

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS PARA OBTENER  
EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERA CIVIL**

**OPTIMIZACIÓN DEL CICLO SEMAFÓRICO EN LAS  
HORAS DE ALTO TRÁNSITO EN EL JR. GRAU,  
CHACHAPOYAS, AMAZONAS, 2022**

**Autor: Bach. Celia Elvira Huaman Huaman**

**Asesor: Ing. Daniel Villa Abanto**

**Registro: (.....)**

**CHACHAPOYAS – PERÚ**

**2023**

# AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



## ANEXO 3-H

### AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

#### 1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): HUAMAN HUAMAN CELIA ELVIRA  
DNI N°: 71142286  
Correo electrónico: 7114228672@untram.edu.pe  
Facultad: FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL  
Escuela Profesional: INGENIERIA CIVIL

#### Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): \_\_\_\_\_  
DNI N°: \_\_\_\_\_  
Correo electrónico: \_\_\_\_\_  
Facultad: \_\_\_\_\_  
Escuela Profesional: \_\_\_\_\_

#### 2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

OPTIMIZACIÓN DEL CICLO SEMAFÓRICO EN LAS HORAS DE ALTO TRÁNSITO EN EL JR. GRAU, CHACHAPOYAS, AMAZONAS, 2023

#### 3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: ING. DANIEL VILLA ABANTO  
DNI, Pasaporte, C.E N°: 71422863  
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>): 0000-0003-0415-3365

#### Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: \_\_\_\_\_  
DNI, Pasaporte, C.E N°: \_\_\_\_\_  
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>): \_\_\_\_\_

#### 4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Inmunología)

[https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde\\_ford.html](https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html)  
2.00.00 Ingeniería, Tecnología 2.01.00 Ingeniería civil 2.01.05 Ingeniería del transporte

#### 5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

#### 6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la Licencia creative commons de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 07, de junio, 2023

Firma del autor 1

Firma del autor 2

Firma del Asesor 1

Firma del Asesor 2

## **DEDICATORIA**

*La presente investigación se lo dedico a mis padres Mariano Huaman Culqui y Milca Huaman Puscán por haberme brindado su apoyo incondicional, su confianza y por ser mi motivación más grande para ir tras cada una de mis metas.*

## **AGRADECIMIENTO**

*En primer lugar, agradecer a Dios por brindarme la vida y salud para culminar con éxito una etapa más.*

*Agradecer infinitamente a mis padres por ser el pilar fundamental durante mi desarrollo integral.*

*Al Ing. Daniel Villa Abanto por guiarme durante el proceso de ejecución de esta tesis.*

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ  
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**Ph. D. Jorge Luis Maicelo Quintana**

Rector

**Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres**

Vicerrector Académico

**Dra. María Nelly Luján Espinoza**

Vicerrectora de Investigación

**Ph.D. Ricardo Edmundo Campos Ramos**

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

## VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



### ANEXO 3-L

#### VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo ( ), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada OPTIMIZACIÓN DEL CICLO SEMAFÓRICO EN LAS HORAS DE ALTO TRÁNSITO EN EL JR. GRAU, CHACHAPOYAS, AMAZONAS, 2022.; del egresado CELIA ELYRA HUAMAN HUAMAN de la Facultad de INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL Escuela Profesional de INGENIERIA CNIL de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 08 de mayo de 2023



Firma y nombre completo del Asesor

DANIEL VILLA ABANTO

## JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



---

**M. Sc. Gino Alfredo Vergara Medina**

**Presidente**



---

**Mg. Jorge Chávez Guivin**

**Secretario**



---

**Lic. José Luis Quispe Osorio**

**Vocal**

# CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



**UNTRM**

**REGLAMENTO GENERAL**  
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

## ANEXO 3-Q

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

OPTIMIZACIÓN DEL CICLO SEMAFÓRICO EN HORAS DE ALTO TRÁNSITO EN  
EL JR. GRAU, CHACHAPOYAS, AMAZONAS, 2022

presentada por el estudiante ( )/egresado (x) CELIA ELVIRA HUAMAN HUAMAN  
de la Escuela Profesional de INGENIERIA CIVIL

con correo electrónico institucional 7114298672@untrm.edu.pe

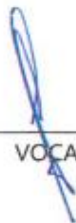
después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- La citada Tesis tiene 12 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (x) / igual ( ) al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene \_\_\_\_\_ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 10 de mayo del 2023

  
SECRETARIO

  
VOCAL

  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....  
.....



# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



## ANEXO 3-5

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 02 de Junio del año 2023 siendo las 16:00 horas, el aspirante: Bach. HUAMAN HUAMAN, Celia ELVIRA, asesorado por Mg. Daniel Villa Abanto defiende en sesión pública presencial () / a distancia ( ) la Tesis titulada: "OPTIMIZACIÓN DEL CICLO SEMA-FÓRICO EN HIDRAS DE ALTO TRANSITO EN EL JR. GRAU, CHACHAPOYAS, AMAZONAS 2022", para obtener el Título Profesional de INGENIERO CIVIL, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: MSc. Gmo. Alfredo Vargas Medina

Secretario: Msc. Jorge Charte Goron

Vocal: Lic. José Luis Durazo Osorio

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría ( ) Desaprobado ( )

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 17:00 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

  
SECRETARIO

  
VOCAL

  
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

## ÍNDICE GENERAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM .....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS.....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS.....	vi
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS.....	vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	viii
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS .....	ix
ÍNDICE GENERAL.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
I INTRODUCCIÓN.....	17
II MATERIAL Y MÉTODOS .....	19
2.1 Localización de la investigación .....	19
2.2 Universo muestral .....	19
2.3 Diseño de la investigación.....	20
2.4 Variables de estudio .....	20
2.4.1 Operacionalización de variables. ....	20
2.5 Método .....	22
2.5.1 Técnicas de recolección de datos .....	22
2.5.2 Instrumento .....	22
2.5.3 Procedimiento .....	22
III RESULTADOS .....	25
3.1 Geometría de la intersección.....	25
3.2 Ciclos semafóricos .....	27
3.3 Aforo vehicular y peatonal.....	31
3.3.1 Hora punta y composición vehicular .....	34
3.3.2 Velocidad de operación deseada .....	42

3.3.3	Flujogramas por intersección.....	47
3.4	Construcción del modelo virtual.....	49
3.4.1	Red.....	49
3.4.2	Tránsito.....	51
3.4.3	Señales de Control.....	55
3.5	Calibración y validación del modelo.....	58
3.6	Evaluación escenario actual.....	62
3.6.1	Registros de campo.....	62
3.6.2	Registros de simulación.....	63
3.7	Optimización de ciclos semafóricos.....	68
3.7.1	Intersección 01 (jr. Grau C7 - jr. Triunfo C8).....	69
3.7.2	Intersección 02 (jr. Grau C6 - jr. Amazonas C9).....	71
3.7.3	Intersección 03 (jr. Grau C5 - jr. Ayacucho C8).....	72
IV	DISCUSIÓN.....	75
V	CONCLUSIONES.....	77
VI	RECOMENDACIONES.....	79
VII	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
	ANEXOS.....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Dimensión e indicadores de la microsimulación del flujo de tránsito .....	21
<b>Tabla 2.</b> Dimensión e indicadores para la optimización ciclo semafórico. ....	21
<b>Tabla 3.</b> Geometría de vías - Intersección N° 01 .....	26
<b>Tabla 4.</b> Geometría de vías - Intersección N° 02 .....	26
<b>Tabla 5.</b> Geometría de vías - Intersección N° 03 .....	27
<b>Tabla 6.</b> Duración del ciclo semafórico intersección N° 01 .....	29
<b>Tabla 7.</b> Duración del ciclo semafórico intersección N° 02 .....	29
<b>Tabla 8.</b> Duración del ciclo semafórico intersección N° 03 .....	30
<b>Tabla 9.</b> Formato de conteo de tráfico vehicular .....	33
<b>Tabla 10.</b> Formato de conteo de tránsito peatonal .....	34
<b>Tabla 11.</b> Velocidad de operación de vehículos .....	43
<b>Tabla 12.</b> Velocidad de peatones .....	43
<b>Tabla 13.</b> Proceso de calibración - Wiedemann 74.....	59
<b>Tabla 14.</b> Datos de validación del modelo .....	61
<b>Tabla 15.</b> Prueba de hipótesis nula (Ho) .....	61
<b>Tabla 16.</b> Longitudes de cola y demoras registrados en campo.....	63
<b>Tabla 17.</b> Diferencia (%) de longitud de cola y demoras – I1 .....	64
<b>Tabla 18.</b> Nivel de servicio - I1 .....	65
<b>Tabla 19.</b> Diferencia (%) de longitud de cola y demoras - I2 .....	65
<b>Tabla 20.</b> Nivel de servicio - I2.....	66
<b>Tabla 21.</b> Diferencia (%) de longitud de cola y demoras - I3 .....	67
<b>Tabla 22.</b> Nivel de servicio - I3.....	68
<b>Tabla 23.</b> Resultados de simulación - ciclo óptimo I1 .....	70
<b>Tabla 24.</b> Niveles de servicio I1 - ciclo semafórico óptimo .....	71
<b>Tabla 25.</b> Resultados de simulación - ciclo óptimo I2 .....	72
<b>Tabla 26.</b> Niveles de servicio I2 - ciclo semafórico óptimo .....	72
<b>Tabla 27.</b> Resultados de simulación - ciclo óptimo I3 .....	73
<b>Tabla 28.</b> Niveles de servicio I3 - ciclo semafórico óptimo .....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización de la zona de estudio .....	19
<b>Figura 2.</b> Intersecciones en estudio .....	20
<b>Figura 3.</b> Proceso de construcción del modelo virtual.....	24
<b>Figura 4.</b> Medición del ancho de la vereda - Jr. Grau C5 .....	25
<b>Figura 5.</b> Plano en planta del área de estudio .....	27
<b>Figura 6.</b> Registro de la duración de las fases del semáforo .....	28
<b>Figura 7.</b> Esquema de distribución por colores de los ciclos semafóricos I1, I2, I3 .....	31
<b>Figura 8.</b> Personal realizando el registro de los aforos .....	32
<b>Figura 9.</b> Distribución vehicular - hora punta Jr. Grau c7 .....	35
<b>Figura 10.</b> Composición vehicular de los giros de flujo-. Grau c7 .....	36
<b>Figura 11.</b> Distribución vehicular - hora punta Jr. Triunfo C8 .....	37
<b>Figura 12.</b> Composición vehicular de los desvíos de flujo- Triunfo C8.....	38
<b>Figura 13.</b> Distribución vehicular - hora punta Jr. Amazonas C9 .....	39
<b>Figura 14.</b> Composición vehicular de los desvíos de flujo- Amazonas C9 .....	40
<b>Figura 15.</b> Distribución vehicular - hora punta Jr. Ayacucho C8 .....	41
<b>Figura 16.</b> Composición vehicular de los desvíos de flujo- Ayacucho C8.....	42
<b>Figura 17.</b> Datos I1, composición vehicular, peatonal, velocidades flujo, desvíos .....	44
<b>Figura 18.</b> Datos I2, composición vehicular, peatonal, velocidades flujo, desvíos .....	45
<b>Figura 19.</b> Datos I3, composición vehicular, peatonal, velocidades flujo, desvíos .....	46
<b>Figura 20.</b> Flujo grama - I1 .....	47
<b>Figura 21.</b> Flujo grama - I2 .....	48
<b>Figura 22.</b> Flujo grama – I3 .....	48
<b>Figura 23.</b> Ventana para escalar imagen importada.....	50
<b>Figura 24.</b> Ventana para la creación y edición de links .....	50
<b>Figura 25.</b> Lista de Links (vías) creadas en la red .....	51
<b>Figura 26.</b> Composición vehicular (tipos, porcentajes, velocidades) por accesos.....	51
<b>Figura 27.</b> Volumen vehicular horario máximo.....	52
<b>Figura 28.</b> Volumen peatonal horario máximo .....	52
<b>Figura 29.</b> Rutas para vehículos que acceden por Jr. Triunfo C8 .....	53
<b>Figura 30.</b> Rutas para vehículos que acceden por Jr. Grau C7 .....	53
<b>Figura 31.</b> Rutas para vehículos que acceden por Jr. Amazonas C9 .....	54
<b>Figura 32.</b> Rutas para vehículos que acceden por Jr. Ayacucho C8 .....	54

<b>Figura 33.</b> Áreas de conflicto en Intersecciones .....	55
<b>Figura 34.</b> Ventana programación de los ciclos semafóricos .....	56
<b>Figura 35.</b> Vista en planta del modelo virtual de simulación .....	56
<b>Figura 36.</b> Vista en 3D del modelo de simulación de la zona en estudio. ....	57
<b>Figura 37.</b> Parámetros de modelo de Wiedemann 74 .....	58
<b>Figura 38.</b> Valores iniciales y finales - Wiedemann 74.....	59
<b>Figura 39.</b> Valores del intento número 8 - proceso de calibración .....	60
<b>Figura 40.</b> Tipos de niveles de servicio .....	62
<b>Figura 41.</b> Longitud de cola en el jr. Grau C7 .....	64
<b>Figura 42.</b> Longitud de cola en el jr. Grau C6 .....	66
<b>Figura 43.</b> Longitud de cola en el jr. Grau C5 .....	67
<b>Figura 44.</b> Longitud de cola en el jr. Ayacucho C8.....	68
<b>Figura 45.</b> Ciclo optimo calculado I1- Método Webster .....	69
<b>Figura 46.</b> Flujo de tránsito I1 - ciclo semafórico óptimo .....	70
<b>Figura 47.</b> Ciclo optimo calculado I2- Método Webster .....	71
<b>Figura 48.</b> Flujo de tránsito I2 - ciclo semafórico óptimo .....	71
<b>Figura 49.</b> Ciclo optimo calculado I3- Método Webster .....	72
<b>Figura 50.</b> Flujo de tránsito I3 - ciclo semafórico óptimo .....	73

## RESUMEN

La investigación se realizó para optimizar un ciclo semafórico mediante la microsimulación en horas de alto tránsito en el jr. Grau de la ciudad de Chachapoyas, que garantice mayor capacidad y mejor nivel de servicio de las vías. Se estudiaron 3 intersecciones semaforizadas continuas. La investigación es aplicada y correlacional para un modelo de microsimulación y la duración del ciclo semafórico. La construcción del modelo se realizó mediante el software PTV Vissim, la calibración y validación para el escenario actual se basó en los parámetros de Wiedemann 74; después se elaboró una propuesta de ciclos semafóricos optimizados con el método Webster a fin de reducir demoras y longitudes de cola. Los resultados obtenidos fueron: intersección (I1) para un ciclo de 46 segundos el jr. Grau C7 mejora de un nivel C a B, el jr. Triunfo mantiene el nivel de servicio B; intersección (I2), el ciclo óptimo fue de 74 segundos, el jr. Grau C6 mejora de un nivel D a C, el jr. Amazonas mantiene su nivel de servicio B; y la intersección (I3), un ciclo de 56 segundos, el jr. Grau C5 mejora de un nivel D a C, el jr. Ayacucho mantiene su nivel de servicio C. Los tiempos de demora fueron reducidos en un 25.40% en la I1, un 18.70 % en la I2 y un 17.79% en la I3 lo que induce a la conclusión que la investigación permitió una mejora significativa en el nivel de servicio.

