	42,91	39,81	39,84	32,4	40,59
V/C	1,88	0,9	0,83	0,48	0,95	1,22

Fuente: Aimsun.

Finalmente, se analizó de manera gráfica los tiempos de demora, como se observa en la **Figura 4.14**, y la longitud de cola, como se muestra en la **Figura 4.15**. En estas gráficas, se pueden

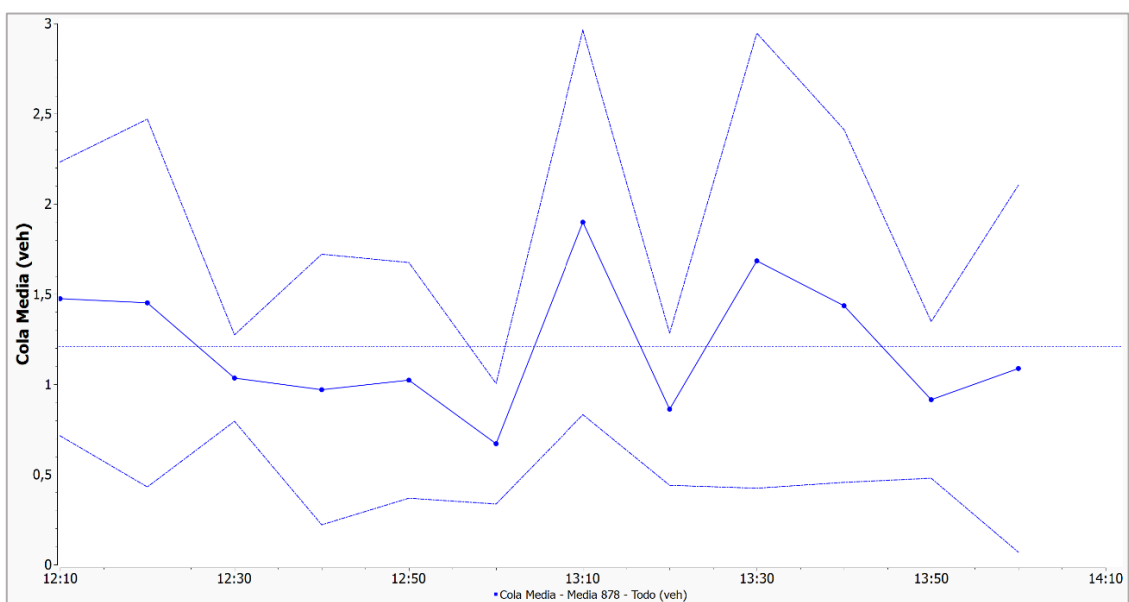
apreciar que los valores disminuyen considerablemente en comparación con la simulación de la demanda proyectada bajo las condiciones de la infraestructura actual y de la primera solución. Estos resultados confirman que las condiciones de tránsito con esta propuesta mejoran significativamente.

Figura 4.13 Niveles de servicio generados por el software Aimsun de la alternativa 2



