



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**Optimización de los ciclos semafóricos para mejorar la capacidad y nivel de servicio en los puntos críticos de congestión vehicular del cantón Rumiñahui, 2021**

**MERCY ROCÍO GUZMÁN SINALUISA**

Trabajo de Titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

**MAGÍSTER EN TRANSPORTE Y LOGÍSTICA**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**DICIEMBRE 2023**

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Mercy Rocío Guzmán Sinaluisa, declaro que el presente **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, diciembre 2023.



---

**Ing. Mercy Rocío Guzmán Sinaluisa**

**C.I. 0604177733**

**©2023, Mercy Rocío Guzmán Sinaluisa**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

**El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, titulado: Optimización de los ciclos semafóricos para mejorar la capacidad y nivel de servicio en los puntos críticos de congestión vehicular del cantón Rumiñahui, 2021, de responsabilidad de la señora: Mercy Rocío Guzmán Sinaluisa, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtual el Tribunal autoriza su presentación:**



firmado electrónicamente por:  
**GUSTAVO JAVIER  
AGUILAR MIRANDA**

Ing. Gustavo Javier Aguilar Miranda, Mgtr.

**PRESIDENTE**



firmado electrónicamente por:  
**JOSE LUIS LLAMUCA  
LLAMUCA**

Ing. José Luis Llamuca Llamuca, Mgtr.

**DIRECTOR**



firmado electrónicamente por:  
**ALEXANDRA PATRICIA  
GUERRERO GODOY**

Ing. Alexandra Patricia Guerrero Godoy, Mgtr.

**MIEMBRO**



firmado electrónicamente por:  
**RUFFO NEPTALI VILLA  
UVIDIA**

Ing. Ruffo Neptali Villa Uvidia, Mgtr.

**MIEMBRO**

Riobamba, diciembre 2023

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación se lo dedico de manera especial a Dios y mi familia que representan mi razón de ser. A mis padres y hermana que a lo largo de mi vida se han convertido en mi ejemplo de superación.

A mi esposo e hija, por estar a mi lado brindándome su apoyo incondicional, por siempre demostrarme su amor.

A mi abuela Rosa (+) y hermano Patricio (+) que, desde el cielo a pesar de su ausencia de cuerpo, en estos años siempre he sentido su amor.

*Mercy*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por su infinito amor y bondad, por enseñarme que no estoy sola y a confiar con el corazón en él, “y antes que exclamen, yo responderé” Confío en ti plenamente. A intersección de la Santísima Virgen María en la advocación de Reina del Cisne.

A mi familia por su amor y apoyo incondicional.

Mi profundo agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y de manera especial al Ing. José Luis Llamuca, Ing. Patricia Godoy e Ing. Ruffo Villa en calidad de director y miembros del tribunal, quienes me orientaron y brindaron su tiempo para asesorarme y culminar con éxito la presente investigación.

*Mercy*

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xv
SUMMARY .....	xvi

### CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema .....	2
1.2. Formulación del problema.....	3
1.3. Preguntas directrices o específicas de la investigación.....	4
1.4. Justificación de la investigación .....	4
1.5. Objetivo general.....	5
1.6. Objetivos específicos.....	5
1.7. Hipótesis .....	5
1.7.1. <i>Hipótesis general</i> .....	5
1.7.2. <i>Hipótesis específicas</i> .....	5

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes del problema .....	6
2.2. Bases teóricas .....	7
2.2.1. <i>Congestión vehicular</i> .....	7
2.2.1.1. <i>Factores determinantes de la congestión vehicular</i> .....	8
2.2.1.2. <i>Estrategias públicas para reducir la problemática de congestión vehicular</i> .....	9
2.2.2. <i>Flujo vehicular</i> .....	10
2.2.2.1. <i>Tipos de Flujo vehicular</i> .....	11
2.2.3. <i>Intersecciones Semaforizadas</i> .....	11
2.2.3.1. <i>Requisitos para instalar semáforos en una intersección</i> .....	12
2.2.3.2. <i>Tipos de semáforos</i> .....	14
2.2.3.3. <i>Clasificación de los semáforos por su sistema de operación</i> .....	14
2.2.3.4. <i>Cálculo del tiempo de los semáforos</i> .....	15
2.2.4. <i>Metodología Highway Capacity Manual HCM 2010 para el análisis operacional de las intersecciones semaforizadas</i> .....	17
2.2.4.1. <i>Paso 1: Determinación de grupos de movimientos y grupo de carriles.</i> .....	18

2.2.4.2.	<i>Paso 2: Determinación de la tasa de flujo por grupos de movimiento</i>	19
2.2.4.3.	<i>Paso 3: Determinación de la tasa de flujo por grupos de carriles.</i>	19
2.2.4.4.	<i>Paso 4: Determinación de la tasa de flujo de saturación ajustada.</i>	20
2.2.4.5.	<i>Paso 5: Proporción de llegadas durante el verde</i>	23
2.2.4.6.	<i>Paso 6: Determinación de la capacidad y la relación volumen a capacidad</i>	23
2.2.4.7.	<i>Paso 7: Cálculo de las demoras</i>	24
2.2.4.8.	<i>Paso 8: Determinación del nivel de servicio para intersecciones semaforizadas.</i>	26
2.2.5.	<b>Modelamiento del tráfico vehicular</b>	26
2.2.5.9.	<i>Programas de simulación del tráfico vehicular</i>	28
2.3.	<b>Marco conceptual</b>	29
2.4.	<b>Identificación de variables</b>	30
2.5.	<b>Operacionalización de variables</b>	31
2.6.	<b>Matriz de consistencia</b>	32

### CAPÍTULO III

3.	<b>METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN</b>	33
3.1.	<b>Tipo y diseño de la investigación</b>	33
3.1.1.	<i>Investigación exploratoria</i>	33
3.1.2.	<i>Investigación descriptiva</i>	33
3.1.3.	<i>Investigación documental</i>	33
3.1.4.	<i>Investigación de campo</i>	33
3.2.	<b>Métodos de investigación</b>	34
3.2.1.	<i>Método Inductivo</i>	34
3.2.2.	<i>Método deductivo</i>	34
3.2.3.	<i>Método analítico</i>	34
3.3.	<b>Enfoque de la investigación</b>	34
3.4.	<b>Alcance de la investigación</b>	35
3.5.	<b>Población de estudio</b>	35
3.6.	<b>Selección de la muestra</b>	35
3.7.	<b>Técnica de recolección de datos primarios y secundarios</b>	35
3.7.1.	<i>Observación</i>	36
3.7.2.	<i>Entrevista</i>	36
3.8.	<b>Instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios</b>	36
3.8.1.	<i>Ficha de observación</i>	36
3.8.2.	<i>Guía de entrevista</i>	36
3.9.	<b>Instrumentos para procesar datos recopilados</b>	36



## CAPÍTULO IV

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	37
<b>4.1.</b>	<b>Características de las intersecciones semaforizadas</b> .....	37
<b>4.1.1.</b>	<i>Intersección 1: Avenida General Enríquez y avenida Los Shyris</i> .....	38
<b>4.1.2.</b>	<i>Intersección 2: Avenida General Rumiñahui y avenida San Luis</i> .....	48
<b>4.1.3.</b>	<i>Intersección 3: Avenida General Enríquez y avenida San Luis</i> .....	54
<b>4.1.4.</b>	<i>Intersección 4: Avenida Mariana de Jesús y calle La Concordia</i> .....	60
<b>4.1.5.</b>	<i>Intersección 5: Avenida Mariana de Jesús y avenida Agustín Miranda</i> .....	67

## CAPÍTULO V

<b>5.</b>	<b>PROPUESTA</b> .....	74
<b>5.1.</b>	<b>Análisis de la situación actual</b> .....	74
<b>5.2.</b>	<b>Contenido de la Propuesta</b> .....	75

<b>CONCLUSIONES</b> .....	85
---------------------------	----

<b>RECOMENDACIONES</b> .....	86
------------------------------	----

**GLOSARIO**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Sectores e Intersecciones conflictivas en el cantón Rumiñahui .....	3
<b>Tabla 1-2:</b>	Políticas para mitigar la congestión vehicular.....	10
<b>Tabla 2-2:</b>	Volúmenes de flujo vehicular mínimos.....	12
<b>Tabla 3-2:</b>	Volúmenes de flujo vehicular mínimos para acceso a vías principales.....	13
<b>Tabla 4-2:</b>	Grupos de movimientos y carriles.....	19
<b>Tabla 5-2:</b>	Factores de ajuste para determinar el flujo de saturación.....	22
<b>Tabla 6-2:</b>	Factores para el cálculo de la demora.....	25
<b>Tabla 7-2:</b>	Niveles de servicio .....	26
<b>Tabla 8-2:</b>	Operacionalización de variables.....	31
<b>Tabla 9-2:</b>	Matriz de consistencia .....	32
<b>Tabla 1-3:</b>	Intersecciones semafóricas conflictivas en el cantón Rumiñahui.....	35
<b>Tabla 1-4:</b>	Características de circulación de la intersección 1 .....	39
<b>Tabla 2-4:</b>	Cálculo de la tasa de flujo $V_p$ , intersección 1 .....	41
<b>Tabla 3-4:</b>	Características semafóricas de la intersección 1.....	42
<b>Tabla 4-4:</b>	Cálculo factor de vehículos pesados.....	43
<b>Tabla 5-4:</b>	Cálculo del flujo de saturación ajustado de la intersección 1 .....	44
<b>Tabla 6-4:</b>	Cálculo de capacidad y grado de saturación crítico de la intersección 1.....	45
<b>Tabla 7-4:</b>	Cálculo demoras y nivel de servicio intersección 1 .....	47
<b>Tabla 8-4:</b>	Características de circulación de la intersección 2 .....	49
<b>Tabla 9-4:</b>	Cálculo de la tasa de flujo $V_p$ , intersección 2. ....	51
<b>Tabla 10-4:</b>	Características semafóricas de la intersección 2.....	51
<b>Tabla 11-4:</b>	Cálculo del flujo de saturación ajustado de la intersección 2.....	52
<b>Tabla 12-4:</b>	Cálculo de capacidad y grado de saturación crítico de la intersección 1.....	53
<b>Tabla 13-4:</b>	Cálculo demoras y nivel de servicio intersección 2 .....	53
<b>Tabla 14-4:</b>	Características de circulación de la intersección 3 .....	55
<b>Tabla 15-4:</b>	Cálculo de la tasa de flujo $V_p$ , intersección 3 .....	57
<b>Tabla 16-4:</b>	Características semafóricas de la intersección 3.....	57
<b>Tabla 17-4:</b>	Cálculo del flujo de saturación ajustado de la intersección 3.....	58
<b>Tabla 18-4:</b>	Cálculo de capacidad y grado de saturación crítico de la intersección 3.....	59
<b>Tabla 19-4:</b>	Cálculo demoras y nivel de servicio intersección 3 .....	59
<b>Tabla 20-4:</b>	Características de circulación de la intersección 4 .....	61
<b>Tabla 21-4:</b>	Cálculo de la tasa de flujo $V_p$ , intersección 4. ....	63
<b>Tabla 22-4:</b>	Características semafóricas de la intersección 4.....	64
<b>Tabla 23-4:</b>	Cálculo del flujo de saturación ajustado de la intersección 4.....	64

<b>Tabla 24-4:</b>	Cálculo de capacidad y grado de saturación crítico de la intersección 4.....	65
<b>Tabla 25-4:</b>	Cálculo demoras y nivel de servicio intersección 4 .....	66
<b>Tabla 26-4:</b>	Características de circulación de la intersección 5 .....	68
<b>Tabla 27-4:</b>	Cálculo de la tasa de flujo $V_p$ , intersección 5. ....	70
<b>Tabla 28-4:</b>	Características semafóricas de la intersección 5.....	70
<b>Tabla 29-4:</b>	Cálculo del flujo de saturación ajustado de la intersección 5.....	71
<b>Tabla 30-4:</b>	Cálculo de capacidad y grado de saturación crítico de la intersección 5.....	72
<b>Tabla 31-4:</b>	Cálculo demoras y nivel de servicio intersección 5 .....	72
<b>Tabla 1-5:</b>	Resumen de la situación actual de las intersecciones analizadas .....	75
<b>Tabla 2-5:</b>	Propuesta intersección 1.....	76
<b>Tabla 3-5:</b>	Propuesta intersección 2.....	77
<b>Tabla 4-5:</b>	Propuesta intersección 3.....	79
<b>Tabla 5-5:</b>	Propuesta intersección 4.....	80
<b>Tabla 6-5:</b>	Propuesta intersección 5.....	82
<b>Tabla 7-5:</b>	Resumen comparativo niveles de servicio con y sin propuesta de las intersecciones .....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2:</b>	Factores determinantes de la congestión vehicular .....	9
<b>Figura 2-2:</b>	Movimientos y diagrama de fases de una intersección semaforizada .....	15
<b>Figura 3-2:</b>	Esquema de la metodología HCM 2010 para intersecciones semaforizadas ....	17
<b>Figura 4-2:</b>	Niveles de modelamiento del tráfico vehicular .....	27
<b>Figura 1-4:</b>	Intersección 1: Avenida General Enríquez y avenida Los Shyris .....	38
<b>Figura 2-4:</b>	Condiciones geométricas intersección 1. ....	39
<b>Figura 3-4:</b>	Intersección 2: Avenida General Rumiñahui y avenida San Luis .....	48
<b>Figura 4-4:</b>	Condiciones geométricas intersección 2. ....	49
<b>Figura 5-4:</b>	Intersección 3: Avenida General Enríquez y avenida San Luis .....	54
<b>Figura 6-4:</b>	Condiciones geométricas intersección 3. ....	55
<b>Figura 7-4:</b>	Intersección 4: Avenida Mariana de Jesús y calle Concordia .....	60
<b>Figura 8-4:</b>	Condiciones geométricas intersección 4. ....	61
<b>Figura 9-4:</b>	Intersección 5: Avenida Mariana de Jesús y avenida Agustín Miranda.....	67
<b>Figura 10-4:</b>	Condiciones geométricas intersección 5. ....	68
<b>Figura 1-5:</b>	Puntos de conflicto intersecciones semaforizadas del cantón Rumiñahui.....	74
<b>Figura 2-5:</b>	Ciclo semafórico óptimo propuesto intersección 1 .....	76
<b>Figura 3-5:</b>	Evaluación del sistema semafórico propuesto intersección 1. ....	77
<b>Figura 4-5:</b>	Ciclo semafórico óptimo propuesto intersección 2 .....	78
<b>Figura 5-5:</b>	Evaluación del sistema semafórico propuesto intersección 2. ....	78
<b>Figura 6-5:</b>	Ciclo semafórico óptimo propuesto intersección 3 .....	79
<b>Figura 7-5:</b>	Evaluación del sistema semafórico propuesto intersección 3. ....	80
<b>Figura 8-5:</b>	Ciclo semafórico óptimo propuesto intersección 4 .....	81
<b>Figura 9-5:</b>	Evaluación del sistema semafórico propuesto intersección 4. ....	81
<b>Figura 10-5:</b>	Ciclo semafórico óptimo propuesto intersección 5 .....	82
<b>Figura 11-5:</b>	Evaluación del sistema semafórico propuesto intersección 5. ....	83

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-4:</b>	Volumen horario de flujo vehicular intersección 1. ....	40
<b>Gráfico 2-4:</b>	Volumen horario de máxima demanda intersección 1. ....	40
<b>Gráfico 3-4:</b>	Volumen horario de flujo vehicular intersección 2. ....	50
<b>Gráfico 4-4:</b>	Volumen horario de máxima demanda intersección 2. ....	50
<b>Gráfico 5-4:</b>	Volumen horario de flujo vehicular intersección 3. ....	56
<b>Gráfico 6-4:</b>	Volumen horario de máxima demanda intersección 3. ....	56
<b>Gráfico 7-4:</b>	Volumen horario de flujo vehicular intersección 4. ....	62
<b>Gráfico 8-4:</b>	Volumen horario de máxima demanda intersección 4. ....	62
<b>Gráfico 9-4:</b>	Volumen horario de flujo vehicular intersección 5. ....	69
<b>Gráfico 10-4:</b>	Volumen horario de máxima demanda intersección 5. ....	69

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** FICHA DE OBSERVACIÓN – AFORO VEHICULAR

**ANEXO B:** AFORO VEHICULAR DE LA HORA DE MÁXIMA DEMANDA (HORA PICO)

**ANEXO C:** REGISTRO FOTOGRÁFICO

## RESUMEN

El objetivo fue optimizar los ciclos semafóricos para mejorar la capacidad y nivel de servicio de los puntos críticos de congestión vehicular en el cantón Rumiñahui, 2021. A través de la medición de los indicadores del flujo vehicular y considerando variables como: geometría, aforo vehicular para establecer la hora de máxima demanda vehicular (hora pico), tiempos de ciclos y fases semafóricas se realizó el análisis operacional de la capacidad y el nivel de servicio que ofrecen las intersecciones semafóricas utilizando la metodología Highway Capacity Manual (HCM 2010) y bajo los lineamientos establecidos en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 004:2012. Parte 5; se determinó que de las 5 intersecciones conflictivas que fueron analizadas y evaluadas 4 poseen niveles de servicio deficientes que van desde el nivel tipo C hasta el F, por lo que se desarrolló propuestas de mejoras en el diseño de los ciclos semafóricos que fueron complementadas y validadas con el software PTV Vissim versión estudiantil logrando una mejora en los niveles de servicio y reducción en los tiempos de demora influyendo de forma directa en la fluidez de la circulación vehicular. Se concluyó que una adecuada gestión de tránsito en las intersecciones mediante rediseños de los ciclos y fases semafóricas que son soluciones de bajo costo y alto impacto permiten mejorar los resultados de nivel de servicio en las intersecciones, optimizando la fluidez en la movilidad urbana y seguridad vial tanto para peatones como para conductores. Se recomienda realizar análisis operacionales de manera periódica con el propósito de rediseñar o configurar los ciclos semafóricos conforme a los volúmenes de tráfico y demás características acorde a la realidad actual de las intersecciones semaforizadas a razón que la demanda de flujo vehicular es constantemente variable.

**Palabras claves:** <TRÁNSITO>, <METODOLOGÍA HCM 2010>, <MICROSIMULACIÓN>, <FLUJO VEHICULAR>, <MOVILIDAD>, <SEMAFORIZACIÓN>, <NIVELES DE SERVICIO>.

LUIS  
ALBERTO  
CAMINOS  
VARGAS

Firmado digitalmente  
por:LUIS ALBERTO  
CAMINOS VARGAS  
DN: cn=LUIS ALBERTO  
CAMINOS VARGAS c=EC  
l=RIOBAMBA  
Motivo: Soy el autor de este  
documento  
Ubicación:  
Fecha: 2023-11-20  
11:27:05:00



0149-DBRA-UPT-IPEC-2023

20-11-2023

## **SUMMARY**

The objective was to optimize traffic signal cycles to enhance the capacity and service level of critical points facing vehicular congestion in the Rumiñahui canton, 2021. By measuring traffic flow indicators and considering variables such as geometry, traffic volume to determine the peak hour, cycle times, and signal phases, an operational analysis of capacity and service level was conducted at signalized intersections. The methodology used was the Highway Capacity Manual (HCM 2010) and complied with the guidelines established in the Ecuadorian Technical Regulation RTE INEN 004:2012, Part 5. It was determined that out of the 5 analyzed and evaluated conflictive intersections, 4 exhibited deficient service levels ranging from type C to F. Consequently, improvement proposals for signal cycle designs were developed, complemented, and validated with the PTV Vissim student version software, resulting in improved service levels and reduced delay times, directly impacting traffic flow. It was concluded that effective traffic management at intersections through low-cost, high-impact redesigns of signal cycles and phases can enhance service level outcomes, optimizing urban mobility and road safety for both pedestrians and drivers. It is recommended to conduct periodic operational analyses to redesign or configure signal cycles according to traffic volumes and other characteristics reflecting the current reality of signalized intersections, given that vehicular flow demand is constantly variable.

**Keywords:** <TRANSPORT ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <TRAFFIC, HCM 2010 METHODOLOGY>, <MICROSIMULATION>, <TRAFFIC FLOW>, <MOBILITY>, <SIGNALIZATION>, <SERVICE LEVELS>.



# **CAPÍTULO I**

## **1. INTRODUCCIÓN**

En el cantón Rumiñahui se ha evidenciado problemas en cuanto a la funcionalidad de los sistemas semafóricos y el bajo nivel del servicio que radica en la desactualización del diseño de los ciclos semafóricos, debido a que las autoridades competentes no han realizado estudios de tránsito que les permita mejorar los tiempos de los semáforos garantizando un sistema de movilidad eficiente.

Este trabajo esta direccionado al análisis del estado actual de las intersecciones semaforización conflictivas en relación a la funcionalidad del sistema semafórico y el bajo nivel de servicio que presenta cada una; con el fin realizar una evaluación de cada intersección y a partir de ello plantear soluciones prácticas de bajo costo que mejoren el nivel de servicio, proporcionando fluidez, orden y seguridad en la circulación vehicular que garanticen una eficiente movilidad. Para el desarrollo del estudio se aplicó la metodología HCM 2010 y se complementó con el software PT Vissim versión estudiantil, para validar las propuestas de mejoras en el diseño de los ciclos semafóricos acorde al volumen de flujo vehicular con el propósito de mitigar la problemática de congestión vehicular. Este trabajo de titulación está estructurado en 5 capítulos que se mencionan a continuación:

En el capítulo I hace énfasis a la descripción del problema, así como la justificación del estudio y los objetivos tanto general como específicos que se pretende alcanzar al desarrollar la investigación.

En el capítulo II detalla el marco teórico de la investigación en el cual se describe los antecedentes investigativos, la fundamentación teórica que sustenta este estudio.

En el capítulo III hace referencia el marco metodológico en el cual se determina la modalidad y los tipos de investigación además de la metodología e instrumentos utilizados para recopilar información

En el capítulo IV se presenta los resultados y discusión acerca de la situación actual de las intersecciones semaforizadas del cantón Rumiñahui.

En el capítulo V describe la propuesta de mejora de los ciclos semafóricos optimizados y validados para mejorar los niveles de servicio y capacidad de las intersecciones semafóricas del cantón Rumiñahui.

## **1.1. Planteamiento del problema**

A nivel mundial, la congestión vehicular se ha ido incrementando, provocando efectos negativos sobre la calidad de vida de la población. La utilización desmesurada del automóvil es la causa principal del atascamiento vehicular, que se ve reflejado en la reducción de la velocidad de circulación, incremento de los tiempos de viaje, mayor consumo de combustibles fósiles entre otros aspectos (Bull, 2003).

El fenómeno de la congestión vehicular desde el enfoque de la ingeniería de transporte, se ha convertido en un grave problema que cada año provoca que se genere grandes pérdidas en los aspectos: económicos, sociales y medioambientales. En América Latina, las ciudades con mayor índice de congestión vehicular son: Bogotá, Lima, ciudad de México y Rio de Janeiro (Calatayud, et al., 2021).

La escasa realización de estudios de tránsito por parte de la mayoría de municipios del Ecuador, sumado a la falta de señalización vial y optimización de los tiempos de los ciclos semafóricos ha incidido de forma negativa en la fluidez de la circulación vehicular. Los sistemas semafóricos cumplen un rol primordial en la regulación y control del tránsito de vehículos y peatones, por lo tanto, es indispensable que existe una gestión optima de las intersecciones semafóricas como una estrategia para reducir los efectos ocasionados por la congestión vehicular (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012).

Rumiñahui, es uno de cantones más pequeños de la provincia de Pichincha, de acuerdo a la proyección poblacional del INEC para el año 2020, tiene aproximadamente 115.433 habitantes, que lo convierte en un cantón densamente poblado, además es conocido como la ciudad satélite del Distrito Metropolitano de Quito, debido a su cercanía y por su ubicación estratégica en el corazón del valle de los Chillos, lo que ha permitido que existe dinamismo en el desarrollo de las actividades comerciales.

El crecimiento de la población del área urbana, incremento del parque automotor, la disminución de las tendencias de viaje en transporte público debido a la pandemia del Covid – 19, son factores que ha influido a que los problemas de congestión vehicular, inseguridad vial, demoras en los tiempos de viaje por la ineficiencia operativa de los sistemas semafóricos se agudicen, impidiendo que exista una movilidad eficiente y segura en el cantón.

En el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Rumiñahui actualización 2020 - 2025, se determina 10 sectores e intersecciones conflictivas que son consideradas puntos críticos de congestión vehicular, las mismas que a continuación se ilustran:

**Tabla 1-1:** Sectores e Intersecciones conflictivas en el cantón Rumiñahui

Nº	Sectores Intersecciones Conflictivas
1	Autopista General Rumiñahui “Colegio Farina”
2	Avenida General Rumiñahui: tramo San Luis Shopping
3	Centro urbano en el sector denominado “El choclo”
4	Centro urbano en el sector del Centro Comercial River Mall
5	Centro urbano en el sector del Parque Turismo
6	Centro urbano en el sector Parque San Rafael
7	Avenida Mariana de Jesús: tramo cruce calle “La Concordia”
8	Avenida Mariana de Jesús: tramo cruce calle “Agustín Miranda”
9	Periferia urbana inmediata en el sector “El Colibrí”
10	Periferia urbana inmediata en el sector de la fábrica “Danec”

**Fuente:** (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial cantón Rumiñahui. Actualización 2020 -2025, pág. 245)

**Realizado por:** Guzmán, Mercy, 2023.

En el cantón Rumiñahui se ha evidenciado que la problemática en cuanto a la funcionalidad de los sistemas semafóricos y el bajo nivel del servicio de las intersecciones radica en la desactualización del diseño de los ciclos semafóricos, ya que se mantiene la sincronización realizada por la Policía Nacional, esto debido a que el municipio no ha realizado estudios de tránsito que les permita mejorar los tiempos de los semáforos acorde al volumen de tráfico vehicular y peatonal, condiciones de la infraestructura vial que actualmente tiene el cantón.

Por tal razón es necesario que se realice un estudio de optimización del tiempo de los ciclos semafóricos con la finalidad de mejorar la capacidad y el nivel de servicio de las intersecciones conflictivas antes mencionadas, para lograr que el tráfico se fluido y mitigar los efectos causados por la congestión vehicular y que los habitantes del cantón Rumiñahui puedan tener una movilidad eficiente y segura.

## 1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye la optimización de los ciclos semafóricos en la mejora de la capacidad y nivel de servicio de los puntos críticos de congestión vehicular en el cantón Rumiñahui?

### **1.3. Preguntas directrices o específicas de la investigación**

- ¿El diagnóstico del diseño actual de los ciclos semafóricos permitirá conocer el plan de fases y la distribución de los tiempos asignados en cada intersección semafórica?
- ¿La identificación de las demoras obtenidas de la realización del estudio de tráfico permitirá determinar capacidad y nivel de servicio que tiene cada intersección?
- ¿Proponer la optimización de los ciclos semafóricos mejorará la fluidez de la circulación vehicular, descongestionando los puntos críticos del cantón Rumiñahui?

### **1.4. Justificación de la investigación**

La planificación, regulación y control del tránsito vehicular y peatonal se ha convertido en un verdadero reto para las autoridades locales para lograr que las ciudades tengan una movilidad urbana eficiente, es así como el estudio de optimización de los ciclos semafóricos para mejorar la capacidad y nivel de servicio de los puntos críticos de congestión vehicular en el cantón Rumiñahui, se convertirá en una herramienta de apoyo para la gestión eficiente de los dispositivos de control de vehicular, para que fundamentados en el estudio de tránsito realizado se pueda consolidar el óptimo funcionamiento de los sistemas semafóricos.

La capacidad y el nivel de servicio de las intersecciones puede ser mejorado en base a la optimización en la distribución del tiempo de los ciclos semafóricos, que es de gran importancia para reducir la congestión vehicular y mejorar la movilidad. Para el desarrollo de esta investigación descriptiva, se empleará el método deductivo – inductivo y las respectivas técnicas e instrumentos de investigación con son: las fichas de observación, encuestas, entrevistas que servirá para recopilación de la información requerida para esta investigación.

Se desarrolla esta investigación porque se ha evidenciado que existe la necesidad de mejorar el diseño de los ciclos semafóricos acorde al volumen de flujo vehicular que actualmente tiene el cantón Rumiñahui, con el propósito de mitigar la congestión vehicular, mejorar la movilidad de la ciudadanía y dotar a las autoridades de la Dirección de Movilidad y Transporte del Municipio de Rumiñahui de una herramienta que les permita optimizar el funcionamiento de los sistemas semafóricos como un aporte inherente al ejercicio de sus competencias en materia de transporte, tránsito y seguridad vial.

La realización de esta investigación es factible a razón que se cuenta con la bibliografía, los recursos y el tiempo requerido; además se tiene el apoyo de las autoridades de la Dirección de Movilidad y Transporte del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Rumiñahui.

## **1.5. Objetivo general**

Optimizar los ciclos semafóricos para mejorar la capacidad y nivel de servicio de los puntos críticos de congestión vehicular en el cantón Rumiñahui, 2021.

## **1.6. Objetivos específicos**

- Diagnosticar el diseño actual de los ciclos semafóricos de los puntos críticos de congestión vehicular en el cantón Rumiñahui.
- Determinar la capacidad y nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas en función de las demoras.
- Proponer el diseño de ciclos semafóricos optimizados y validados mediante microsimulación para mejorar la circulación vehicular en el cantón Rumiñahui.

## **1.7. Hipótesis**

### ***1.7.1. Hipótesis general***

H0: La optimización de los ciclos semafóricos no mejorará la capacidad y nivel de servicio de los puntos críticos de congestión vehicular en el cantón Rumiñahui.

H1: La optimización de los ciclos semafóricos mejorará la capacidad y nivel de servicio de los puntos críticos de congestión vehicular en el cantón Rumiñahui.