***Palabras clave:*** microsimulación, ciclo semafórico, tráfico, demoras, longitud de cola, nivel de servicio.

## ABSTRACT

The investigation was carried out to optimize a traffic light cycle through microsimulation in hours of high traffic in the jr. Grau in the city of Chachapoyas, which guarantees greater capacity and a better level of service on the roads. Three continuous signalized intersections were studied. The research is applied and correlational for a microsimulation model and the duration of the traffic light cycle. The construction of the model was carried out using the PTV Vissim software, the calibration and validation for the current scenario was based on the Wiedemann 74 parameters; then a proposal for traffic light cycles optimized with the Webster method was developed in order to reduce delays and queue lengths. The results obtained were: intersection (I1) for a cycle of 46 seconds the jr. Grau C7 improves from a level C to B, the jr. Triumph maintains service level B; intersection (I2), the optimal cycle was 74 seconds, the jr. Grau C6 improves from a level D to C, the jr. Amazon maintains its B service level; and the intersection (I3), a cycle of 56 seconds, the jr. Grau C5 improves from a level D to C, the jr. Ayacucho maintains its C service level. Delay times were reduced by 25.40% in I1, 18.70% in I2 and 17.79% in I3, which leads to the conclusion that the investigation allowed a significant improvement in the service level.

**Keywords:** *microsimulation, traffic light cycle, study, delays, queue length, level of service.*



## I INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años el incremento en la necesidad de transporte ha generado mayor demanda en el uso y adquisición de vehículos, este incremento ha generado un aumento el flujo vehicular, mayor tiempo de viaje y a su vez incremento en las tasas de accidentes de tránsito. La ingeniería de tránsito tiene en cuenta medidas convencionales como la planificación de señales, la implantación de doble calzada, etc. Además, busca desarrollar y conseguir una planificación adecuada, utilizando de forma óptima las infraestructuras viarias y los medios de transporte disponibles para garantizar los mejores resultados.

Una de las medidas más convencionales planteadas por la ingeniería de tránsito para contrarrestar los problemas generados debido a este incremento se han desarrollado diferentes sistemas de control de tránsito urbano; paquetes de tecnologías que buscan gestionar y controlar el flujo vehicular en zonas urbanas con el objetivo de minimizar las demoras, mejorar la seguridad y garantizar la eficiencia vial.

Los semáforos son parte de este sistema de control de tráfico; son dispositivos ubicados usualmente en intersecciones viales con la finalidad de regular el tráfico, sin embargo, para lograr eficiencia de los mismos se debe realizar un previo estudio técnico a su instalación, cada fase de los semáforos debe ser calculado acorde a la demanda del volumen vehicular de la zona ya que los ciclos semafóricos excesivamente largos ocasionan faltas y aumento en tiempos de viaje.

La ciudad de Chachapoyas no es excepción de esta evolución constante; ocasionando que las capacidades actuales de las vías y los sistemas de control de tránsito existentes (semáforos) ubicados en intersecciones no sean las adecuadas para el flujo de tránsito actual. La presente investigación tiene como zona de estudio el jirón Grau de la ciudad de Chachapoyas, el cual cuenta con un sistema de control de tráfico, se tomarán en cuenta 3 intersecciones semaforizadas; sin embargo el ciclo semafórico es muy deficiente, el cual afecta directamente la calidad y comodidad de vida de sus habitantes; frente a tal problemática la investigación se plantea la siguiente interrogante: ¿Cómo optimizar el ciclo semafórico en el Jr. Grau de la ciudad de Chachapoyas?

El aumento del flujo vehicular en el área de estudio ha generado inquietudes acerca de la capacidad y nivel de servicio de este tramo; una solución viable a este problema requiere el uso de herramientas informáticas que ayuden a representar el tráfico en una zona determinada de la forma más realista posible, de forma que se puedan tomar medidas para reducir el problema de la congestión. El uso de estas herramientas de microsimulación

tiene grandes ventajas debido a su versatilidad, detalle de modelado, facilidad de uso y visualización de alta calidad (Roca, 2010). Considerando la efectividad de estos modelos de microsimulación en diversos estudios, es que se ha planteado la aplicación del mismo en una zona de gran demanda vehicular en la ciudad de Chachapoyas. Para lograr el cumplimiento a cabalidad el objetivo principal de la presente investigación el cual es optimizar ciclo semafórico mediante la microsimulación en horas de alto tránsito en el jr. Grau de la ciudad de Chachapoyas; el estudio además determinó las características geométricas, duración de los ciclos semafóricos y volumen de tránsito de las intersecciones semaforizadas en el jr. Grau; con los datos obtenidos se procedió a diseñar un modelo virtual de microsimulación del flujo vehicular y peatonal del jirón Grau de la ciudad de Chachapoyas. Lo que se obtuvo mediante esta simulación virtual es validar el tiempo óptimo del ciclo semafórico para mejorar la capacidad y nivel de servicio vial del jr. Grau.

La metodología de esta investigación se centra en el análisis de variables tales como microsimulación del flujo de tránsito y optimización del ciclo semafórico los cuales involucran diferentes indicadores tales como geometría de vías, sistemas de control, volumen vehicular y peatonal, capacidad vehicular y nivel de servicio. Por medio de los modelos de microsimulación para lo cual se requiere el uso de un software especializado, el presente estudio se realizó con el Software PTV Vissim, pretende realizar la estimación de la capacidad y nivel de servicio de las intersecciones involucradas dentro del área de estudio (jr. Grau) a partir de lineamientos sugeridos en el “Highway Capacity Manual 2000” (HCM, 2000).

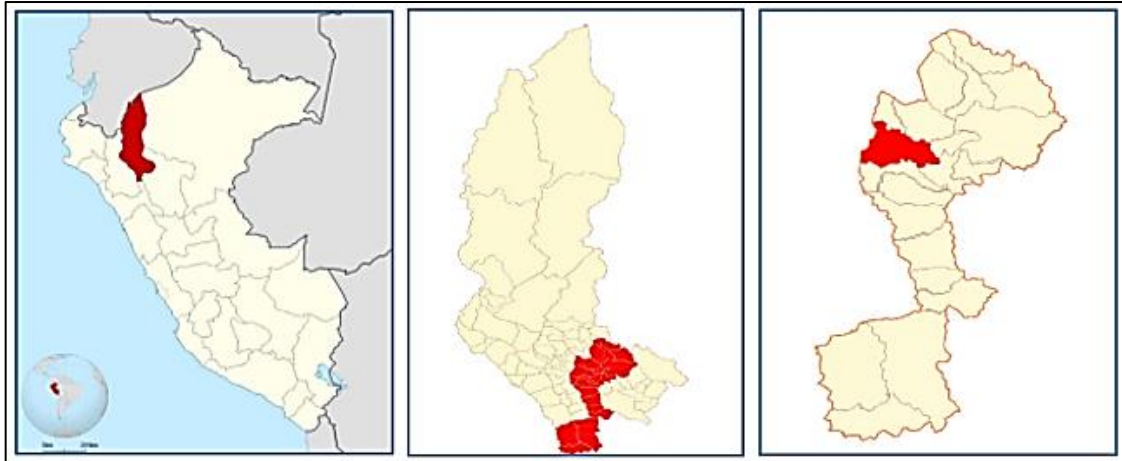
## II MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1 Localización de la investigación

La zona de estudio de la presente investigación está ubicada en la ciudad de Chachapoyas, provincia de Chachapoyas, departamento de Amazonas.

#### Figura 1

*Localización de la zona de estudio*



### 2.2 Universo muestral

Se tomaron tres intersecciones semaforizadas ubicadas a lo largo del jr. Grau

- (I1) - Intersección entre Jr. Grau C7 y Jr. Triunfo C8.
- (I2) - Intersección entre Jr. Grau C6 y Jr. Amazonas C9.
- (I3) - Intersección entre Jr. Grau y C5 Jr. Ayacucho C8.

## Figura 2

### *Intersecciones en estudio*



Fuente, Google Earth.

### 2.3 Diseño de la investigación

La investigación de acuerdo a su propósito es APLICADA. Este tipo de investigación tiene como objetivo solucionar o mejorar una situación; para probar un modelo basado en la aplicación de una propuesta innovadora (Vargas, 2009).

El nivel de investigación es CORRELACIONAL; los estudios correlacionales determinan si dos o más variables de estudio están o no relacionadas; averiguan cómo se puede comportar una variable en función al desempeño de las otras variables relacionadas en un entorno natural (Gallardo, 2017).

### 2.4 Variables de estudio

- ❖ V1: Microsimulación del flujo de tránsito
- ❖ V2: Optimización del Ciclo semafórico.

#### 2.4.1 Operacionalización de variables.

##### **Microsimulación del flujo de tránsito**

Herramienta que permite comprender las características del flujo de tránsito, pone en evidencia las condiciones actuales de circulación para proponer alternativas frente a escenarios futuros que garanticen la reducción de los problemas relacionados al tránsito.

Asimismo, es el modelado de movimientos de flujo vehicular basado en teorías de seguimiento individuales de vehículos en un segundo o segundos para evaluar el rendimiento del tráfico basado en el tiempo de viaje, aceleraciones, cambios de carril, adelantamientos, etc.

**Tabla 1**

*Dimensión e indicadores de la microsimulación del flujo de tránsito*

<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad de medida</b>	
Modelo virtual	Geometría de las vías	- Ancho de vía	- Metro
		- Ancho de vereda	- Metro
		- N° de carriles	- Unidad
		- N° de desvíos	- Unidad
	- Sistema de control de tráfico (Señal vertical, ciclos semafóricos)	- Segundo	
	- Volumen de tráfico	- Unidad	

### **Optimización del ciclo semafórico**

Un ciclo semafórico es el tiempo que transcurre desde que se cambia de grupo semafórico hasta que se repite la misma situación en una secuencia completa de maniobras entre semáforos conectados a un mismo controlador.

Además, el ciclo del semáforo se divide en fases donde la configuración de colores de cada grupo permanece invariable; Las fases del semáforo en los vehículos son rojo, verde y amarillo.

**Tabla 2**

*Dimensión e indicadores para la optimización ciclo semafórico.*

<b>Dimensión</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad de medida</b>
Duración del ciclo semafórico	- Capacidad vehicular	- Unidad
	- Nivel de servicio	- Segundo

## 2.5 Método

El método usado fue la investigación mixta (Inductivo – Deductivo), las cuales emplean estrategias de razonamiento lógico.

### 2.5.1 Técnicas de recolección de datos

La técnica usada fue la observación

### 2.5.2 Instrumento

El instrumento usado fue la ficha de registro de conteo vehicular estandarizado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

### 2.5.3 Procedimiento

La presente investigación se realizó en tres etapas, la primera consistió en la recopilación y procesamiento de datos de campo acerca de las características geométricas, ciclos semafóricos y demanda de tránsito vial de las intersecciones en estudio; la segunda etapa abarcó el diseño del modelo virtual de microsimulación con la información obtenida; finalmente en la tercera etapa se optimizó el ciclo semafórico empleando el método de Webster y basado en el Manual de Capacidad Vial (HCM).

#### 2.5.3.1 ETAPA I - Recolección de información en campo

- **Geometría de las vías e intersecciones**, mediante el uso de una wincha y una libreta de campo se recolectó información tales como; ancho de la vía, número de carriles, sentido de la vía, señalización horizontal existente.
- **Ciclos semafóricos**, se midió cada una de las fases de los semáforos en cada intersección; para ello se empleó un cronómetro y una libreta de campo; este proceso se realizó 5 veces por cada semáforo con la finalidad de obtener un ciclo semafórico con mayor precisión y exactitud.
- **Aforo Vehicular y peatonal**, se realizó el registro del tránsito en tres intervalos de horas pico por 7 día consecutivos (31 de octubre al 06 de noviembre del 2022), estos intervalos fueron 2 horas por la mañana (6:30 am – 8:30 am); al medio día (11:30 am – 1:30 pm); y por la tarde de (5:30 pm – 7:30 pm). El registro del aforo vehicular se realizó de forma manual empleando los formatos brindados por el MTC, el cual permite clasificar los tipos de vehículos y los giros (derecha, izquierda) realizados. Se estableció 4 puntos de control, cada uno de ellos ubicados en las vías de acceso que alimentarán a toda la red (jr. Grau C7, jr. Triunfo C8, jr. Amazonas C9, jr. Ayacucho C8), sin embargo, para el aforo peatonal se estableció puntos de control en cada uno de las intersecciones lo cual

permitió registrar la cantidad de peatones que avanzaban en ambos sentidos de cada una de las vías en las tres intersecciones.