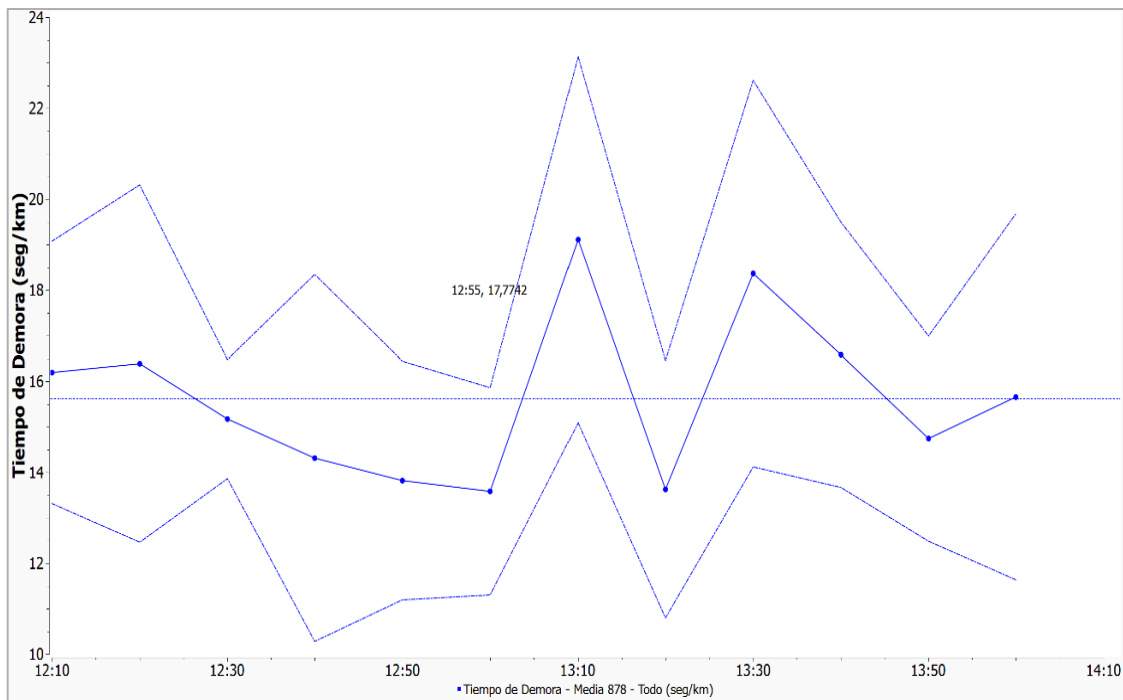
Fuente: Aimsun.

Figura 4.14 Gráfica de longitud de cola media respecto a la alternativa 2



Fuente: Aimsun.

Figura 4.15 Gráfica de tiempo de demora respecto a la alternativa 2



Fuente: Aimsun.

4.5. Análisis y comparación de escenarios

Para el análisis de los resultados, se definen cuatro escenarios: el primero corresponde a la modelación de las condiciones actuales; el segundo, a las condiciones proyectadas; el tercero, a la primera alternativa; y el cuarto, a la segunda alternativa. Es importante destacar que, en el primer escenario, se utiliza la demanda de tráfico real, mientras que para los demás escenarios se emplea la demanda proyectada.

Como se puede observar en la **Tabla 4.3**, tanto el escenario 1 como el escenario 2 presentan problemas graves de congestión, dado que el tiempo de demora en la mayoría de las vías de la intersección es alto, la longitud de cola de igual también es crítica y la velocidad de los vehículos es baja, lo cual indica una interrupción en el flujo. Por otro lado, en los escenarios 3 y 4, que consideran una demanda proyectada de tráfico para cinco años, las condiciones de tráfico son favorables, ya que los tiempos de demora y las longitudes de cola disminuyen, mientras que las velocidades aumentan, evidenciando un flujo más fluido. Esto demuestra que las dos soluciones propuestas son eficaces, mejorando por completo las condiciones de tráfico y eliminando la congestión en la intersección de estudio.

Tabla 4.3 Análisis comparativo de los resultados de los cuatro escenarios plantados

PARÁMETROS	ESTACIONES					
	Av. Loja	Av. 10 de Agosto S-N	Av. 10 de Agosto ingreso redondel	Av. México	Unidad Nacional	Av. 10 de Agosto N-S
ESCENARIO 1: ACTUAL						
Nivel de servicio	A	B	C	F	F	C
Demora (s)	8,36	12,62	15,82	347,18	213,73	21,07
Cola (veh)	8,47	5,32	5,92	18,8	19,17	4,92
Velocidad (km/h)	28,79	23,94	15,22	1,03	1,67	19,82
V/C	1,63	0,74	1,02	0,35	0,55	0,79
ESCENARIO 2: PROYECTADO						
Nivel de servicio	A	B	C	F	F	C
Demora (s)	9,11	23,85	15,50	312,80	167,73	20,18
Cola (veh)	11,80	7,80	7,00	19,00	19,00	6,00
Velocidad (km/h)	26,85	16,89	11,87	1,23	2,10	17,35
V/C	1,88	0,87	1,20	0,37	0,66	0,93
ESCENARIO 3: SOLUCIÓN 1						
Nivel de servicio	A	A	A	A	A	A
Demora (s)	4,4	1,73	1,97	1,61	3,74	4,39
Cola (veh)	8,02	2,57	2,1	1,17	3,17	2,2
Velocidad (km/h)	30,5	35,23	27,85	38,97	33,86	31,84
V/C	1,88	0,87	1,2	0,48	0,95	0,81
ESCENARIO 4: SOLUCIÓN 2						
Nivel de servicio	A	A	A	A	A	A
Demora (s)	0,09	0,09	0,34	1,8	4,84	0,23
Cola (veh)	0	0	0,15	0,97	3,58	0
Velocidad (km/h)	42,2	42,91	39,81	39,84	32,4	40,59
V/C	1,88	0,9	0,83	0,48	0,95	1,22