### ***1.7.2. Hipótesis específicas***

1. El diseño de los ciclos semafóricos incide en la congestión vehicular.
2. La capacidad y nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas son determinadas en función de las demoras.
3. La optimización de los ciclos semafóricos reduce el congestionamiento por ende mejora la circulación vehicular los puntos críticos.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del problema

Para la realización de esta investigación se ha indagado de forma exhaustiva para conocer sobre la existencia de trabajos de investigación ya desarrollados referentes a este tema; se encontró estudios similares que a continuación se describe:

En la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú se desarrolló el trabajo de investigación “Optimización del ciclo semafórico en intersecciones congestionadas a nivel microscópico” elaborado por el tesista Guido Jeri Godoy en el año 2015, esta investigación propone un método para determinar el sistema de control óptimo para las intersecciones que tienen mayor congestión vehicular, para lo cual se utilizó técnicas de investigación operativa y se aplicó varios principios sistémicos para conseguir ciclos de tiempo que operen de manera coordinada y permitan la fluidez en la circulación vehicular.

Concluyendo con el resultado del análisis de la intersección estudiada se produjo los siguientes indicadores:

- Determinación de los correspondientes Niveles de Servicio; así como el control promedio de demora para cada aproximación y para toda la intersección.
- Relaciones volumen – capacidad para cada aproximación a la intersección.
- Indicadores de operación del sistema tales como vías e intersección.
- Así como, permite evaluar el desempeño de la programación semafórica. (Godoy, 2015, pág. 88)

El trabajo denominado “Determinación de ciclos semafóricos optimizados con Synchro 10.0 aplicados y evaluados en intersecciones de gran congestión vehicular con el software PTV Vissim 9.0” realizado por Gabriel Rivera y Luis Velásquez en el año (2019), tiene como finalidad implementar un sistema de semaforización inteligente para mejorar los niveles de servicio de las carreteras y reducir la congestión vehicular, mediante el uso de las técnicas de investigación se procedió a realizar el trabajo de campo para el levantamiento de la información, posteriormente se calibró y validó el modelo mediante el software Vissim 9.0. y Synchro 10.0, finalmente los autores concluyen que la optimización de los sistemas semafóricos mejora el nivel de servicio de las calles, reduce las demoras y la congestión vehicular (Rivera y Velásquez, 2019).

En el ámbito nacional en la Universidad de Cuenca los tesisistas Raul Alvarez y Juan Picón en el año (2021) desarrollaron el trabajo de investigación titulado “Generación de un modelo de optimización de ciclos semafóricos en intersecciones semaforizadas” cuyo objetivo es optimizar el tiempo de las demoras ocasionadas en las intersecciones semafóricas en base al cambio de las fases y ciclos semafóricos, para lo cual se utilizó la metodología de estimación rápida de intersecciones semaforizadas establecidas en el libro Highway Capacity Manual HCM 2010 y el lenguaje de programación Visual Basic, que permitió analizar 16 intersecciones de la ciudad de Cuenca, como resultado se obtuvo que: 6 intersecciones optimizaron su nivel de servicio y en las otras 10 intersecciones se logró reducir el tiempo de demora, de lo anterior expuesto los autores concluyeron que el modelo de optimización semafórica es válido y aplicable para el análisis de las intersecciones semaforizadas ya que permite determinar un nuevo plan de fases semafóricas con el propósito de reducir los tiempos de demora en la circulación vehicular (Alvarez & Picón, 2021).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Congestión vehicular**

El término congestión vehicular se refiere a “el impedimento que los vehículos imponen unos sobre otros, debido a la relación velocidad – flujo, en condiciones donde el uso del sistema de transporte se aproxima a su límite de capacidad” (Goodwin, 2004; citado en Banco Interamericano de Desarrollo BID, 2021).

Con el transcurso de los años la demanda de vehículos principalmente de uso particular se ha incrementado de manera significativa en varios países del mundo, modificando de esta forma los patrones de movilidad puesto que, en la actualidad las personas prefieren movilizarse en vehículos propios por las facilidades y beneficios que éstos brindan como la comodidad, estatus social y aparente seguridad y rapidez en los viajes.

El incremento del poder adquisitivo de las personas, facilidad de acceso a créditos económicos, servicio de transporte público deficiente e inseguro sumado a la escasa o nula planificación del tránsito y transporte en las urbes son aspectos que se encuentran estrechamente relacionados con el índice de crecimiento del parque automotor, sumado a la preferencia de las personas en utilizar vehículos particulares para su movilización individual, ocasiona que exista un desequilibrio entre la demanda de automóviles y la oferta de capacidad de la red viaria.

De acuerdo a la Comisión Económica para América Latina CEPAL, la utilización desmesurada del automóvil es la causa principal del atascamiento vehicular, reflejada en la reducción de la

velocidad de circulación, incremento de los tiempos de viaje, mayor consumo de combustibles fósiles entre otros aspectos (Bull, 2003).

En Ecuador el índice anual de crecimiento promedio del parque automotor es 5,6%, en el período comprendido entre los años 2012 y 2021 se registra un incremento de 977.695 vehículos, considerando que se matricularon 2.5 millones de vehículos en el 2021 dando una relación que en el país existen 143 vehículos por cada mil habitantes, siendo Guayas y Pichincha las provincias con mayor circulación vehicular (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, 2021).

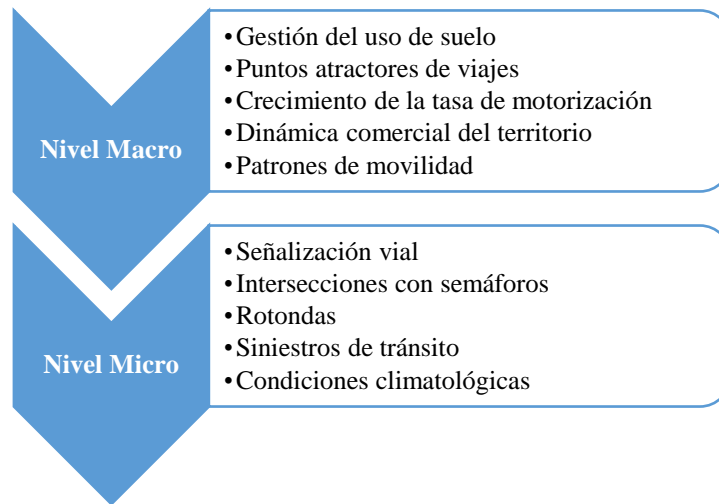
Según Calatayud, et al., (2021) desde el enfoque de la ingeniería de transporte la congestión vehicular se ha desencadenado en un grave problema que año con año conlleva a la generación de grandes pérdidas para la sociedad en los aspectos:

- **Económicos:** a través de los costos directos que es la pérdida de tiempo en los viajes debido a las demoras en la circulación vehicular mientras que, los costos indirectos se refieren al decrecimiento de las actividades productivas de las ciudades, a más de la relación entre la congestión y los siniestros de tránsito.
- **Sociales:** la calidad de vida de las personas se ve seriamente afectada, con impactos negativos en la salud por el estrés y la ansiedad que genera estar atrapado en los embotellamientos esto sumado a la contaminación sonora.
- **Medioambientales:** la emisión del dióxido de carbono CO<sub>2</sub> producida por los vehículos automotores es una de las causas principales del fenómeno efecto invernadero que incide nocivamente en el medio ambiente.

#### *2.2.1.1. Factores determinantes de la congestión vehicular*

La OECD Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (2007), clasifica a los factores determinantes de congestión vehicular a nivel macro y micro:





**Figura 1-2:** Factores determinantes de la congestión vehicular  
Fuente: Calatayud, et al. (2021)

Los principales factores de la congestión a nivel micro se encuentran directamente relacionados con la circulación en una intersección o tramo vial, mientras que el nivel macro se refiere a “aspectos estructurales ajenos al sector transporte, aspectos infraestructurales, operativos e institucionales, que redundan en detrimento de la provisión del transporte colectivo de calidad e incentivan el uso del vehículo particular” Calatayud, et al., (2021).

#### 2.2.1.2. Estrategias públicas para reducir la problemática de congestión vehicular

El Banco Interamericano de Desarrollo BID en su publicación (Congestión Urbana en América Latina y el Caribe: características, costos, mitigación) establece políticas públicas utilizadas internacionalmente como medidas para mitigar la problemática de congestión vehicular, a través de la aplicación de estrategias públicas, las mismas que se encuentran agrupadas en 5 macro políticas que a su vez cada una de ellas abarca varias acciones, todas enfocadas en buscar la reducción de la congestión y lograr una movilidad eficiente donde la prioridad sea el peatón y no vehículo.

**Tabla 1-2:** Políticas para mitigar la congestión vehicular

<b>Políticas</b>	<b>Acciones</b>
<b>Gestión del Tráfico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Provisión de infraestructura vial adecuada</li> <li>- Pacificación de tráfico y control de acceso a vías</li> <li>- Carriles de alta ocupación</li> <li>- Ciclos semafóricos optimizados y adaptativos</li> <li>- Monitoreo del tráfico en tiempo real</li> <li>- Vigilancia del cumplimiento de las normas de tránsito</li> <li>- Reducción de la demanda de viajes</li> </ul>
<b>Restricción en la utilización del vehículo particular</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Restricción a la circulación</li> <li>- Limitación de estacionamientos en la vía pública</li> <li>- Impuesto al automóvil</li> <li>- Cobro por estacionamiento en la vía pública</li> <li>- Tarifación vial</li> </ul>
<b>Promoción del transporte público, activo y compartido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calidad y disponibilidad del transporte público</li> <li>- Infraestructura para bicicleta y peatones</li> <li>- Transporte escolar e institucional</li> <li>- Sistemas de vehículos compartidos</li> <li>- Oferta de transporte para personas con discapacidad</li> </ul>
<b>Integración de la movilidad y el uso del suelo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollo orientado al transporte (DOT)</li> <li>- Plan maestro de movilidad urbana</li> </ul>
<b>Gestión logística urbana</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entrega de mercancías fuera de las horas punta</li> <li>- Asignación de áreas especiales para carga y descarga</li> <li>- Cobro por congestión y/o estacionamiento</li> </ul>

Fuente: Calatayud, et al. (2021)

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

La adecuada gestión del tráfico que busca mejorar las condiciones de la circulación peatonal y vehicular, disuadir a la población sobre el uso del vehículo privado aplicando restricciones como el pico y placa, tasas e impuestos por el uso de estacionamientos y vía pública, promoción y mejora de la prestación del sistema de transporte público y compartido, integración de la movilidad y uso del suelo mediante la planificación conjunta del crecimiento de las urbes y los sistemas de transporte en concordancia con los planes de movilidad urbanos sostenibles PMUS y la gestión de la logística urbana en lo referente a la movilización de las mercancías son las políticas que buscan ser replicadas en las ciudades Latinoamérica Calatayud, et al., (2021).

### **2.2.2. Flujo vehicular**

El flujo vehicular se refiere al número de vehículos que atraviesan por un determinado punto en un cierto periodo de tiempo, tiene relación directa con tres parámetros que son: flujo, velocidad y densidad, que permiten conocer el nivel de eficiencia en la circulación que ofrece la infraestructura vial.

- **Flujo (q):** “también se suele referir como volumen. Es la cantidad  $N$ , de vehículos que pasan por el punto durante el periodo  $T$ , usualmente, se expresa en vehículos por hora (veh/h), lo que no implica necesariamente medir durante una hora” (Fernandez, 2011, pág. 21). **Ecuación**

$$2-1: \text{Flujo: } q = \frac{N}{T}$$

**Flujo de la hora de máxima demanda – hora pico (PHF):** se refiere a la relación entre el volumen horario de máxima demanda y la tasa de flujo máxima calculada para una hora.

$$\text{Ecuación 2-2: Flujo hora pico: } PHF = \frac{\text{Volumen máximo hora}}{\text{Tasa de flujo máximo}}$$

- **Velocidad (v):** “se define como la relación entre el espacio recorrido  $d$  y el tiempo que se tarda en recorrerlo  $T$ . Es decir, para un vehículo representa su relación de movimiento expresada en kilómetros por hora (km/h)” (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018, pág. 257). **Ecuación 2-3:**

$$\text{Velocidad: } v = \frac{d}{T}$$

- **Densidad (k):** “es la cantidad de vehículos  $N$ , presentes en un tramo de la vía  $d$ . Empíricamente, se puede constatar que, cuantos más vehículos se encuentran en un tramo, menor es la velocidad a la cual circulan” (Fernandez, 2011, pág. 21). Se expresa en vehículos por kilómetro (veh/km). **Ecuación 2-4: Densidad:**  $k = \frac{N}{d}$

#### 2.2.2.1. Tipos de Flujo vehicular

El Highway Capacity Manual (2010) indica que existen dos tipos de flujo de circulación vehicular:

1. **Flujo vehicular continuo:** su característica es la fluidez en la circulación pues no existe detenciones obligadas por la presencia de dispositivos de control de tránsito en el sistema vial (Fernandez, 2011).
2. **Flujo vehicular discontinuo:** presenta detenciones en la circulación vehicular, a razón de la presencia de dispositivos de control provocando que los vehículos paren o se disminuya la velocidad de marcha.

#### 2.2.3. Intersecciones Semaforizadas

Una intersección semaforizada se refiere aquel punto donde confluyen dos o más vías, la misma que está dotada de un sistema de señalización luminosa denominados semáforos cuya principal función es regular y controlar el tránsito precautelando la seguridad vial a través de la separación

del volumen de flujo vehicular y peatonal en tiempo y espacio de acuerdo a la recorrido del viaje (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012) .

### 2.2.3.1. Requisitos para instalar semáforos en una intersección

Para la instalación de un sistema semafórico en una intersección se deben cumplir ciertas condiciones establecidas en el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN – Señalización Vial, que continuación se describe:

1. Volúmenes de flujo vehicular
2. Volúmenes de flujo vehicular para acceso a vías principales
3. Volúmenes peatonales
4. Cruces peatonales escolares
5. Conservación de progresión
6. Frecuencia de accidentes
7. Sistemas
8. Combinación de requisitos

1. **Volumen de flujo vehicular:** se considera este requerimiento cuando el motivo para la instalación de semáforos sea por el flujo vehicular, mismo que debe ser cuantificado mediante estudios de tránsito, donde se deberá obtener el volumen mínimo de circulación vehicular.

**Tabla 2-2:** Volúmenes de flujo vehicular mínimos

Nº. de carriles en cada acceso		Vehículos por hora en la vía mayor (volumen en ambas direcciones)	Vehículos por hora acceso de mayor volumen de la vía menor ( una sola dirección)
Vía mayor	Vía menor		
1	1	500	150
2 o más	1	600	150
2 o más	2 o más	600	200
1	2 o más	500	200

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012, pág. 9)

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023.

Para los semáforos cuyo sistema de operación es actuado por los vehículos, el aforo se debe realizar durante 4 horas mientras que, para los de tiempo fijo será 8 horas; para ambos casos el estudio se realizará en un día laborable.

2. **Acceso a vías principales:** “este requisito se aplica cuando el volumen de tránsito en la vía mayor es tal, que el tránsito de la vía menor sufre demoras innecesarias o riesgos al entrar o

cruzar la vía mayor” (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012, pág. 9). En la **Tabla 3-2** se especifica el volumen mínimo de circulación vehicular para acceso a vías principales.

**Tabla 3-2:** Volúmenes de flujo vehicular mínimos para acceso a vías principales

Nº. de carriles en cada acceso		Vehículos por hora en la vía mayor (volumen en ambas direcciones)	Vehículos por hora acceso de mayor volumen de la vía menor ( una sola dirección)
Vía mayor	Vía menor		
1	1	750	75
2 o más	1	900	75
2 o más	2 o más	750	100
1	2 o más	750	100

**Fuente:** (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012, pág. 9)

**Realizado por:** Guzmán, Mercy, 2023

- 3. Volúmenes peatonales:** considerar: el cruce de flujo peatonal de 150 o más peatones/hora en una vía mayor de 600 o más veh/h; si la velocidad de circulación segura de la vía mayor excede los 55 km/h; en intersecciones aisladas los semáforos peatonales deben ser actuados por los peatones siendo necesario la prohibición de estacionamiento vehicular después del cruce peatonal (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012).
- 4. Cruces peatonales escolares:** para los cruces peatonales de las instituciones educativas, el aforo se realiza cada 2 horas de un día laborable donde se requiere que el volumen vehicular de la vía mayor supere los 600 veh/h y el volumen peatonal sobrepase los 50 peatones.
- 5. Conservación de progresión:** bajo la premisa de agrupar la circulación vehicular y controlar la velocidad, es necesario proveer de semáforos a la intersección siempre y cuando: las intersecciones con semáforos se encuentren muy alejadas en una vía unidireccional y se pueda crear un sistema progresivo de circulación vehicular con una intersección adyacente en una vía bidireccional (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012).
- 6. Frecuencia de accidentes:** para la aplicación de este requisito es necesario que se haya suscitado 5 o más accidentes en un periodo consecutivo de un año, 3 o más accidentes cada año durante 3 años seguidos, volumen de flujo vehicular y peatonal no menor al 80% de los volúmenes mínimos antes descritos (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012).
- 7. Sistemas:** “se aplica cuando la intersección con de dos o más rutas principales tenga un volumen actual o proyectada de por lo menos 800 vehículos durante la hora de máxima demanda de un día laborable preferentemente de martes a jueves” (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012).
- 8. Combinación de requisitos:** excepcionalmente “se puede justificar la instalación de semáforos, aunque no se satisfaga ninguno de los requisitos mencionados, siempre y cuando 2 o más requisitos 1, 2 y 3 se cumpla en un mínimo equivalente al 80% de lo establecido” (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012).

### 2.2.3.2. Tipos de semáforos

Los semáforos se clasifican en dos tipos: semáforos vehiculares y semáforos peatonales.

- **Semáforos vehiculares:**

*De forma estándar están compuestos por tres módulos que conforman una unidad (semáforo), tienen tres colores de luces circulares, instalados verticalmente en el siguiente orden descendente: rojo, amarillo o ámbar y verde. De requerirse virajes se pueden acoplar hasta tres módulos hasta obtenerse un máximo de 6 módulos, mismos que pueden ser acoples unitarios (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012, pág. 12).*

- **Semáforos peatonales:**

*Se utilizan con el propósito de controlar con seguridad los cruces de peatones a través de una calzada, pueden ser de uno o dos cuerpos, deben ser ubicados verticalmente con la figura en color verde en la parte inferior y en la superior la figura de color rojo; los de un solo cuerpo deberán tener las dos luces verde y rojo, estos semáforos pueden ser de imágenes dinámicas o fijas (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012, pág. 13).*

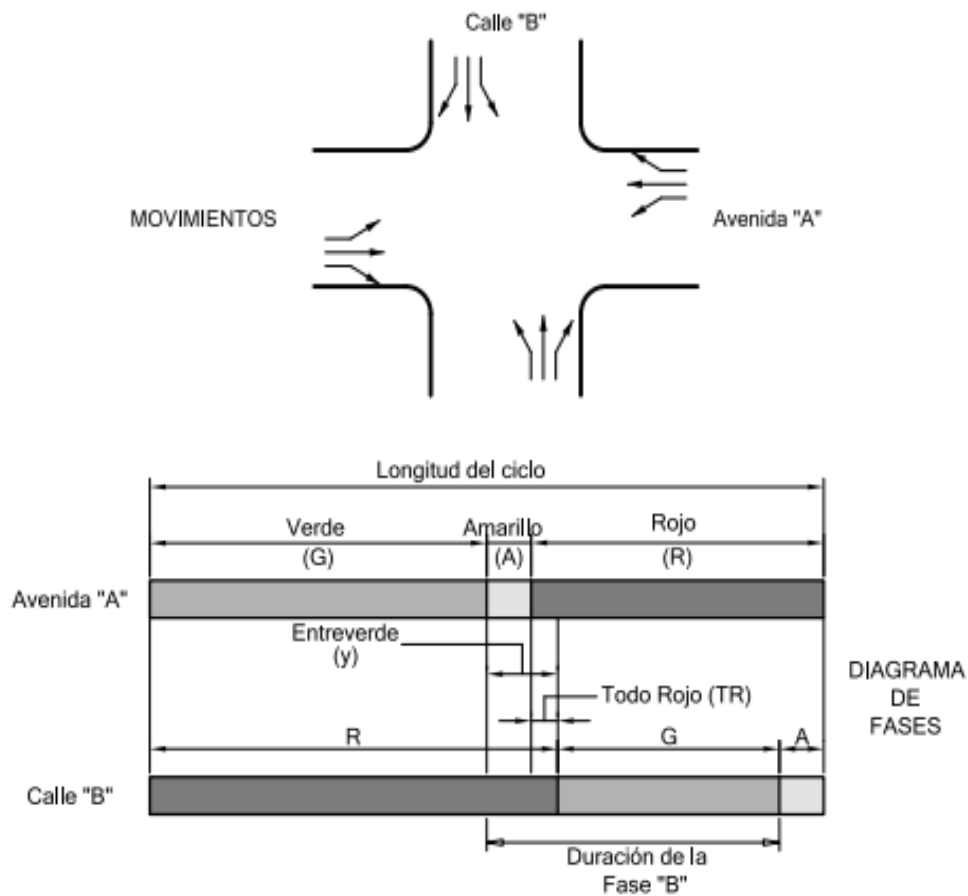
### 2.2.3.3. Clasificación de los semáforos por su sistema de operación

De acuerdo a (Godoy, 2015) los principales sistemas de controladores semafóricos son:

1. **De tiempo fijo:** es el sistema semafórico más conocido y utilizado a nivel mundial que consiste en programar tiempos fijos de verde, ámbar y rojo en el semáforo, previo a un análisis del flujo vehicular existente en la intersección.
2. **Dinámicos:** opera mediante la utilización de sensores, que detectan el paso de los vehículos, para dar la señal de verde únicamente para los carriles que tienen carga vehicular.
3. **Coordinados:** o sincronizados cuyo sistema más conocido es la denominada OLA VERDE que básicamente funciona sincronizando los semáforos de tal manera que el flujo vehicular siempre encuentre la luz verde y tenga circulación continua sin demoras.
4. **Actuados / Semiactuados:** a través de la aplicación de sensores vehiculares se coordina el funcionamiento de los semáforos en relación de a mayor volumen vehicular mayor tiempo de luz verde.
5. **Adaptativo:** utiliza sensores que busca evitar las demoras, adaptando el diseño del ciclo semafórico en base a la cantidad de vehículos, hora y demás requerimientos de ese momento utilizando métodos heurísticos más complejos que los sistemas de control actuados (Godoy, 2015).

#### 2.2.3.4. Cálculo del tiempo de los semáforos

En una intersección con semáforos, movimiento es el recorrido o trayectoria que sigue el flujo vehicular, la agrupación de los movimientos compatibles se conoce como fase que “es el parámetro que usa el control para compartir el tiempo obtenible entre los varios movimientos” (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012, pág. 87). La longitud del ciclo y de la fase está directamente relacionada con la demanda del volumen de flujo vehicular de cada uno de los accesos de la intersección donde se busca obtener un mínimo de demoras, generalmente a las fases se les identifica utilizando las letras mayúsculas del abecedario.



**Figura 2-2:** Movimientos y diagrama de fases de una intersección semaforizada

Fuente: (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018, pág. 509)

Según los autores Cal y Mayor & Cárdenas: la fase comienza con el amarillo que detiene los a los movimientos que pierden el derecho de paso y termina con el final del verde de los que lo ganan, por lo tanto, una fase consta de un intervalo amarillo, todo un rojo y un verde (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018, pág. 508).

Para determinar el tiempo de los semáforos, se debe tomar en consideración algunos parámetros que a continuación se describen:

a) **Intervalo de cambio de fase:** “su función principal es alertar a los usuarios de un cambio en la asignación del derecho al uso de la intersección” (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018, pág. 510). Para su cálculo se utiliza la expresión: Intervalo de cambio de fase = Amarillo + Todo Rojo.

**Ecuación 2-5:** Intervalo de cambio de fase  $y = \left( t + \frac{v}{2a} \right) + \left( \frac{w+W+L}{v} \right)$

Dónde:

y= Intervalo de cambio de fase = Amarillo + Todo Rojo (seg).

t= tiempo de reacción del conductor (1.00 seg).

V= velocidad de llegada de los vehículos (m/s).

a= factor de desaceleración (3.05 m/s<sup>2</sup>).

w= ancho del cruce de peatones

W= distancia de la intersección a cruzar (m).

L= longitud del vehículo (valor típico 6.10 m)

b) **Longitud del ciclo:** para determinar la longitud del ciclo optimo se utiliza la ecuación terminada por Webster:

**Ecuación 2-6:** Ciclo óptimo  $C_o = \frac{1.5L+5}{1-\sum_{i=1}^{\phi} Y_i}$

Dónde:

C<sub>o</sub>= tiempo del ciclo optimo (seg)

L= tiempo total perdido por ciclo (seg)

y<sub>i</sub>= valor máximo de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación

φ= número de fases

“El intervalo de valores aceptables para la longitud de un ciclo determinado, está entre el 75% y el 150% del ciclo optimo, para el cual las demoras nunca serán mayores en del 10% al 20% de la demora mínima” (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018, pág. 512).

c) **Cálculo del tiempo de verde:** Webster determino la siguiente ecuación, se considera el tiempo de ámbar de 3 segundos y 1 segundo para todo el rojo.



**Ecuación 2-7:** Tiempo de verde efectivo  $g_i = (C_o - L) \frac{Y_i}{Y}$

Donde:

$g_i$ = tiempo de verde efectivo

$C_o$ = tiempo del ciclo optimo (seg)

$L$ = tiempo total

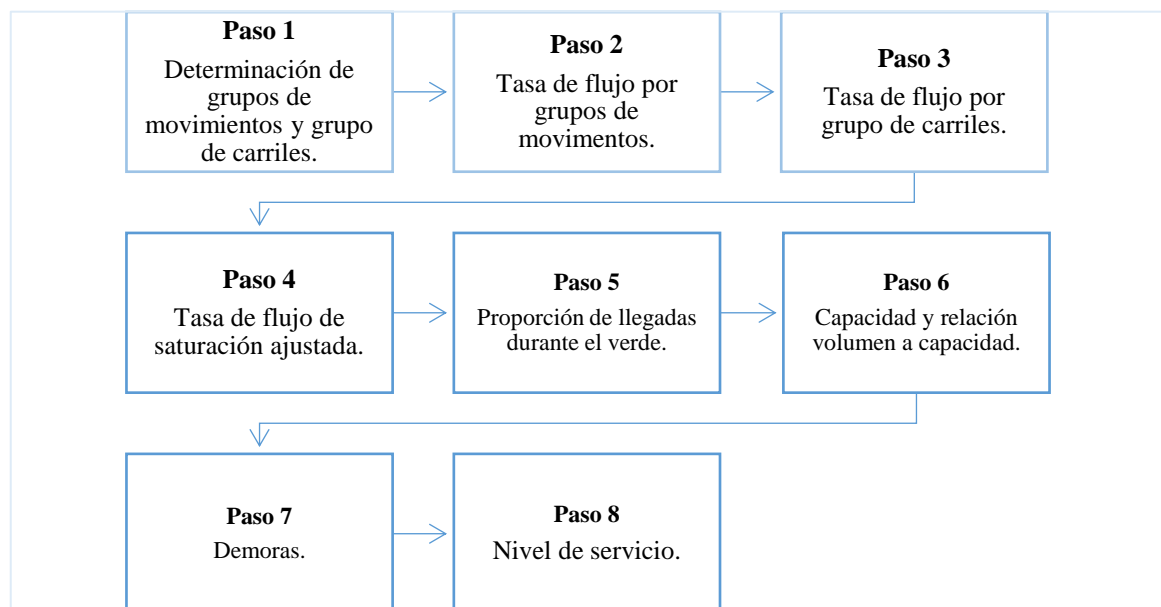
$y_i$ = valor máximo de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación de la fase

$Y$ = valor de flujo de saturación de la intersección

#### 2.2.4. Metodología Highway Capacity Manual HCM 2010 para el análisis operacional de las intersecciones semaforizadas

El análisis operacional de las intersecciones semaforizadas se realizará utilizando la metodología establecida en él (HCM 2010 Highway Capacity Manual), donde se tomará en consideración la geometría, flujo vehicular y dispositivos de control semafórico, características que permitirá determinar el nivel de servicio que ofrece la intersección. Es importante indicar que las fórmulas que se va a mencionar y utilizar posteriormente son tomadas del HCM 2010, metodología pertinente a las intersecciones con semáforo de ciclo prefijado o tiempo fijo.

La secuencia metodológica del HCM 2010 para determinar el nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas se visualiza en la siguiente figura:



**Figura 3-2:** Esquema de la metodología HCM 2010 para intersecciones semaforizadas

Fuente: (TRB Transportation Research Board, 2020)

#### *2.2.4.1. Paso 1: Determinación de grupos de movimientos y grupo de carriles.*

Los movimientos se refieren a “las trayectorias permitidas en una intersección semaforizada para un vehículo o peatón y se agrupan en forma numérica a partir del norte en el sentido de las manecillas del reloj” (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012); mientras que los carriles se definen como una sección delimitada de la vía para uso vehicular o peatonal en una sola hilera.

Para la determinación de los grupos de movimientos (MG) se deben tomar en consideración las siguientes recomendaciones:

- ✓ Los giros (izquierda o derecha) de uno o más carriles exclusivos (no compartidos) serán considerarse como un grupo de movimientos.
- ✓ Todos los carriles compartidos tomando en cuenta la regla anterior deben ser combinados en un grupo de movimiento (Lima, 2020).