Con la información registrada de los volúmenes de tránsito se logró determinar los siguientes datos:

- Hora punta
  - Volumen vehicular y peatonal
  - Flujogramas por intersección
- **Velocidad de operación deseada**, mediante un cronómetro se midió el tiempo de viaje de cada tipología de vehículos en desplazarse de la I2 - I3 teniendo en cuenta que estos se encuentren a flujo libre, se tomaron 20 registros para cada uno de los vehículos; del mismo modo se midió el tiempo que le toma a un peatón en desplazarse esta misma longitud. Para determinar la velocidad de operación se empleó la siguiente ecuación:  $v = distancia / tiempo$ .
  - **Tiempo de demora y longitud de cola**, la recolección de esta información se realizó en cada una de las vías que conforman las intersecciones, el tiempo de demora es la diferencia entre el tiempo de viaje ideal (velocidad de diseño) y el tiempo de viaje real (velocidad real); por lo cual fue necesario registrar en campo el tiempo de viaje mediante un cronómetro; la longitud de cola está dada por la diferencia de la longitud total de la vía y la longitud libre desde el último vehículo en cola o espera hasta el otro extremo de la vía; esta última distancia se determinó midiendo con una wincha.

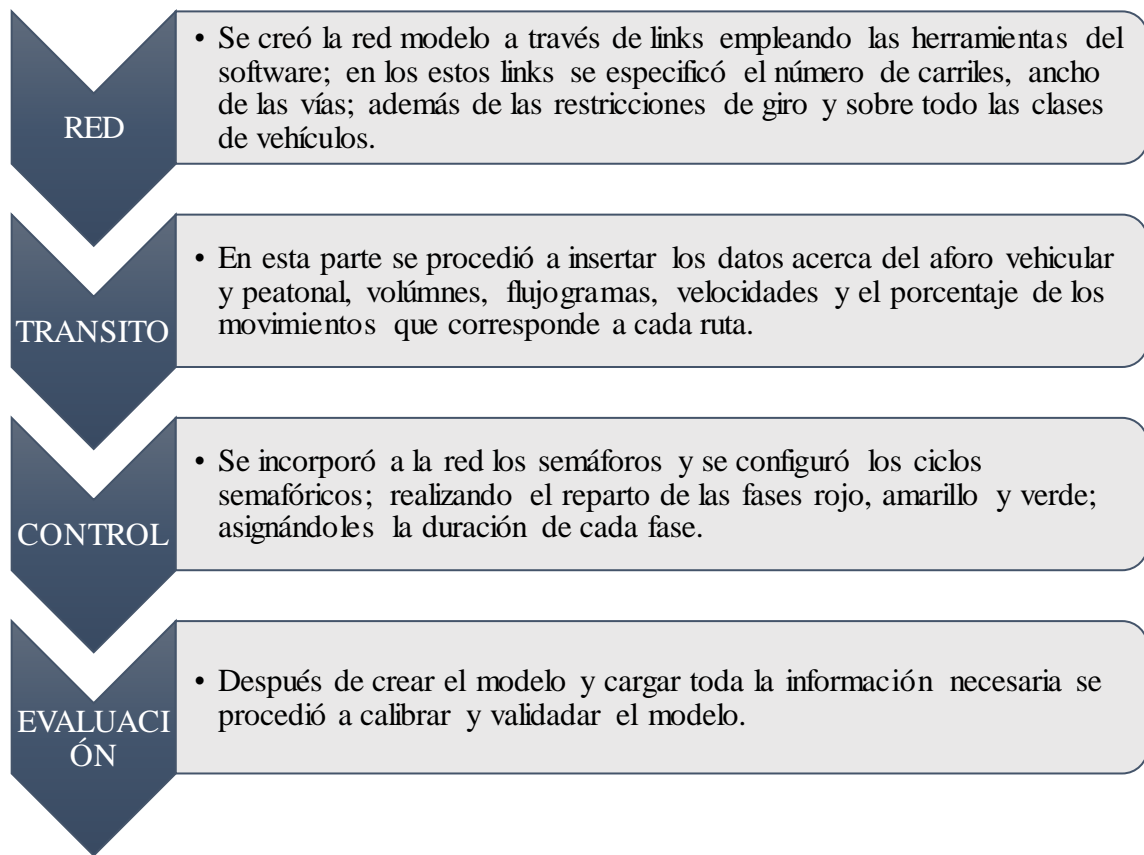
### 2.5.3.2 ETAPA II – Diseño del modelo virtual

Una vez recopilados y procesados los datos de campo, se procedió a configurar y desarrollar el modelo de microsimulación utilizando el software PTV Vissim.

La construcción del modelo se realizó siguiendo el proceso:

**Figura 3**

*Proceso de construcción del modelo virtual*



Una vez construido el modelo virtual se procedió a calibrar el modelo aplicando el modelo de seguimiento de Wiedemann 74, el parámetro usado para este proceso fue el tiempo de viaje que le toma a los vehículos desplazarse en el tramo de la I2 – I3.

### **2.5.3.3 ETAPA III – Optimización del ciclo semafórico**

Esta parte de la investigación consistió en calcular el nuevo tiempo del ciclo semafórico basado en el método de Webster y determinar el nivel de servicio de cada uno de las vías como consecuencia de este nuevo ciclo. Para determinar este nivel de servicio la investigación se rigió en el Manual de Capacidad Vial (HCM).



### III RESULTADOS

#### 3.1 Geometría de la intersección

Se registró la información de geometría de las vías involucradas, tales como los anchos de vía, ancho de veredas, número de carriles, número de desvíos.

#### Figura 4

*Medición del ancho de la vereda - Jr. Grau C5*



**Tabla 3***Geometría de vías - Intersección N° 01*

	<b>INTERSECCIÓN N° 01 SEMAFORIZADA</b>							
	<b>JR. GRAU S - N</b>				<b>JR. TRIUNFO E - O</b>			
	<b>CUADRA 07</b>		<b>CUADRA 06</b>		<b>CUADRA 09</b>		<b>CUADRA 08</b>	
Ancho de vereda (m)	I=1.30	D=1.32	I=1.35	1.28	I=1.23	D=1.20	I=1.37	D=1.32
N° de carriles	C-1	-	C-1		C-1		C-1	-
Ancho de vía (m)	5.3	-	4.65		4.95		4.80	-
N° de desvíos	1	-	0		1		1	-
Señalización horizontal	SI	-	SI		SI		SI	-

*Fuente:* Elaboración propia**Tabla 4***Geometría de vías - Intersección N° 02*

	<b>INTERSECCIÓN N° 02 SEMAFORIZADA</b>							
	<b>JR. GRAU S - N</b>				<b>JR. AMAZONAS O - E</b>			
	<b>CUADRA 06</b>		<b>CUADRA 05</b>		<b>CUADRA 09</b>		<b>CUADRA 08</b>	
Ancho de vereda (m)	I=1.35	1.28	I=6.15	D=2.05	I=6.15	D=1.88	I=1.30	D=1.25
N° de carriles	C-1	-	C-1	C-2	C-1	C-2	C-1	-
Ancho de vía (m)	4.65	-	5.35	5.35	4.95	4.95	4.45	-
N° de desvíos	0	-	1	1	1	1	2	-
Señalización horizontal	SI	-	SI	SI	SI	SI	SI	-

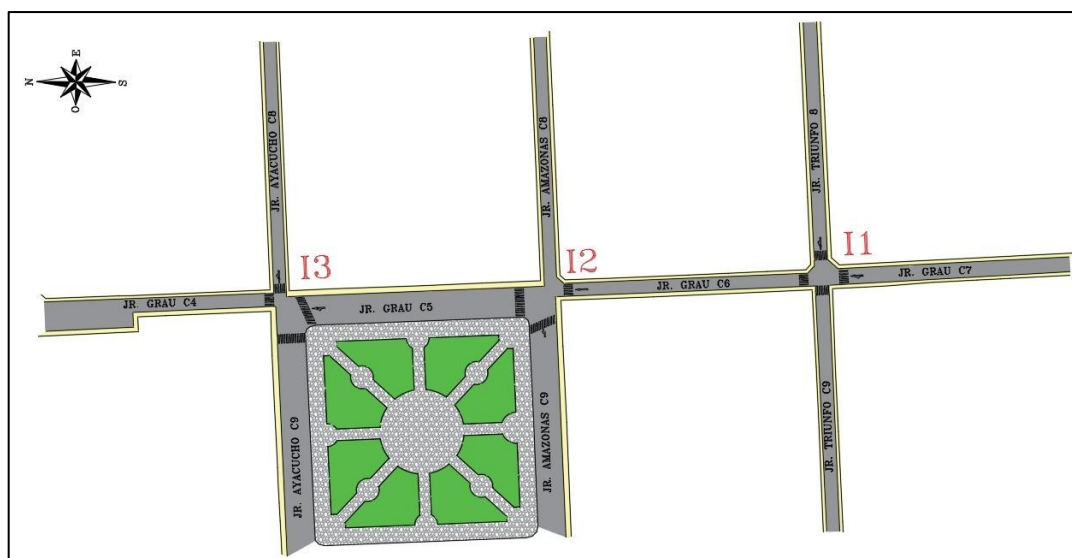
*Fuente:* Elaboración propia

**Tabla 5***Geometría de vías - Intersección N° 03*

	<b>INTERSECCIÓN N° 03 SEMAFORIZADA</b>							
	<b>JR. GRAU S - N</b>				<b>JR. AYACUCHO E - O</b>			
	<b>CUADRA 05</b>		<b>CUADRA 04</b>		<b>CUADRA 08</b>		<b>CUADRA 09</b>	
Ancho de vereda (m)	I=6.1 5	D=2.0 5	I=1.6 8	D=1.2 0	I=1.0 5	D=1.3 0	I=6.1 5	D=1.8 4
N° de carriles	C-1	C-2	C-1	-	C-1	-	C-1	C-2
Ancho de vía (m)	5.35	5.35	4.80	-	4.47	-	5.15	5.15
N° de desvíos	1	1	1	-	1	-	1	1
Señalización horizontal	SI	SI	SI	-	SI	-	SI	SI

*Fuente: Elaboración propia*

Los datos tomados permitieron detallar el plano en planta de las intersecciones en estudio; el cual muestra a detalle las características de cada una de ellas.

**Figura 5***Plano en planta del área de estudio*

### 3.2 Ciclos semafóricos

El tiempo de duración de los ciclos semafóricos registrados en cada intersección se muestran en las siguientes tablas.

**Figura 6**

*Registro de la duración de las fases del semáforo*



**Tabla 6***Duración del ciclo semafórico intersección N° 01*

<b>CICLO SEMAFÓRICO (Segundos)</b>						
<b>INTERSECCIÓN N° 01 - R.J. GRAU Y JR. TRIUNFO</b>						
<b>REPET.</b>	<b>S-N (Jr. Grau)</b>			<b>E-O (Jr. Triunfo)</b>		
	<b>VERDE</b>	<b>AMBAR</b>	<b>ROJO</b>	<b>VERDE</b>	<b>AMBAR</b>	<b>ROJO</b>
1	16.61	2.83	19.74	17.01	2.73	19.44
2	16.61	2.73	19.83	17.00	2.83	19.34
3	16.75	2.82	19.77	16.87	2.90	19.57
4	16.86	2.90	19.71	16.83	2.88	19.76
5	16.8	2.88	19.62	16.80	2.82	19.68
<b>PROMEDIO</b>	<b>16.73</b>	<b>2.83</b>	<b>19.73</b>	<b>16.90</b>	<b>2.83</b>	<b>19.56</b>
<b>CICLO</b>	<b>39.29</b>			<b>39.29</b>		

*Fuente: Elaboración propia***Tabla 7***Duración del ciclo semafórico intersección N° 02*

<b>CICLO SEMAFÓRICO (Segundos)</b>						
<b>INTERSECCIÓN N° 02 - R.J. GRAU Y JR. AMAZONAS</b>						
<b>REPET.</b>	<b>S-N (Jr. Grau)</b>			<b>O-E (Jr. Amazonas)</b>		
	<b>VERDE</b>	<b>AMBAR</b>	<b>ROJO</b>	<b>VERDE</b>	<b>AMBAR</b>	<b>ROJO</b>
1	29.93	2.86	32.98	30.07	2.91	32.79
2	29.98	2.91	33.13	30.27	2.86	32.89
3	29.93	2.83	33.08	30.20	2.88	32.76
4	29.9	2.88	33.07	30.22	2.85	32.78
5	29.93	2.85	33.11	30.28	2.83	32.78
<b>PROMEDIO</b>	<b>29.93</b>	<b>2.87</b>	<b>33.07</b>	<b>30.21</b>	<b>2.87</b>	<b>32.80</b>
<b>CICLO</b>	<b>65.87</b>			<b>65.87</b>		

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 8***Duración del ciclo semafórico intersección N° 03*