Fuente: Propia.

Además, se analizaron los niveles de servicio para los cuatro escenarios. Este análisis se realizó para la intersección en general, con el objetivo de obtener resultados más precisos sobre su nivel de servicio. El nivel de servicio de cada escenario se evaluó mediante el tiempo de demora y se verificó tanto para las intersecciones rotatorias como para intersecciones semaforizadas, dado que la intersección de estudio presenta ambas variantes en los tres primeros escenarios.

Los resultados mostrados en la **Tabla 4.4** corresponden al análisis de los niveles de servicio en los primeros tres escenarios, en base al análisis de la intersección semaforizada, e indican que el tiempo de demora más alto se presenta en el escenario 1. Sin embargo, el escenario 2 también muestra valores críticos en cuanto a las demoras, lo que implica un nivel de servicio F para la intersección en ambos casos. En cambio, en el escenario 3, este valor disminuye notablemente.

En estos casos, se alcanza un nivel de servicio alto, lo que significa que las condiciones mejoraron significativamente y se redujeron los problemas de congestión en la intersección.

Por otro lado en la **Tabla 4.5** se muestran los resultados de los niveles de servicio analizamos para los cuatro escenarios en base a la rotonda. De igual manera que para la intersección semaforizada, los escenarios 1 y 2 presentan las peores condiciones. En cambio, en los escenarios 3 y 4, estas condiciones mejoran notablemente. Sin embargo, en este análisis, se obtienen niveles de servicio más bajos que en el primer análisis, aunque las demoras disminuyen significativamente también en este caso.

Tabla 4.4 *Análisis comparativo de los niveles de servicio de los cuatro escenarios plantados con respecto a la intersección semaforizada*

PARÁMETROS	ESCENARIOS			
	Actual	Proyectada	Solución 1	Solución 2
Nivel de servicio	F	F	D	-
Demora (s)	523,85	456,46	50,59	-

Fuente: Propia.

Tabla 4.5 *Análisis comparativo de los niveles de servicio de los cuatro escenarios plantados con respecto a la intersección rotatoria*

PARÁMETROS	ESCENARIOS			
	Actual	Proyectada	Solución 1	Solución 2
Nivel de servicio	F	F	F	C
Demora (s)	523,85	456,46	50,59	15,63

Fuente: Propia.

CONCLUSIONES

Para el desarrollo del presente proyecto, se ha utilizado datos recopilados en campo, los cuales incluyen: conteo vehicular, líneas de buses existentes, ciclos semafóricos, levantamiento de placas vehiculares y levantamiento topográfico de la zona de estudio mediante el uso de un dron. Con ayuda de estos datos y la utilización del software de simulación de tráfico Aimsun 8.1.3, se realizó el análisis de la intersección que conecta la Avenida México, Unidad Nacional, Avenida 10 de Agosto y Avenida Loja.

Esta recopilación nos permitió identificar dos horas de mayor demanda vehicular (12h00-14h00), sobre las cuales se realizaron las simulaciones. El análisis se llevó a cabo tanto para la demanda vehicular actual como para la demanda proyectada en un intervalo de tiempo de cinco años, con el fin de que las mejoras propuestas sean efectivas para ambos periodos simulados. Posteriormente, se obtuvieron respuestas para parámetros como: niveles de servicio, tiempo de demoras, longitud de colas y velocidades de circulación, las cuales sirvieron para la comparación de las dos propuestas planteadas, determinando cual aporta una mayor mejora en la red de diseño. Cabe aclarar que el análisis de mejoras se realizó con relación directa a los niveles de servicio, los cuales fueron obtenidos de acuerdo con las demoras existentes.