A continuación, se mencionan las recomendaciones utilizadas para la determinación de grupos de carriles (LG):

- ✓ Los movimientos de giro exclusivo a la izquierda deben agruparse por separado. Esta misma regla se aplica a los giros exclusivos a la derecha.
- ✓ Cualquier carril compartido debe designarse como grupo de carril separado.
- ✓ Todos los carriles que no sean carriles de giro exclusivos o compartidos deben ser combinados en un grupo de carril (Lima, 2020).

**Tabla 4-2:** Grupos de movimientos y carriles

Número de Carriles	Movimientos por Carril	Grupos de Movimientos (MG)	Grupos de Carril (LG)
1	Izquierda, Directo y Derecha: 	MG 1: 	LG 1: 
2	Exclusivo Izquierdo: Directo y Derecha: 	MG 1: MG 2: 	LG 1: LG 2: 
2	Izquierda y Directo: Directo y Derecha: 	MG 1: 	LG 1: LG 2: 
3	Exclusivo Izquierda: Exclusivo Izquierda: Directo: Directo: Directo y Derecha: 	MG 1: MG 2: 	LG 1: LG 2: LG 3: 

**Fuente:** (TRB Transportation Research Board, 2010, pág. 34)

**Realizado por:** Guzmán, Mercy, 2023

#### 2.2.4.2. Paso 2: Determinación de la tasa de flujo por grupos de movimiento

La tasa de flujo de cada uno de los grupos de movimientos de la intersección se determina de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- Si el giro (izquierdo o derecho) procede únicamente de carriles exclusivos y no compartidos, a esta tasa de flujo se designará a un grupo de movimiento.
- El flujo que aún no ha sido considerado, se debe incluir a otros grupos de movimientos.
- El flujo por giros a la derecha en rojo es el resultado de la resta de los giros a la derecha, sin tomar en consideración si el giro proviene desde un carril compartido o exclusivo. (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018)

#### 2.2.4.3. Paso 3: Determinación de la tasa de flujo por grupos de carriles.

Para la determinación de la tasa de flujo por grupos de carriles, se considera que, si la intersección tiene únicamente un carril y no hay accesos de carriles compartidos, existe una relación uno a

uno, por lo tanto, la tasa de flujo de grupo de carriles y la tasa de flujo por grupo de movimientos son iguales.

**Ecuación 2-8:** Factor horario de máxima demanda  $FHMD = \frac{VHMD}{4V_{máx\ 15}}$

Dónde:

VHMD = volumen horario de máxima demanda (veh/h)

$V_{máx\ 15}$  = volumen máximo en un periodo de 15 minutos dentro de la hora de máxima demanda de flujo vehicular.

Según Cal y Mayor & Cárdenas, (2018), indica que los volúmenes horario de máxima demanda se debe transformar a un flujo de 15 minutos.

**Ecuación 2-9:** Tasa de flujo 15 min  $Vp = \frac{VHMD}{FHMD}$

Dónde:

VHMD = volumen horario de máxima demanda (veh/h)

FHMD = factor horario de máxima demanda

*2.2.4.4. Paso 4: Determinación de la tasa de flujo de saturación ajustada.*

La tasa de flujo de saturación se refiere a “ la tasa máxima de flujo, en un acceso o grupo de carriles, que pasan por la intersección bajo las condiciones prevaecientes del tránsito y la calle, suponiendo que dicho acceso tiene el 100% del tiempo disponible como verde efectivo” (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018, pág. 464).

El flujo de saturación puede ser obtenido de forma directa mediante un trabajo de campo o a su vez de forma indirecta aplicando la metodología HCM 2010, que utiliza una serie de factores de ajuste sobre un flujo de saturación base  $S_0$  que es 1.900 veh/H/carril para localidades con más de 250.000 habitantes y 1.750 veh/H/carril para urbes con menor número de habitantes. La ecuación para obtener el flujo de saturación del grupo de carriles es:

**Ecuación 2-10:** Tasa de flujo  $S = S_0 * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_L * f_R * f_{Lpb} * f_{Rpb}$

Dónde:

S= tasa de flujo de saturación ajustada del grupo de carriles (veh/hora - verde)

$S_0$  = tasa de flujo de saturación base (1.750 veh/h verde/ carril)

N= número de carriles del grupo

$f_w$ = factor de ajuste por ancho de carril

$f_{HV}$ = factor de ajuste por vehículos pesados

$f_g$ = factor de ajuste por pendiente

$f_p$ = factor de ajuste por maniobras de estacionamientos

$f_{bb}$ = factor de ajuste por bloqueo de buses que se detienen en la intersección.

$f_a$ = factor de ajuste por tipo de área

$f_{LU}$ = factor de ajuste por utilización del carril

$f_L$ = factor de ajuste por giros izquierdos

$f_R$ = factor de ajuste por giros derechos

$f_{Lpb}$ = factor de ajuste en el giro a la izquierda por peatones

$f_{Rpb}$ = factor de ajuste en el giro a la derecha por peatones y ciclistas

En la siguiente tabla se describe cada uno de los factores de ajuste utilizados para determinar la tasa de flujo de saturación:

**Tabla 5-2:** Factores de ajuste para determinar el flujo de saturación

Factor	Fórmula	Variables	Observación
Ancho de carril ( $f_w$ )		W= ancho de carril	Ancho prom carril Factor de ajuste >3 m $f_w=0,96$ $\geq 3 \text{ m} - 3,93 \text{ m}$ $f_w=1,00$ ; >3,93 m $f_w=1,04$
Ajuste por vehículos pesados ( $f_{HV}$ )	$f_{HV} = \frac{\frac{\sum Veh \text{ p por senti}}{\text{total de veh por sen}} * 100\%}{100 + P_{HV}(E_T - 1)}$	$P_{HV}$ =% de veh pesados $E_T$ = Núm. equivalente de veh directos a un veh pesado = 2	Se considera los camiones de carga y buses excluyendo a los buses que se detienen para tomar o dejar pasajeros.
Ajuste por pendiente ( $f_g$ )	$f_g = 1 - \frac{P_g}{200}$	$P_g$ =% de pendiente de acceso del grupo de movimiento.	Rango de aplicación del factor es en pendientes es -6.0% a +10.0%. Pendiente descendente es negativa y pendiente ascendente es positiva.
Ajuste por maniobras de estacionamientos ( $f_p$ )	$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N} \geq 0,050$	$N_m$ =número de maniobras de estacionamiento (maniobras/h) $N$ = número de carriles grupo	El factor de ajuste es igual a 1.0 si no existe estacionamientos. $0 \leq N \leq 180$ maniobras de estacionamientos/hora
Ajuste por bloqueo de buses ( $f_{bb}$ )	$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4 N_b}{3600}}{N} \geq 0,050$	$N$ = número de carriles grupo $N_b$ =número de buses que paran (buses/h)	$f_{bb}$ = 1.0 si no existe bloqueo de buses. $0 \leq N \leq 250$ buses/hora
Ajuste por tipo de área ( $f_a$ )			$f_a$ = 0.90 áreas centrales $f_a$ = 1.0 resto de zonas
Ajuste por utilización del carril ( $f_{LU}$ )	$f_{LU} = \frac{V}{V_1(N)}$	$V$ = volumen de demanda del grupo de carriles (veh/h) $V_1$ = volumen de demanda del carril con el volumen más alto del grupo de carriles (veh/h) $N$ = número de carriles grupo	$f_{LU}$ = 1.0 grupos con carril exclusivo $f_{LU}$ = 1.0 grupos con carril compartido
Ajuste por giros izquierdos ( $f_L$ )	Carriles compartidos: $f_L = \frac{1}{1,0 + 0,05P_L}$	$P_L$ = proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles	$f_L$ = 0,95 para carriles exclusivos
Ajuste por giros derechos ( $f_R$ )	Carriles compartidos: $f_R = 1,0 - 0,15P_R$	$P_R$ = proporción de vueltas a la derecha en el grupo de carriles	$f_R$ = 0,85 para carriles exclusivos
Ajuste en el giro a la izquierda por peatones ( $f_{Lpb}$ )	$A_{pbT} = 1 - OCC_Y$	$A_{pbT}$ = tiempo en que la zona de conflicto se encuentra desocupada $OCC_Y$ = ocupación de peatones y ciclistas en la zona de conflicto.	$f_{Lpb}$ =1.0 Si no hay peatones en conflicto $f_{Lpb}$ =1.0 calle en 2 sentidos con giro protegido a la izquierda o división de fases en el semáforo $A_{pbT}$ = calle en 2 sentidos con giro permitido $f_{pbT}$ = calle de un solo sentido
Ajuste en el giro a la derecha por peatones y ciclistas ( $f_{Rpb}$ )	Si se usa giro permitido – protegido $A_{pbT} = 1 - 0,6 OCC_Y$	$A_{pbT}$ = tiempo en que la zona de conflicto se encuentra desocupada $OCC_Y$ = ocupación de peatones y ciclistas en la zona de conflicto.	$f_{Rpb}$ =1.0 Si no hay peatones o ciclistas en conflicto – si se usa el giro protegido a la derecha

Fuente: (TRB Transportation Research Board, 2010)

#### 2.2.4.5. Paso 5: Proporción de llegadas durante el verde

Para el cálculo de la proporción de llegadas de vehículos durante el tiempo de verde se utiliza la siguiente expresión: **Ecuación 2-11:** Proporción de vehículos que llega en verde  $P = R_p * \frac{g}{c}$

Dónde:

P= número de vehículos que llegan durante el tiempo de verde

$R_p$  = relación con el grupo de arribo

g= duración del tiempo de verde efectivo

c= duración del ciclo semafórico

Los arribos de los vehículos a las intersecciones se clasifican en 6 tipos:

- **Arribo tipo 1:** >80% flujo vehicular intenso que arriba al iniciar el tiempo de rojo,  
 $R_p = 0.3$
- **Arribo tipo 2:** 40 – 80% flujo vehicular de media intensidad que arriba durante la mitad del tiempo de rojo,  $R_p = 0.67$ .
- **Arribo tipo 3:** flujo vehicular con arribos aleatorios, para intersecciones aisladas,  
 $R_p = 1.00$ .
- **Arribo tipo 4:** 40-80% flujo vehicular de media intensidad que arriba durante la mitad del tiempo de verde,  $R_p = 1.33$ .
- **Arribo tipo 5:** >80% flujo vehicular intenso que arriba al iniciar el tiempo de verde,  
 $R_p = 1.67$
- **Arribo tipo 6:** flujo vehicular intenso que arriban entre intersecciones cercanas,  
 $R_p = 2.00$

#### 2.2.4.6. Paso 6: Determinación de la capacidad y la relación volumen a capacidad

- **Capacidad:** “se define como la tasa de flujo máxima que puede pasar a través de la intersección bajo condiciones prevalecientes del tránsito, de la calle y del semáforo” (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018, pág. 469). La capacidad se calcula con la siguiente expresión:

**Ecuación 2-12:** Capacidad  $C = s * \left(\frac{g}{c}\right)$

Dónde:

C= capacidad (veh/h)

S= tasa de flujo de saturación ajustado (veh/h/ver)

$g$  = tiempo de verde efectivo (seg. verde)

$c$  = longitud ciclo semafórico (seg.)

$(g/C)$  = relación del tiempo de verde a ciclo semafórico

- *Relación volumen a capacidad*: mejor conocido como grado de saturación ( $X$ ), para analizar una intersección (tanto su geometría y ciclo semafórico) se aplica el término de grado de saturación crítico ( $X_c$ ) y se calcula utilizando la siguiente expresión:

**Ecuación 2-13:** Grado de saturación para toda la intersección 
$$X_c = \left( \frac{c}{c-L} \right) \left[ \sum \left( \frac{V}{S} \right)_c \right]$$

Dónde:

$X_c$  = grado de saturación crítica

$C$  = longitud del ciclo semafórico (seg.)

$L$  = tiempo total perdido por ciclo (seg.) # de fases por el tiempo de ámba

$c$  = longitud ciclo semafórico (seg.)

$(V/S)_c$  = relación de flujo

#### 2.2.4.7. Paso 7: Cálculo de las demoras

Las demoras se refieren al tiempo perdido de los vehículos que arriban durante el periodo de estudio de la intersección. Para el cálculo se utiliza la siguiente expresión:

**Ecuación 2-14:** Demora 
$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3$$

Dónde:

$d$  = demora media

$d_1$  = demora uniforme (seg/veh)

$PF$  = ajuste por coordinación

$d_2$  = demora incremental (seg/veh)

$d_3$  = demora por cola inicial (seg/ve



**Tabla 6-2:** Factores para el cálculo de la demora

	<b>Fórmula</b>	<b>Variables</b>	<b>Observación</b>
Factor de ajuste por coordinación para $d_1$	$PF = \frac{(1 - P)f_{PA}}{1 - \left(\frac{g}{C}\right)}$	P= vehículos que llegan en verde g/C= proporción del tiempo de verde f <sub>PA</sub> = factor de ajuste suplementario	f <sub>PA</sub> = factor de ajuste suplementario para vehículos en verde es equivalente a 1 para los tipos de arribo 1, 2, 5 y 6; y 0.93 para el arribo tipo 2; y 1.15 para el arribo tipo 4.
Demora uniforme ( $d_1$ )	$d_1 = \frac{0.5C * \left(1 - \frac{g}{C}\right)^2}{1 - \left[\frac{MIN(1X)g}{C}\right]}$	C=longitud del ciclo semafórico (seg.) g= verde efectivo para el grupo (seg.) X= grado de saturación	Considerando que los arribos de vehículos sean uniformes, de flujo estable y sin fila inicial.
Demora incremental ( $d_2$ )	$d_2 = 900T \left[ (X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8klX}{cT}} \right]$	T= ciclo de análisis (1/4 h) k= factor según el tipo de controlador (0.5 para fijos) l= ajuste intersección corriente arriba (1.00 para intersecciones aisladas)	Considera arribos no uniformes, sobrecarga del ciclo.
Demora por cola inicial ( $d_3$ )	$d_3 = \frac{1800Q_b(1 + u)t}{cT}$	Q <sub>b</sub> = cola inicial al empezar el período T (veh) c= capacidad (veh/h) T= período de análisis (1/4h) t= demora insatisfecha (h) u= parámetro de demora	Q <sub>b</sub> = 0 y d <sub>3</sub> =0, cuando el período es no saturado y es sobrecargado sin cola inicial.
Demoras agregadas	Demora en cualquier acceso	A=número de grupo de carriles en el acceso A d <sub>A</sub> = demora en el acceso A (s/veh) d= demora en grupo de carriles i, en el acceso A (s/veh) v= volumen ajustado del grupo de carriles i (veh/h)	
	Demora en la intersección	I=número de accesos de la intersección I d <sub>i</sub> = demora en la intersección I (s/veh) d= demora en el acceso A (s/veh) v= volumen ajustado del acceso A (veh/h)	

Fuente: (TRB Transportation Research Board, 2010)

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

#### 2.2.4.8. Paso 8: Determinación del nivel de servicio para intersecciones semaforizadas

El nivel de servicio en las intersecciones semaforizadas es medida en términos de demoras en los tiempos de viaje percibidas por el conductor, los criterios de nivel de servicio establecidos en el Manual de Capacidad Vial HCM (2010) se describen a continuación:

**Tabla 7-2:** Niveles de servicio

Escala Nivel de servicio	Demoras (segundos/vehículos)
A	$\leq 10$
B	$> 10 - 20$
C	$> 20 - 35$
D	$> 35 - 55$
E	$> 55 - 80$
F	$> 80$

Fuente: (TRB Transportation Research Board, 2010)

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

- **Nivel de servicio A:** demora del vehículo menor o igual a 10 segundos, por lo general la mayoría de vehículos llegan en la luz verde, casi no paran y la duración del ciclo es corta.
- **Nivel de servicio B:** demora del vehículo mayor a 10 y menor o igual a 20 segundos, paran más vehículos que en el nivel de servicio A.
- **Nivel de servicio C:** demora del vehículo mayor a 20 y menor o igual a 35 segundos, existe un alto número de vehículos que paran.
- **Nivel de servicio D:** demora del vehículo mayor a 35 y menor o igual a 55 segundos, el atascamiento vehicular es evidente por lo que existe mayores retrasos, la duración del ciclo es larga.
- **Nivel de servicio E:** demora del vehículo mayor a 55 y menor o igual a 80 segundos, la duración del ciclo es muy larga, se produce congestión la percepción por parte de los conductores es mala y la circulación vehicular es muy lenta.
- **Nivel de servicio F:** demora del vehículo mayor a 80 segundos, este nivel es el bajo y deficiente debido a la sobresaturación de la vía, es notable que el flujo vehicular supera la capacidad de la vía.

#### 2.2.5. Modelamiento del tráfico vehicular

El modelamiento del tráfico vehicular tiene como propósito conocer y evaluar la situación actual de un proyecto y pronosticar cual va a ser su comportamiento a futuro, fundamentados en modelos matemáticos (Silvera, 2020). Existen tres tipos de modelos del tráfico vehicular a nivel detalle



**Figura 4-2:** Niveles de modelamiento del tráfico vehicular

Fuente: (PTV Group, 2015).

- 1. Modelo Microscópico:** representa a nivel detallado el escenario a recrear de la red vial, siendo capaz de simular el recorrido y comportamiento de los vehículos de forma individual. Se basa en la caracterización de los conductores, simulando el efecto que tienen sobre los usuarios las detenciones obligatorias en la vía como son los dispositivos de control de tránsito (Vectio, 2020). Considerando que este modelo se fundamenta en la teoría del seguimiento vehicular, su utilización no es recomendable para simular varias redes de intersecciones (Valladares, 2016).
- 2. Modelo Mesoscópico:** “La modelización mesoscópica suele crearse para apoyar los principales planes de desarrollo. Este tipo de modelización está diseñado para predecir el impacto de la desviación de los viajes por carretera en toda la zona y la elección de la ruta” (Vectio, 2020). Este modelo agrupa en pelotones al flujo vehicular, facilitando el análisis de intersecciones semaforizadas, pero no permite determinar a detalle el movimiento individual de los vehículos (Valladares, 2016).
- 3. Modelo Macroscópico:** “Simula el comportamiento del transporte público y privado en las redes de tránsito vehicular. Debido a su enfoque de análisis, utiliza valores promedio de velocidad, tiempo de viaje, flujo y densidad” (Valladares, 2016). Estos modelos abarcan áreas de estudio extensas y simulan el equilibrio de los desplazamientos (Vectio, 2020), toman en consideración la demanda de viajes y la oferta de infraestructura vial de la zona de análisis. “Estos modelamientos del flujo vehicular son la base de la simulación mesoscópica y microscópica” (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).

#### 2.2.5.9. Programas de simulación del tráfico vehicular

El gran número de variables que componen el fenómeno del flujo vehicular, dificulta la caracterización del tránsito provocando que se tomen decisiones de forma empírica, que en muchos casos están lejos de la realidad, los problemas que generan el tráfico deben ser analizados utilizando metodologías técnicas y científicas, así como la adaptación de modelos de optimización y simulación de tránsito a la realidad local, que permiten obtener alternativas de solución más realistas (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).

Con el avance tecnológico en la actualidad se ha desarrollado programas informáticos para la simulación del comportamiento del tráfico vehicular en las redes viales, así como también para predecir escenarios futuros, a continuación, se describe los principales softwares de simulación que utilizan la metodología HCM 2010:

- **SIDRA INTERSECTION:** Signalised and Unsignalised Intersection Design and Research Aid (Ayuda de investigación para el diseño y evaluación de intersecciones con y sin semáforos) este programa “permite el análisis de capacidad y niveles de servicio de intersecciones con semáforos, intersecciones de prioridad, rotondas, a demás; optimiza la programación de los tiempos de los semáforos considerando intersecciones de hasta ocho ramas con doble o un solo sentido (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).
- **SYNCHRO:** Syn-Chronization (Sincronización) “es un software para aplicación en la planificación, diseño, control y optimización de tiempos de semáforos en intersecciones y arterias viales, fue desarrollado por la empresa Trafficware” (Leonardo, 2017). Entre las principales ventajas del programa se puede indicar: la optimización de longitudes de ciclo y repartos de tiempos de verde por fase, generación de planes de tiempo optimo, simulación y evolución de comportamiento combinado de intersecciones con y sin semáforo, entre otras (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).
- **PTV VISSIM:** PTV: Planungsburo Transport und Verkehr (Planeación del transporte y tránsito), Vissim: Visual Simulation (Simulación Visual); programa que simulación microscópica de tráfico multimodal que permite representar el comportamiento de todos los usuarios de la vía pública a nivel individual “basados en los modelos de seguimiento y cambio de carril desarrollados por Wiedemann en el año 1974” (Silvera, 2020). Las visualizaciones en 3D y validación de diferentes escenarios además permiten la generación de propuestas de soluciones acorde a la realidad de la zona de estudio y toma de decisiones que mejoren la movilidad (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).

Para el desarrollo de esta investigación se utilizará el software PTV VISSIM, para la microsimulación de las intersecciones semaforizadas.

### 2.3. Marco conceptual

- a. **Capacidad del sistema vial:** conocida también como oferta de la infraestructura vial se conceptualiza como la máxima cantidad de vehículos que puede alojar una calzada durante un periodo de tiempo (generalmente 15 minutos) considerando las características de la infraestructura vial, flujo vehicular y dispositivos de control de tránsito (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).
- b. **Ciclo:** periodo de tiempo necesario para que se desarrolle una sucesión completa de las indicaciones del semáforo (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2012).
- c. **Cola:** Sumatoria del número de vehículos en un tramo de la calzada debido a la aglomeración vehicular, que se encuentran a la espera de avanzar en la circulación.
- d. **Demanda vehicular:** número de vehículos que necesitan movilizarse por la infraestructura vial ofertada, contemplando dentro de la demanda a los vehículos que se encuentran desplazándose, los que se encuentran en cola debido a las demoras existentes y los que toman vías alternas para evitar la aglomeración de vehicular en caso de existirlo.
- e. **Fase:** “parte del ciclo asignado a cualquier combinación de uno o más movimientos que reciben simultáneamente el derecho de paso, durante uno o más intervalos. Una fase puede significar un solo movimiento vehicular, peatonal o la combinación de ambos” (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).
- f. **Indicación de señales:** “encendido de una de las luces del semáforo o una combinación de varias luces al mismo tiempo” (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).
- g. **Intervalo:** “cualquiera de las diversas divisiones del ciclo, durante la cual no cambian las indicaciones de señal del semáforo” (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).
- h. **Intervalo verde:** indicación de verde en el semáforo, el cual permite el derecho de paso durante ese periodo.
- i. **Intervalo de cambio:** intervalo amarillo que indica precaución por cambio de fase.
- j. **Intervalo de despeje o todo rojo:** “tiempo de exposición del rojo para todo el tránsito que se prepara entrar a la intersección. Es utilizado en la fase que recibe el derecho de paso después del amarillo de la fase que lo pierde para despejar la intersección” (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).
- k. **Intervalo de cambio de fases:** “intervalo que puede consistir de solamente un intervalo de cambio amarillo o que puede incluir un intervalo adicional de despeje todo rojo. Se conoce también como entreverde o intermedio” (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).

- l. Movimiento:** se denomina así a los recorridos o trayectorias de circulación permitidas tanto para un vehículo como para un peatón en una intersección.
- m. Nivel de servicio:** es un indicador cualitativo que mide la calidad de circulación del flujo vehicular. El nivel de servicio es calculado como el promedio de demoras por vehículo en periodos de análisis de 15 minutos. Conforme a lo estipulado en el Manual de Capacidad Vial HCM 2010 (TRB Transportation Research Board, 2010), existe seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, que van desde lo óptimo hasta lo deficiente, dependiendo de las condiciones de operación de la vía sea esta de circulación continua o discontinua (Sánchez, 2011).
- n. Secuencia de fases:** orden ya preestablecido para que se efectúen las fases del ciclo semafórico.
- o. Tasa de flujo vehicular:** Número total de vehículos que circulan por punto específico de la vía en un periodo de tiempo inferior a una hora, por lo general el intervalo de tiempo es 15 minutos.
- p. Volumen de tránsito.** - se refiere al número de vehículos que atraviesan una sección de la vía en un período de tiempo específico. De acuerdo al intervalo de tiempo para la cuantificación de los vehículos, el volumen de tránsito total puede ser: anual, mensual, semanal, diario, horario y tasa de flujo (García, 2018).

#### **2.4. Identificación de variables**

**Variable Independiente:** Intersección Semafórica

**Variable Dependiente:** Congestión vehicular

## 2.5. Operacionalización de variables

**Tabla 8-2:** Operacionalización de variables

Variable Independiente	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Definición de los indicadores	Criterio de medición	Técnica	Instrumento	Escala
Intersección Semafórica	Intersección en la cual se regula el tránsito mediante dispositivos electrónicos luminosos	Ciclo semafórico	Tiempo de duración del ciclo semafórico	Periodo de tiempo para que se complete la secuencia de indicaciones del sistema semafórico	Cuantitativo	Observación directa	Ficha de conteo, ficha de observación	Discreta
		Flujo de saturación	Número máximo de vehículos que pasan por la intersección semafórica	Tasa máxima de vehículos que circulan cuando el semáforo se encuentra en verde				

Variable Dependiente	Conceptualización	Dimensiones	Indicadores	Definición de los indicadores	Criterio de medición	Técnica	Instrumento	Escala
Congestión Vehicular	Flujo vehicular saturado por el excesivo volumen de vehículos que produce incremento en los tiempos de viaje	Volumen vehicular	Número de vehículos que circulan por la vía	Número de vehículos que circulan por punto específico de la vía en un periodo de tiempo	Cuantitativo, cualitativo	Observación directa, cuestionario	Ficha de conteo, ficha de observación	Discreta, nominal
		Capacidad vial	Número máximo de vehículos que esperan atravesar la intersección	Número máximo de vehículos que pueden circular por la vía en un tiempo específico (15 min)				
		Nivel de Servicio	Tiempo de demora del vehículo en la intersección	Tiempo de viaje perdido por vehículo debido a las demoras en periodos de 15 minutos				

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

## 2.6. Matriz de consistencia

**Tabla 9-2:** Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
¿Cómo influye la optimización de los ciclos semafóricos en la mejora de la capacidad y nivel de servicio de los puntos críticos de congestión vehicular en el cantón Rumiñahui?	Optimizar los ciclos semafóricos para mejorar la capacidad y nivel de servicio de los puntos críticos de congestión vehicular en el cantón Rumiñahui, 2021.	La optimización de los ciclos semafóricos mejorará la capacidad y nivel de servicio de los puntos críticos de congestión vehicular en el cantón Rumiñahui.	V. Independiente  Intersección Semafórica	Tiempo de duración del ciclo semafórico; Número máximo de vehículos que pasan por la intersección semafórica	Observación directa	Fichas de conteo, ficha de observación
			V. Dependiente  Congestión Vehicular	Número de vehículos que circulan por la vía; Número máximo de vehículos que esperan atravesar la intersección; Tiempo de demora del vehículo en la intersección	Observación directa	Fichas de conteo, ficha de observación

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023



## **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo y diseño de la investigación**

Para el desarrollo de este trabajo investigativo se aplicará los siguientes tipos de investigación:

##### ***3.1.1. Investigación exploratoria***

La investigación exploratoria es fundamental porque brinda la visión general del problema de movilidad existente en el cantón Rumiñahui y que afecta la calidad de vida de los ciudadanos, a través de esta investigación se recabó la información necesaria para definir la problemática y fundamentar la razón del desarrollo de esta investigación.

##### ***3.1.2. Investigación descriptiva***

Esta investigación es de tipo descriptiva de corte transversal puesto que se pretende analizar y describir los factores que inciden en la congestión vehicular existente en varias intersecciones semaforizadas del cantón Rumiñahui, a través de la medición de los indicadores de las variables de la investigación se recolectará información para determinar la situación actual del problema y proponer alternativas para mejorar la movilidad en los puntos críticos de congestión vehicular.

##### ***3.1.3. Investigación documental***

A través de la investigación documental se recabará la información necesaria para el análisis de las variables y la construcción del estado de arte de este trabajo, para lo cual se revisó la literatura de libros, normativas técnicas, publicaciones de internet a fin de describir y explicar de forma técnica la problemática de movilidad que existe en el cantón Rumiñahui.

##### ***3.1.4. Investigación de campo***

La investigación de campo se utilizará para la recopilación de los datos de las fuentes primarias a través de la aplicación de los instrumentos de investigación (fichas de observación, cuestionarios) que permitirá realizar el análisis y evaluación del comportamiento operacional de las intersecciones semaforizadas.

### **3.2. Métodos de investigación**

Por la naturaleza y los requerimientos de esta investigación se empleará los métodos a continuación descritos:

#### **3.2.1. Método Inductivo**

El método inductivo describe el proceso lógico para obtener conclusiones generalizadas partiendo del análisis de situaciones específicas. Este método se aplicará en el análisis y evaluación de cada una de la intersección semaforizadas para conocer la capacidad y el nivel de servicio de cada una ella mantiene en la actualidad.

#### **3.2.2. Método deductivo**

Fundamentado en el razonamiento, este método permite determinar premisas particulares en función de un todo general, en este caso, este método se evidenciará en la determinación de los objetivos, técnicas e instrumentos que se emplearán en el desarrollo de la investigación.

#### **3.2.3. Método analítico**

Este método se refiere a la descomposición de la problemática general en casos particulares para el respectivo análisis de las características por separado para luego integrarlo, el mismo se empleará en el planteamiento de la problemática, construcción del estado de arte, desarrollo, presentación de los resultados y propuesta de mejora de la investigación.

### **3.3. Enfoque de la investigación**

La presente investigación tiene un enfoque mixto: cuantitativo – cualitativo, a razón que se aplicará los dos métodos de análisis. El enfoque cuantitativo se utilizará en la medición de las variables del flujo vehicular de las intersecciones semaforizadas que se encuentran en los puntos críticos de congestión vehicular en el cantón Rumiñahui. En lo referente a lo cualitativo se empleará en la obtención de la información y criterios sobre la problemática de la investigación, esto a través de la realización de entrevistas a las autoridades encargadas del tema de movilidad y transporte del cantón.