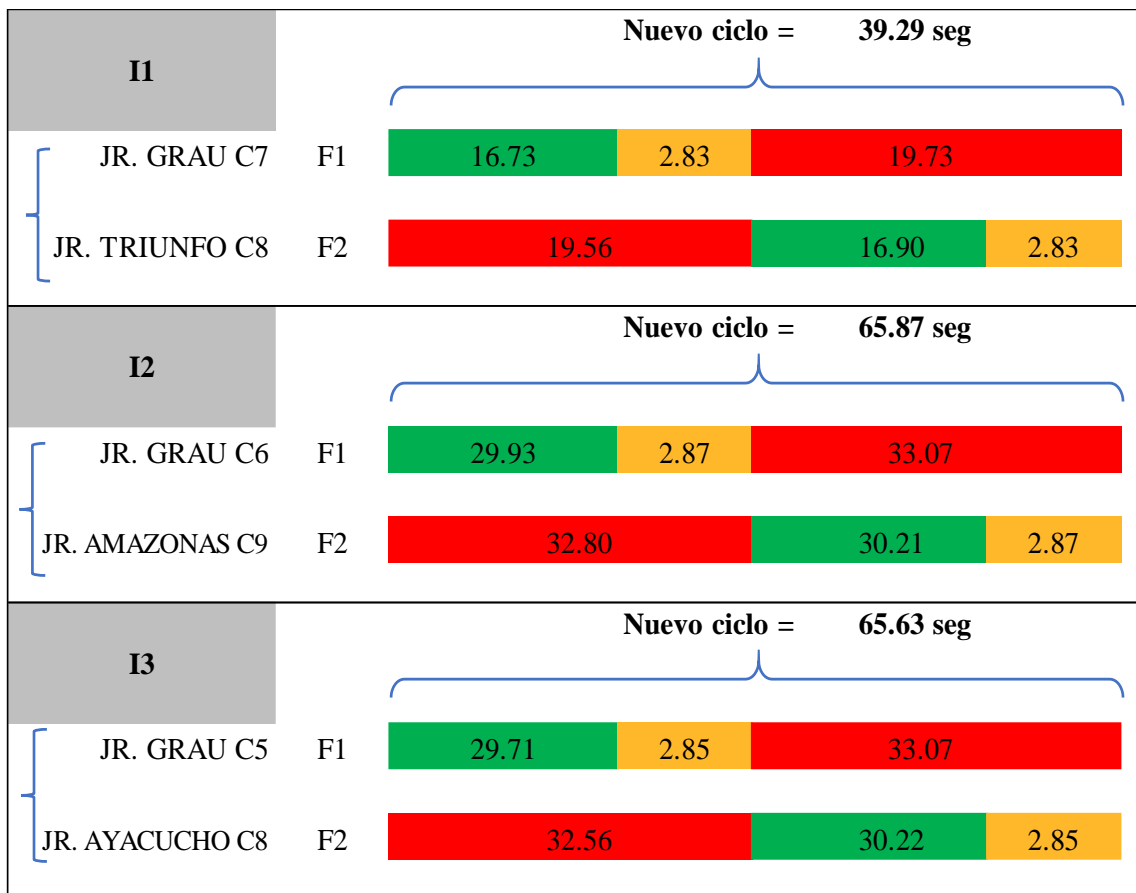
<b>CICLO SEMAFÓRICO (Segundos)</b>						
<b>INTERSECCIÓN N° 03 - R.J. GRAU Y JR. AYACUCHO</b>						
<b>REPET.</b>	<b>S-N (Jr. Grau)</b>			<b>E-O (Jr. Ayacucho)</b>		
	<b>VERDE</b>	<b>AMBA R</b>	<b>ROJO</b>	<b>VERDE</b>	<b>AMBA R</b>	<b>ROJO</b>
1	29.93	2.86	32.98	30.15	2.83	32.79
2	29.13	2.83	33.13	30.27	2.86	31.96
3	29.93	2.83	33.08	30.20	2.88	32.76
4	29.81	2.88	33.07	30.22	2.85	32.69
5	29.75	2.85	33.11	30.28	2.83	32.6
<b>PROMEDIO</b>	<b>29.71</b>	<b>2.85</b>	<b>33.07</b>	<b>30.22</b>	<b>2.85</b>	<b>32.56</b>
<b>CICLO</b>	<b>65.63</b>			<b>65.63</b>		

*Fuente:* Elaboración propia

Con los promedios de duración de cada color se obtuvo el tiempo de cada ciclo semafórico correspondiente a cada jr. que conforman las intersecciones; la siguiente figura representa el esquema de distribución de ciclos por colores.

**Figura 7**

*Esquema de distribución por colores de los ciclos semafóricos I1, I2, I3*



### 3.3 Aforo vehicular y peatonal

El aforo vehicular y peatonal es el conteo de la cantidad de vehículos y peatones que pasan por un punto durante un periodo de tiempo.

Fue necesario contar con 03 personas para el aforo en cada intersección, 2 personas para el registro de vehículos; uno por cada vía que conforma la intersección y la tercera persona para el registro de los peatones.



## Figura 8

*Personal realizando el registro de los aforos*



En lo referente al registro de los aforos vehiculares de las 3 intersecciones se realizaron de forma manual empleando el formato proporcionado por el MTC. Se registraron la cantidad de vehículos, clasificados en los diferentes tipos de vehículos (automóvil, camioneta, combi, moto lineal, bus y camiones) y además el desvío (giro a la derecha, giro a la izquierda); ruta que asumen luego de cruzar la intersección semaforizada; en el caso de los peatones se hizo el registro de acuerdo al sentido de flujo.

Este trabajo se realizó durante 7 días consecutivos (31 de octubre al 06 de noviembre del 2022) en tres turnos, turno mañana de 6:30 am a 8:30 am; turno medio día 11:30 am a 1:30 pm, y turno tarde 5:30 pm a 8:30 pm; además el registro se realizó en intervalos de 10 min.

En la tabla 9 se muestra el registro de los datos manuales tomados en campo plasmados en el software Excel; se muestra la cantidad de vehículos registrados por cada intervalo



de tiempo (10 min) clasificados de acuerdo a la tipología y desvío (giro a la derecha, giro a la izquierda) tomado después de cruzar la intersección; los datos mostrados corresponden al del Jr. Ayacucho en la primera hora del turno mañana del día 01 de noviembre. Se realizó el mismo procedimiento para cada acceso a las intersecciones (Anexo 1)





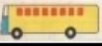

**Tabla 9**

Formato de conteo de tráfico vehicular

**CONTEO DE TRÁNSITO VEHICULAR**

PROYECTO: OPTIMIZACIÓN DEL CICLO SEMAFÓRICO EN LAS HORAS DE ALTO TRÁNSITO EN EL JR. GRAU, CHACHAPOYAS, AMAZONAS, 2022

INTERSECCION	Jr. Grau con Jr. Ayacucho	FECHA	01/11/2022	→ EO
FLUJO	Ayacucho - EO			↘ SN
UBICACION	Ayacucho - C8			

HORA	SENTIDO DE FLUJO	AUTO	CAMIONETA	COMBI	MOTO LINEAL	BUS	CAMION	TOTAL
INTERVALO DE TIEMPO	DESVIOS							
6:30 p. m.	→	36	6	2	9	0	1	54
6:40 p. m.	↘	19	0	0	8	0	0	27
6:40 p. m.	→	29	7	0	21	0	0	57
6:50 p. m.	↘	14	5	0	9	0	2	30
6:50 p. m.	→	30	6	2	7	0	2	47
7:00 p. m.	↘	18	2	0	8	0	0	28
7:00 p. m.	→	36	5	0	17	0	0	58
7:10 p. m.	↘	21	0	0	8	0	0	29
7:10 p. m.	→	28	7	0	15	0	1	51
7:20 p. m.	↘	11	0	0	8	0	0	19
7:20 p. m.	→	33	7	1	9	0	0	50
7:30 p. m.	↘	15	1	0	9	0	0	25

En la tabla 10 se muestra el registro de los datos manuales tomados en campo en el software Excel; se evidencia la cantidad de peatones registrados por cada intervalo de tiempo (10 min) clasificados de acuerdo al sentido de flujo; los datos mostrados corresponden al registro de toda la semana (31 de octubre - 06 de noviembre) del Jr. Ayacucho en la primera hora del turno mañana. Se realizó el mismo procedimiento para todos los datos tomados en cada acceso a las intersecciones (Anexo 2)

**Tabla 10***Formato de conteo de tránsito peatonal*

<b>CONTEO DE TRÁNSITO PEATONAL</b>									
<b>PROYECTO:</b> OPTIMIZACIÓN DEL CICLO SEMAFÓRICO EN LAS HORAS DE ALTO TRÁNSITO EN EL JR. GRAU, CHACHAPOYAS, AMAZONAS, 2022									
<b>INTERSECCION</b>		Jr. Grau con Jr. Ayacucho						<b>SENTIDO</b> → <b>EO</b>	
<b>UBICACIÓN</b>		Ayacucho - C8						← <b>OE</b>	
<b>HORA</b>	<b>SENTIDO DE FLUJO</b>	<b>PEATONES</b> 							<b>TOTAL</b>
<b>INTERVALO DE TIEMPO</b>		<b>31-Oct</b>	<b>01-Nov</b>	<b>02-Nov</b>	<b>03-Nov</b>	<b>04-Nov</b>	<b>05-Nov</b>	<b>06-Nov</b>	
6:30 a. m.	→	9	9	6	8	5	4	3	44
6:40 a. m.	←	5	12	8	9	10	8	5	57
6:40 a. m.	→	5	32	4	23	5	6	4	79
6:50 a. m.	←	7	16	10	15	9	11	8	76
6:50 a. m.	→	12	12	9	11	11	7	9	71
7:00 a. m.	←	11	15	14	14	17	12	13	96
7:00 a. m.	→	14	19	11	8	10	7	9	78
7:10 a. m.	←	8	9	11	11	13	9	6	67
7:10 a. m.	→	9	10	6	11	9	6	9	60
7:20 a. m.	←	14	16	17	11	16	9	12	95
7:20 a. m.	→	14	15	13	11	15	12	7	87
7:30 a. m.	←	11	19	14	17	17	15	8	101

Con la recopilación de los datos sobre el movimiento de unidades vehiculares; se logró determinar los horarios picos para cada acceso a la red en estudio (jr. Grau C7, jr. Triunfo C8, jr. Amazonas C9 y jr. Ayacucho C8); asimismo los volúmenes vehiculares y peatonales correspondiente a cada uno de ellos.

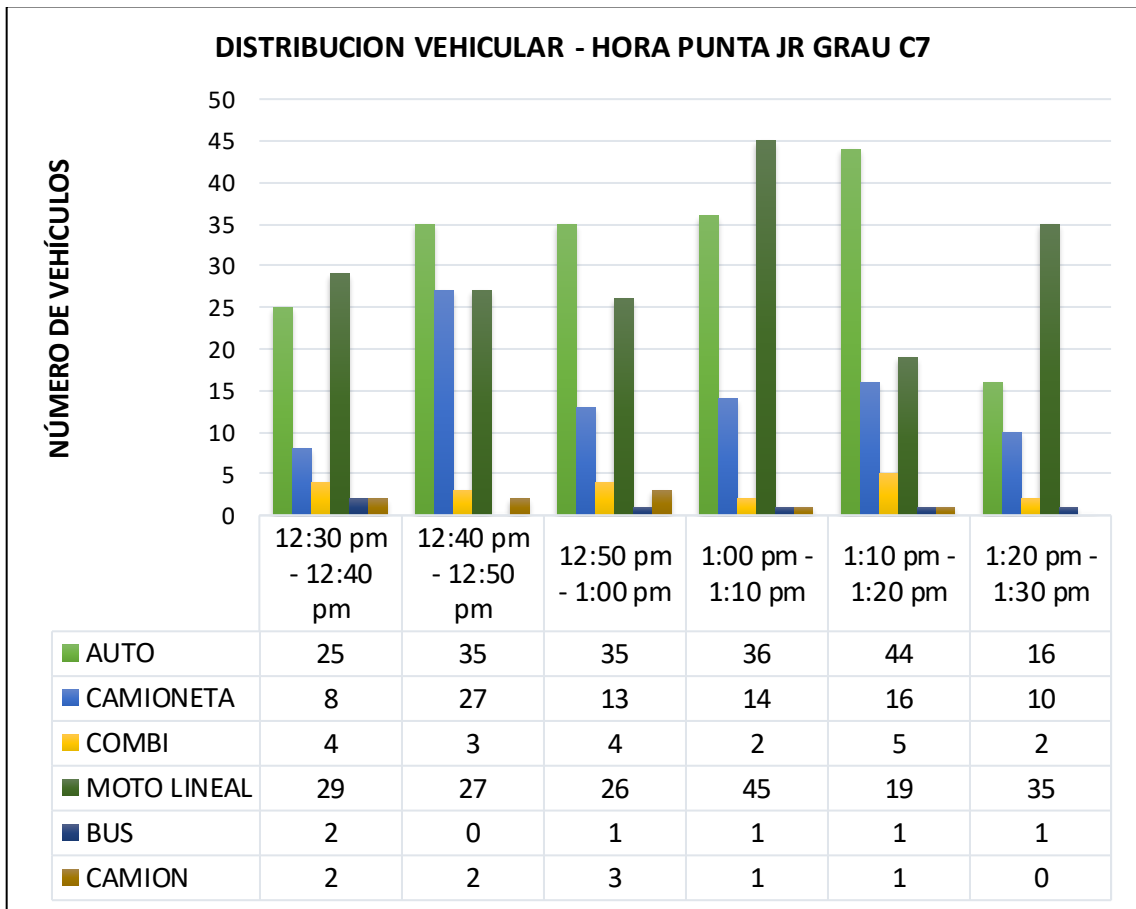
### 3.3.1 Hora punta y composición vehicular

- **Jr. Grau C7**

En la presente vía el horario de máxima demanda (HMD) corresponde al turno medio día entre las 12:30 pm – 1:30 pm; con un caudal total de 495 veh/h entre autos, camionetas, combis, motos lineales, buses y camiones; en la figura 09 se puede apreciar que los mayores índices representan a los autos con un valor de 191 y las motos lineales con un total de 181 vehículos.

**Figura 9**

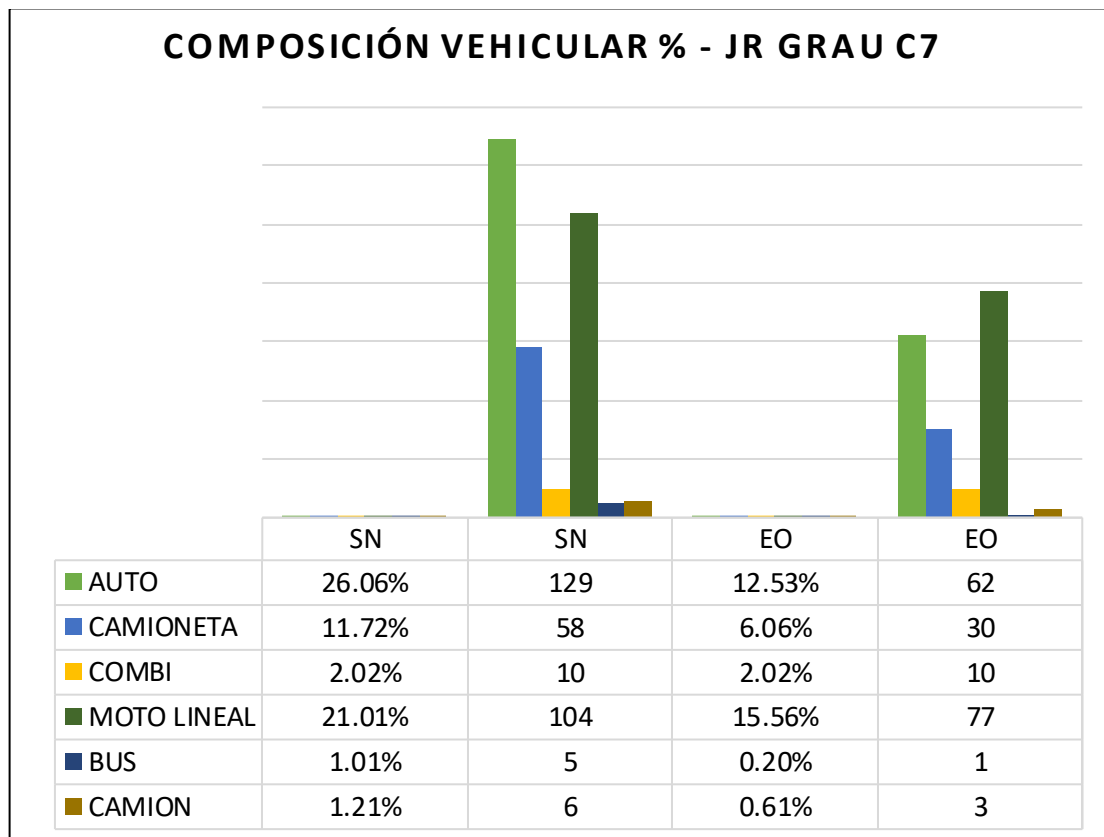
*Distribución vehicular - hora punta Jr. Grau c7*



La composición vehicular en porcentaje está distribuida de acuerdo al desvío de flujo (giro a la derecha; giro a la izquierda) optado por cada tipo de vehículo después de cruzar el semáforo de las intersecciones; en la figura 10 se muestra que el 63,03% (312 veh) avanza en el sentido del flujo del jirón Grau (sur-norte); mientras que el otro 36,97 % (183 veh) realiza un giro a izquierda (Este-oeste).