Las dos propuestas que se analizaron y se simularon se detallan a continuación:

Propuesta 1:

Se realizaron mejoras geométricas en la rotonda y en la Avenida 10 de Agosto en sentido norte-sur, correspondientes al aumento de un carril en la rotonda y en la Avenida, así como un ajuste en el radio de curvatura de la Avenida 10 de Agosto. Adicionalmente, se realizó un cambio en el ciclo semafórico de la intersección que une la Avenida 10 de Agosto y Avenida Loja, reduciendo el ciclo a 50 segundos. Esto mejoró las condiciones en la intersección, ya que evitó la formación de largas colas en la Avenida 10 de Agosto, las cuales generaban congestión en la rotonda.

También se mejoró la señalización de la intersección, garantizando una circulación ordenada y segura para los usuarios. Esta señalización incluye líneas para delimitar los anchos de los carriles y la reubicación de los pasos peatonales en la rotonda, con el fin de evitar congestión en las entradas y salidas. De igual manera, se implementó señalización vertical, como letreros de ceda el paso e indicadores de paradas de buses. Todos estos cambios mejoraron notablemente las condiciones de tráfico y el nivel de servicio de la intersección, garantizando un flujo sin interrupciones y seguro para los usuarios.

Propuesta 2:

Se planteó un paso deprimido, con el fin de eliminar la intersección semaforizada, ya que esta genera grandes problemas de congestión debido a la proximidad del semáforo a la rotonda, lo que produce largas colas e interrumpe el flujo en la intersección. El paso deprimido propuesto la circulación vehicular desde la Avenida Loja hacia la Unidad Nacional, la Avenida México y a la misma Avenida Loja en sentido oeste- este mediante un trayecto subterráneo, evitando que gran parte del flujo entre a la rotonda y mejorando de esta manera los problemas de congestión en la intersección. Para implementar esta propuesta, será necesario aumentar un carril en la Avenida Loja, destinado al ingreso al paso deprimido.

En cuanto a las propuestas planteadas, se concluyó que ambas alternativas son eficientes y resuelven los problemas de congestión en la intersección de estudio. Sin embargo, comparando el nivel de mejora logrado, la segunda alternativa es superior, ya que reduce la congestión casi en su totalidad, aunque su implementación es mucho más compleja. Por otro lado, si se analiza el grado de facilidad de implementación, la primera alternativa es más eficiente, ya que es más sencilla de ejecutar y mejora significativamente las condiciones de la intersección. Por lo tanto, si se desea implementar una solución a corto plazo, la mejor opción es la alternativa 1. En cambio, si se busca una solución a largo plazo, la mejor opción sería la alternativa 2, ya que esta es mucho más costosa y requiere estudios complejos e inversiones significativas para su ejecución.

RECOMENDACIONES

Las dos soluciones planteadas fueron validadas mediante el software AIMSUN y en ambas se obtuvieron mejores niveles de servicio con las menores demoras posibles. No obstante, para garantizar que los resultados de los cálculos del estudio se vean reflejados durante la implementación de las alternativas, es necesario llevar a cabo un monitoreo permanente del cumplimiento de la señalización implementada. Esto incluye el respeto a las paradas del transporte público, los pasos peatonales, los semáforos y el uso adecuado de los carriles.

En este estudio se llegó al diseño geométrico en planta de la alternativa 1, dado que es la opción elegida para su implementación a corto plazo. Sin embargo, sería útil desarrollar también el diseño geométrico en planta de la solución 2, así como el diseño geométrico horizontal, vertical y el diseño taquimétrico de ambas soluciones, con el objetivo de contar con un estudio más completo para su ejecución.