### 3.4. Alcance de la investigación

Este trabajo de investigación abarca tres tipos de alcance: descriptivo, correlacional y explicativo. Tiene alcance descriptivo porque se recopila información primaria para la medición de las variables del tráfico y descripción de los niveles de servicio de cada intersección. Es correccional, puesto que, evalúa las demoras en la circulación vehicular y su relación con el tiempo de los ciclos semafóricos. Es explicativa, al exponer las causas de ciertos niveles de servicio de las intersecciones y su incidencia con la congestión vehicular.

### 3.5. Población de estudio

Por la naturaleza de este trabajo de investigación la población de estudio con la cual se va a trabajar son las cinco (5) intersecciones semaforizadas conflictivas que son consideradas puntos críticos de congestión vehicular, identificadas en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Rumiñahui actualización 2020 -2025, página 245 y descritas en la siguiente tabla:

**Tabla 1-3:** Intersecciones semafóricas conflictivas en el cantón Rumiñahui

Nº	Intersección	Sector
1	Avenida General Enríquez y Av. Los Shyris	Fábrica Danec
2	Avenida General Rumiñahui y avenida San Luis	San Luis Shopping
3	Avenida General Enríquez y avenida San Luis	Parque San Rafael
4	Avenida Mariana de Jesús y calle La Concordia	Capelo
5	Avenida Mariana de Jesús y calle Agustín Miranda	San Pedro

**Fuente:** (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial cantón Rumiñahui. Actualización 2020 -2025, pág. 245)

**Realizado por:** Guzmán, Mercy, 2023

En cada una de la intersección a través de trabajo de campo se levantará información como: volumen de flujo vehicular por movimientos, geometría, señalización, tiempo de ciclos semafóricos para conocer el nivel de servicio que ofrece las intersecciones.

### 3.6. Selección de la muestra

A razón, que el universo de estudio es pequeño no se requiere determinar una muestra, por lo que se va a trabajar con todas las unidades de observación de la población de estudio, es decir las cinco (5) intersecciones semaforizadas conflictivas del cantón Rumiñahui.

### 3.7. Técnica de recolección de datos primarios y secundarios

A continuación, se describe las técnicas que se utilizarán para la recopilación de datos tanto primarios como secundarios.

### **3.7.1. Observación**

Mediante la observación directa se podrá obtener datos cuantitativos para medir el comportamiento del flujo vehicular y determinar el nivel de servicio que ofrece cada una de las intersecciones analizadas.

### **3.7.2. Entrevista**

Se utilizará la técnica de entrevista para conocer el criterio de las autoridades de la Dirección de Movilidad y Transporte del GADMUR, acerca del tema de la movilidad y tránsito en el cantón.

## **3.8. Instrumentos de recolección de datos primarios y secundarios**

Los instrumentos que se emplearán en la recolección de datos para esta investigación son:

### **3.8.1. Ficha de observación**

Este instrumento nos permite recopilar la información acerca del volumen de flujo vehicular, tiempo de los ciclos semafóricos, características de geometría y señalización vial de cada una de las intersecciones para medir el comportamiento de las variables de estudio de esta investigación. En el Anexo 1 se adjunta el esquema de la ficha de observación.

### **3.8.2. Guía de entrevista**

Se utilizará la guía de entrevista misma que será semiestructurada y contará con preguntas abiertas. En el Anexo B se adjunta el esquema de la guía de entrevista.

## **3.9. Instrumentos para procesar datos recopilados**

Para el procesamiento de los datos recopilados, se utiliza herramientas digitales como la paquetería de Microsoft Office y sus programas como Word para el procesamiento de textos, Excel con sus hojas de cálculo para la tabulación y análisis de datos, Power Point para la presentación de resultados y también se empleará el software PTV VISSIM para la microsimulación de las intersecciones semaforizadas y AutoCAD para el análisis de las condiciones geométricas de la infraestructura vial.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El proceso de la toma de los datos primarios es uno de los más importantes puesto que proporciona la información requerida para analizar el estado de operación de las intersecciones semaforizadas. La recopilación de los datos referentes a las condiciones de tránsito y semaforización fue realizada por los Agentes Civiles de Transporte en coordinación con la investigadora.

Las intersecciones semafóricas son aisladas, por lo tanto, se analiza de manera individual, el aforo de volumen de tráfico vehicular clasificado se desarrolló el 17 de noviembre de 2021, días típico de actividades casi normales debido a las restricciones de la pandemia del COVID – 19, la recolección de datos fue durante 13 horas desde las 06H00 hasta las 19H00, en periodos de 15 minutos como lo establece la metodología HCM 2010, para determinar el volumen horario de máximo flujo vehicular es decir la hora pico de cada intersección.

En el trabajo de campo también se recopiló información referente a las características de geometría y señalización vial de calzada, longitud de los ciclos semafóricos, plan de fases predeterminadas, información que será analizada y evaluada para determinar la situación actual cada una de las cinco (5) intersecciones identificadas para esta investigación.

#### **4.1. Características de las intersecciones semaforizadas**

A continuación, se procede a detallar los principales hallazgos encontrados en cada una de las intersecciones objeto de estudio:

#### 4.1.1. Intersección 1: Avenida General Enríquez y avenida Los Shyris



**Figura 1-4:** Intersección 1: Avenida General Enríquez y avenida Los Shyris

**Realizado por:** Guzmán, Mercy, 2023

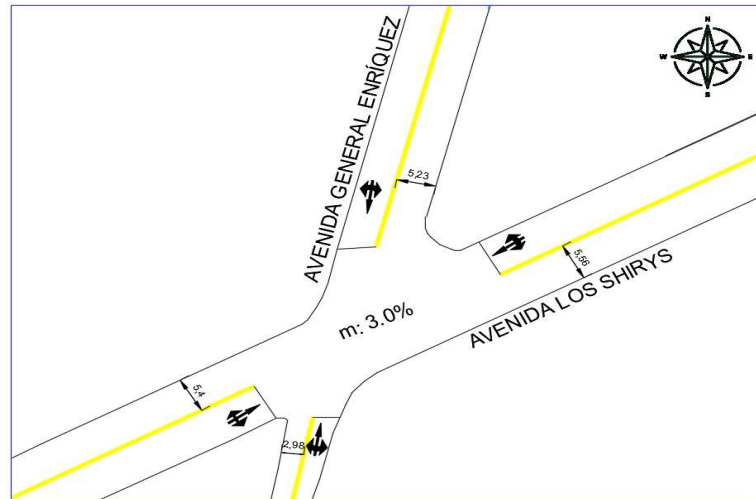
##### a) Descripción de la intersección 1

Esta intersección está ubicada en el ingreso sur a la ciudad de Sangolquí cabecera cantonal de Rumiñahui, el cruce está conformado por la avenida General Enríquez y avenida Los Shyris, posee cuatro accesos con un carril por cada aproximación de sentido norte – sur y sur – norte, este – oeste y oeste – este.

El principal centro de atracción de viajes en esta intersección es la fábrica Danec que por sus actividades industriales genera un alto número de viajes hacia esta zona, además esta intersección constituye el ingreso y salida a la ciudad por el acceso sur por lo que estas vías soportan un alto volumen de flujo vehicular, pues la avenida los Shyris se desprende de la troncal de la sierra E-35 y la avenida General Enríquez es la vía que conduce hacia la zona industrial del cantón donde se ubican las bodegas de Corporación Favorita, Home Vega, Toni, Servientrega entre otras, además que es la vía de ingreso hacia la parroquia rural de Cotogchoa.

## b) Condiciones geométricas de la intersección 1

En el siguiente gráfico se describe las principales características geométricas de la intersección 1 tipo cruz, misma que posee 4 aproximaciones con 2 carriles cada uno y un carril de 5 metros de ancho promedio de calzada para cada sentido de sentido de circulación:



**Figura 2-4:** Condiciones geométricas intersección 1.

Fuente: (GADMUR , 2020)

**Tabla 1-4:** Características de circulación de la intersección 1

Intersección:	Avenida General Enríquez y avenida Los Shyrís			
Sentido circulación	Norte	Sur	Este	Oeste
Capa de rodadura	Adoquín	Adoquín	Asfalto	Asfalto
Nº Carriles	1	1	1	1
Pendiente	3.6	2.8	3	3.5
Ancho de carril	5.23	2.98	5.56	5,00
Carriles exclusivos giro	No	No	No	No
Parada de Bus	No	No	Si	Si
Parqueo permitido	No	No	No	No
Parterre	No	No	No	No

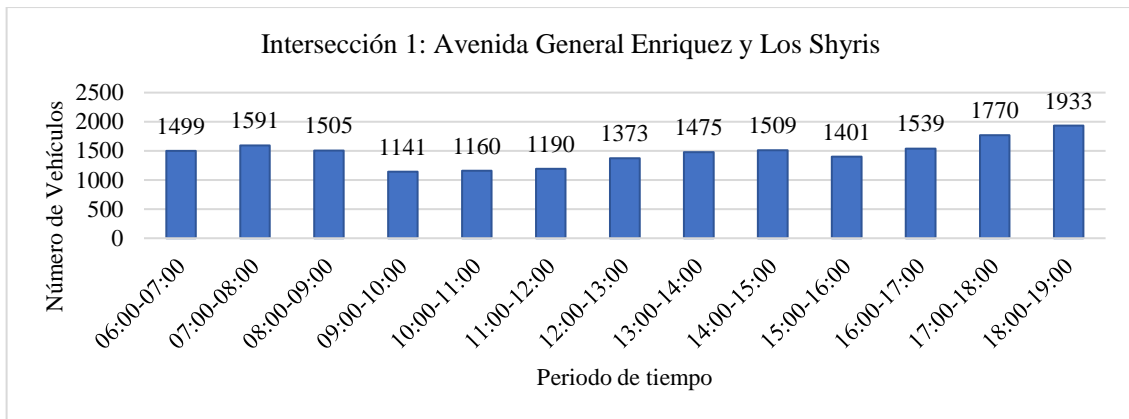
Fuente: Ficha de observacion

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

En la Tabla 1-4 se puede apreciar las características de circulación encontradas en la intersección 1: avenida General Enríquez y avenida Los Shyrís, además se identificó los grupos de movimientos y grupo de carril, donde se determinó que en los cuatro accesos de la intersección (N-S, S-N y E-O, O-E) al contar con un solo carril de circulación por sentido existe un grupo de carril y un grupo de movimiento (izquierda, directo y derecha).

### c) Aforo vehicular – cálculo de la hora de máxima demanda

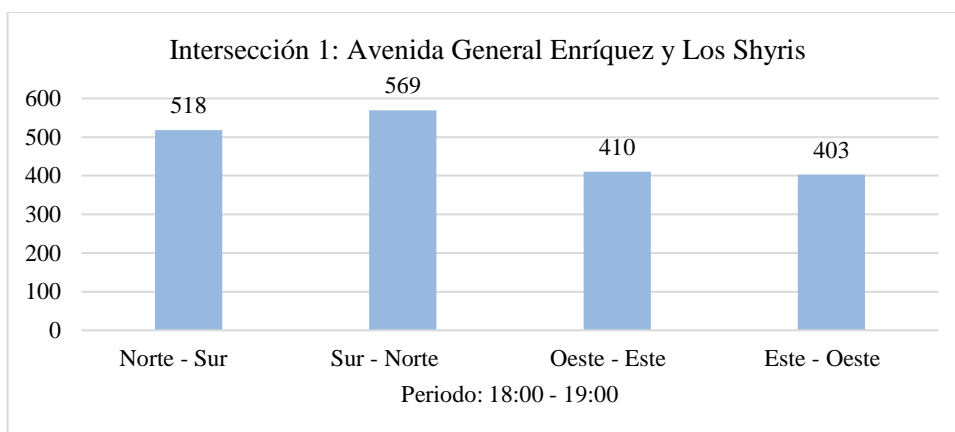
A través del aforo vehicular se recopiló el volumen de flujo vehicular de la intersección, los periodos de conteo de 15 minutos fueron agrupados en intervalos de 1 hora para determinar la hora de máxima demanda de circulación vehicular en la intersección, es importante mencionar que el volumen de peatones y ciclistas que transitan por la intersección es considerablemente bajo por lo que no influye en el análisis de la intersección.



**Gráfico 1-4:** Volumen horario de flujo vehicular intersección 1.

**Fuente:** Ficha de aforo vehicular

Durante el periodo comprendido entre las 06:00 y 19:00, por esta intersección circulan 19.086 vehículos/día. El intervalo horario de 18:00 hasta las 19:00 es identificado como la hora pico de máxima demanda de circulación vehicular con 1.933 veh/h. en el Anexo 2 se describe los resultados del aforo vehicular en la intersección.



**Gráfico 2-4:** Volumen horario de máxima demanda intersección 1.

**Fuente:** Ficha de aforo vehicular

En la distribución del flujo vehicular de los cuatro accesos de la intersección, se evidencia que los accesos con sentido este – oeste y oeste – este en la avenida Los Shyris poseen mayor carga



vehicular, debido a que esta vía interconecta Sangolqui con las áreas circundantes del Distrito Metropolitano de Quito (parroquia rurales Tambillo, Uyumbicho, amaguaña).

Para determinar la tasa de flujo ( $V_p$ ) de cada acceso en la hora de máxima demanda se aplicó los siguientes cálculos:

Acceso: E-O, movimiento I, grupo de carril GC: 1 y número de carril :1.

$$VHMD = 303 \text{ veh}$$

$$V_{\text{máx 15}} = 94 \text{ veh/15min}$$

$$FHMD = \frac{VHMD}{4 \cdot V_{\text{máx 15}}} = \frac{303}{4 \cdot 94} = 0.805$$

$$V_p = \frac{VHMD}{FHMD} = \frac{303}{0.805} = 376$$

A continuación, en la siguiente tabla, se detalla la tasa de flujo calculada para cada acceso.

**Tabla 2-4:** Cálculo de la tasa de flujo  $V_p$ , intersección 1

Acceso	Movimientos	Grupo carril GC	VHMD	VHMD Total	$V_{\text{máx 15 min}}$	FHMD	$V_p$ mov (veh/h)	$V_p$ acceso (veh/h)
Este-Oeste	Giro Izquierdo	1	303	518	94	0.806	376	660
	Frente		114		40	0.713	160	
	Giro Derecho		101		31	0.815	124	
Oeste –Este	Giro Izquierdo	1	370	569	111	0.717	516	736
	Frente		196		51	0.925	212	
	Giro Derecho		3		1	0.375	8	
Norte-Sur	Giro Izquierdo	1	0	410	0	0	0	476
	Frente		149		42	0.887	168	
	Giro Derecho		261		67	0.847	308	
Sur-Norte	Giro Izquierdo	1	187	403	57	0.82	228	480
	Frente		182		49	0.892	204	
	Giro Derecho		34		12	0.708	48	

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

Para los próximos cálculos se va utilizar la tasa de flujo de los accesos calculados para esta esta intersección.

**d) Condiciones de control de tránsito**

En esta intersección, los movimientos del flujo vehicular son regulados por un sistema semafórico que actualmente consta de dos fases, la fase uno controla el flujo proveniente del sentido E-O y O-E, mientras que la fase dos el flujo del sentido N –S y S-N.

**Tabla 3-4:** Características semafóricas de la intersección 1

Fases Intersección 1			
Fases actuales	Fase Ø 1 Avenida Los Shyris	Fase Ø 2 Avenida General Enríquez	Diagrama de fases
Movimientos			
V: Verde	35 seg.	41 seg.	
A: Amarillo	3 seg.	3 seg.	
R: Rojo	45 seg.	39 seg.	
Tiempo ciclo	83 seg.		

Fuente: Ficha de observacion

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

La duración del ciclo es de 83 segundos, el sistema de operación es de tiempo fijo, en todas las aproximaciones de la intersección existen solamente semáforos vehiculares sin acoples para giros exclusivos.

**e) Análisis y evaluación del nivel de servicio actual**

Para determinar el nivel de servicio que actualmente presenta la intersección se va aplicar la metodología HCM 2010 descrita en el capítulo II, a continuación, de forma demostrativa se detalla el procedimiento de cálculo, para el grupo de carril 1 del acceso E-O.

**Determinación del flujo de saturación ajustada**

- Flujo de saturación base:  $S_0 = 1.750$  veh/h/ carril
- Ajuste por ancho de carril: el ancho de carril es 5 m. por lo cual, el factor de ajuste predeterminado es  $f_w = 1.04$
- Ajuste por vehículos pesados ( $f_{HV}$ ): %  $H_V = 17.76\%$ ,  $E_T = 2$

$$H_V = \frac{55 + 22 + 15}{518} * 100\% = 17.76\%$$

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV}(E_T - 1)} = \frac{100}{100 + 17.76(2 - 1)} = 0.849$$

**Tabla 4-4:** Cálculo factor de vehículos pesados

Sentido	Sentidos de circulación	Vehículos pesados	Total vehículos por sentido	%HV	$f_{HV}$
Este - Oeste	Giro Izquierdo	55	518	17.76%	0,849
	Recto	22			
	Giro derecho	15			

Fuente: Aforo vehicular

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

- Ajuste de pendiente ( $f_g$ ): pendiente longitudinal  $P_g = 3,00 \%$

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200} = 1 - \frac{3}{200} = 0.985$$

- Ajuste por maniobras de estacionamientos ( $f_p$ ): no existe estacionamiento, por lo cual,  $f_p = 1.00$
- Ajuste por bloqueo de buses ( $f_{bb}$ ): el número de buses  $N_b$  que paran en la hora es 11

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4 N_b}{3600}}{N} = \frac{1 - \frac{14.4 (11)}{3600}}{1} = 0.956$$

- Ajuste por tipo de área ( $f_a$ ): la intersección por estar ubicada en otras áreas el  $f_a = 1.00$
- Ajuste por utilización del carril ( $f_{LU}$ ): a razón que la intersección tiene un solo carril de circulación con movimientos compartidos, se utiliza el  $f_{LU} = 1$ , valor predeterminado por la metodología.
- Ajuste por giros izquierdos ( $f_L$ ): en el sentido norte- sur existen 303 giros por lo cual, la proporción de giros es a la izquierda  $P_L = 0.585$ , al ser un carril compartido se aplica la siguiente formula:

$$f_L = \frac{1}{1,0 + 0,05P_L} = \frac{1}{1 + 0.05(0.585)} = 0.972$$

- Ajuste por giros derechos ( $f_R$ ): en el sentido norte- sur existen 101 giros por lo cual, la proporción de giros es a la izquierda  $P_R = 0.195$ , al ser un carril compartido se aplica la siguiente formula:

$$f_R = 1,0 - 0,15P_R = 1 - 0.15 * (0.195) = 0.971$$

Ajuste en el giro a la izquierda por peatones ( $f_{Lpb}$ ): el factor es 1 al no existir la influencia de peatones en la intersección.

- Ajuste en el giro a la derecha por peatones y ciclistas ( $f_{Rpb}$ ): el factor es 1 al no existir la influencia de peatones y ciclistas en la intersección.
- Flujo de saturación del grupo de carril N-S

$$S = S_0 * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_L * f_R * f_{Lpb} * f_{Rpb}$$

$$S = 1750 * 0.96 * 0.999 * 0.985 * 1 * 0.956 * 1 * 1 * 0.972 * 0.971 * 1 * 1$$

El flujo de saturación ajustado de la aproximación E-O es igual a 1373.28

A continuación, se presenta la tabla resumen con los valores calculados para determinar el flujo de saturación ajustada para cada aproximación, en el cual se toma en consideración las condiciones de tránsito, geométricas, semafóricas y otras propias de la intersección:

**Tabla 5-4:** Cálculo del flujo de saturación ajustado de la intersección 1

Aproximación	N-S	S-N	E-O	O-E
Grupo de carril	1	1	1	1
Movimientos	IZQ-REC-DER	IZQ-REC-DER	IZQ-REC-DER	IZQ-REC-DER
<b>Factores de ajuste</b>				
Flujo de saturación base $S_0$	1750	1750	1750	1750
Número de carriles del grupo N	1.00	1.00	1.00	1.00
Ancho de carril (m)	2.98	5.23	5.00	5.56
Ajuste por ancho de carril ( $f_w$ )	0.96	1.04	1.04	1.04
Porcentaje de vehículos pesados PV	8.04	7.94	17.76	27.94
Ajuste por vehículos pesados ( $f_{HV}$ )	0.926	0.926	0.849	0.782
Pendiente	3.6	3.5	3.0	2.8
Ajuste por pendiente ( $f_g$ )	0.982	0.986	0.985	0.983
Ajuste por maniobras de estacionamientos ( $f_p$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
Número de buses	0	4	11	8
Ajuste por bloqueo de buses ( $f_{bb}$ )	1.00	0.972	0.956	0.968
Ajuste por tipo de área ( $f_a$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
Ajuste por utilización del carril ( $f_{LU}$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
Porcentaje de giros izquierdos	0	0.464	0.585	0.650
Ajuste por giros izquierdos ( $f_L$ )	1.00	0.977	0.972	0.969
Porcentaje de giros derechos	0.637	0.084	0.195	0.005
Ajuste por giros derechos ( $f_R$ )	0.904	0.987	0.971	0.999
Ajuste en el giro a la izquierda por peatones ( $f_{Lpb}$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
Ajuste en el giro a la derecha por peatones y ciclistas ( $f_{Rpb}$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Flujo de saturación ajustado <math>S=</math></b>	<b>1381.02</b>	<b>1557.53</b>	<b>1373.28</b>	<b>1310.98</b>

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

Se evidencia que el comportamiento del flujo de saturación ajustado para cada acceso es influenciado por las características geométricas y volumen de tránsito propias de la intersección, donde se determina que el grupo de carril del acceso S-N tiene mayor flujo de saturación.

### **Determinación de la capacidad y la relación volumen a capacidad**

Se procede a realizar el cálculo demostrativo para la aproximación E-O:

- Flujo de saturación de la aproximación  $S = 1373.28$
- Tiempo de verde efectivo de la aproximación  $g = 35$  seg.
- Longitud del ciclo del semáforo  $C = 83$  seg.
- Tasa de flujo de acceso  $V_p = 660$  veh/h
- Relación del tiempo de verde al ciclo semafórico:  $\frac{g}{c} = \frac{35}{83} = 0.42$
- Capacidad del grupo de carriles  $c: c = N * S \frac{g}{c}$

Dónde:

N = Número de carriles

S = Flujo de saturación

g/C = relación de verde

$$c = 1 * 1760.84 * 0.42 = 579.09 \text{ veh/h}$$

- Relación volumen a capacidad (grado de saturación del carril)  $X_i$ :

$$X_i = \frac{V_p}{c} = \frac{660}{579.09} = 1.14$$

- Razón de flujo (Movimiento crítico)  $Y_i$ : se toma el valor de la tasa de flujo de la aproximación N-S que es 660 veh/h. Por lo tanto,  $Y_i$  para el acceso E - O = 0.48, O - E = 0.56; N - S = 0.29 y S - N = 0.31.

$$Y_i = \frac{V}{S} = \frac{660}{1373.28} = 0.48$$

- Relación volumen a capacidad (grado de saturación crítico de la intersección)  $X_c$ :

$$X_c = \left( \frac{C}{C-L} \right) \left[ \sum \left( \frac{V}{S} \right)_c \right] = \frac{83}{83-6} * (0.48 + 0.56) = 1.12$$

El grado de saturación crítico de la intersección es 1.12

A continuación, se presenta la tabla resumen con los valores calculados para determinar la capacidad y la relación volumen - capacidad para cada aproximación de la intersección:

**Tabla 6-4:** Cálculo de capacidad y grado de saturación crítico de la intersección 1

Aproximación	N-S	S-N	E-O	O-E
Grupo de carril	1	1	1	1
Movimientos	IZQ-REC-DER	IZQ-REC-DER	IZQ-REC-DER	IZQ-REC-DER
<b>Análisis de capacidad</b>				
Tasa de flujo ajustado del acceso, $V_p$ (veh/h)	476	480	660	736
Flujo de saturación base $S_0$	1381.02	1557.53	1373.28	1310.98
Número de carriles del grupo $N$	1	1	1	1
Tiempo de verde efectivo $g$	30	30	35	35
Ciclo del semáforo $C$	83	83	83	83
Relación del verde para el grupo $g/C$	0.36	0.36	0.42	0.42
Capacidad $c$ , (veh/h)	499.16	562.96	579.09	552.82
Grado de saturación carril, $X_i = V_p/c$	0.79	0.85	1.14	1.33
Razón de flujo Movimiento crítico $Y_i = V_p/S$	0.29	0.31	0.48	0.56
Grupo de carriles críticos			x	x
Sumatoria de relaciones flujos críticos			1.04	
Tiempo perdido por ciclo $L$	6			
<b>Grado de saturación crítico <math>X_c</math></b>	<b>1.12</b>			

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

Una vez calculado la capacidad de cada uno de los accesos de la intersección, se determina que la tasa de flujo de los accesos E-O y O-E sobrepasa la capacidad de la vía, con base en el grado de saturación de los accesos o la relación volumen - capacidad que supera el valor de 1, por lo tanto, la demanda de flujo vehicular sobrepasa la capacidad de esta intersección.

**Determinación de la demora y nivel de servicio**

Se procede a realizar el cálculo demostrativo para la aproximación E-O, para el cálculo de la demora se utiliza la siguiente expresión:  $d = d_1(PF) + d_2 + d_3$

- Demora uniforme  $d_1$ :  $d_1 = \frac{0.5c \cdot (1 - \frac{g}{c})^2}{1 - [MIN(1, X) \frac{g}{c}]}$

Dónde:

C = ciclo

g/C = relación de verde

X = relación volumen a capacidad, grado de saturación

$$d_1 = \frac{0.5 * (83) * \left(1 - \frac{35}{83}\right)^2}{1 - \left[\min * (1; 1.14) * \frac{35}{83}\right]} = \frac{0.5 * 83 * (0.33)^2}{1 - [1.14 * (0.421)]} = \frac{13.88}{0.625} = 26 \text{ seg.}$$

- Ajuste por coordinación: se utiliza el valor predeterminado para intersecciones aisladas PF= 1.

- Demora incremental  $d_2$ :  $d_2 = 900T \left[ (X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8kIX}{cT}} \right]$

T = periodo de análisis (0.25 h)

c = capacidad del grupo

X = Grado de saturación del grupo

/ = ajuste por ingreso a la intersección (1,00)

k = ajuste incremental para semáforos de tiempo fijo (0.5)

$$d_2 = 900 * (0.25) \left[ (0.70 - 1) + \sqrt{(0.89 - 1)^2 + \frac{8(0.5)(1)(1.14)}{579.09(0.25)}} \right] = 225 \left[ (-0.3) + \sqrt{0.09 + \frac{3.56}{144.77}} \right]$$

$$d_2 = 82.25 \text{ s}$$

- Demora por cola inicial  $d_3$ : aplica el caso V: (Qb>0, X>1, t=T); existe cola inicial de 4 vehículos.  $d_3 = \frac{3600 * Qb}{c}$

Qb = cola inicial

$$d_3 = \frac{3600 * Qb}{c} = \frac{3600 * 4}{579.09} = 24.86 \text{ seg.}$$

- Determinación de la demora por GC:

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3 = 26.72 * (1) + 82.25 + 24.86 = 133.84 \text{ seg.}$$

- Demora en la intersección:  $d_I = \frac{\sum_{A=1}^A (dv)}{\sum_{A=1}^A v}$

d= demora en el acceso (s/veh)

v= volumen del acceso

$$d_I = \frac{\sum_{A=1}^A (dv)}{\sum_{A=1}^A v} = \frac{(133.84*660)+(212.4*736)+(18.48*476)+(19.16*480)}{660+736+476+480} = 114.95 \text{ seg/h}$$

A continuación, se presenta la tabla resumen con los valores calculados para determinar las demoras y nivel de servicio NS para cada aproximación de la intersección:

**Tabla 7-4:** Cálculo demoras y nivel de servicio intersección 1

Aproximación	N-S	S-N	E-O	O-E
Grupo de carril	1	1	1	1
Movimientos	IZQ-REC- DER	IZQ-REC- DER	IZQ-REC- DER	IZQ-REC- DER
<b>Análisis de capacidad</b>				
Tasa de flujo ajustado del acceso, $V_p$ (veh/h)	476	480	660	736
Relación del verde para el grupo, $g/C$	0.361	0.361	0.421	0.421
Capacidad $c$ , (veh/h)	682.19	769.38	579.09	552.82
Grado de saturación carril, $X_i=Vp/c$	0.58	0.62	1.14	1.33
Demora uniforme, $d_1$ (seg)	14.9	15.36	26.72	31.65
Ajuste incremental, $k$	0.5	0.5	0.5	0.5
Ajuste por ingreso intersección, $I$	1.00	1.00	1.00	1.00
Duración periodo de análisis, $T$ (h)	0.25	0.25	0.25	0.25
Ajuste por coordinación, $PF$	1	1	1	1
Demora incremental, $d_2$ (seg)	3.8	3.58	82.25	161.21
Demora por cola inicial, $d_3$ (seg)	0	0	24.86	19.53
Demora total por acceso, (seg)	18.48	19.16	133.84	2212.4
Nivel de servicio por movimiento	B	B	F	F
Demora en la intersección, (seg)	114.59			
<b>Nivel de servicio de la intersección</b>	<b>F</b>			

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

En la intersección 1 conformada por la avenida Los Shyris en los accesos este-oeste y oeste-este se determinó que existe un nivel de servicio tipo F, mientras que en la avenida General Enríquez en los accesos norte-sur y sur-norte el nivel de servicio es tipo D. El nivel de servicio de la toda intersección es tipo F, con una demora de 114.59 segundos por cada vehículo, retrasos que generan problemas de congestión y circulación vehicular, por lo cual es necesario buscar propuestas de solución con el propósito de mejorar el nivel de servicio en la intersección.