**Figura 10**

*Composición vehicular de los giros de flujo-. Grau c7*

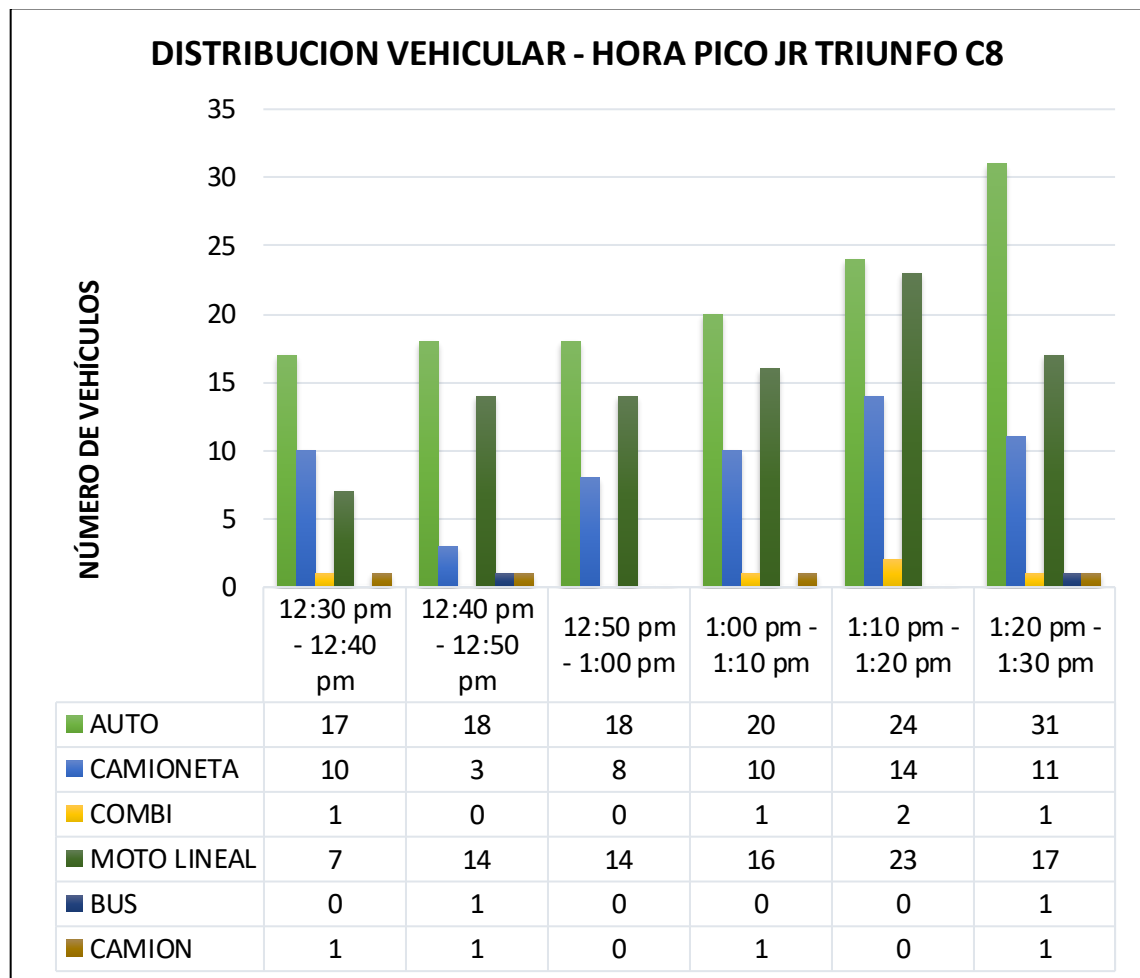


- **Jr. Triunfo C8**

En la presente vía el horario de máxima demanda (HMD) corresponde al turno medio día entre las 12:30 pm – 1:30 pm; con un caudal total de 286 veh/h entre autos, camionetas, combis, motos lineales, buses y camiones; en la figura 11 se puede apreciar que los mayores índices representan a los autos con un valor de 128 y las motos lineales con un total de 91 vehículos y los vehículos que menor incidencia presentan son los buses y camiones.

**Figura 11**

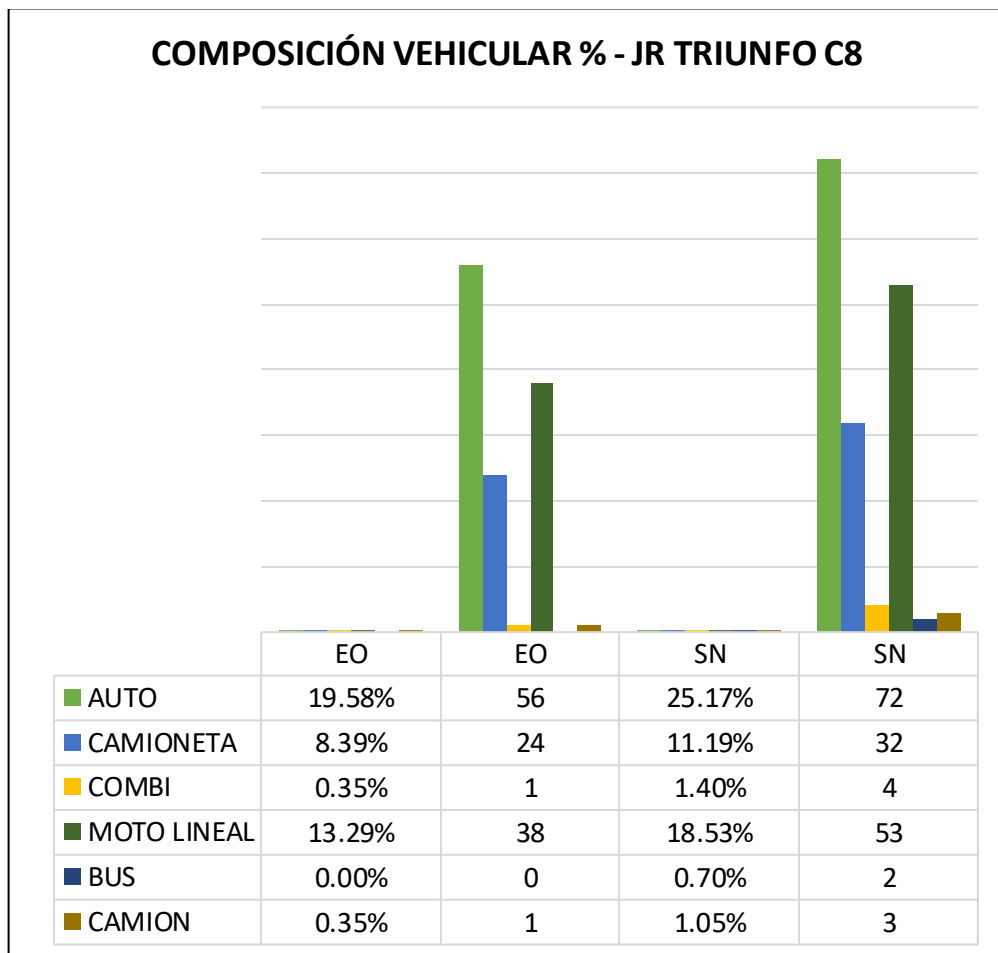
*Distribución vehicular - hora punta Jr. Triunfo C8*



Respecto a la composición vehicular en porcentaje para esta vía está distribuida de acuerdo al desvío de flujo (giro a la derecha; giro a la izquierda) optado por cada tipo de vehículo después de cruzar el semáforo de las intersecciones; en la figura 12 se muestra que el 41.96% (120 veh) avanza en el sentido del flujo del jirón Triunfo (este-oeste); mientras que el otro 58.04 % (166 veh) realiza un giro a derecha (sur-norte).

**Figura 12**

*Composición vehicular de los desvíos de flujo- Triunfo C8.*

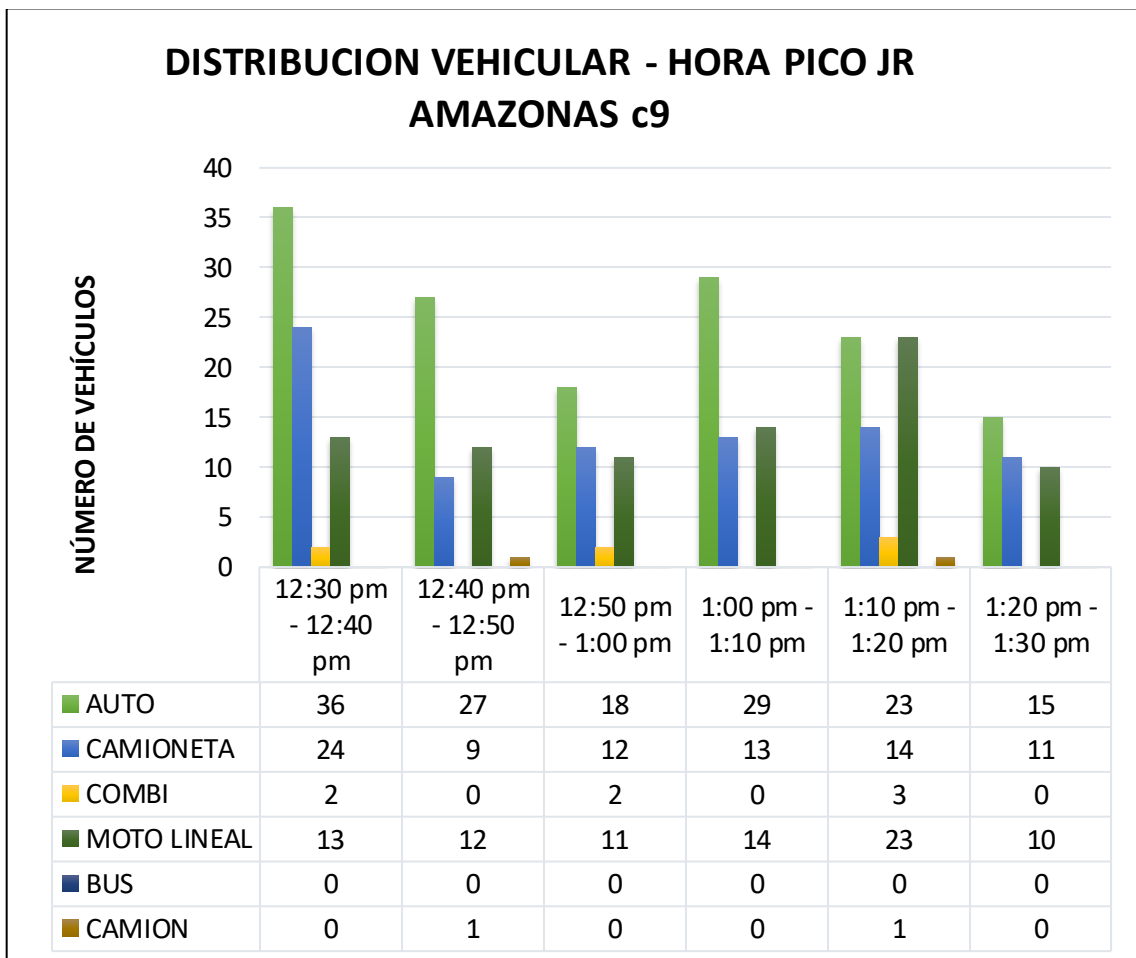


- **Jr. Amazonas C9**

En la presente vía el horario de máxima demanda (HMD) corresponde al turno medio día entre las 12:30 pm – 1:30 pm; con un caudal total de 323 veh/h entre autos, camionetas, combis, motos lineales, buses y camiones; en la figura 13 se puede apreciar que los mayores índices representan a los autos con un valor de 148 y las camionetas y motos lineales con un total de 83 vehículos cada uno; además los vehículos que no presenta ninguna incidencia son los buses.