Además, sería pertinente realizar un análisis económico de ambas alternativas con el fin de evaluarlas desde este criterio. Este análisis permitiría determinar su factibilidad en términos de inversión y establecer cuál es la alternativa más conveniente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ariza, K., & Álvaro, R. (2018). *Metodología para la construcción de la matriz origen-destino de las rutas de alimentación de las fases I y II de Transmilenio con base en los registros del Sistema Integrado de Recaudo y del Sistema de Ayuda a la Explotación*. Bogotá: Facultad de Ingeniería - Departamento de Ingeniería Civil. <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/2323033c-b4a5-4bc2-a853-9e7da754d96d/content>
- Banco Central del Ecuador. (2022). *Evolución del producto interno bruto del Ecuador*. <https://www.bce.fin.ec/component/search/?searchword=pib&start=0>
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas Grisales, J. (2018). *Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México.
- Cárdenas, J. (2013). *Diseño geométrico de carreteras* (Segunda ed.). Bogotá: Ecoe Ediciones.
- Castillo, J. (2011). *Estudio de tráfico TPDA*. Ingeniería de tránsito y transporte. <https://es.scribd.com/doc/52212874/TPDA>
- Chávez, G. A., & Cubides, B. E. (2018). *Estimación de la contaminación del aire generada por el efecto de la circulación vehicular motorizada en la Av. Don Bosco de la ciudad de Cuenca – Ecuador, usando la herramienta de micro simulación Aimsun 8.1*. Cuenca: Universidad del Azuay. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7931>
- Dagnino, J. (2014). Regresión lineal. *Revista Chilena de Anestesia*, 43(2), 143-149. https://www.sachile.cl/upfiles/revistas/54e63943b5d69_14_regresion-2-2014_edit.pdf
- Depiante, V., & Galarraga, J. (2015). Calibración del modelo de capacidad de rotondas del HCM2010 a condiciones locales: caso Córdoba, Argentina. *TRANSPORTES*, 23, 95. doi:10.14295/transportes.v23i1.832
- Díaz Solorzano, S., & González Díaz, L. (2010). Reflexiones sobre los conceptos velocidad y rapidez de una partícula en física. *Revista mexicana de física*, 2(52), 181-189. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/37303820/2010-RMF-Reflexiones_sobre_los_conceptos_velocidad_y_rapidez_de_una_particula_en_fisica-Vol_562181-189-libre.pdf?1429021617=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DReflexiones_sobre_los_conceptos_v

- Duarte, E., González, R., & Camacho, J. (Enero de 2023). Tráfico vehicular y peatonal, un indicador de sostenibilidad urbana para la ciudad de Cuenca. *Ciencia Digital*, VII, 113-137. doi:10.33262/cienciadigital.v7i1.2452
- Estrada, E., Cabrera, J., Valdiviezo, E., Romero, L., Morales, F., & Rivas, M. (2017). Evaluación de la congestión vehicular: Av. Castro Benítez y Vía Pajonal, Machala-Ecuador, año 2016. *Cumbres*, III, 135-142. doi:10.48190/cumbres.v3n1a17
- Gallardo, V. (2005). *Funciones de las rotondas urbanas y requerimientos urbanísticos de organización*. Barcelona. <http://hdl.handle.net/2099.1/3375>
- Gómez, A., & Méndez, L. (2017). *Determinación de la matriz origen-destino multimodal de la universidad del Azuay - Unidad Educativa la Asunción*. Escuela de ingeniería civil y gerencia de construcciones. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6847>
- Google maps. (2022). *Redondel del CREA*. <https://maps.app.goo.gl/wx2u2Kw3cEsTotKb8>
- Highway Capacity Manual. (2010). *Highway Capacity Manual: Practical Applications of Research*. Washington, D.C.: Bureau of Public Roads, U.S. Department of Commerce.
- Hipolito, K. (2020). *Propuesta de diseño geométrico en planta de la carretera Huayña-Yauyos progresiva km 2+300 a km 3+300 en el Centro Poblado Yauyos, de la Provincia de Yauyos 2020*. Tesis de grado, ATE. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/59728>
- Iglesias, C., & Vásquez, F. (2018). *Evaluación y alternativa de solución vial de la zona colindante al Hospital Regional Vicente Corral Moscoso*. Cuenca: Universidad del Azuay.
<https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/5/browse?type=author&order=ASC&rpp=55&value=Iglesias+Reyes%2C+Carlos+Alberto>
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *Señalización vial. Parte 1. Señalización vertical*. Reglamento técnico Ecuatoriano. Primera versión. https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/04/LOTAIP2015_reglamento-tecnico-ecuadoriano-rte-inen-004-1-2011.pdf
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2011). *Señalización vial. Parte 2. Señalización horizontal*. Reglamento técnico Primera revisión. <https://www.obraspublicas.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2015/03/LOTAIP2015_reglamento_tecnico_se+%C2%A6alizaci+%C2%A6n_horizontal.pdf