#### 4.1.2. Intersección 2: Avenida General Rumiñahui y avenida San Luis



**Figura 3-4:** Intersección 2: Avenida General Rumiñahui y avenida San Luis

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

##### a) Descripción de la intersección 2

Esta intersección tipo T, está conformada por la avenida General Rumiñahui con los accesos de sentido este-oeste, oeste-este y la avenida San Luis con su acceso sur – norte.

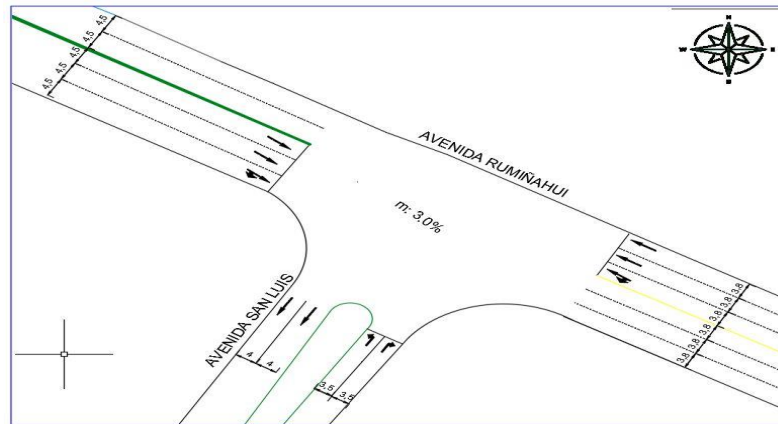
El principal centro de atracción de viajes en esta intersección es el centro comercial San Luis Shopping, comercial Todo Hogar y el Hipermarket, que por sus actividades comerciales genera un alto número de viajes hacia esta zona, la avenida General Rumiñahui se ha convertido en la vía de conexión directa hacia el Distrito Metropolitano de Quito, además de ser el principal acceso a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo cual estas vías soportan un alto volumen de flujo vehicular.

##### b) Condiciones geométricas de la intersección 2

En el siguiente gráfico se describe las principales características geométricas de esta intersección tipo T, misma que posee dos aproximaciones con tres carriles cada uno hasta el cruce del semáforo



a partir de ahí se vuelven dos carriles tanto en el sentido este- oeste como oeste – este, mientras que, en el sentido sur – norte, la aproximación constas de dos carriles de circulación:



**Figura 4-4:** Condiciones geométricas intersección 2.  
Fuente: (GADMUR , 2020)

**Tabla 8-4:** Características de circulación de la intersección 2

Intersección:	Avenida General Rumiñahui y avenida San Luis		
	Oeste	Este	Sur
Sentido circulación	Oeste	Este	Sur
Capa de rodadura	Asfalto	Asfalto	Adoquín
Nº Carriles	3	3	2
Ancho de carril	4,50	3,80	3.5
Pendiente	1	1	0
Carriles exclusivos giro	No	Si	No
Bahía de giro	Si	No	Si
Parada de Bus	Si	Si	No
Parqueo permitido	No	No	No
Parterre	Si	Si	Si

Fuente: Ficha de observacion

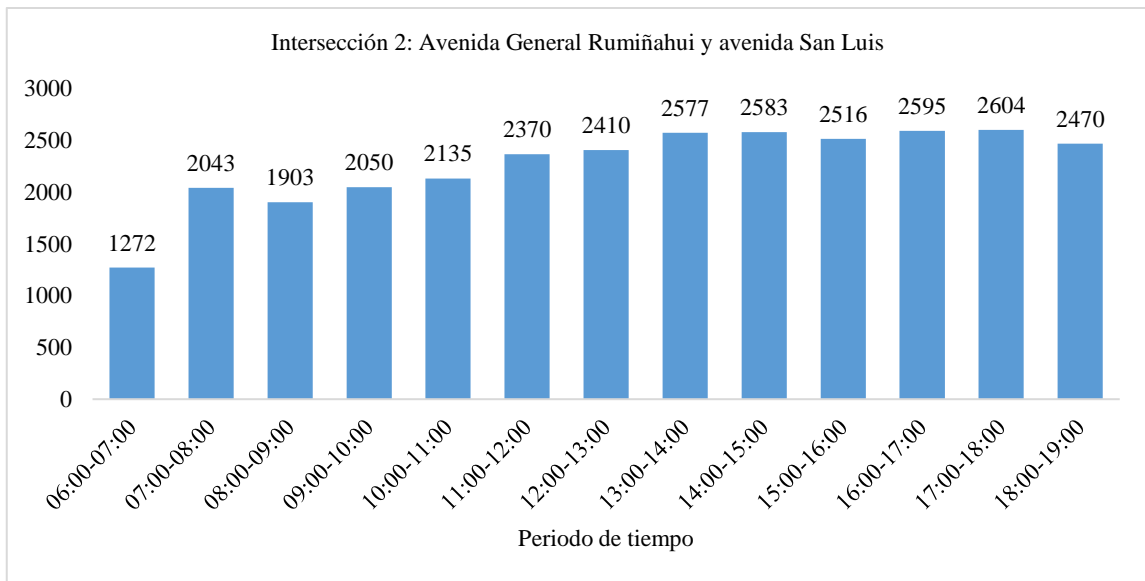
Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

En la Tabla 8-4 se puede apreciar las características de circulación encontradas en la intersección 2: avenida General Rumiñahui y avenida Los San Luis, además se identificó los grupos de movimientos y grupo de carril, donde se determinó que en los dos accesos de la intersección (E-O y O-E) al contar con tres carriles de circulación por sentido se determinó dos grupos de carriles y dos grupos de movimientos (exclusivo izquierdo y directo) por acceso mientras que en la aproximación (S-N) al contar con 2 carriles existe 2 grupos de carriles un grupo de movimiento (izquierda y derecha).

### c) Aforo vehicular – cálculo de la hora de máxima demanda

A través del aforo vehicular se recopiló el volumen de flujo vehicular de la intersección, los periodos de conteo de 15 minutos fueron agrupados en intervalos de 1 hora para determinar la hora de máxima demanda de circulación vehicular en la intersección, es importante mencionar

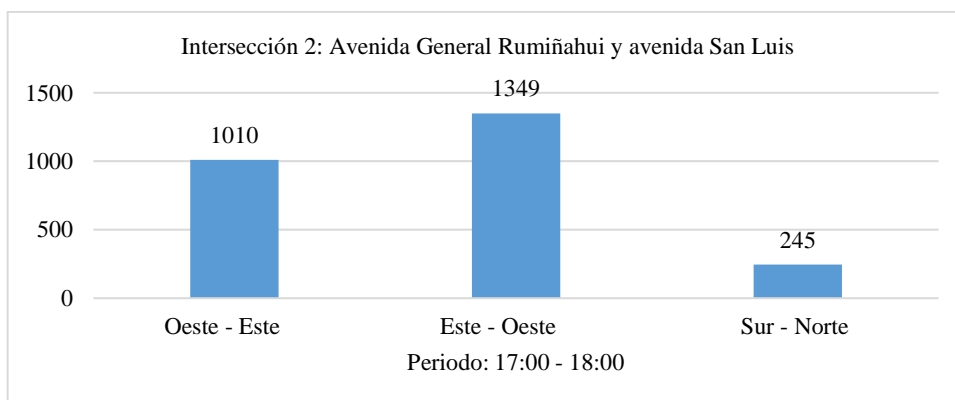
que el volumen de peatones y ciclistas que transitan por la intersección es considerablemente bajo por lo que no influye en el análisis de la intersección.



**Gráfico 3-4:** Volumen horario de flujo vehicular intersección 2.

**Fuente:** Ficha de aforo vehicular

Durante el periodo comprendido entre las 06:00 y 19:00 horas, por esta intersección circulan 29.528 vehículos/día. El intervalo horario de 17:00 hasta las 18:00 horas es identificado como la hora pico de máxima demanda de circulación vehicular con 2.604 veh/h. en el Anexo 2 se describe los resultados del aforo vehicular en la intersección.



**Gráfico 4-4:** Volumen horario de máxima demanda intersección 2.

**Fuente:** Ficha de aforo vehicular

En la distribución del flujo vehicular de los tres accesos de la intersección, se evidencia que los accesos con sentido este – oeste y oeste – este de la avenida General Rumiñahui poseen mayor carga vehicular, debido a que esta vía interconecta directamente Sangolqui con el Distrito Metropolitano de Quito. A continuación, en la siguiente tabla, se detalla la tasa de flujo calculada para cada acceso.

**Tabla 9-4:** Cálculo de la tasa de flujo Vp, intersección 2.

Acceso	Movimientos	Grupo carril GC	VHMD	Vmáx 15 min	FHMD	Vp mov (veh/h)	Vp acceso (veh/h)
Oeste – Este	Frente	1	871	230	0.947	920	1072
	Giro Derecho	2	139	38	0.914	152	
Este-Oeste	Giro Izquierdo	1	232	62	0.935	248	1392
	Frente	2	1117	286	0.976	1144	
Sur - Norte	Giro Izquierdo	1	144	40	0.900	160	280
	Giro Derecho	2	101	30	0.842	120	

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

Para los próximos cálculos se va utilizar la tasa de flujo de los accesos calculados para esta intersección, es importante indicar que los accesos este y sur tienen carriles con bahías exclusivas para los giros hacia la derecha, por lo tanto, estos movimientos se realizan sin influencia de los semáforos, razón por lo cual no se tomará en consideración para los próximos cálculos el volumen de flujo vehicular correspondiente a los giros derechos.

**d) Condiciones de control de tránsito**

En esta intersección, los movimientos del flujo vehicular son regulados por un sistema semafórico que actualmente consta de tres fases, la fase uno controla el flujo proveniente del sentido O–E y E-O, la fase dos regula el giro hacia la izquierda del sentido Este, mientras que, la fase tres el flujo del sentido Sur.

**Tabla 10-4:** Características semafóricas de la intersección 2

Fases Intersección 2				
Fases actuales	Fase Ø 1 Avenida Gral. Rumiñahui	Fase Ø 2 Avenida Gral. Rumiñahui	Fase Ø 3 Avenida San Luis	Diagrama de fases
Movimientos				
V: Verde	32 seg.	15 seg.	22 seg.	
A: Amarillo	3 seg.	3 seg.	3 seg.	
R: Rojo	43 seg.	60 seg.	53 seg.	
Tiempo ciclo	78 seg.			

Fuente: Ficha de observación

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

La duración del ciclo es de 78 segundos, el sistema de operación es de tiempo fijo, en todas las aproximaciones de la intersección existen semáforos vehiculares únicamente en el sentido Este, existe un acople para el giro exclusivo hacia la izquierda.

**e) Análisis y evaluación del nivel de servicio actual**

Se presenta la tabla resumen con los valores calculados para determinar el flujo de saturación ajustada para cada aproximación, en el cual se toma en consideración las condiciones de tránsito, geométricas, semaforicas y otras propias de la intersección:

**Tabla 11-4:** Cálculo del flujo de saturación ajustado de la intersección 2

<b>Aproximación</b>	O-E	E-O		S-N
<b>Grupo de carril</b>	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.
Flujo de saturación base $S_0$	1750	1750	1750	1750
Ancho de carril (m)	4.50	3.80	3.80	3.50
Ajuste por ancho de carril ( $f_w$ )	1.04	1.00	1.00	1.00
Porcentaje de vehículos pesados PV	1.61	3.02	2.15	1.39
Ajuste por vehículos pesados ( $f_{HV}$ )	0.984	0.971	0.979	0.986
Pendiente	1%	1%	1%	0%
Ajuste por pendiente ( $f_g$ )	0.995	0.995	0.995	1.00
Ajuste por maniobras de estacionamientos ( $f_p$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
Número de buses	53	0	43	0
Ajuste por bloqueo de buses ( $f_{bb}$ )	1.894	1.00	1.914	1.00
Ajuste por tipo de área ( $f_a$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
Ajuste por utilización del carril ( $f_{LU}$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
Porcentaje de giros izquierdos	0.00	0.178	0.00	0.571
Ajuste por giros izquierdos ( $f_L$ )	1.00	0.95	1.00	0.95
Porcentaje de giros derechos	0.00	0.00	0.00	0.00
Ajuste por giros derechos ( $f_R$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
Ajuste en el giro a la izquierda por peatones ( $f_{Lpb}$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
Ajuste en el giro a la derecha por peatones y ciclistas ( $f_{Rpb}$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Flujo de saturación ajustado S=</b>	<b>3374.97</b>	<b>1606.22</b>	<b>3262.77</b>	<b>1639.23</b>

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

Se evidencia que la variación en el comportamiento del flujo de saturación ajustado para cada acceso es influenciada por las características geométricas y volumen de tránsito propias de la intersección, donde se determina que el grupo de carril del acceso O-E tiene mayor flujo de saturación.

**Determinación de la capacidad y la relación volumen a capacidad**

A continuación, se presenta la tabla resumen con los valores calculados para determinar la capacidad y la relación volumen - capacidad para cada aproximación de la intersección:

**Tabla 12-4:** Cálculo de capacidad y grado de saturación crítico de la intersección 1

Aproximación	O-E	E-O		S-N
Grupo de carril	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.
Tasa de flujo ajustado del acceso, $V_p$ (veh/h)	920	248	1144	160
Flujo de saturación base $S_0$	1750	1750	1750	1750
Número de carriles del grupo $N$	2	1	2	1
Tiempo de verde efectivo $g$	32	15	32	22
Ciclo del semáforo $C$	78	78	78	78
Relación del verde para el grupo $g/C$	0.41	0.19	0.41	0.28
Capacidad $c$ , (veh/h)	2769.20	308.89	2677.14	462.35
Grado de saturación carril, $X_i=V_p/c$	0.33	0.80	0.43	0.35
Razón de flujo Movimiento crítico $Y_i=V_p/S$	0.27	0.15	0.35	0.10
Grupo de carriles críticos	x		x	
Sumatoria de relaciones flujos críticos	0.62			
Tiempo perdido por ciclo $L$	9			
<b>Grado de saturación crítico <math>X_c</math></b>	<b>0.70</b>			

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

Una vez calculado la capacidad de cada uno de los accesos de la intersección, se determina que la tasa de flujo no sobrepasa la capacidad de la vía, con base en el grado de saturación de los accesos o la relación volumen - capacidad se encuentra por debajo de 1, por lo tanto, la capacidad de esta intersección cubre la demanda de flujo vehicular.

### Determinación de la demora y nivel de servicio

A continuación, se presenta la tabla resumen con los valores calculados para determinar las demoras y nivel de servicio NS para cada aproximación de la intersección:

**Tabla 13-4:** Cálculo demoras y nivel de servicio intersección 2

Aproximación	O-E	E-O		S-N
Grupo de carril	Frente	Giro Izq.	Frente	Giro Izq.
<b>Número de carriles del grupo N</b>	2	1	2	1
Tasa de flujo ajustado del acceso, $V_p$ (veh/h)	920	248	1144	160
Relación del verde para el grupo, $g/C$	1750	1750	1750	1750
Capacidad $c$ , (veh/h)	742.56	742.57	636.45	636.49
Grado de saturación carril, $X_i=V_p/c$	0.33	0.77	0.43	0.34
Demora uniforme, $d_1$ (seg)				
Ajuste incremental, $k$	0.5	0.5	0.5	0.5
Ajuste por ingreso intersección, $I$	1.00	1.00	1.00	1.00
Duración periodo de análisis, $T$ (h)	0.25	0.25	0.25	0.25
Ajuste por coordinación, $PF$	1	1	1	1
Demora incremental, $d_2$ (seg)	0.32	19.46	0.5	2.05
Demora por cola inicial, $d_3$ (seg)	0	0	0	0
Demora total por acceso, (seg)	16.02	49.55	16.95	24.33
Nivel de servicio por movimiento	B	D	B	C
Demora en la intersección, (seg)	20.35			
<b>Nivel de servicio de la intersección</b>	<b>B</b>			

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

En la intersección 2 conformada por la avenida General Rumiñahui en el acceso O-E y O-E en los carriles con movimiento de frente se determinó que existe un nivel de servicio tipo B y en carril de giro izquierdo el nivel es D, mientras que en la avenida San Luis en el acceso S-N el nivel de servicio es tipo C. El nivel de servicio de la toda intersección es tipo B, con una demora de 20.35 segundos por vehículo.

#### 4.1.3. Intersección 3: Avenida General Enríquez y avenida San Luis



**Figura 5-4:** Intersección 3: Avenida General Enríquez y avenida San Luis

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

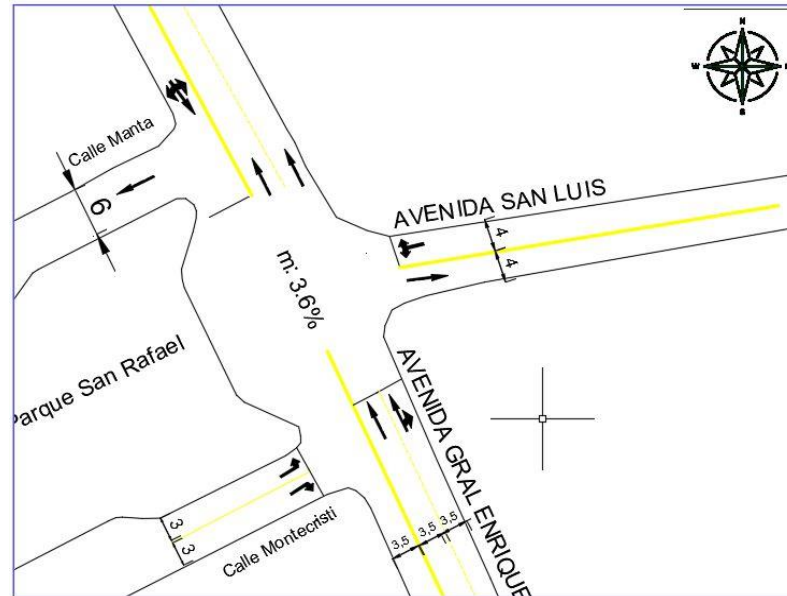
##### a) Descripción de la intersección 3

Esta intersección asimétrica tipo cruz, está conformada por la avenida General Enríquez con los accesos de sentido norte- sur y sur – norte, la avenida San Luis con su acceso este-oeste y la calle Montecristi con el acceso oeste-este, se encuentra ubicada en una de las zonas comerciales del cantón, la avenida General Enríquez es una de las principales arterias de comercio y conexión hacia el Distrito Metropolitano de Quito.

Por la dinámica comercial esta intersección es un polo a tractor de viajes, además la avenida San Luis es la vía de conexión directa de los sectores de San Pedro, Capelo y San Rafael hacia los centros comerciales San Luis Shopping, comercial Todo Hogar y el Hipermarket.

### b) Condiciones geométricas de la intersección 3

En el siguiente gráfico se describe las principales características geométricas de esta intersección asimétrica, misma que posee dos aproximaciones con un carril en el sentido norte- sur y dos carriles en el sentido sur – norte, mientras que, en el sentido este – oeste la aproximación consta de un carril y dos carriles de circulación en el sentido oeste-este.



**Figura 6-4:** Condiciones geométricas intersección 3.  
Fuente: (GADMUR , 2020)

**Tabla 14-4:** Características de circulación de la intersección 3

Intersección:	Avenida General Enríquez y avenida San Luis			
	Norte	Sur	Este	Oeste
Sentido circulación	Norte	Sur	Este	Oeste
Capa de rodadura	Asfalto	Asfalto	Adoquín	Adoquín
Nº Carriles	1	2	1	2
Ancho de carril	3.50	3.50	4	3
Pendiente	0.5	0.2	3.6	0.9
Carriles exclusivos giro	No	No	No	No
Bahía de giro	No	No	No	No
Parada de Bus	Si	Si	No	No
Parqueo permitido	Si	No	No	Si
Parterre	No	No	No	No

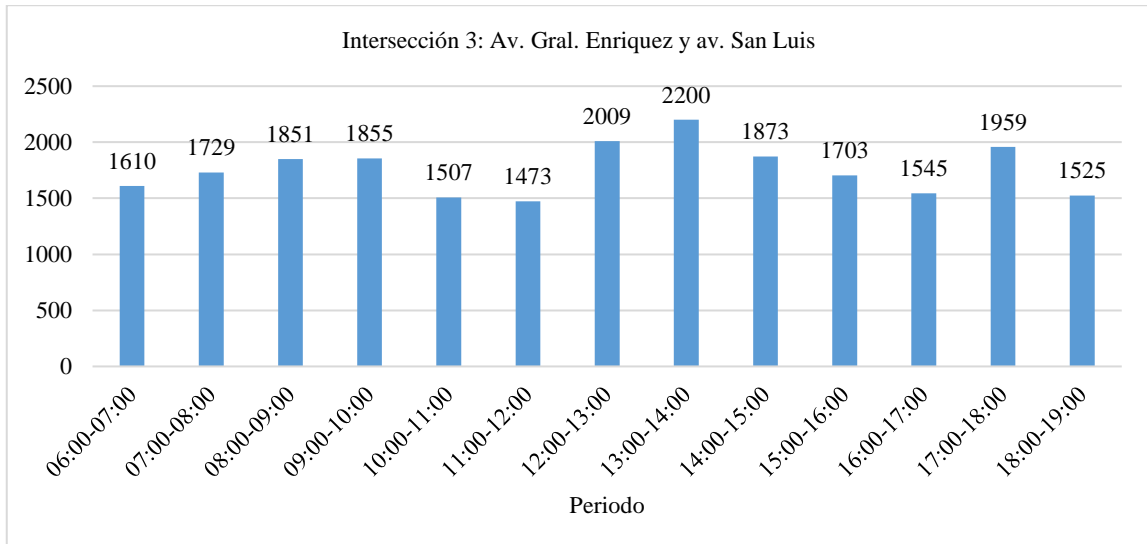
Fuente: Ficha de observación

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

En la Tabla 14-4 se puede apreciar las características de circulación encontradas en la intersección 3: avenida General Enríquez y avenida Los San Luis, además se identificó los grupos de movimientos y grupo de carril, donde se determinó que en los dos accesos de la intersección N-S y S-N, se determinó dos grupos de carriles (directo y derecha) y un grupo de movimientos por acceso, en la aproximación E-O al contar con un carril por sentido de circulación existe un grupo de carril y de movimiento compartido, mientras que, en el sentido O-E al tener dos carriles por sentido se fija dos grupos de carriles (izquierda y derecha) y movimientos.

### c) Aforo vehicular – cálculo de la hora de máxima demanda

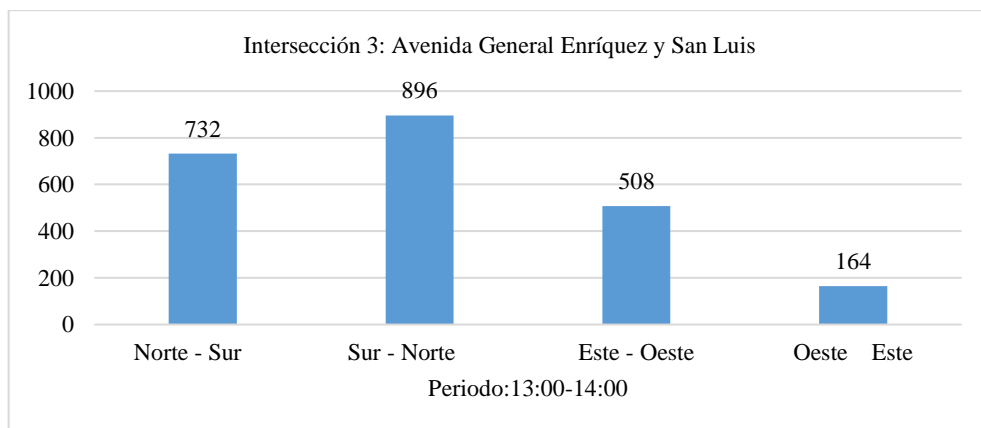
Mediante el aforo vehicular se recopiló el volumen de flujo vehicular de la intersección, los periodos de conteo de 15 minutos fueron agrupados en intervalos de 1 hora para determinar la hora de máxima demanda de circulación vehicular en la intersección.



**Gráfico 5-4:** Volumen horario de flujo vehicular intersección 3.

Fuente: Ficha de aforo vehicular

Durante el periodo comprendido entre las 06:00 y 19:00 horas, por esta intersección circulan 22.839 vehículos/día. El intervalo horario de 13:00 hasta las 14:00 horas es identificado como la hora pico de máxima demanda de circulación vehicular con 2.200 veh/h. en el Anexo 2 se describe los resultados del aforo vehicular en la intersección.



**Gráfico 6-4:** Volumen horario de máxima demanda intersección 3.

Fuente: Ficha de aforo vehicular

En la distribución del flujo vehicular de los cuatro accesos de la intersección, se evidencia que los accesos con sentido sur – norte y norte – sur en la avenida General Enríquez poseen mayor carga



vehicular, debido a que esta vía interconecta Sangolqui con las áreas circundantes del Distrito Metropolitano de Quito.

A continuación, en la siguiente tabla, se detalla la tasa de flujo calculada para cada acceso.

**Tabla 15-4:** Cálculo de la tasa de flujo  $V_p$ , intersección 3

Acceso	Movimientos	Grupo carril GC	VHMD	VHMD Total	$V_{m\acute{a}x}$ 15 min	FHMD	$V_p$ mov (veh/h)	$V_p$ acceso (veh/h)
Norte-Sur	Frente	1	589	704	151	0.975	604	732
	Giro Derecho		115		32	0.898	128	
Sur-Norte	Frente	1	710	865	183	0.97	732	896
	Giro Derecho	2	155		41	0.945	164	
Este-Oeste	Giro Izquierdo	1	420	480	111	0.946	444	508
	Giro Derecho		60		16	0.938	64	
Oeste –Este	Giro Izquierdo	1	79	151	22	0.898	88	164
	Giro Derecho	2	72		19	0.947	76	

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

Para los próximos cálculos se va utilizar la tasa de flujo de los accesos calculados para esta esta intersección.

#### d) Condiciones de control de tránsito

En esta intersección, los movimientos del flujo vehicular son regulados por un sistema semafórico que actualmente consta de tres fases, la fase uno controla el flujo proveniente del sentido N-S y S-N, mientras que la fase dos el flujo del sentido E –O y la fase tres regula el sentido O-E.

**Tabla 16-4:** Características semafóricas de la intersección 3

Fases Intersección 3				
Fases actuales	Fase Ø 1 Avenida Gral. Enríquez	Fase Ø 2 Avenida San Luis	Fase Ø 3 Calle Montecristi	Diagrama de fases
Movimientos				
V: Verde	50 seg.	30 seg.	21 seg.	
A: Amarillo	3 seg.	3 seg.	3 seg.	
R: Rojo	57 seg.	77 seg.	86 seg.	
Tiempo ciclo	110 seg.			

Fuente: Ficha de observacion

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

La duración del ciclo es de 110 segundos, el sistema de operación es de tiempo fijo, en todas las aproximaciones de la intersección existen solamente semáforos vehiculares sin acoples para giros exclusivos.

**e) Análisis y evaluación del nivel de servicio actual**

**Determinación del flujo de saturación ajustada**

A continuación, se presenta la tabla resumen con los valores calculados para determinar el flujo de saturación ajustada para cada aproximación, en el cual se toma en consideración las condiciones de tránsito, geométricas, semaforicas y otras propias de la intersección:

**Tabla 17-4:** Cálculo del flujo de saturación ajustado de la intersección 3

<b>Aproximación</b>	N-S	S-N	E-O	O-E
<b>Grupo de carril</b>	1	2	1	2
<b>Movimientos</b>	FRE-DER	FRE-DER	IZQ-DER	IZQ-DER
<b>Factores de ajuste</b>				
Flujo de saturación base $S_0$	1750	1750	1750	1750
Número de carriles del grupo N	1.00	2.00	1.00	2.00
Ancho de carril (m)	3.50	3.50	4.00	3.00
Ajuste por ancho de carril ( $f_w$ )	1.00	1.00	1.04	1.00
Porcentaje de vehículos pesados PV	0.57	0.58	0.83	0.00
Ajuste por vehículos pesados ( $f_{HV}$ )	0.994	0.994	0.992	1.00
Pendiente	0.5	0.2	3.6	0.9
Ajuste por pendiente ( $f_g$ )	0.998	0.999	0.982	0.996
Ajuste por maniobras de estacionamientos ( $f_p$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
Número de buses	42	35	0	0
Ajuste por bloqueo de buses ( $f_{bb}$ )	0.832	1.930	1.00	2.00
Ajuste por tipo de área ( $f_a$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
Ajuste por utilización del carril ( $f_{LU}$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
Porcentaje de giros izquierdos	0.00	0.00	0.875	0.523
Ajuste por giros izquierdos ( $f_L$ )	1.00	1.00	0.958	0.975
Porcentaje de giros derechos	0.163	0.179	0.125	0.477
Ajuste por giros derechos ( $f_R$ )	0.976	0.973	0.981	0.928
Ajuste en el giro a la izquierda por peatones ( $f_{Lpb}$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
Ajuste en el giro a la derecha por peatones y ciclistas ( $f_{Rpb}$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Flujo de saturación ajustado <math>S=</math></b>	<b>1409.71</b>	<b>3263.32</b>	<b>1666.21</b>	<b>3154.13</b>

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

Se evidencia que el comportamiento del flujo de saturación ajustado para cada acceso es influenciado por las características geométricas y volumen de tránsito propias de la intersección, donde se determina que el grupo de carril del acceso S-N y O-E tiene mayor flujo de saturación.