**Figura 13**

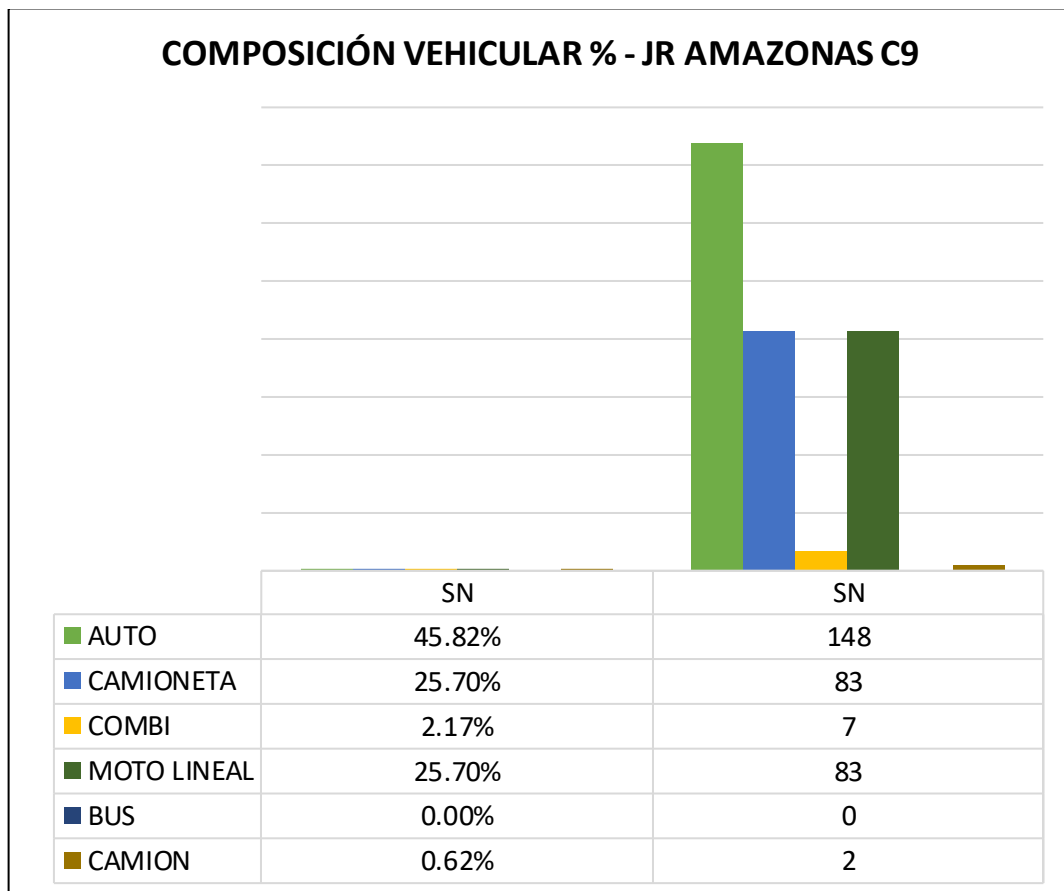
*Distribución vehicular - hora punta Jr. Amazonas C9*



Respecto a la composición vehicular en porcentaje, ésta vía está conformado solamente por los giros a la izquierda; en la figura 14 se muestra que el 100 % de los vehículos avanza en el sentido norte sur; de los cuales el mayor porcentaje equivalente al 45,82% (148 vehículos) representa a los autos, seguidos por las camionetas y motos lineales con un 25,70% (83 vehículos) cada uno respetivamente.

**Figura 14**

*Composición vehicular de los desvíos de flujo- Amazonas C9*



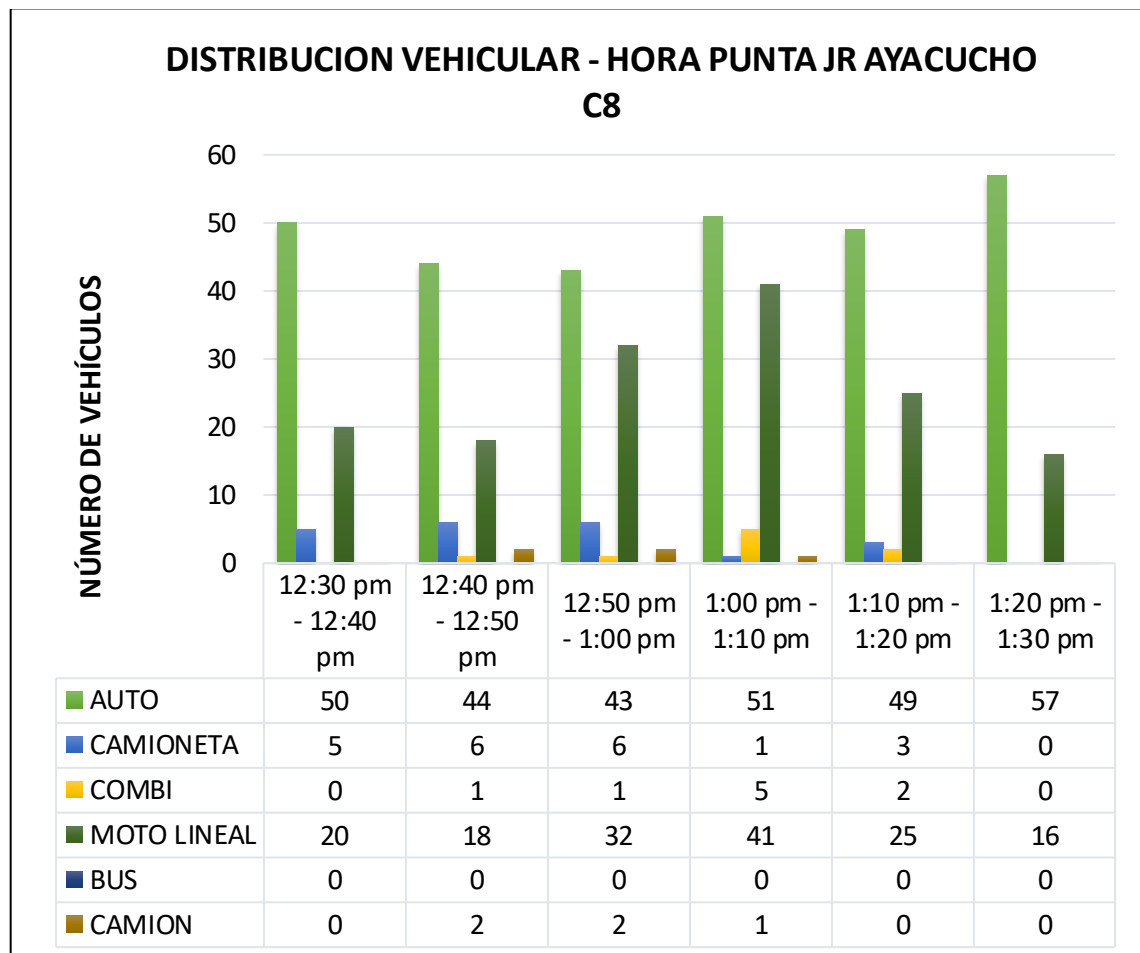
- **Jr. Ayacucho C8**

En la presente vía el horario de máxima demanda (HMD) corresponde al turno medio día entre las 12:30 pm – 1:30 pm; con un caudal total de 481 veh/h entre autos, camionetas, combis, motos lineales, buses y camiones; en la figura 15 se puede apreciar que los mayores índices representan a los autos con un valor de 294 y las motos lineales con un total de 152 vehículos, el tipo de vehículo que no presenta ninguna incidencia son los buses.



**Figura 15**

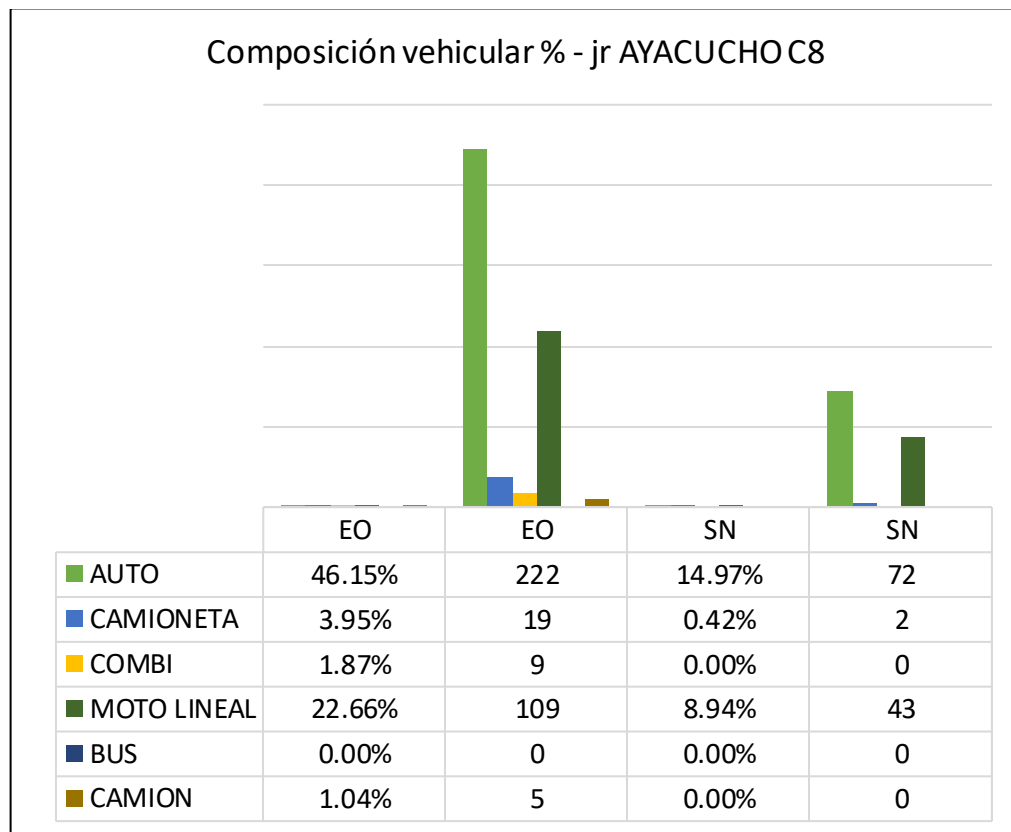
*Distribución vehicular - hora punta Jr. Ayacucho C8*



Respecto a la composición vehicular en porcentaje para esta vía está distribuida de acuerdo al desvío de flujo (giro a la derecha; giro a la izquierda) optado por cada tipo de vehículo después de cruzar el semáforo de las intersecciones; en la figura 16 se muestra que el 75.68 % (364 veh) avanza en el sentido del flujo del jirón Ayacucho (este-oeste); mientras que el otro 24.32 % (117 veh) realiza un giro a derecha (sur-norte).

**Figura 16**

*Composición vehicular de los desvíos de flujo- Ayacucho C8*



➤ **Composición peatonal**

Los valores de los aforos peatonales se tomaron en la misma hora correspondiente al volumen máximo horario vehicular; priorizando el principal objetivo de este estudio el cual busca optimizar el tránsito vehicular.

Con la información de los vehículos en cada acceso y con los datos de los peatones; conociendo también el porcentaje de giros a la derecha e izquierda según corresponda en cada intersección; se obtuvo los datos finales que se insertarán en el modelo de simulación.

**3.3.2 Velocidad de operación deseada**

Es la velocidad a la que avanza un vehículo a flujo libre; es decir cuando no hay presencia de vehículos, peatones o cualquier otro obstáculo por delante del mismo; para encontrar estas velocidades se realizó las mediciones del tiempo de recorrido desde la intersección 2 a la intersección 3 en una distancia de 72,80 m de cada uno de los vehículos; se tuvo en

consideración que los vehículos se encuentren en la capacidad de avanzar sin ser obstaculizados o tener que desacelerar antes de llegar al punto final.

Se recopiló 20 datos de tiempos de recorrido (seg) para cada uno de los diferentes tipos de vehículos; además se registró 20 datos sobre tiempos de recorridos de peatones en la misma longitud (Anexo 03, Anexo 04)

Para el cálculo de las velocidades se empleó la siguiente fórmula:  $v = distancia / tiempo$

Las velocidades obtenidas en lo referente a vehículos varían entre un mínimo para camiones de 17,46 km/h y un máximo de 32,84 km/h para motos lineales; estas velocidades se insertarán en el modelo virtual.

**Tabla 11**

*Velocidad de operación de vehículos*

<b>TIPO VEHÍCULO</b>	<b>AUTO</b>	<b>CAMIONETA</b>	<b>COMBI</b>	<b>MOTO LINEAL</b>	<b>BUS</b>	<b>CAMION</b>
<b>MINIMA V(km/h)</b>	20.19	20.75	20.36	21.62	19.49	17.46
<b>MÁXIMA V(km/h)</b>	30.62	28.06	24.61	32.84	24.07	22.36
<b>PROMEDIO V(km/h)</b>	<b>25.00</b>	<b>24.00</b>	<b>22.00</b>	<b>27.00</b>	<b>22.00</b>	<b>20.00</b>

En cuanto a la velocidad para peatones; se obtuvo un mínimo de 2,97 km/h y un máximo de 4,82 Km/h.