- Instituto nacional de estadísticas y censos (INEC). (2022). *Población del Ecuador según provincia y área de residencia*. <https://censoecuador.ecudatanalytics.com/>
- Molina, P., & Obregón, S. (2018). Desarrollo de una interfaz de programación de aplicaciones para el comportamiento real vehicular en intersección semaforizada, en el simulador AIMSUN. *Perspectivas de la ciencia y la tecnología*, 1(2). <https://revistas.uaq.mx/index.php/perspectivas/article/view/172>
- Monetti, J., Contreras, M., Navarro, M., & Sevillano, G. (2018). Propuesta de recolección de datos para aforo vehicular. *XX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2018, Universidad Nacional del Nordeste)*, (págs. 838-842). Mendoza. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/68030>
- Mozo, J. (2011). *Análisis de nivel de servicio y capacidad de segmentos básicos de autopistas, segmentos trenzados y rampas de acuerdo al manual de capacidad de carreteras HCM2000 aplicando MathCad*. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, UNAM. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3541577>
- Municipio de Cuenca. (2015). *PLAN DE MOVILIDAD Y ESPACIOS PÚBLICOS*. Cuenca.
- Naranjo Torres, D. (2015). Análisis de la relación velocidad-densidad vehicular de la avenida calle 26 en Bogotá. *Ingenio Magno*, 6, 76-88. <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1030/984>
- Osores, V. (2016). *Evaluación del nivel de servicio por análisis de tráfico en la intersección semaforizada Mariscal Castilla-Julio Sumar El Tambo, 2015*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú-Huancayo. <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/1182/Osores%20Torres%20Victor%20Oscar%20-%202016%20-%20Pregrado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Peña, P. (2015). *PROPUESTA DE MEJORA DE NIVELES DE SERVICIO EN DOS INTERSECCIONES*. Lima: Universidad peruana de ciencias aplicadas. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/581516/REYNA_PP.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Ramos, C. (2017). *SIMULACIÓN DE UN MODELO MICROSCÓPICO DE SEGUIMIENTO DE VEHÍCULOS*. Madrid. https://oa.upm.es/45868/1/TFG_CARLOS_RAMOS_FERRER_a.pdf
- Sánchez, E., Movilla, S., & Cruz, M. (Septiembre de 2022). Evaluación de la incidencia de los ciclos sobre el nivel de servicio de intersecciones no semaforizadas en la ciudad de Holguín. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, XI, 248-270. doi:10.5377/farem.v11i3.14914
- Sarango, P., & Díaz, B. (2020). Sistema web y móvil híbrido para la recolección muestral de datos sobre flujo vehicular en la zona de regeneración urbana de la ciudad de Loja, Ecuador. *Espacios*, 41(8), 4. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n08/20410804.html#:~:text=1.2.-,Flujo%20vehicular,v%C3%ADa%20por%20unidad%20de%20tiempo>
- Secretaría de hidrocarburos del Ecuador. (2023). *Estadística hidrocarburos 2021*. Quito: Dirección de análisis de información estratégica de hidrocarburos. <https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/04/Estadisticas-hidrocarburiferas.pdf>
- Transmilenio S.A. (2013). *Curso teórico y de práctica guiada de Aimsun & Anexos*. Bogotá: Sistemas Inteligentes de Transporte Ltda.
- Urrego, G., Calderón, F., Alejandro, F., & Quiroga, J. (2009). Adquisición de variables de tráfico vehicular usando visión por computador. *Revista de Ingeniería*. doi:10.16924/revinge.30.1
- Vega, C., & Zaira, Y. (2018). *Análisis de la capacidad y niveles de servicio de las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca perteneciente a la red vial nacional*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/1834>
- Vera, J., Loor, J., Ortiz, E., & Delgado, D. (2021). Análisis del nivel de servicio en la intersección de las avenidas Manabí y América, Portoviejo, Ecuador. *Revista Riemat*, 6. doi:10.33936