**Determinación de la capacidad y la relación volumen a capacidad**

A continuación, se presenta la tabla resumen con los valores calculados para determinar la capacidad y la relación volumen - capacidad para cada aproximación de la intersección:

**Tabla 18-4:** Cálculo de capacidad y grado de saturación crítico de la intersección 3

<b>Aproximación</b>	N-S	S-N	E-O	O-E
<b>Movimientos</b>	FRE-DER	FRE-DER	IZQ-DER	IZQ-DER
<b>Análisis de capacidad</b>				
Tasa de flujo ajustado del acceso, $V_p$ (veh/h)	732	896	508	164
Flujo de saturación base $S_0$	1409.71	3263.32	1666.21	3154.13
Número de carriles del grupo $N$	1	2	1	2
Tiempo de verde efectivo $g$	50	50	30	21
Ciclo del semáforo $C$	110	110	110	110
Relación del verde para el grupo $g/C$	0.45	0.45	0.27	0.19
Capacidad $c$ , (veh/h)	640.78	2966.66	454.42	1204.31
Grado de saturación carril, $X_i=V_p/c$	1.14	0.30	1.12	0.14
Razón de flujo Movimiento crítico $Y_i=V_p/S$	0.52	0.27	0.30	0.05
Grupo de carriles críticos	x		x	
Sumatoria de relaciones flujos críticos				0.82
Tiempo perdido por ciclo $L$				6
<b>Grado de saturación crítico <math>X_c</math></b>				<b>0.84</b>

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

Una vez calculado la capacidad de cada uno de los accesos de la intersección, se determina que la tasa de flujo de los accesos N-S y E-O sobrepasa la capacidad de la vía, con base en el grado de saturación de los accesos o la relación volumen - capacidad que supera el valor de 1, por lo tanto, la demanda de flujo vehicular sobrepasa la capacidad de esta intersección.

### Determinación de la demora y nivel de servicio

A continuación, se presenta la tabla resumen con los valores calculados para determinar las demoras y nivel de servicio NS para cada aproximación de la intersección:

**Tabla 19-4:** Cálculo demoras y nivel de servicio intersección 3

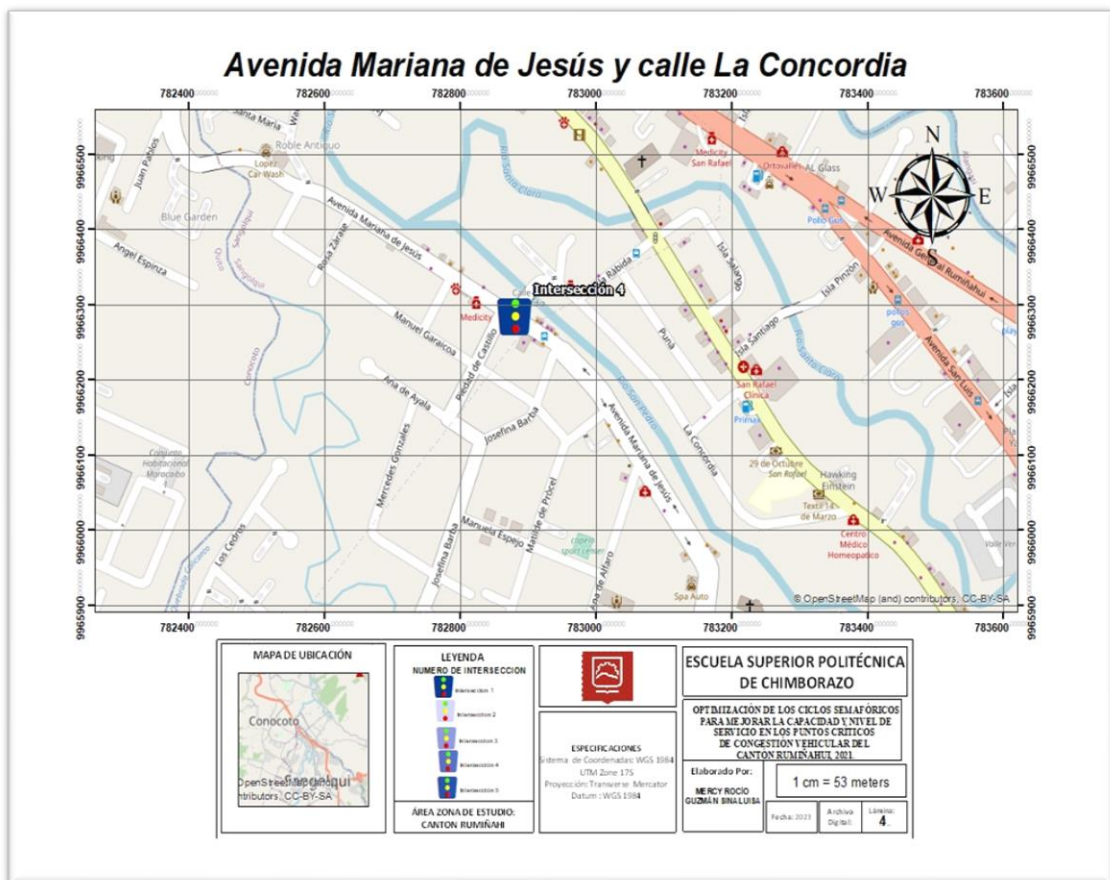
<b>Aproximación</b>	N-S	S-N	E-O	O-E
<b>Grupo de carril</b>	1	2	1	2
<b>Movimientos</b>	FRE-DER	FRE-DER	IZQ-DER	IZQ-DER
<b>Análisis de capacidad</b>				
Tasa de flujo ajustado del acceso, $V_p$ (veh/h)	732	896	508	164
Relación del verde para el grupo, $g/C$	0.45	0.45	0.27	0.19
Capacidad $c$ , (veh/h)	640.78	2966.66	454.42	1204.31
Grado de saturación carril, $X_i=V_p/c$	1.14	0.30	1.12	0.14
Demora uniforme, $d_1$ (seg)	34.04	18.97	41.85	36.97
Ajuste incremental, $k$	0.5	0.5	0.5	0.5
Ajuste por ingreso intersección, $I$	1.00	1.00	1.00	1.00
Duración periodo de análisis, $T$ (h)	0.25	0.25	0.25	0.25
Ajuste por coordinación, $PF$	1	1	1	1
Demora incremental, $d_2$ (seg)	81.73	0.26	78.46	0.24
Demora por cola inicial, $d_3$ (seg)	16.86	0	15.84	0
Demora total por acceso, (seg)	132.62	19.23	120.31	37.21
Nivel de servicio por movimiento	F	B	F	D
Demora en la intersección, (seg)				78.92
<b>Nivel de servicio de la intersección</b>				<b>E</b>

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

En la intersección 3 conformada por la avenida General Enríquez en el acceso norte-sur se determinó que existe un nivel de servicio tipo F debido a que la calzada posee un carril de circulación que no abastece la carga vehicular sumado al estacionamiento permitido paralelo a la calzada y la existencia de una parada de bus mientras que en el acceso sur-norte es tipo B, en cuanto a la avenida San Luis es nivel de servicio es tipo F a razón que la calzada es de un solo carril de circulación y no soporta la demanda de flujo vehicular proveniente de los centros comerciales cercanos a la intersección y en la calle Montecristi se determinó que el nivel de servicio es tipo D por cuanto el estacionamiento de vehículos reduce esta calzada a un solo carril. A nivel general la intersección actualmente tiene un nivel de servicio tipo E con una demora de 78.92 segundos por cada vehículo, retrasos que generan pérdida de tiempo problemas de congestión y circulación vehicular, por lo cual es necesario buscar propuestas de solución con el propósito de mejorar el nivel de servicio en la intersección y mejorar la fluidez en la circulación vehicular.

**4.1.4. Intersección 4: Avenida Mariana de Jesús y calle La Concordia**



**Figura 7-4:** Intersección 4: Avenida Mariana de Jesús y calle Concordia

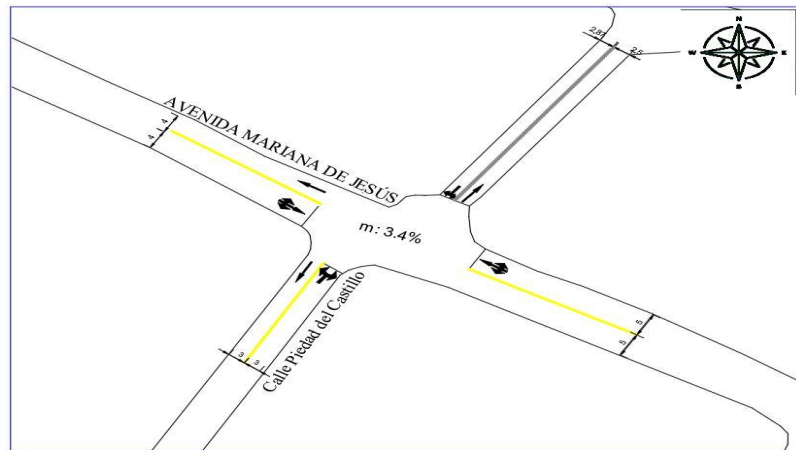
Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

**a) Descripción de la intersección 4**

Esta intersección asimétrica tipo cruz, está conformada por la avenida Mariana de Jesús con los accesos de sentido este-oeste y oeste-este, y la calle La Concordia con los accesos norte- sur y sur – norte, la avenida Mariana de Jesús actualmente es utilizada como vía alterna para acceder a la autopista General Rumiñahui, lo que ha generado que el volumen de flujo vehicular se incremente notablemente ocasionando conflictos vehiculares en las calles que conectan con esta avenida.

**b) Condiciones geométricas de la intersección 4**

En el siguiente gráfico se describe las principales características geométricas de esta intersección asimétrica, misma que posee dos aproximaciones con un carril en el sentido norte- sur y sur – norte, así como también, en el sentido este – oeste y oeste-este las dos aproximaciones constan de un carril de circulación.



**Figura 8-4:** Condiciones geométricas intersección 4.  
Fuente: (GADMUR , 2020)

**Tabla 20-4:** Características de circulación de la intersección 4

Intersección:	Avenida Mariana de Jesús y calle la Concordia			
	Este	Oeste	Norte	Sur
Sentido circulación	Este	Oeste	Norte	Sur
Capa de rodadura	Adoquín	Adoquín	Adoquín	Adoquín
Nº Carriles	1	1	1	1
Ancho de carril	5.00	5.00	3	3
Pendiente	0.9	0.5	3.4	2.1
Carriles exclusivos giro	No	No	No	No
Bahía de giro	No	No	No	No
Parada de Bus	Si	No	Si	No
Parqueo permitido	No	No	No	No
Parterre	No	No	Si	No

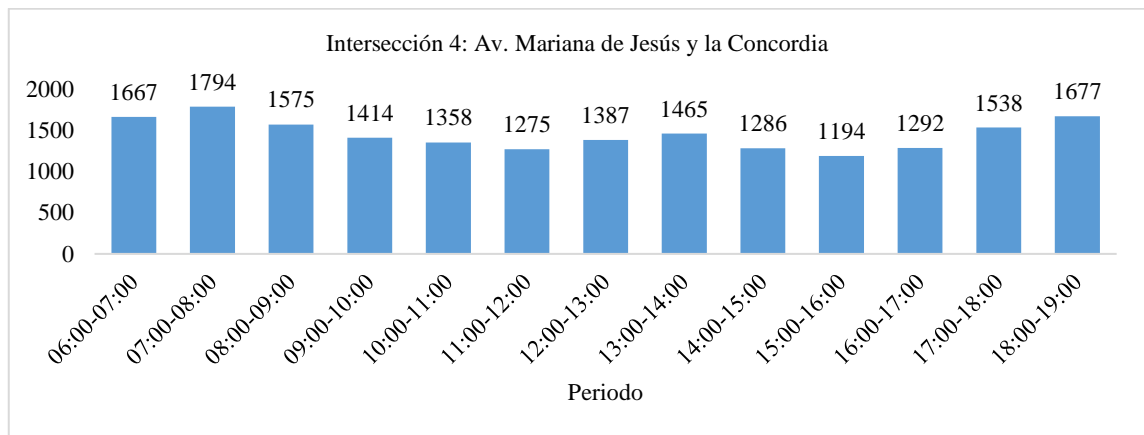
Fuente: Ficha de observacion

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

En la Tabla 20-4 se puede apreciar las características de circulación encontradas en la intersección 4: avenida Mariana de Jesús y calle La Concordia, además se identificó los grupos de movimientos y grupo de carril, donde se determinó que en los cuatro accesos de la intersección (N-S, S-N y E-O, O-E) al contar con un solo carril de circulación por sentido existe un solo grupo de carril y solo grupo de movimiento (izquierda, directo y derecha).

**c) Aforo vehicular – cálculo de la hora de máxima demanda**

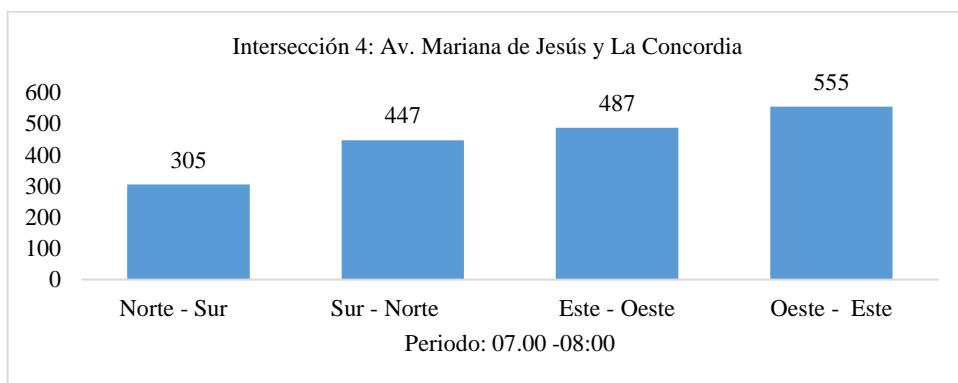
Mediante el aforo vehicular se recopiló el volumen de flujo vehicular de la intersección, los periodos de conteo de 15 minutos fueron agrupados en intervalos de 1 hora para determinar la hora de máxima demanda de circulación vehicular en la intersección.



**Gráfico 7-4:** Volumen horario de flujo vehicular intersección 4.

Fuente: Ficha de aforo vehicular

Durante el periodo comprendido entre las 06:00 y 19:00 horas, por esta intersección circulan 22.839 vehículos/día. El intervalo horario de 07:00 hasta las 08:00 horas es identificado como la hora pico de máxima demanda de circulación vehicular con 1.794 veh/h. en el Anexo 4 se describe los resultados del aforo vehicular en la intersección.



**Gráfico 8-4:** Volumen horario de máxima demanda intersección 4.

Fuente: Ficha de aforo vehicular

En la distribución del flujo vehicular de los cuatro accesos de la intersección, se evidencia que los accesos con sentido este – oeste y oeste – este en la Av. Mariana de Jesús poseen mayor carga vehicular, a razón que esta vía enlaza Sangolquí con el intercambiador de la autopista General Rumiñahui vía de conexión directa hacia el Distrito Metropolitano de Quito.

A continuación, en la siguiente tabla, se detalla la tasa de flujo calculada para cada acceso.

**Tabla 21-4:** Cálculo de la tasa de flujo Vp, intersección 4.

Acceso	Movimientos	Grupo carril GC	VHMD	VHMD Total	V <sub>máx 15 min</sub>	FHMD	V <sub>p mov (veh/h)</sub>	V <sub>p acceso (veh/h)</sub>
Este-Oeste	Giro Izquierdo	1	49	487	18	0.681	72	564
	Frente		287		82	0.875	328	
	Giro Derecho		151		41	0.921	164	
Oeste –Este	Giro Izquierdo	1	173	555	49	0.883	196	636
	Frente		382		110	0.868	440	
	Giro Derecho		0		0	0	0	
Norte-Sur	Giro Izquierdo	1	173	305	47	0	0	156
	Frente		88		25	0.88	100	
	Giro Derecho		44		14	0.786	56	
Sur-Norte	Giro Izquierdo	1	274	447	76	0.901	304	516
	Frente		122		38	0.803	152	
	Giro Derecho		51		15	0.850	60	

**Fuente:** Metodología HCM 2010

**Realizado por:** Guzmán, Mercy, 2023

Para los próximos cálculos se va utilizar la tasa de flujo de los accesos calculados para esta esta intersección.

#### **d) Condiciones de control de tránsito**

En esta intersección, los movimientos del flujo vehicular son regulados por un sistema semafórico que actualmente consta de tres fases, la fase uno controla el flujo proveniente del sentido N-S y S-N, mientras que la fase dos el flujo del sentido E –O y la fase tres regula el sentido O-E.

**Tabla 22-4:** Características semafóricas de la intersección 4

Fases Intersección 4			
Fases actuales	Fase Ø 1 Avenida Mariana de Jesús	Fase Ø 2 Calle La Concordia	Diagrama de fases
Movimientos			
V: Verde	36 seg.	30 seg.	
A: Amarillo	3 seg.	3 seg.	
R: Rojo	33 seg.	39 seg.	
Tiempo ciclo	72 seg.		

Fuente: Ficha de observación

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

La duración del ciclo es de 72 segundos, el sistema de operación es de tiempo fijo, en todas las aproximaciones de la intersección existen solamente semáforos vehiculares sin acoples para giros exclusivos.

#### f) Análisis y evaluación del nivel de servicio actual

##### Determinación del flujo de saturación ajustada

A continuación, se presenta la tabla resumen con los valores calculados para determinar el flujo de saturación ajustada para cada aproximación, en el cual se toma en consideración las condiciones de tránsito, geométricas, semafóricas y otras propias de la intersección:

**Tabla 23-4:** Cálculo del flujo de saturación ajustado de la intersección 4.

Aproximación	E-O	O-E	N-S	S-N
Grupo de carril	1	1	1	1
Movimientos	IZQ-FRE-DER	IZQ-FRE-DER	IZQ-FRE-DER	IZQ-FRE-DER
<b>Factores de ajuste</b>				
Flujo de saturación base $S_0$	1750	1750	1750	1750
Número de carriles del grupo N	1	1	1	1
Ancho de carril (m)	5.00	4.00	2.87	3.00
Ajuste por ancho de carril ( $f_w$ )	0.96	1.04	1.04	1.04
Porcentaje de vehículos pesados PV	8.04	7.94	17.76	27.94
Ajuste por vehículos pesados ( $f_{HV}$ )	0.982	0.998	0.984	0.996
Pendiente	0.9	0.5	3.4	2.1
Ajuste por pendiente ( $f_g$ )	0.996	0.998	0.983	0.990
Ajuste por maniobras de estacionamientos ( $f_p$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
Número de buses	11	0	11	0
Ajuste por bloqueo de buses ( $f_{bb}$ )	0.956	1.00	0.956	1.00
Ajuste por tipo de área ( $f_a$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
Ajuste por utilización del carril ( $f_{LU}$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
Porcentaje de giros izquierdos	0.101	0.312	0.567	0.613
Ajuste por giros izquierdos ( $f_L$ )	0.995	0.985	0.972	0.970



Porcentaje de giros derechos	0.310	0	0.144	0.114
Ajuste por giros derechos ( $f_R$ )	0.954	1.00	0.978	0.983
Ajuste en el giro a la izquierda por peatones ( $f_{Lpb}$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
Ajuste en el giro a la derecha por peatones y ciclistas ( $f_{Rpb}$ )	1.00	1.00	1.00	1.00
<b>Flujo de saturación ajustado <math>S=</math></b>	<b>1615.37</b>	<b>1785.54</b>	<b>1476.80</b>	<b>1645.35</b>

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

Se evidencia que el comportamiento del flujo de saturación ajustado para cada acceso es influenciado por las características geométricas y volumen de tránsito propias de la intersección, donde se determina que el grupo de carril del acceso O-E y S-N tiene mayor flujo de saturación.

#### Determinación de la capacidad y la relación volumen a capacidad

A continuación, se presenta la tabla resumen con los valores calculados para determinar la capacidad y la relación volumen - capacidad para cada aproximación de la intersección:

**Tabla 24-4:** Cálculo de capacidad y grado de saturación crítico de la intersección 4

Aproximación	E-O	O-E	N-S	S-N
Movimientos	IZQ-FRE-DER	IZQ-FRE-DER	IZQ-FRE-DER	IZQ-FRE-DER
Tasa de flujo ajustado del acceso, $V_p$ (veh/h)	564	636	156	516
Flujo de saturación base $S_0$	1615.37	1785.54	1476.80	1645.35
Número de carriles del grupo $N$	1	1	1	1
Tiempo de verde efectivo $g$	36	36	30	30
Ciclo del semáforo $C$	72	72	72	72
Relación del verde para el grupo $g/C$	0.50	0.50	0.42	0.42
Capacidad $c$ , (veh/h)	807.68	892.77	615.33	685.56
Grado de saturación carril, $X_i = V_p/c$	0.70	0.71	0.25	0.75
Razón de flujo Movimiento crítico $Y_i = V_p/S$	0.35	0.36	0.11	0.31
Grupo de carriles críticos	x	x		
Sumatoria de relaciones flujos críticos	0.71			
Tiempo perdido por ciclo $L$	6			
<b>Grado de saturación crítico <math>X_c</math></b>	<b>0.87</b>			

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

Una vez calculado la capacidad de cada uno de los accesos de la intersección, se determina que la tasa de flujo de ninguno de los accesos sobrepasa la capacidad de la vía, con base en el grado de saturación de los accesos o la relación volumen - capacidad que supera el valor de 1, por lo tanto, la demanda de flujo vehicular sobrepasa la capacidad de esta intersección.

**Determinación de la demora y nivel de servicio**

A continuación, se presenta la tabla resumen con los valores calculados para determinar las demoras y nivel de servicio NS para cada aproximación de la intersección:

**Tabla 25-4:** Cálculo demoras y nivel de servicio intersección 4

<b>Aproximación</b>	<b>E-O</b>	<b>O-E</b>	<b>N-S</b>	<b>S-N</b>
<b>Movimientos</b>	<b>IZQ-FRE-DER</b>	<b>IZQ-FRE-DER</b>	<b>IZQ-FRE-DER</b>	<b>IZQ-FRE-DER</b>
Relación del verde para el grupo, $g/C$	0.50	0.50	0.42	0.42
Capacidad $c$ , (veh/h)	807.68	892.77	615.33	685.56
Grado de saturación carril, $X_i=Vp/c$	0.70	0.71	0.25	0.75
Demora uniforme, $d_1$ (seg)	13.83	13.98	13.70	17.85
Ajuste incremental, $k$	0.5	0.5	0.5	0.5
Ajuste por ingreso intersección, $I$	1.00	1.00	1.00	1.00
Duración periodo de análisis, $T$ (h)	0.25	0.25	0.25	0.25
Ajuste por coordinación, $PF$	1	1	1	1
Demora incremental, $d_2$ (seg)	4.98	4.81	0.99	7.49
Demora por cola inicial, $d_3$ (seg)	17.829	16.13	0	0
Demora total por acceso, (seg)	36.64	34.92	14.69	25.34
Nivel de servicio por movimiento	D	C	B	C
Demora en la intersección, (seg)	31.11			
<b>Nivel de servicio de la intersección</b>	<b>C</b>			

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

En la intersección 4 conformada por la avenida Mariana de Jesús en el acceso este-oeste se determinó que existe un nivel de servicio tipo D debido a que la calzada posee un carril de circulación que no abastece la carga vehicular sumado a la existencia de una parada de bus mientras que en el acceso oeste-este es tipo C, en cuanto a la calle la Concordia el nivel de servicio del acceso norte-sur es tipo B a razón que el flujo vehicular es considerablemente bajo mientras que en el acceso sur-norte es tipo C ya que soporta la demanda de flujo vehicular que se dirige hacia el desvío que conecta a la autopista General Rumiñahui. A nivel general la intersección actualmente tiene un nivel de servicio tipo C con una demora de 31.11 segundos por cada vehículo, retrasos que generan pérdida de tiempo, problemas de congestión y circulación vehicular debido a que los vehículos son obligados a parar y avanzar lentamente, por lo cual es necesario buscar alternativas de solución con el propósito de mejorar el nivel de servicio en la intersección y mejorar la fluidez en la circulación vehicular

Intersección 5: Avenida Mariana de Jesús y avenida Agustín Miranda



**Figura 9-4:** Intersección 5: Avenida Mariana de Jesús y avenida Agustín Miranda

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

**a) Descripción de la intersección 5**

Esta intersección tipo T, está conformada por la avenida Mariana de Jesús con los accesos de sentido norte-sur, sur-norte y la avenida Agustín Miranda con su acceso este – oeste. Se encuentra dentro de una zona residencial y potencialmente comercial a razón que a lo largo del trayecto de la avenida Mariana de Jesús se ubican locales comerciales y conjuntos residenciales además de ser unas de las principales arterias viales del cantón que conecta la centralidad de Sangolqui con las parroquias de: San Rafael, Fajardo y Rumiloma.

**b) Condiciones geométricas de la intersección 5**

En el siguiente gráfico se describe las principales características geométricas de esta intersección tipo T, misma que posee dos aproximaciones de dos carriles con sentido de circulación sur-norte

y este-oeste respectivamente hasta el cruce del semáforo a partir de ahí se reduce la calzada a un carril de circulación en sentido norte-sur y sur-norte.



**Figura 10-4:** Condiciones geométricas intersección 5.  
Fuente: (GADMUR , 2020)

**Tabla 26-4:** Características de circulación de la intersección 5

Intersección:	Avenida Mariana de Jesús y avenida Agustín Miranda		
	Norte	Sur	Este
Sentido circulación	Norte	Sur	Este
Capa de rodadura	Adoquín	Adoquín	Adoquín
Nº Carriles	1	2	2
Ancho de carril	5,00	4.00	4.00
Pendiente	0,9	0.6	3.6
Carriles exclusivos giro	No	No	No
Bahía de giro	No	No	No
Parada de Bus	No	No	No
Parqueo permitido	No	No	Si
Parterre	No	No	Si

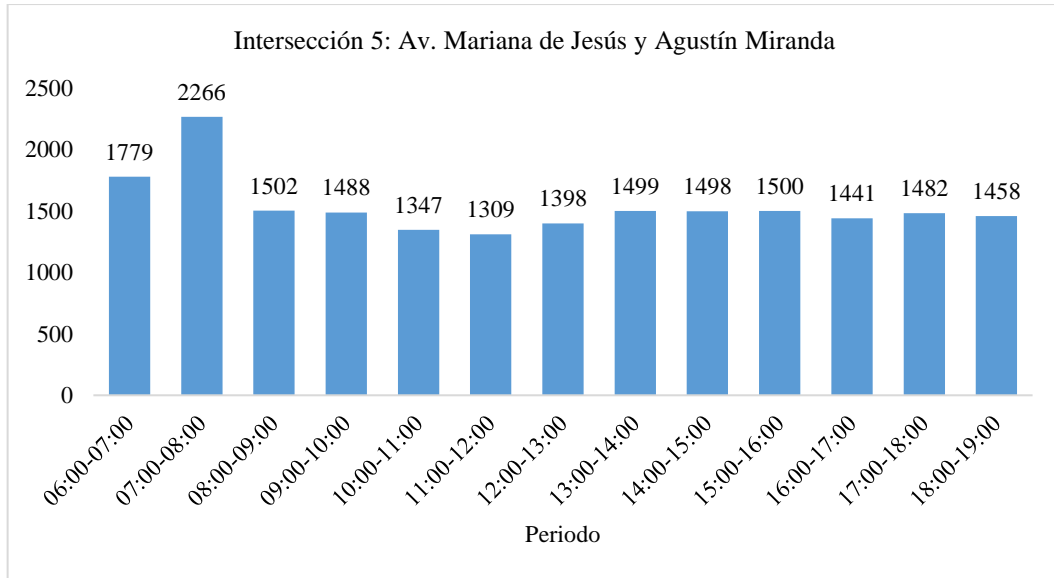
**Fuente:** Ficha de observacion

**Realizado por:** Guzmán, Mercy, 2023

En la Tabla 26-4 se puede apreciar las características de circulación encontradas en la intersección 5: avenida Mariana de Jesús y avenida Agustín Miranda, además se identificó los grupos de movimientos y grupo de carril, donde se determinó que en el acceso de la intersección (S-N) al contar con dos carriles de circulación por sentido se determinó dos grupos de carriles y un grupo de movimiento (directo y derecha), en el acceso (N-S) se determina un grupo de carril y movimiento (directo e izquierda), y en la aproximación (E-O) al contar con 2 carriles existe 2 grupos de carriles y un grupo de movimiento (izquierda y derecha).

**c) Aforo vehicular – cálculo de la hora de máxima demanda**

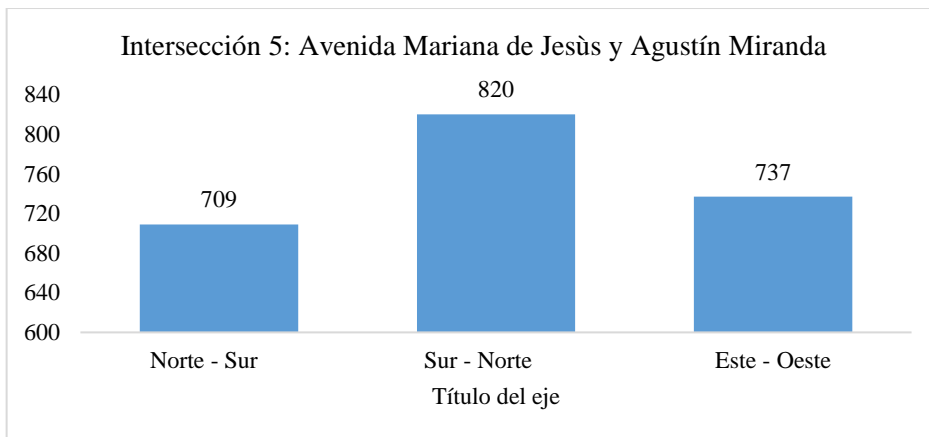
A través del aforo vehicular se recopiló el volumen de flujo vehicular de la intersección, los periodos de conteo de 15 minutos fueron agrupados en intervalos de 1 hora para determinar la hora de máxima demanda de circulación vehicular en la intersección, es importante mencionar que el volumen de peatones y ciclistas que transitan por la intersección es considerablemente bajo por lo que no influye en el análisis de la intersección.