**Tabla 12**

*Velocidad de peatones*

	<b>PEATÓN</b>
MINIMA V(Km/h)	2.97
MÁXIMA V(km/h)	4.82
<b>PROMEDIO V(k/h)</b>	<b>4.00</b>

**Figura 17**

*Datos II, composición vehicular, peatonal, velocidades flujo, desvíos*

INTERSECCIÓN II			JR. GRAU C7 - JR. TRIUNFO		
<b>JR. GRAU C7</b>					
<b>VOLUMEN VEHICULAR</b>					
TIPO DE VEHÍCULO	VELOCIDAD (KM/h)	FLUJO		DESVIO	
		SN		EO	SN
AUTO	25.00	191.00	38.59%	36.97%	63.03%
CAMIONETA	24.00	88.00	17.78%		
COMBI	22.00	20.00	4.04%		
MOTO LINEAL	27.00	181.00	36.57%		
BUS	22.00	6.00	1.21%		
CAMIÓN	20.00	9.00	1.82%		
<b>TOTAL</b>		<b>495 veh/h</b>	<b>100%</b>		
<b>VOLUMEN PEATONAL</b>					
PEATON	VELOCIDAD (KM/h)	FLUJO (EO)		R1 - SN	R2 - NS
		TOTAL	%	%	%
	4.00	343.00 pet/h	100	55.22	44.78
<b>JR. TRIUNFO C8</b>					
<b>VOLUMEN VEHICULAR</b>					
TIPO DE VEHÍCULO	VELOCIDAD (KM/h)	FLUJO		DESVIO	
		EO		EO	SN
		TOTAL		%	%
AUTO	25.00	128.00	44.76%	41.96	58.04
CAMIONETA	24.00	56.00	19.58%		
COMBI	22.00	5.00	1.75%		
MOTO LINEAL	27.00	91.00	31.82%		
BUS	22.00	2.00	0.70%		
CAMIÓN	20.00	4.00	1.40%		
<b>TOTAL</b>		<b>286 veh/h</b>	<b>100%</b>		

VOLUMEN PEATONAL					
PEATON	VELOCIDAD (KM/h)	FLUJO (EO)		R1 - EO	R2 - OE
		TOTAL	%	%	%
	4.00	<b>229.00 pet/h</b>	100	53.08	46.92

**Figura 18**

*Datos I2, composición vehicular, peatonal, velocidades flujo, desvíos*

INTERSECCIÓN I2				JR. GRAU C6 - JR. AMAZONAS	
JR. GRAU C6					
VOLUMEN VEHICULAR					
TIPO DE VEHÍCULO	VELOCIDAD (KM/h)	FLUJO SN		DESVIO	
		TOTAL	%	-----	SN
				%	%
AUTO	25.00	253.00	52.93%	0.00	100
CAMIONETA	24.00	77.00	16.11%		
COMBI	22.00	11.00	2.30%		
MOTO LINEAL	27.00	131.00	27.41%		
BUS	22.00	1.00	0.21%		
CAMIÓN	20.00	5.00	1.05%		
<b>TOTAL</b>		<b>478 veh/h</b>	<b>100%</b>		
VOLUMEN PEATONAL					
PEATON	VELOCIDAD (KM/h)	FLUJO (EO)		R1 - SN	R2 - NS
		TOTAL	%	%	%
	4.00	282.00 pet/h	100%	52.84	47.16
JR. AMAZONAS C9					
VOLUMEN VEHICULAR					
TIPO DE VEHÍCULO	VELOCIDAD (KM/h)	FLUJO OE		DESVIO	
		TOTAL	%	OE	SN
				%	%
AUTO	25.00	148.00	45.82	0.00	100
CAMIONETA	24.00	83.00	25.70		
COMBI	22.00	7.00	2.17		
MOTO LINEAL	27.00	83.00	25.70		
BUS	22.00	0.00	0.00		
CAMIÓN	20.00	2.00	0.62		
<b>TOTAL</b>		<b>323 veh/h</b>	<b>100</b>		

VOLUMEN PEATONAL					
PEATON	VELOCIDAD (KM/h)	FLUJO (EO)		R1 - OE	R2 - EO
		TOTAL	%	%	%
	4.00	792.00 pet/h	1.00	50.01	49.99

**Figura 19**

*Datos I3, composición vehicular, peatonal, velocidades flujo, desvíos*

INTERSECCIÓN I3			JR. GRAU - JR. AYACUCHO		
JR. GRAU C5					
VOLUMEN VEHICULAR					
TIPO DE VEHÍCULO	VELOCIDAD (KM/h)	FLUJO SN		DESVIO	
		TOTAL	%	EO	SN
				%	%
AUTO	25.00	388.00	48.44	47.44	52.56
CAMIONETA	24.00	178.00	22.22		
COMBI	22.00	15.00	1.87		
MOTO LINEAL	27.00	202.00	25.22		
BUS	22.00	5.00	0.62		
CAMIÓN	20.00	13.00	1.62		
<b>TOTAL</b>		<b>801 veh/h</b>	100		
VOLUMEN PEATONAL					
PEATON	VELOCIDAD (KM/h)	FLUJO (EO)		R1 - SN	R2 - NS
		TOTAL	%	%	%
	4.00	631.00 pet/h	1.00	50.80	49.20
JR. AYACUCHO C8					
VOLUMEN VEHICULAR					
TIPO DE VEHÍCULO	VELOCIDAD (KM/h)	FLUJO		DESVIO	
		EO		EO	SN
		TOTAL	%	%	%
AUTO	25.00	294.00	61.12	75.68	24.32
CAMIONETA	24.00	21.00	4.37		
COMBI	22.00	9.00	1.87		
MOTO LINEAL	27.00	152.00	31.60		
BUS	22.00	0.00	0.00		
CAMIÓN	20.00	5.00	1.04		
<b>TOTAL</b>		<b>481 veh/h</b>	100		

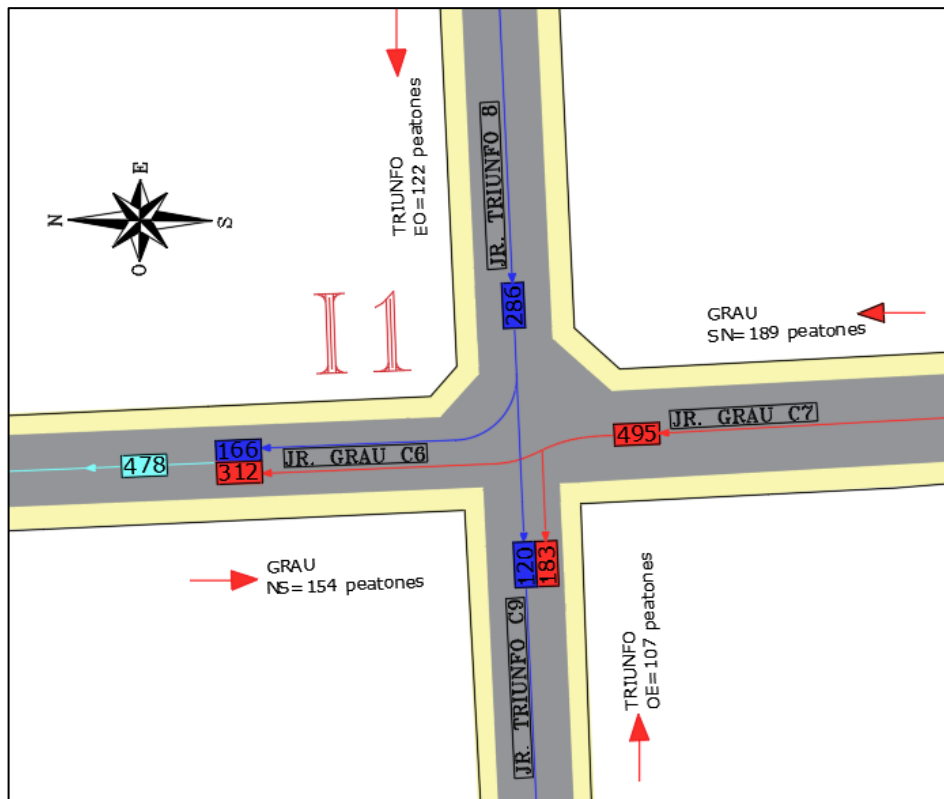
VOLUMEN PEATONAL					
PEATON	VELOCIDAD (KM/h)	FLUJO (EO)		R1 - EO	R2 - OE
		TOTAL	%	%	%
		4.00	349.00 pet/h	1.00	53.85

### 3.3.3 Flujogramas por intersección

Con los volúmenes vehiculares pertenecientes a cada acceso a la red y con los aforos peatonales en cada intersección se realizó los flujogramas para cada una de las intersecciones en evaluación.

**Figura 20**

*Flujograma - II*



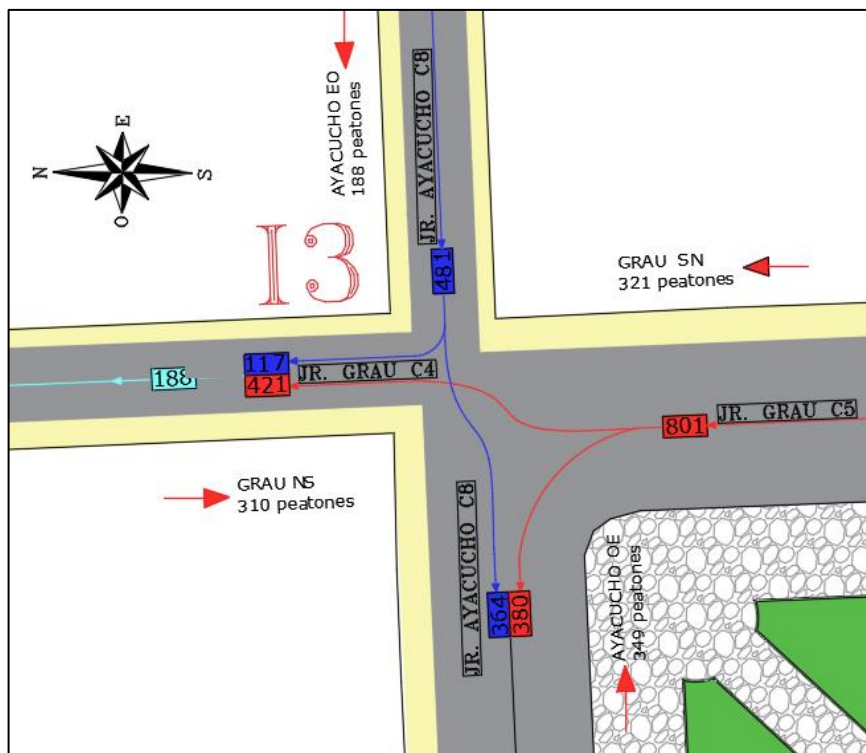
**Figura 21**

*Flujograma - I2*



**Figura 22**

*Flujograma - I3*



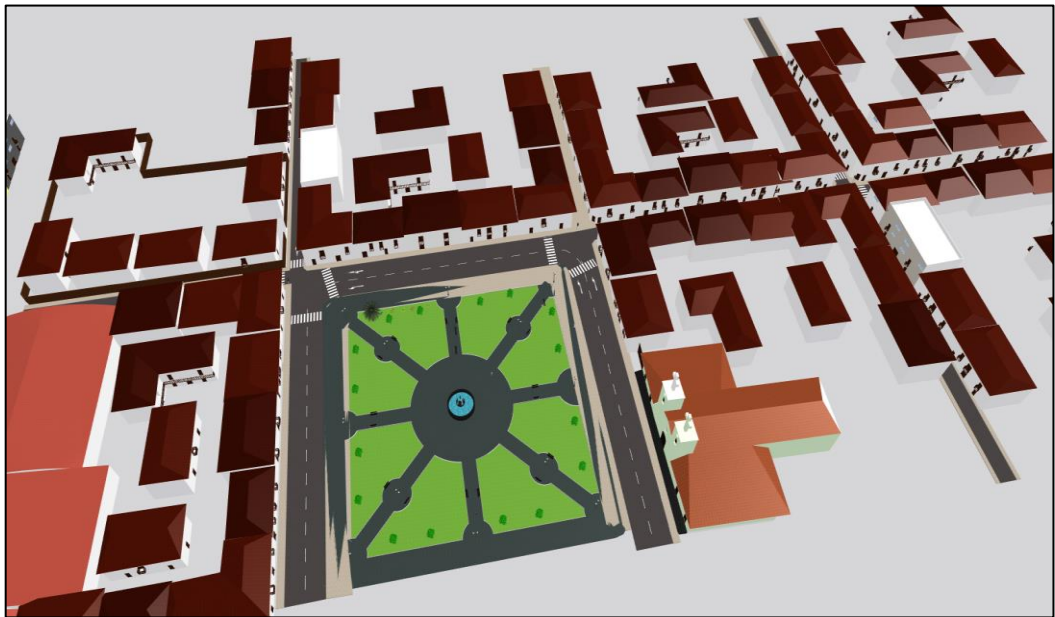


### 3.4 Construcción del modelo virtual

Con toda la información recopilada y debidamente procesada, se procede con la construcción y configuración del modelo de simulación en el software PTV Vissim.

#### 3.4.1 Red

- **Modelo 3d – sketchUp**, primero sobre el plano en planta elaborado con datos de la geometría de las vías se elaboró un modelo 3D de la zona de estudio en el programa Skechup.



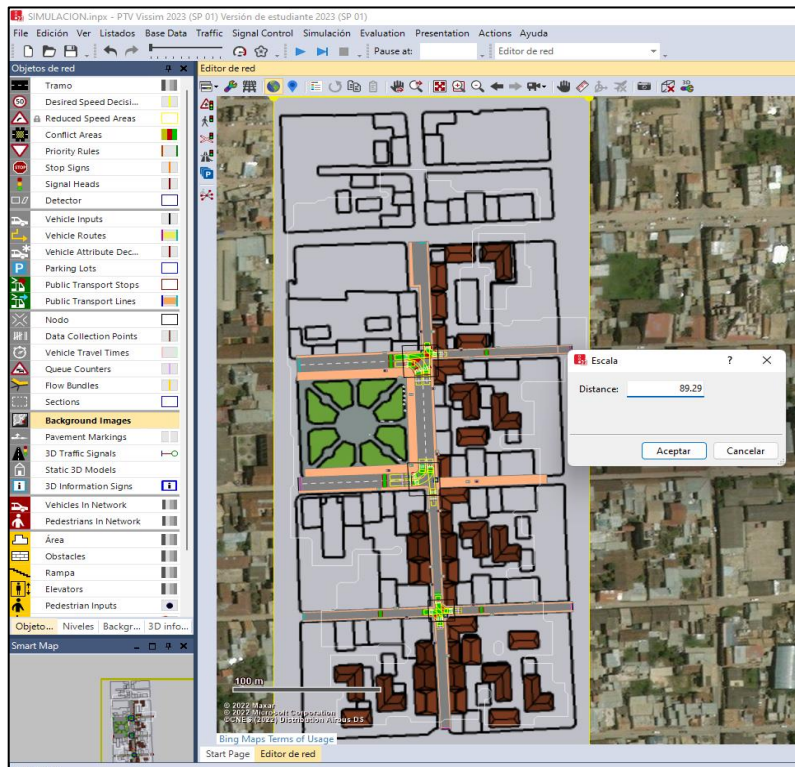
- **Importación de imagen de fondo**

Se realizó la importación de una imagen (png) del plano en planta y el mismo archivo del sketchup.

Se ubicó el área de estudio utilizando el mapa georreferenciado (vista satelital) que presenta el mismo software; se colocará la imagen importada sobre el mapa satelital y se procederá a escalar tomando como referencia una distancia conocida.