ANEXOS

Anexo A

Hojas utilizadas para el conteo vehicular de vehículos livianos y buses






Estudio de mejora a la movilidad en la intersección de la Av. México, Unidad Nacional, Av. 10 de Agosto y Av. Loja. Cuenca, Ecuador

Autores: Genovez Alarcón Anahi Cristina, Rainoso Silva Shirley Marcela
Director: Ing. Pablo Andrés Corvallo Corral

Fecha: 22 de marzo de 2024

Estación: Unidad Nacional

Hora 	Livianos 	Buses 
12:00-12:15		
12:15-12:30		
12:30-12:45		
12:45-13:00		
13:00-13:15		
13:15-13:30		
13:30-13:45		
13:45-14:00		

Anexo B

Hojas utilizadas para el conteo vehicular de vehículos pesados, motos y bicicletas










Estudio de mejora a la movilidad en la intersección de la Av. México, Unidad Nacional, Av. 10 de Agosto y Av. Loja, Cuenca, Ecuador

Autores: Genoveva Alarcón Anahí Cristina, Reinoso Silva Shirley Marcela

Director: Ing. Pablo Andrés Carvallo Corral


Fecha: 22 de marzo de 2024

Estación: Unidad Nacional

Hora 	Camión C2 	Camión C3 	Camión C4/más 	Motos 	Bicicletas 	Peatones 
12:00-12:15						
12:15-12:30						
12:30-12:45						
12:45-13:00						
13:00-13:15						
13:15-13:30						
13:30-13:45						
13:45-14:00						

Anexo C

Conteo vehicular para vehículos pesados, motos y bicicletas



 Autoridad Gestora del Transporte de Lima, Juliana Silva Shirley Morales


 Director Ing. Pablo Andrés Casavalle Corral

 Fecha: 22 de marzo de 2024
 Estación: Av. México

Hora	Camión C2	Camión C3	Camión C4/autob.	Motos	Bicicletas	Pedones
12:00-12:15	1	1		22 1	27	27
12:15-12:30	1			22	7	21
12:30-12:45	1			22	1	22
12:45-13:00	1			22		21
13:00-13:15	1			21	1	22
13:15-13:30	1			22 22	2	22
13:30-13:45	1			22 22		21
13:45-14:00	1			22	1	21

Anexo D




Conteo vehicular para vehículos livianos y buses


Estudio de impacto a la movilidad en la intersección de la Av. Méjico, Unidad Nacional, Av. 18 de Agosto y Av. Loja, Cuenca, Ecuador

Autores: **Orlando Alarcón Acosta**, **Christian Estroza Soto**, **Stefany Marín**
 Director: **Ing. Pablo Andrés Cevallos Corral**

Estación: **Av. Loja**

Fecha: **22 de marzo de 2024**

Hora 	Livianos 	Buses 
12:00-12:15	[Illegible]	[Illegible]
12:15-12:30	[Illegible]	[Illegible]
12:30-12:45	[Illegible]	[Illegible]
12:45-13:00	[Illegible]	[Illegible]
13:00-13:15	[Illegible]	[Illegible]
13:15-13:30	[Illegible]	[Illegible]
13:30-13:45	[Illegible]	[Illegible]
13:45-14:00	[Illegible]	[Illegible]

Anexo E

Evidencia del conteo vehicular realizado el día viernes 22 de Marzo del 2024



Anexo F

Diseño geométrico en planta de la primera alternativa