**Gráfico 9-4:** Volumen horario de flujo vehicular intersección 5

Fuente: Ficha de aforo vehicular

Durante el periodo comprendido entre las 06:00 y 19:00 horas, por esta intersección circulan 19967 vehículos/día. El intervalo horario de 07:00 hasta las 08:00 horas es identificado como la hora pico de máxima demanda de circulación vehicular con 2266 veh/h. en el Anexo 2 se describe los resultados del aforo vehicular en la intersección.



**Gráfico 10-4:** Volumen horario de máxima demanda intersección 5.

Fuente: Ficha de aforo vehicular

En la distribución del flujo vehicular de los tres accesos de la intersección, se evidencia que el acceso de sentido sur – norte de la avenida Mariana de Jesús poseen mayor carga vehicular, debido a que esta arteria vial de desfogue interconecta directamente el suroeste de Sangolqui con el intercambiador de la autopista General Rumiñahui.

A continuación, en la siguiente tabla, se detalla la tasa de flujo calculada para cada acceso.

**Tabla 27-4:** Cálculo de la tasa de flujo  $V_p$ , intersección 5.

Acceso	Movimientos	Grupo carril GC	VHMD	V <sub>máx 15 min</sub>	FHMD	V <sub>p mov (veh/h)</sub>	V <sub>p acceso (veh/h)</sub>
Norte – Sur	Giro Izquierdo	1	372	113	0.823	452	808
	Frente		337	89	0.947	356	
Sur-Norte	Frente	1	429	125	0.858	500	896
	Giro Derecho	1	391	99	0.987	396	
Este - Oeste	Giro Izquierdo	1	392	107	0.916	428	792
	Giro Derecho	1	345	91	0.948	364	

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

Para los próximos cálculos se va utilizar la tasa de flujo de los accesos calculados para esta intersección.

#### d) Condiciones de control de tránsito

En esta intersección, los movimientos del flujo vehicular son regulados por un sistema semafórico que actualmente consta de dos fases, la fase uno controla el flujo proveniente del sentido N–S y S–N, mientras que, la fase dos regula el flujo del sentido E–O.

**Tabla 28-4:** Características semafóricas de la intersección 5

Fases Intersección 5			
Fases actuales	Fase Ø 1 Avenida Mariana de J.	Fase Ø 2 Agustín Miranda	Diagrama de fases
Movimientos			
V: Verde	37 seg.	25 seg.	
A: Amarillo	3 seg.	3 seg.	
R: Rojo	28 seg.	40 seg.	
Tiempo ciclo	68 seg.		

Fuente: Ficha de observacion

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

La duración del ciclo es de 68 segundos, el sistema de operación es de tiempo fijo, en todas las aproximaciones de la intersección existen semáforos vehiculares.

#### e) Análisis y evaluación del nivel de servicio actual

Se presenta la tabla resumen con los valores calculados para determinar el flujo de saturación ajustada para cada aproximación, en el cual se toma en consideración las condiciones de tránsito, geométricas, semafóricas y otras propias de la intersección:

**Tabla 29-4:** Cálculo del flujo de saturación ajustado de la intersección 5

Aproximación	N-S	S-N	E-O
Grupo de carril	1	2	2
Movimientos	IZQ-FRE	FRE-DER	IZQ-DER
<b>Factores de ajuste</b>			
Flujo de saturación base $S_0$	1750	1750	1750
Número de carriles del grupo N	1	2	2
Ancho de carril (m)	5.00	4.00	4.00
Ajuste por ancho de carril ( $f_w$ )	1.04	1.04	1.04
Porcentaje de vehículos pesados PV	0.26	0.345	0.00
Ajuste por vehículos pesados ( $f_{HV}$ )	0.997	0.997	1.00
Pendiente	0.9	0.6	3.6
Ajuste por pendiente ( $f_g$ )	0.996	0.997	0.982
Ajuste por maniobras de estacionamientos ( $f_p$ )	0.90	0.90	0.865
Número de buses	15	14	11
Ajuste por bloqueo de buses ( $f_{bb}$ )	0.940	0.944	0.956
Ajuste por tipo de área ( $f_a$ )	1.00	1.00	1.00
Ajuste por utilización del carril ( $f_{LU}$ )	1.00	1.00	1.00
Porcentaje de giros izquierdos	0.643	0.00	0.668
Ajuste por giros izquierdos ( $f_L$ )	0.974	1.00	0.974
Porcentaje de giros derechos	0.00	0.321	0.332
Ajuste por giros derechos ( $f_R$ )	1.00	0.928	0.930
Ajuste en el giro a la izquierda por peatones ( $f_{Lpb}$ )	1.00	1.00	1.00
Ajuste en el giro a la derecha por peatones y ciclistas ( $f_{Rpb}$ )	1.00	1.00	1.00
<b>Flujo de saturación ajustado <math>S=</math></b>	<b>1492.20</b>	<b>1427.77</b>	<b>1338.75</b>

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

Se evidencia que la variación en el comportamiento del flujo de saturación ajustado para cada acceso es influenciada por las características geométricas y volumen de tránsito propias de la intersección, donde se determina que el grupo de carril de los accesos N-S y S-N presentan mayor flujo de saturación.

#### Determinación de la capacidad y la relación volumen a capacidad

A continuación, se presenta la tabla resumen con los valores calculados para determinar la capacidad y la relación volumen - capacidad para cada aproximación de la intersección:

**Tabla 30-4:** Cálculo de capacidad y grado de saturación crítico de la intersección 5

Aproximación	N-S	S-N	E-O
Grupo de carril	IZQ-FRE	FRE-DER	IZQ-DER
<b>Cálculo de capacidad</b>			
Tasa de flujo ajustado del acceso, $Vp$ (veh/h)	808	896	792
Flujo de saturación base $S_0$	1750	1750	1750
Número de carriles del grupo $N$	1	2	2
Tiempo de verde efectivo $g$	37	37	25
Ciclo del semáforo $C$	68	68	68
Relación del verde para el grupo $g/C$	0.54	0.54	0.37
Capacidad $c$ , (veh/h)	811.93	1553.75	984.37
Grado de saturación carril, $X_i=Vp/c$	1.00	0.58	0.80
Razón de flujo Movimiento crítico $Y_i=Vp/S$	0.54	0.63	0.59
Grupo de carriles críticos		X	X
Sumatoria de relaciones flujos críticos		1.22	
Tiempo perdido por ciclo $L$		6	
<b>Grado de saturación crítico <math>X_c</math></b>		<b>1.34</b>	

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

Una vez calculado la capacidad de cada uno de los accesos de la intersección, se determina que la tasa de flujo sobrepasa la capacidad de la vía, con base en el grado de saturación de los accesos o la relación volumen - capacidad que supera el valor de 1, por lo tanto, la demanda de flujo vehicular sobrepasa la capacidad de esta intersección.

### Determinación de la demora y nivel de servicio

A continuación, se presenta la tabla resumen con los valores calculados para determinar las demoras y nivel de servicio NS para cada aproximación de la intersección:

**Tabla 31-4:** Cálculo demoras y nivel de servicio intersección 5

Aproximación	N-S	S-N	E-O
Grupo de carril	IZQ-FRE	FRE-DER	IZQ-DER
Relación del verde para el grupo, $g/C$	0.54	0.54	0.37
Capacidad $c$ , (veh/h)	811.93	1553.75	984.37
Grado de saturación carril, $X_i=Vp/c$	1.00	0.58	0.80
Demora uniforme, $d_1$ (seg)	15.41	10.3	19.31
Ajuste incremental, $k$	0.5	0.5	0.5
Ajuste por ingreso intersección, $I$	1.00	1.00	1.00
Duración periodo de análisis, $T$ (h)	0.25	0.25	0.25
Ajuste por coordinación, $PF$	1	1	1
Demora incremental, $d_2$ (seg)	30.44	1.57	6.98
Demora por cola inicial, $d_3$ (seg)	17.74	0	0
Demora total por acceso, (seg)	63.59	11.87	26.29
Nivel de servicio por movimiento	E	B	C
Demora en la intersección, (seg)	33.19		
<b>Nivel de servicio de la intersección</b>	<b>C</b>		

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

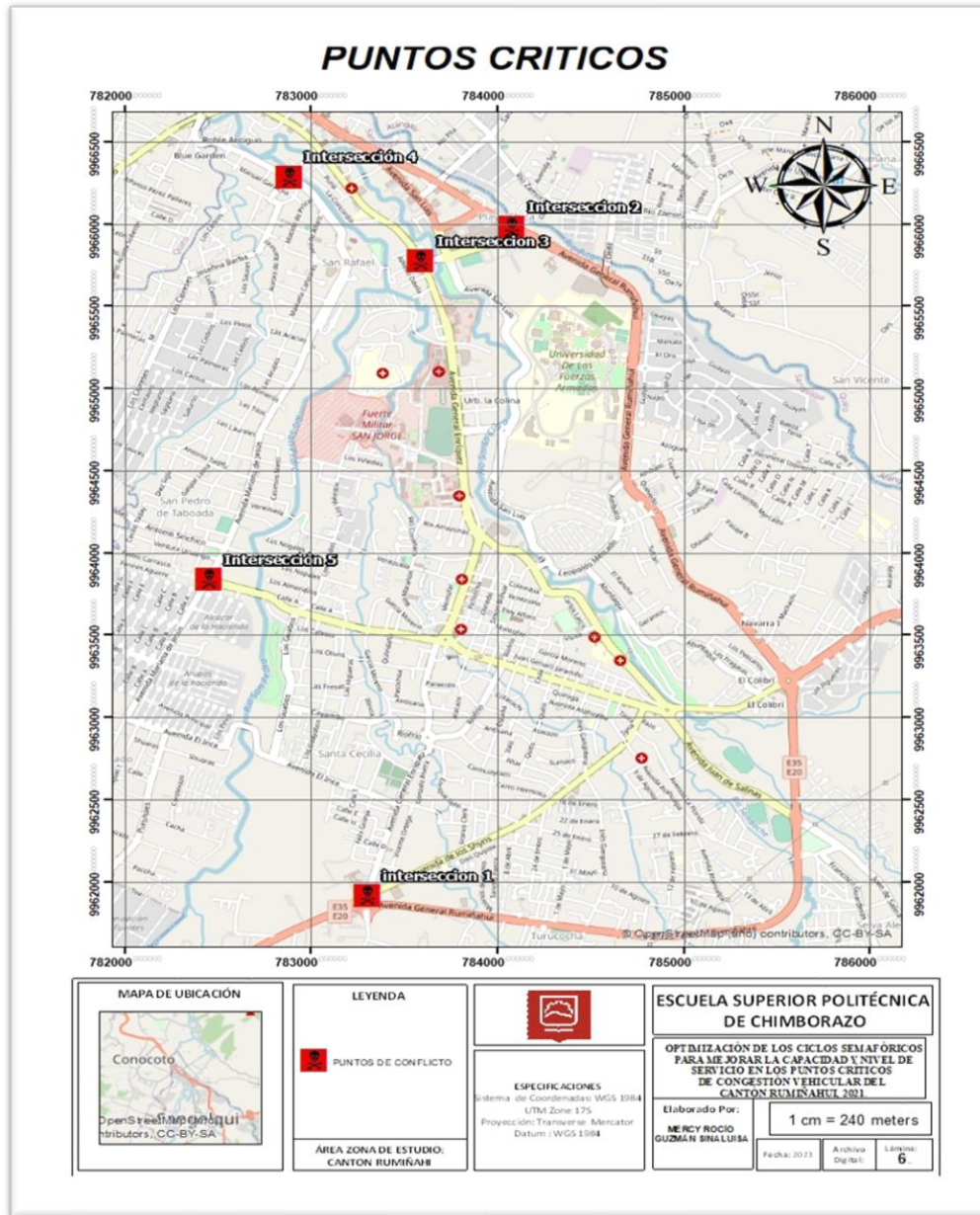


En la intersección 5 conformada por la avenida Mariana de Jesús en el acceso N-S en el carril con movimiento de frente y giro izquierdo se determinó que existe un nivel de servicio tipo E debido a que solo existe un carril de circulación con movimientos compartidos, en el acceso S-N, el nivel de servicio es tipo B a razón de la existencia de 2 carriles uno para giro derecho y otro para el movimiento directo mientras que en la avenida Agustín Miranda en el acceso E-O el nivel de servicio es tipo C, debido a los sitios de estacionamiento paralelos a la calzada permitidos en esta calle donde prácticamente se pierde un carril de circulación. El nivel de servicio de toda la intersección es tipo C, con una demora de 33.19 segundos por vehículo, donde se evidencia que existe niveles de congestión, demoras y que el volumen de flujo vehicular sobrepasa la capacidad de la vía en el sentido Norte-Sur, por lo que afecta directamente al nivel de servicio de toda la intersección.

## CAPÍTULO V

### 5. PROPUESTA

#### 5.1. Análisis de la situación actual



**Figura 1-5:** Puntos de conflicto intersecciones semaforizadas del cantón Rumiñahui  
Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

A continuación, se presenta un cuadro resumen, donde se determina la situación actual de las 5 intersecciones analizadas, se tomó en consideración variables como: geometría de la intersección, aforo vehicular para establecer la hora de máxima demanda vehicular (hora pico), ciclos semafóricos para el control de tránsito que actualmente regulan y controlan cada intersección, con

esta información se procedió a analizar y evaluar la capacidad y tiempos de demora para determinar el nivel de servicio de cada uno de los accesos y de las intersecciones a nivel general.

**Tabla 1-5:** Resumen de la situación actual de las intersecciones analizadas

Nro.	Nombre Intersección	Flujo hora pico	Ciclo semafórico	Demora Intersección	NS Intersección	Observación
1	Av. General Enríquez y Los Shyris	1933 v/h	Ø 2 fases C=83 seg.	114.59 seg.	F	Rediseño ciclo semafórico
2	Av. General Rumiñahui y San Luis	2604 v/h	Ø 3 fases C=78 seg	20.35 seg.	B	Rediseño ciclo semafórico
3	Av. General Enríquez y San Luis	2200 v/h	Ø 3 fases C=110 seg	78.95 seg.	E	Rediseño ciclo semafórico
4	Av. Mariana de Jesús y La Concordia	1794 v/h	Ø 2 fases C=72 seg.	31.11 seg.	C	Rediseño ciclo semafórico
5	Av. Mariana de Jesús y Agustín Miranda	2266 v/h	Ø 2 fases C=68 seg.	33.19 seg.	C	Rediseño ciclo semafórico

Fuente: Metodología HCM 2010

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

De las 5 intersecciones analizadas y evaluadas se determinó que 4 presentan un nivel de servicio alto donde los problemas de congestión, demoras, pérdida de tiempo, velocidades de circulación baja son más que evidentes, por lo tanto, es necesario rediseñar los ciclos semafóricos con el propósito de establecer un ciclo semafórico óptimo que permita mejorar el nivel de servicio de estas intersecciones y de esta manera mitigar los efectos de la congestión y tiempos de demora logrando fluidez en la circulación vehicular.

## 5.2. Contenido de la Propuesta

Mediante el análisis e interpretación de los datos obtenidos en campo se verifica inconsistencias en las intersecciones analizadas, las mismas que requieren una adecuada optimización de los ciclos semafóricos con el objetivo de mejorar el nivel de servicio actual registrado en cada intersección. Utilizando el software Vissim versión estudiantil se procedió a desarrollar la propuesta de mejora mediante la simulación donde se analizó si los resultados obtenidos validaban la propuesta generada para cada una de las intersecciones conflictivas.

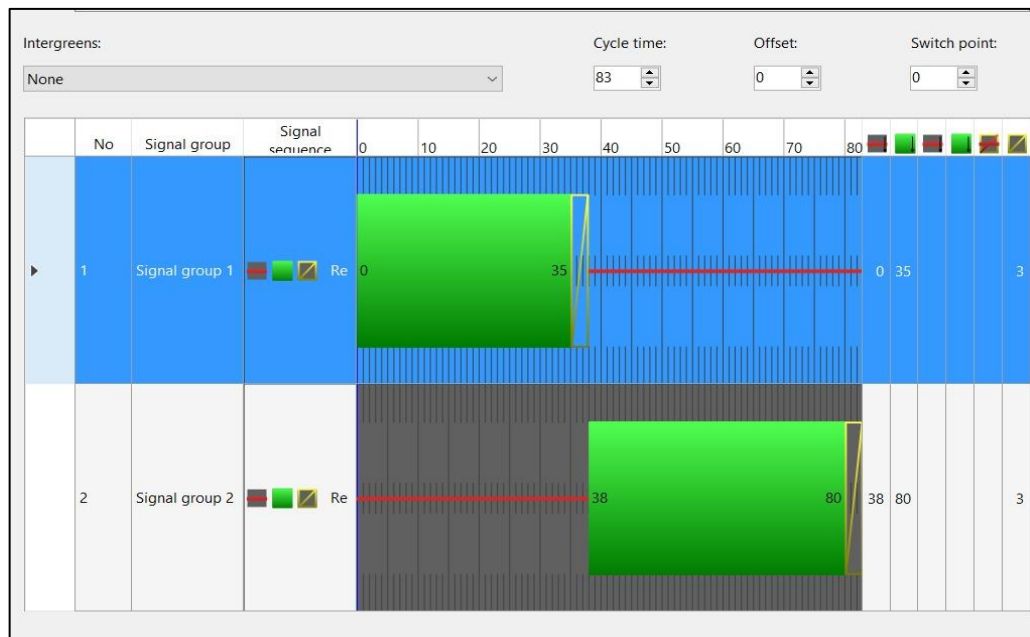
**Tabla 2-5:** Propuesta intersección 1.

Intersección	Número de fases	Tiempo de ciclo óptimo	Nivel de servicio	Observaciones
Avenida General Enrique y Avenida Los Shyris	2	83 seg	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar la división del carril de la Av. General Enrique en dos carriles con medida de 2.60 m cada uno.</li> <li>Dividir el carril de la Av. Los Shyris en dos carriles con medida de 2.70 m cada uno.</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia

**Realizado por:** Guzmán, Mercy, 2023

En la tabla 2-5 se presenta el análisis realizado en la intersección número uno (avenida General Enrique y avenida Lo Shyris) donde se propone mantener el ciclo semafórico y la segmentación de los carriles de la avenida General Enrique y avenida Los Shyris en dos carriles de 2.60 m y 2.70m respectivamente, para la óptima circulación de los vehículos y ahorro de tiempo de demora en el ciclo semafórico, el mismo que nos permite elevar el nivel de servicio a tipo B; como se puede observar en los siguientes gráficos de la simulación.



**Figura 2-5:** Ciclo semafórico óptimo propuesto intersección 1

**Realizado por:** Guzmán, Mercy, 2023

En la figura 2-5 se evidencia que la longitud del ciclo semafórico de 83 seg. para la intersección 1 se mantiene, pero al realizar la segmentación para la división de los carriles en las 2 avenidas se logra mejorar el nivel de servicio de la intersección.

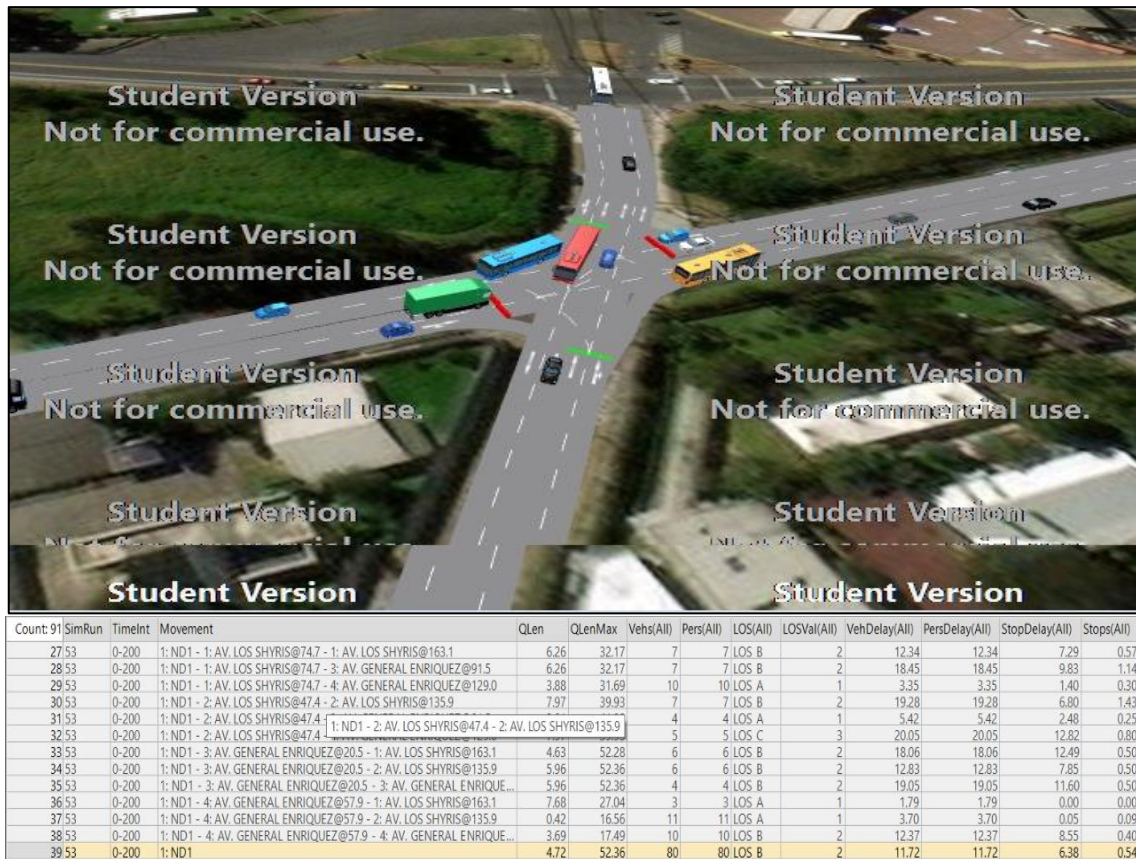


Figura 3-5: Evaluación del sistema semafórico propuesto intersección 1.

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

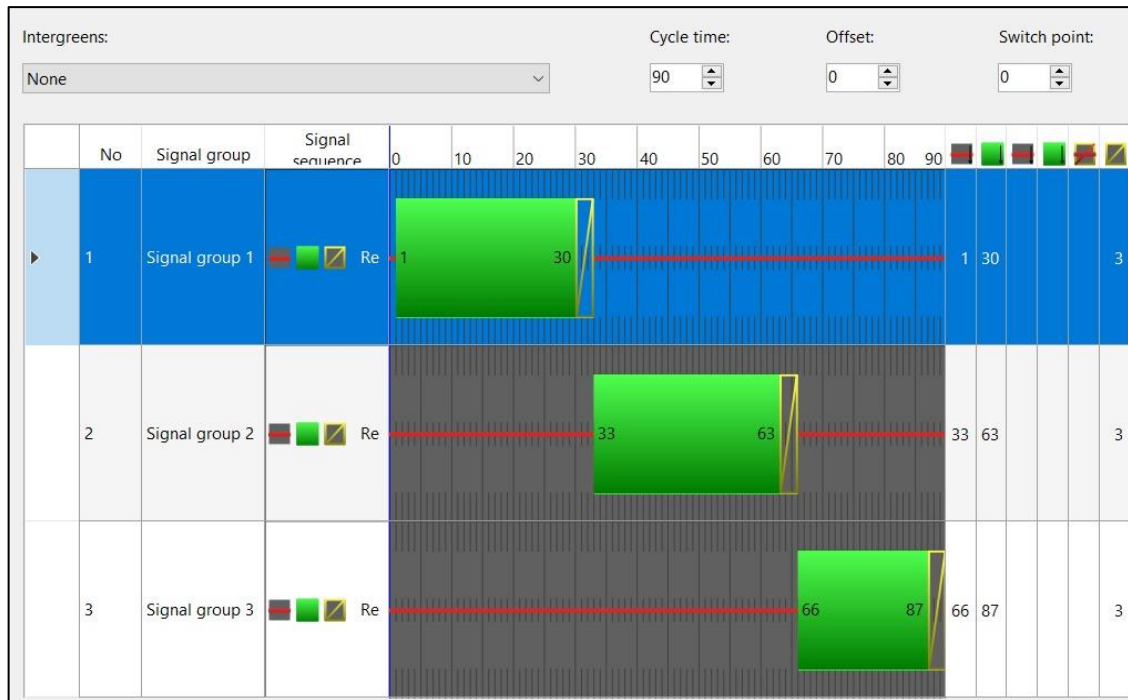
Se procedió a realizar la evaluación de la capacidad y nivel de servicio de la intersección con las propuestas de mejora donde se logró mejorar el nivel de servicio a tipo A con demoras de 11,72 seg.

Tabla 3-5: Propuesta intersección 2

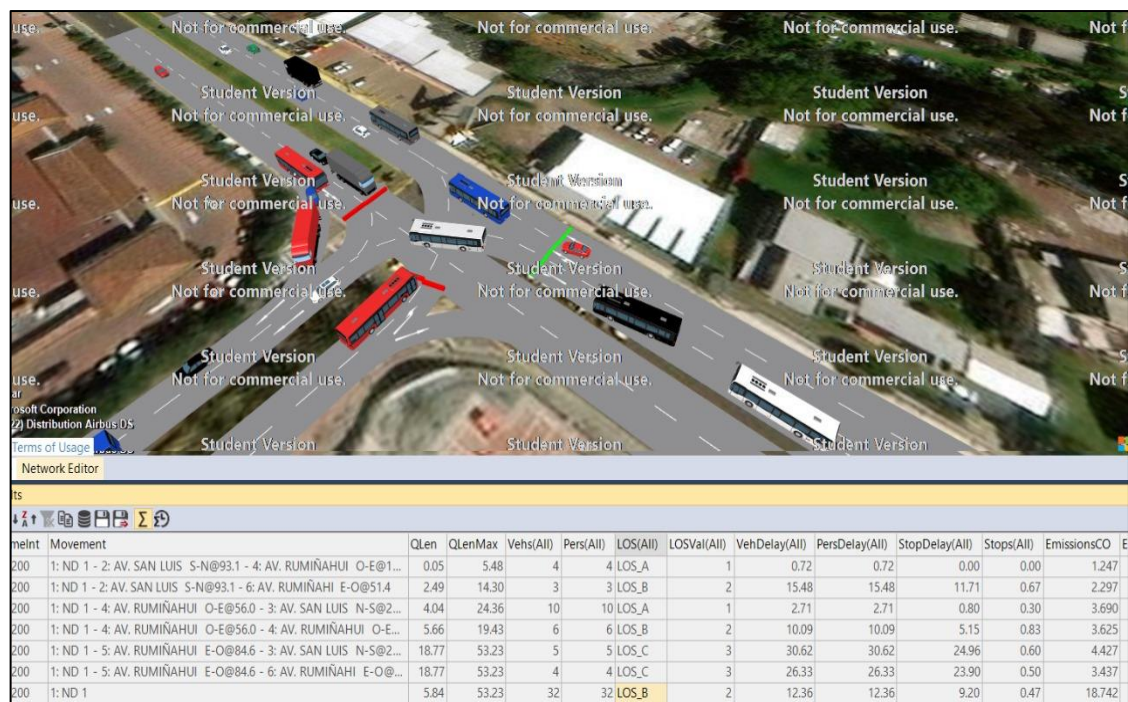
Intersección	Número de fases	Tiempo de ciclo óptimo	Nivel de servicio	Observaciones
Av. General Rumiñahui y Av. San Luis	3	90 seg.	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generar carriles exclusivos en la Av. San Luis para los sentidos N-S Y S-N.</li> <li>Establecer un ciclo óptimo de 90 seg con 3 fases.</li> </ul>

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

En la tabla 3-5 se visualiza el análisis realizado en la intersección número 2 (avenida General Rumiñahui y avenida San Luis) para lo cual se propone establecer un ciclo semafórico de 90s con 3 fases distribuido correctamente para cada brazo, y generar carriles exclusivos en la Av. San Luis para los sentidos N-S Y S-N, con el fin de eliminar elevados tiempos de demora en las fases y ciclo semafórico, dándonos como resultado un nivel de servicio a tipo B el mismo que permite un óptimo flujo vehicular; como se puede observar en los siguientes gráficos de la simulación.



**Figura 4-5:** Ciclo semafórico óptimo propuesto intersección 2  
 Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023



**Figura 5-5:** Evaluación del sistema semafórico propuesto intersección 2.  
 Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

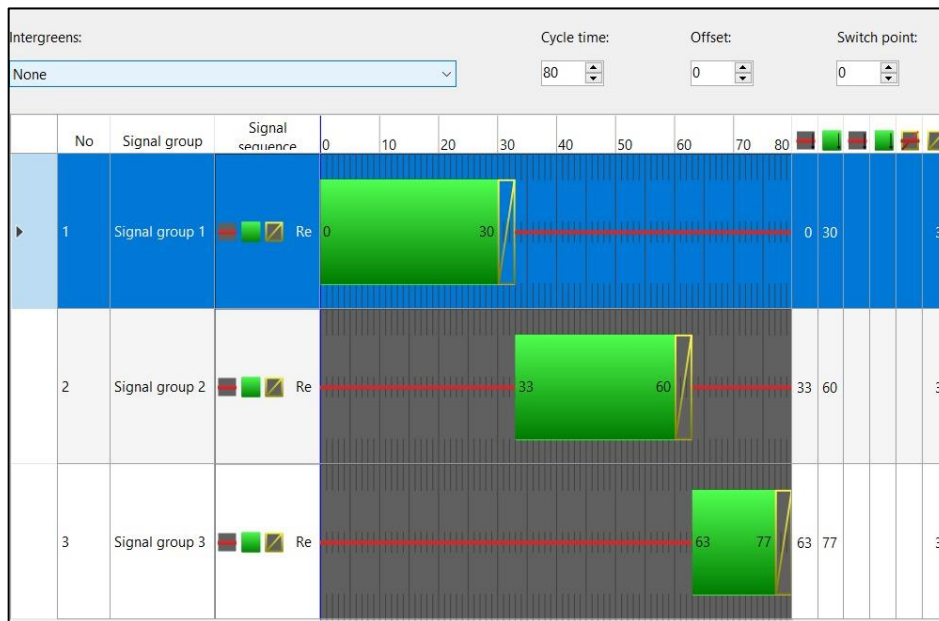
Se procedió a realizar la evaluación de la capacidad y nivel de servicio de la intersección con las propuestas de mejora donde se logró mejorar el nivel de servicio a tipo B con demoras de 12,36 seg, logrando una reducción de 8 segundos de demora.

**Tabla 4-5:** Propuesta intersección 3.

Intersección	Número de fases	Tiempo de ciclo óptimo	Nivel de servicio	Observaciones
Av. General Enrique y Av. San Luis	3	80	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generar un tiempo de ciclo óptico de 80 seg. divididos en 3 fases.</li> <li>• Establecer giros protegidos en las calles Mata y Montecristi.</li> </ul>

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

En la tabla 4-5 se aprecia el análisis realizado en la intersección número 3 (avenida General Enrique y avenida San Luis) lo cual se propone establecer un tiempo de ciclo semafórico de 80 seg, dividido en 3 fases en la Av. Enrique y Av. San Luis con giros protegidos en las calles Mata y Montecristi; el cual nos permite obtener tiempos mínimos de demora en cada fase, obteniendo un nivel de servicio promedio tipo C en el sistema brindando una amplia y mejorada capacidad de flujo vehicular en dicha zona; como se puede observar en los siguientes gráficos de la simulación.



**Figura 6-5:** Ciclo semafórico óptimo propuesto intersección 3

Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023



**Figura 7-5:** Evaluación del sistema semafórico propuesto intersección 3.  
**Realizado por:** Guzmán, Mercy, 2023

Se procedió a realizar la evaluación de la capacidad y nivel de servicio de la intersección con las propuestas de mejora donde se logró mejorar el nivel de servicio de tipo F a tipo C con una demora de 27.82 seg, logrando una reducción del tiempo de demora significativa.

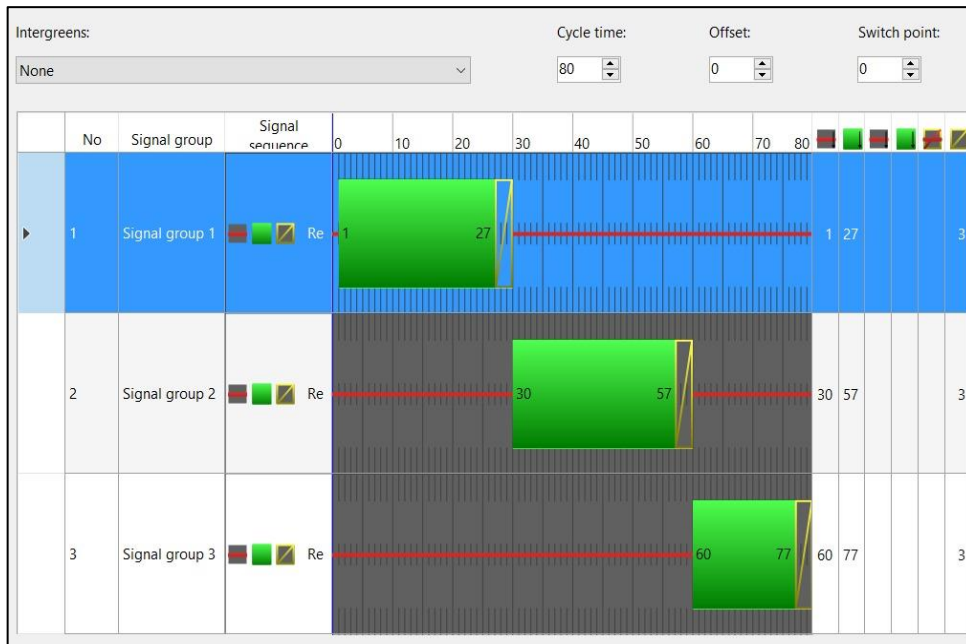
**Tabla 5-5:** Propuesta intersección 4.

Intersección	Número de fases	Tiempo de ciclo óptimo	Nivel de servicio	Observaciones
Av. Mariana de Jesús y calle y la concordia	3	80 seg.	B	<ul style="list-style-type: none"> <li>Establecer un ciclo óptimo de 80 seg. con tres fases.</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia  
**Realizado por:** Guzmán, Mercy, 2023

En la tabla 5-5 se aprecia el análisis realizado en la intersección número 4 (Av. Mariana de Jesús y calle la Concordia) lo cual se propone establecer un ciclo semafórico óptimo de 80 seg. dividido en 3 fases con una velocidad de 30km, para la óptima circulación de los vehículos en las zonas comercial y céntricas del cantón, el mismo que nos permite ahorrar tiempos de demora en el sistema semafórico, dándonos como resultado un nivel de servicio tipo B en el sistema; como se puede observar en los siguientes gráficos de la simulación.





**Figura 8-5:** Ciclo semafórico óptimo propuesto intersección 4  
 Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023



**Figura 9-5:** Evaluación del sistema semafórico propuesto intersección 4.  
 Realizado por: Guzmán, Mercy, 2023

Se procedió a realizar la evaluación de la capacidad y nivel de servicio de la intersección con las propuestas de mejora donde se logró mejorar el nivel de servicio de tipo C a tipo B con una demora de 18,07 seg. logrando una reducción significativa en los tiempos de demora.

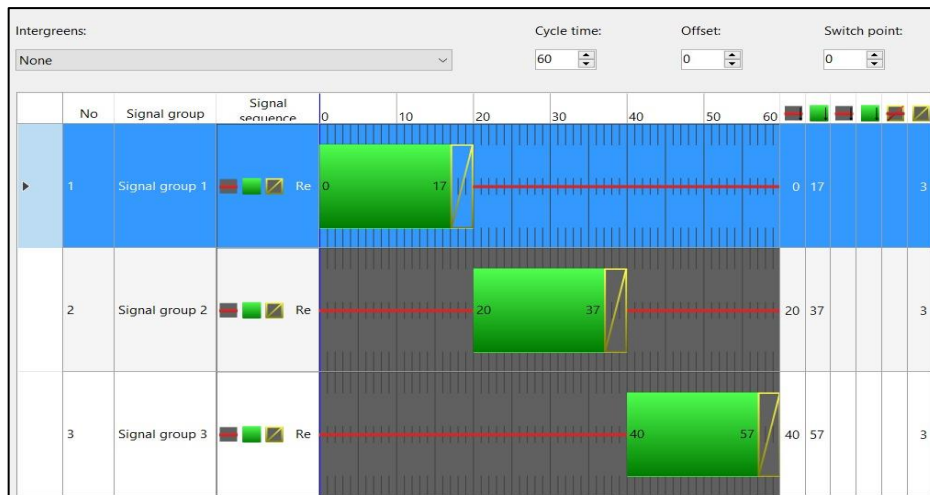
**Tabla 6-5:** Propuesta intersección 5.

Intersección	Número de fases	Tiempo de ciclo óptimo	Nivel de servicio	Observaciones
Av. Mariana de Jesús y Av. Agustín Miranda	3	60 seg.	C	<ul style="list-style-type: none"> <li>Implementar giros protegidos derecho en la Av. Agustín Miranda (E-O).</li> <li>Implementar giro protegido derecho en la Av. Mariana de Jesús (S-N)</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia

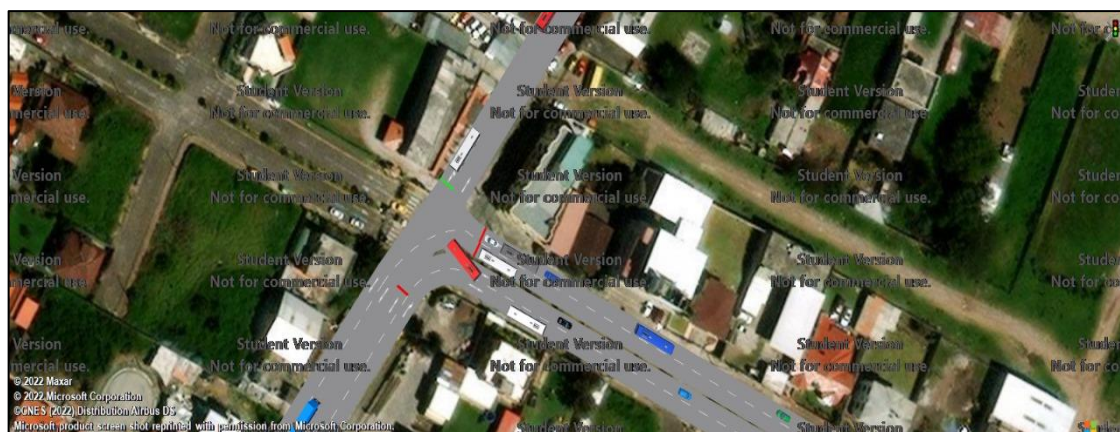
**Realizado por:** Guzmán, Mercy, 2023

En la tabla 6-5 se aprecia el análisis realizado en la intersección número (avenida Mariana de Jesús y avenida Agustín Miranda) para lo cual se propone establecer un ciclo semafórico óptimo de 60 seg. dividido en 3 e implementar giros protegidos derecho en la avenida Agustín Miranda en sentido E-O y en la avenida Mariana de Jesús en sentido S-N para el óptimo sistema de semáforo y la circulación de los vehículos en las zonas comercial y céntricas del cantón, el mismo que nos permite ahorrar tiempos de demora en el sistema semafórico, dándonos como resultado elevar el nivel de servicio a tipo C en el sistema; como se puede observar en los siguientes gráficos de la simulación.



**Figura 10-5:** Ciclo semafórico óptimo propuesto intersección 5

**Realizado por:** Guzmán, Mercy, 2023



Count	98 SimRun	TimeInt	Movement	QLen	QLenMax	Vehs(All)	Pers(All)	LOS(All)	LOSVal(All)	VehDelay(All)	PersDelay(All)	StopDelay(All)	Stops(All)
64	16	0-200	1: ND 5 - 1: AV. LOS MARIANA DE JESUS S-N@69.6 - 3: AV. MARIAN...	5.34	29.56	6	6	LOS A	1	9.41	9.41	1.85	0.50
65	16	0-200	1: ND 5 - 1: AV. LOS MARIANA DE JESUS S-N@69.6 - 5: AV. AGUSIN...	5.34	29.56	9	9	LOS A	1	2.39	2.39	1.46	0.11
66	16	0-200	1: ND 5 - 4: AV. MARIANA DE JESUS N-S@78.7 - 2: AV. MARIANA DE...	45.14	98.60	4	4	LOS C	3	26.77	26.77	20.67	1.00
67	16	0-200	1: ND 5 - 4: AV. MARIANA DE JESUS N-S@78.7 - 5: AV. AGUSIN MIRA...	45.14	98.60	4	4	LOS C	3	23.12	23.12	15.69	1.00
68	16	0-200	1: ND 5 - 6: AV. AGUSIN MIRANDA E-O@109.2 - 2: AV. MARIANA DE J...	10.88	28.51	3	3	LOS C	3	24.89	24.89	18.35	1.00
69	16	0-200	1: ND 5 - 6: AV. AGUSIN MIRANDA E-O@109.2 - 3: AV. MARIANA DE J...	1.01	9.56	4	4	LOS B	2	11.11	11.11	6.40	0.75
70	16	0-200	1: ND 5	15.59	98.60	30	30	LOS B	2	13.22	13.22	8.34	0.60

**Figura 11-5:** Evaluación del sistema semafórico propuesto intersección 5.

**Realizado por:** Guzmán, Mercy, 2023

Se procedió a realizar la evaluación de la capacidad y nivel de servicio de la intersección con las propuestas de mejora donde se logró mejorar el nivel de servicio de tipo C a tipo B con una demora de 13.22 seg logrando una reducción significativa en los tiempos de demora.

**Tabla 7-5:** Resumen comparativo niveles de servicio con y sin propuesta de las intersecciones

Nro.	Nombre Intersección	Flujo hora pico	Sin propuesta		Con propuesta	
			Ciclo semafórico	NS Intersección	Ciclo semafórico	NS Intersección
1	Av. General Enríquez y Los Shyris	1933 v/h	Ø 2 fases C=83 seg.	F	Ø 2 fases C=83 seg.	B
2	Av. General Rumiñahui y San Luis	2604 v/h	Ø 3 fases C=78 seg	B	Ø 3 fases C=90 seg	B
3	Av. General Enríquez y San Luis	2200 v/h	Ø 3 fases C=110 seg	E	Ø 3 fases C=80 seg	C
4	Av. Mariana de Jesús y La Concordia	1794 v/h	Ø 2 fases C=72 seg.	C	Ø 3 fases C=80 seg.	B
5	Av. Mariana de Jesús y Agustín Miranda	2266 v/h	Ø 2 fases C=68 seg.	C	Ø 3 fases C=60 seg.	B

**Realizado por:** Guzmán, Mercy, 2023

En la tabla comparativa referente a la situación actual y propuesta del nivel de servicio presentada por cada intersección objeto de estudio se puede evidenciar que existe una mejora en los niveles de servicio por lo tanto el tiempo de demora se reduce influyendo directamente en la mejora de la circulación vehicular y mitigando los efectos de la congestión vehicular, se puede acotar que

mediante propuestas de bajo costo como: segmentación de carriles, rediseño de ciclos semafóricos se puede mejorar la gestión, regulación y control del tránsito vehicular.

El área de Gestión de Tránsito y Seguridad Vial de la Dirección de Movilidad y Transporte del GADMUR, se encuentra en la capacidad técnica y operativa para aplicar las propuestas establecidas para cada una de las 5 intersecciones, pues cuenta con una cuadrilla de servidores para realizar los trabajos de señalización vial y semaforización, stock de materiales como pintura de alto tráfico, micro esferas y dispositivos semafóricos, franjadoras, vehículo con canastilla de elevación.

## CONCLUSIONES

- Se realizó el diagnóstico actual a través de la evaluación de las intersecciones objeto de estudio encontrándose condiciones deficientes en cuanto al nivel de servicio, así como también falta de control en la gestión vehicular situación que provoca problemas de congestamiento por lo que es urgente mejorar el diseño de los ciclos semafóricos de las intersecciones conflictivas en el cantón Rumiñahui.
- De las 5 intersecciones semaforizadas que fueron analizadas y evaluadas, 4 poseen niveles de servicio deficientes que van desde el nivel tipo C hasta el F con demoras desde 31 hasta 114 segundos, generando problemas de congestión, pérdidas de tiempo y afectando directamente a la fluidez de la circulación vehicular.
- La gestión de tránsito en las intersecciones mediante la división de carriles, la implementación de giros protegidos, rediseños de los ciclos semafóricos que son soluciones de bajo costo y alto impacto mejoraron el nivel de servicio de las 5 intersecciones logrando alcanzar niveles tipo B y C, optimizando la fluidez en la movilidad urbana y seguridad vial tanto para peatones como para conductores al minimizar los riesgos de siniestros de tránsito a causa de la congestión vehicular.

## **RECOMENDACIONES**

- Tomar en consideración las propuestas generadas en este trabajo, puesto que con soluciones de bajo costo se puede mejorar los niveles de servicio, reducir los tiempos de demora y los efectos de la congestión vehicular de las 5 intersecciones semaforizadas que conforme al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial actualización 2020-2025 fueron identificadas con sectores/intersecciones conflictivas de tráfico.
- Realizar evaluaciones para la gestión de tráfico de manera periódica con el propósito de rediseñar o configurar los ciclos semafóricos conforme a los volúmenes de tráfico, condiciones geométricas y demás características acorde a la realidad actual de las intersecciones a razón que la demanda de flujo vehicular es constantemente variable.
- Desarrollar programas de concientización ciudadana para promover el respeto hacia las señales de tránsito, pues este aporte ciudadano influye positivamente en la mejora de la movilidad.

## GLOSARIO

**HCM:** Highway Capacity Manual – Manual de capacidad de la carretera.

**SIDRA INTERSECTION:** Signalised and Unsignalised Intersection Design and Research Aid  
- Ayuda de investigación para el diseño y evaluación de intersecciones con y sin semáforos.

**SYNCHRO:** Syn-Chronization – Sincronización.

**PTV VISSIM:** PTV: Planungsburo Transport und Verkehr - Planeación del transporte y tránsito, Vissim- Visual Simulation - Simulación Visual.

**Congestión vehicular:** “es la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás”. A medida que aumenta el tránsito, se reducen cada vez más fuertemente las velocidades de circulación.

**Flujo vehicular:** es el número de vehículos que atraviesan una determinada sección de la vía por unidad de tiempo.

**Intersección vial:** hace referencia a aquellos elementos de la infraestructura vial donde se cruzan dos o más vías.

**Intersecciones semaforizadas:** son las que están reguladas permanente o mayoritariamente mediante sistemas de luces que establecen las prioridades de paso por la intersección.

**Semaforización:** busca modernizar la red semafórica y disminuir los impactos negativos de la movilidad.

**Nivel de servicio:** es un indicador cualitativo que mide la calidad de circulación del flujo vehicular. El nivel de servicio es calculado como el promedio de demoras por vehículo en periodos de análisis de 15 minutos. Conforme a lo estipulado en el Manual de Capacidad Vial HCM 2010 (TRB Transportation Research Board, 2010), existe seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, que van desde lo óptimo hasta lo deficiente, dependiendo de las condiciones de operación de la vía sea esta de circulación continua o discontinua (Sánchez, 2011).

**Secuencia de fases:** orden ya preestablecido para que se efectúen las fases del ciclo semafórico.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, R. A., & Picón, J. J. (2021). *Generación de un modelo de optimización de ciclos semafóricos en intersecciones semaforizadas*. Universidad de Cuenca, Cuenca.
- Bull, A. (2003). *Congestión de tránsito, el problema y cómo enfrentarlo*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de Tránsito: fundamentos y aplicaciones*. México: Alfaomega.
- Calatayud, A., Sánchez, S., Bedoya, F., Giraldez, F., & Márquez, J. (2021). *Congestión Urbana en América Latina y el Caribe: características, costos, mitigación*. Banco Interamericano de Desarrollo BID.
- Fernandez, R. (2011). *Elementos de la teoría del tráfico vehicular*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- GADMUR . (2020). *Plano vial del cantón Rumiñahui* . Sangolqui: GADMUR.
- García, F. P. (2018). *Análisis y mejora de intersecciones semaforizadas en Murcia mediante el control semafórico actuado por vehículos*. Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Canton Rumiñahui. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial cantón Rumiñahui. Actualización 2020 -2025*. Sangolqui: GADMUR.
- Godoy, G. B. (2015). *Optimización del ciclo semafórico en intersecciones congestionadas a nivel microscópico*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2012). *Reglamento Técnico Ecuatoriano: Señalización Vial parte 5 Semaforización*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC. (2021). *Anuario de Estadísticas de Transporte*. Quito: Inec.
- Leonardo, R. d. (2017). *Análisis del nivel de servicio de la intersecciones semaforizadas de la avenida Villanueva Pinillos y modelado con Synchro*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca.
- Lima, M. E. (2020). *Evaluación operacional de una red compuesta por 5 intersecciones a través del HCM, Synchro y Vissim*. Universidad de Piura, Lima.
- Mayor Reyes Spíndola, R. C., & Cárdenas Grisales, J. (2018). *Ingeniería de Tránsito: fundamentos y aplicaciones*. México: Alfaomega.
- OECD/ITF. (2007). *Managing urban traffic congestion*. Obtenido de In Managing Urban Traffic Congestion: [www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/07congestion.pdf](http://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/07congestion.pdf)
- PTV Group. (2015). *User Manual PTV Vissim 8*.



- Rivera, G., & Velásquez, L. A. (2019). *Determinación de ciclos semafóricos optimizados con Synchro 10.0 aplicados y evaluados en intersecciones de gran congestión vehicular con el software PTV VISSIM 9.0*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC), Lima.
- Sánchez, J. M. (2011). Universidad Nacional Autónoma de México. *Análisis de Capacidad y Nivel de Servicio de Segmentos Básicos de Autopistas, Segmentos Trenzados y Rampas de acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras HCM2000 aplicando MathCad*. México D.F.
- Silvera, M. (2020). *Evaluación operacional de una red compuesta por 5 intersecciones a través del HCM, Synchro y Vissim*. Universidad de Piura, Lima.
- TRB Transportation Research Board. (2010). *HCM 2010 Highway Capacity Manual*. Washington D.C.: National Research Council.
- Valladares, A. d. (2016). *Comparación de un enfoque macroscópico y otro microscópico al estimar las demoras por la congestión urbana*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín.
- Vectio. (18 de Febrero de 2020). *Modelos de Tráfico: Éxito basado en datos de calidad*. Obtenido de Vectio: <https://www.vectio.es/blog/modelos-simulacion/>





**ANEXO B: AFORO VEHICULAR DE LA HORA DE MÁXIMA DEMANDA (HORA PICO)**

**Intersección 1: Avenida General Enríquez y avenida Los Shyris**

AFORO VEHICULAR POR TIPO DE VEHICULO EN PERIODOS DE 15 MINUTOS																			
DISTRIBUCIÓN DE CALLES - SENTIDO Y CARRILES			AV. GENERAL ENRIQUEZ Y AV. LOS SHYRIS												SUB TOTAL			TOTAL	
			18:00 - 18:15			18:15-18:30			18:30-18:45			18.45-19:00							
Calle	Sentido	Sentido de Circulación	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C		
Av. Los Shyris	Este - Oeste (E)	GIRO IZQ	55	0	14	69	0	11	76	0	18	48	0	12	248	0	55	<b>303</b>	<b>518</b>
		FRENTE	22	2	7	29	2	9	21	2	4	12	2	2	84	8	22	<b>114</b>	
		GIRO DER	14	1	5	26	1	3	26	1	4	17	1	3	83	3	15	<b>101</b>	
	Oeste - Este (O)	GIRO IZQ	65	0	64	52	0	59	50	0	13	60	0	7	227	0	143	<b>370</b>	<b>569</b>
		FRENTE	51	2	0	40	2	3	42	2	7	39	2	6	172	8	16	<b>196</b>	
		GIRO DER	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	0	0	<b>3</b>	
Av. General Enríquez	Norte - Sur (N)	GIRO IZQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>410</b>
		FRENTE	36	0	4	34	0	2	39	0	3	30	0	1	139	0	10	<b>149</b>	
		GIRO DER	69	0	8	61	0	6	58	0	4	50	0	5	238	0	23	<b>261</b>	
	Sur - Norte (S)	GIRO IZQ	42	0	3	44	0	4	51	0	6	50	0	7	187	0	20	<b>187</b>	<b>403</b>
		FRENTE	48	3	0	46	0	3	45	0	2	40	0	4	179	3	9	<b>182</b>	
		GIRO DER	10	1	0	9	1	2	6	1	0	5	1	1	30	4	3	<b>34</b>	

**Simbología:**

**A** = vehículos livianos

**B** = buses

**C** = vehículos pesados

## Intersección 2: Avenida General Rumiñahui y avenida San Luis

AFORO VEHICULAR POR TIPO DE VEHICULO EN PERIODOS DE 15 MINUTOS																			
DISTRIBUCIÓN DE CALLES - SENTIDO Y CARRILES			AV. GENERAL RUMIÑAHUI Y AV. SAN LUIS												SUB TOTAL			TOTAL	
			17:00 - 17:15			17:15-17:30			17:30-17:45			17.45-18:00							
Calle	Sentido	Sentido de Circulación	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C		
Av. General Rumiñahui	Oeste-Este (O)	FRENTE	185	12	3	197	12	5	209	14	4	213	15	2	804	53	14	871	1010
		GIRO DER	27	0	4	31	0	2	33	0	4	35	0	3	126	0	13	139	
	Este-Oeste (E)	GIRO IZQ	53	0	2	54	0	2	57	0	2	61	0	1	225	0	7	232	1349
		FRENTE	254	10	5	260	10	8	269	11	4	267	12	7	1050	43	24	1117	
Av. San Luis	Sur-Norte (S)	GIRO IZQ	31	0	1	35	0	0	36	0	1	40	0	0	142	0	2	144	245
		GIRO DER	20	0	2	23	0	1	24	0	1	30	0	0	97	0	4	101	

### Simbología:

**A** = vehículos livianos

**B** = buses

**C** = vehículos pesados

### Intersección 3: Avenida General Enríquez y avenida San Luis

AFORO VEHICULAR POR TIPO DE VEHICULO EN PERIODOS DE 15 MINUTOS																			
DISTRIBUCIÓN DE CALLES - SENTIDO Y CARRILES			AV. GENERAL ENRIQUEZ Y AV. SAN LUIS												SUB TOTAL			TOTAL	
			13:00 - 13:15			13:15-13:30			13:30-18:45			13:45-14:00							
<i>Calle</i>	<i>Sentido</i>	<i>Sentido de Circulación</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>		
Av. General Enríquez	Norte-Sur (N)	FRENTE	133	10	1	136	12	1	140	10	1	134	10	1	543	42	4	589	704
		GIRO DER	25	0	0	28	0	0	32	0	0	30	0	0	115	0	0	115	
	Sur-Norte (S)	FRENTE	160	9	1	166	9	1	171	9	1	175	8	0	672	35	3	710	865
		GIRO DER	35	0	0	38	0	1	40	0	0	40	0	1	153	0	2	155	
Av. San Luis	Este-Oeste (E)	GIRO IZQ	105	0	1	110	0	1	98	0	1	103	0	1	416	0	4	420	480
		GIRO DER	18	0	0	12	0	0	14	0	0	16	0	0	60	0	0	60	
Montecristi	Oeste-Este (O)	GIRO IZQ	18	0	0	22	0	0	19	0	0	20	0	0	79	0	0	79	151
		GIRO DER	21	0	0	17	0	0	15	0	0	19	0	0	72	0	0	72	

#### Simbología:

**A** = vehículos livianos

**B** = buses

**C** = vehículos pesados

### Intersección 4: Avenida Mariana de Jesús y avenida La Concordia

AFORO VEHICULAR POR TIPO DE VEHICULO EN PERIODOS DE 15 MINUTOS																			
DISTRIBUCIÓN DE CALLES - SENTIDO Y CARRILES			AV. MARIANA DE JESÚS Y LA CONCORDIA												SUB TOTAL			TOTAL	
			07:00 - 07:15			07:15 - 07:30			07:30 - 07:45			07:45 - 08:00							
Calle	Sentido	Sentido de Circulación	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C		
Av. Mariana de Jesús	Este –Oeste (E)	GIRO IZQ	18	0	0	12	0	0	9	0	0	10	0	0	49	0	0	49	487
		FRENTE	82	0	0	68	0	1	61	0	2	71	0	2	282	0	5	287	
		GIRO DER	37	3	1	31	3	2	35	3	0	33	2	1	136	11	4	151	
	Oeste- Este (O)	GIRO IZQ	49	0	0	41	0	0	44	0	0	39	0	0	173	0	0	173	555
		FRENTE	110	0	0	97	0	0	89	0	0	85	0	1	381	0	1	382	
		GIRO DER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Calle La Concordia	Norte – Sur (N)	GIRO IZQ	47	0	0	43	0	0	41	0	3	37	0	2	168	0	5	173	305
		FRENTE	25	0	0	21	0	0	25	0	0	17	0	0	88	0	0	88	
		GIRO DER	11	3	0	7	3	0	10	3	0	5	2	0	33	11	0	44	
	Sur – Norte (S)	GIRO IZQ	76	0	0	69	0	0	68	0	0	61	0	0	274	0	0	274	447
		FRENTE	38	0	0	32	0	0	28	0	0	22	0	2	120	0	2	122	
		GIRO DER	15	0	0	13	0	0	10	0	0	13	0	0	51	0	0	51	

#### Simbología:

**A** = vehículos livianos

**B** = buses

**C** = vehículos pesados

### Intersección 5: Avenida Mariana de Jesús y avenida Agustín Miranda

AFORO VEHICULAR POR TIPO DE VEHICULO EN PERIODOS DE 15 MINUTOS																			
DISTRIBUCIÓN DE CALLES - SENTIDO Y CARRILES			AV. MARIANA DE JESÚS Y AGUSTÍN MIRANDA												SUB TOTAL			TOTAL	
			07:00 - 07:15			07:15 - 07:30			07:30 - 07:45			07:45 - 08:00							
Calle	Sentido	Sentido de Circulación	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C		
Av. Mariana de Jesús	Norte – Sur (N)	GIRO IZQ	85	4	0	90	4	0	109	4	0	73	3	0	357	15	0	372	709
		FRENTE	89	0	0	85	0	0	82	0	0	80	0	1	336	0	1	337	
	Sur-Norte (S)	FRENTE	125	0	0	111	0	0	102	0	0	91	0	0	429	0	0	429	820
		GIRO DER	94	4	0	95	4	0	91	3	2	95	3	0	375	14	2	391	
Av. Agustín Miranda	Este – Oeste (E)	GIRO IZQ	104	3	0	99	3	0	92	3	0	86	2	0	381	11	0	392	737
		GIRO DER	91	0	0	89	0	0	85	0	0	80	0	0	345	0	0	345	

#### Simbología:

**A** = vehículos livianos

**B** = buses

**C** = vehículos pesados



## ANEXO C: REGISTRO FOTOGRÁFICO