**Figura 23**

*Ventana para escalar imagen importada*

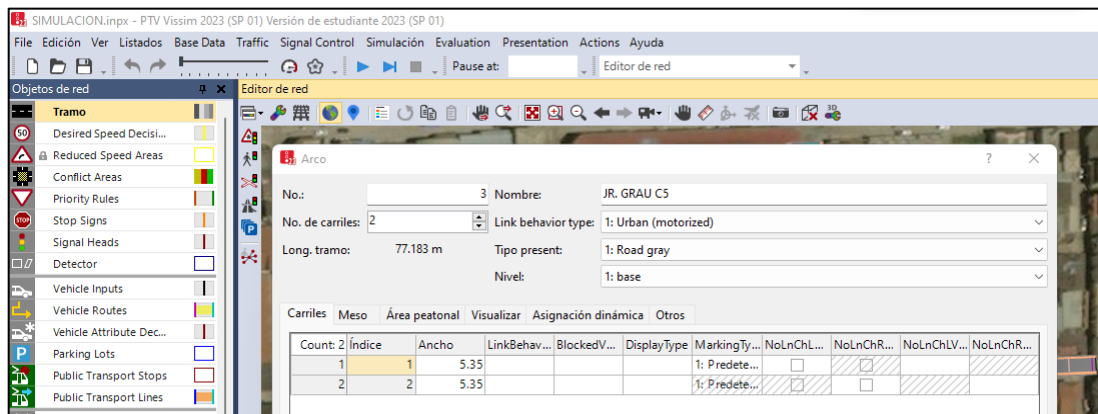


- **Links y conectores**

Los links son objetos independientes; al crear los links es necesario especificar el ancho de las vías, número de carriles y el sentido de flujo; por medio de los conectores se va conectando los links dependiendo de los giros a la derecha, izquierda o flujo directo para formar las intersecciones; de esa forma se construyó la red de simulación. Las veredas

**Figura 24**

*Ventana para la creación y edición de links*



**Figura 25**

*Lista de Links (vías) creadas en la red*

Count: 54	No	Nom	LinkBehavType	DisplayType	Nivel	NumLanes	Length2D	IsConn	FromLink	ToLink
1	1	JR. GRAU C7	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: base	1	85.872	<input type="checkbox"/>		
2	2	JR. GRAU C6	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: base	1	87.676	<input type="checkbox"/>		
3	3	JR. GRAU C5	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: base	2	77.183	<input type="checkbox"/>		
4	4	JR. GRAU C4	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: base	1	84.757	<input type="checkbox"/>		
5	5	JR. TRIUNFO C9	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: base	1	88.864	<input type="checkbox"/>		
6	6	JR. TRIUNFO C8	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: base	1	88.129	<input type="checkbox"/>		
7	7	JR. AMAZONAS C9	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: base	2	82.618	<input type="checkbox"/>		
8	8		1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: base	1	5.561	<input type="checkbox"/>		
9	9	JR. AYACUCHO C9	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: base	2	80.871	<input type="checkbox"/>		
10	10	JR. AYACUCHO C8	1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: base	1	95.351	<input type="checkbox"/>		
11	11		1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: base	1	5.561	<input type="checkbox"/>		
12	12		1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: base	1	5.720	<input type="checkbox"/>		
13	13		1: Urban (motorized)	1: Road gray	1: base	1	5.720	<input type="checkbox"/>		

### 3.4.2 Tránsito

- **Volumen vehicular y peatonal**

Después de construir la red modelo se procedió a cargar los volúmenes de tránsito tanto vehicular como peatonal; este volumen corresponde a la hora de máxima demanda de cada uno de los accesos a la red (Jr. Grau C7, Jr. Triunfo C8, Jr. Amazonas C9, Jr. Ayacucho C8); se insertará también la composición en porcentaje de cada tipo de vehículo con su velocidad de operación correspondiente a cada uno de ellos, los cuales se obtuvieron en campo.

**Figura 26**

*Composición vehicular (tipos, porcentajes, velocidades) por accesos*

Count: 4	No	Nom	Count: 6	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	1	GRAU C7 SN	1	100: Automóvil	25: 25 km/h	0.383
2	2	TRIUNFO EO	2	200: HGV	20: 20 km/h	0.017
3	3	AMAZONAS OE	3	300: Bus	1048: BUS	0.015
4	4	AYACUCHO EO	4	630: MOTO	1049: MOTO LINEAL	0.320
			5	640: CAMIONETA	1050: CAMIONETA	0.205
			6	650: COMBI	1051: COMBI	0.060

**Figura 27**

*Volumen vehicular horario máximo*

Vehicle Inputs / Vehicle volumes by time interval					
Count: 4	No	Nom	Tramo	Volume(0-MAX)	VehComp(0-MAX)
1	1	GRAU C7	1: JR. GRAU C7	495.0	1: GRAU C7 SN
2	2	TRIUNFO EO	6: JR. TRIUNFO C8	286.0	2: TRIUNFO EO
3	3	AMAZONAS OE	7: JR. AMAZONAS C9	323.0	3: AMAZONAS OE
4	4	AYACUCHO EO	10: JR. AYACUCHO C8	481.0	4: AYACUCHO EO

**Figura 28**

*Volumen peatonal horario máximo*

Pedestrian Inputs / Pedestrian volumes by time interval					
Count: 13	No	Nom	Área	Volume(0-MAX)	PedComp(0-MAX)
1	1	TRIUNFO EO	35	122.0	1: PEATONES-GENER
2	2	TRIUNFO OE	31	107.0	1: PEATONES-GENER
3	3	AMAZONAS OE	41	396.0	1: PEATONES-GENER
4	4	AMAZONAS EO	43	396.0	1: PEATONES-GENER
5	5	AYACUCHO EO	47	188.0	1: PEATONES-GENER
6	6	AYACUCHO OE	48	349.0	1: PEATONES-GENER
7	7	GRAU I1 - SN	65	189.0	1: PEATONES-GENER
8	8	GRAU I1 - NS	63	154.0	1: PEATONES-GENER
9	9	GRAU I2 - SN	51	149.0	1: PEATONES-GENER
10	10	GRAU I2 - NS	61	133.0	1: PEATONES-GENER
11	11	GRAU I3 - SN	57	321.0	1: PEATONES-GENER
12	12	GRAU I3 - NS	59	310.0	1: PEATONES-GENER
13	13	CALIBRACION	74	50.0	1: PEATONES-GENER

- **Definición de rutas estáticas, áreas de conflictos y zonas de reducción de velocidad**

Los vehículos que ingresan a la red tienen diferentes posibles rutas; el flujo vehicular se distribuirá de acuerdo a las rutas detectadas en campo.

Para los vehículos que ingresan en el Jr. Triunfo C8 tal como muestra la figura 30 se presentan tres posibles rutas:

**R-1** tiene como fin avanzar en línea recta al mismo Jr. Triunfo C9, el porcentaje de vehículos correspondiente a esta ruta es de 42,0 %

**R-2** contiene en su trayecto un giro a la derecha, avanzar en línea recta 2 cuadras y un giro a la izquierda, teniendo como punto de llegada el Jr. Ayacucho C9; el porcentaje correspondiente es de 23,20 % vehículos.

**R-3** contiene en su trayecto un giro a la derecha, avanzar en línea recta 3 cuadras hasta el Jr. Grau C4; el porcentaje correspondiente es de 34,80 % vehículos.

**Figura 29**

*Rutas para vehículos que acceden por Jr. Triunfo C8*

Static Vehicle Routing Decisions / Static vehicle routes											
Count: 4	No	Nom	Tramo	Count: 3	VehRoutDec	No	Nom	Formula	DestLink	DestPos	RelFlow(0-MAX)
1	1		6: JR. TRIUNFO C8	1	1	1			5: JR. TRIUNFO C9	88.055	0.420
2	2		1: JR. GRAU C7	2	1	2			9: JR. AYACUCHO C9	79.244	0.232
3	3		7: JR. AMAZONAS C9	3	1	3			4: JR. GRAU C4	83.977	0.348
4	4		10: JR. AYACUCHO C8								

Para los vehículos que ingresan en el Jr. Grau C7 tal como muestra la figura 31 se presentan tres posibles rutas:

**R-1** tiene en su trayecto un giro a la izquierda para continuar en el Jr. Triunfo C9, el porcentaje de vehículos correspondiente a esta ruta es de 37,00 %

**R-2** contiene en su trayecto avanzar en línea recta 2 cuadras y un giro a la izquierda, teniendo como punto de llegada el Jr. Ayacucho C9; el porcentaje correspondiente es de 25,20 %.

**R-3** contiene en su trayecto un giro a la derecha, avanzar en línea recta 3 cuadras hasta el Jr. Grau C4; el porcentaje correspondiente es de 37,80 %.

**Figura 30**

*Rutas para vehículos que acceden por Jr. Grau C7*

Static Vehicle Routing Decisions / Static vehicle routes											
Count: 4	No	Nom	Tramo	Count: 3	VehRoutDec	No	Nom	Formula	DestLink	DestPos	RelFlow(0-MAX)
1	1		6: JR. TRIUNFO C8	1	2	1			5: JR. TRIUNFO C9	87.859	0.370
2	2		1: JR. GRAU C7	2	2	2			9: JR. AYACUCHO C9	79.149	0.252
3	3		7: JR. AMAZONAS C9	3	2	3			4: JR. GRAU C4	83.986	0.378
4	4		10: JR. AYACUCHO C8								

Para los vehículos que ingresan en el Jr. Amazonas C9 tal como muestra la figura 32 se presentan 2 posibles rutas:

**R-1** tiene en su trayecto un giro a la izquierda, avanzar una cuadra, giro a la izquierda para llegar al Jr. Ayacucho C9; el porcentaje correspondiente es de 40,0 %.

**R-2** contiene en su trayecto un giro a la izquierda, avanzar en línea recta 2 cuadras hasta el Jr. Grau C4; el porcentaje correspondiente es de 60,0 %.

**Figura 31**

*Rutas para vehículos que acceden por Jr. Amazonas C9*

Count: 4	amo	Pe	Count: 2	VehRo...	No	Nom	Formula	DestLink	DestPos	RelFlow(0-MAX)
1	JR. TRIUNFO C8		1	3	1			9: JR. AYACUCHO C9	79.112	0.400
2	JR. GRAU C7		2	3	2			4: JR. GRAU C4	83.894	0.600
3	JR. AMAZONAS C9									
4	JR. AYACUCHO C8									

Para los vehículos que ingresan en el Jr. Ayacucho C8 tal como muestra la figura 33 se presentan 2 posibles rutas:

**R-1** tiene en su trayecto un giro a la derecha, avanzar en el sentido de flujo del Jr. Grau C4; el porcentaje correspondiente es de 24,30 %.

**R-2** contiene en su trayecto avanzar en línea recta en el Jr. Ayacucho C9; el porcentaje correspondiente es de 75,70 %.

**Figura 32**

*Rutas para vehículos que acceden por Jr. Ayacucho C8*

Count: 4	No	Nom	Tramo	Count: 2	VehRoutDec	No	Nom	Formula	DestLink	DestPos	RelFlow(0-MAX)
1	1		6: JR. TRIUNFO C8	1	4	1			4: JR. GRAU C4	83.860	0.243
2	2		1: JR. GRAU C7	2	4	2			9: JR. AYACUCHO C9	78.821	0.757
3	3		7: JR. AMAZONAS C9								
4	4		10: JR. AYACUCHO C8								

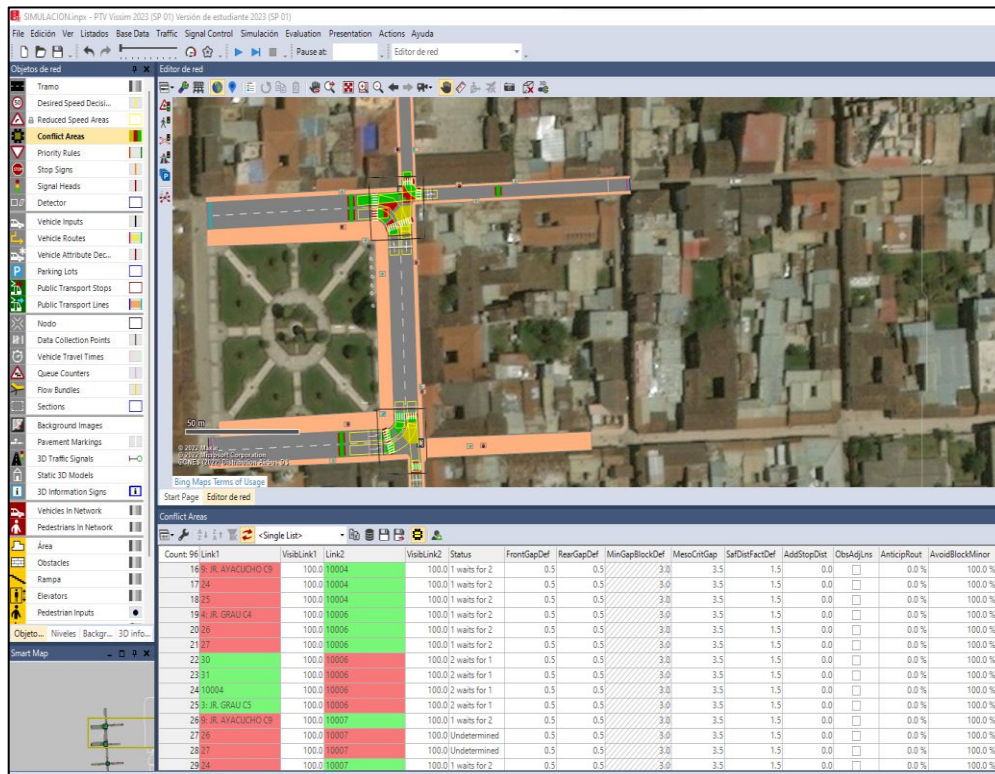
Las denominadas áreas de conflictos y reglas de prioridad ayudan a definir las interacciones entre los mismos vehículos, conflictos entre vehículos y peatones en una intersección o cruce; busca disminuir el riesgo de accidentes al darle la prioridad a cierta vía dependiendo de sus características.

Las zonas de reducción de velocidad se dan en las intersecciones generalmente en curvas a la izquierda, curvas a la derecha; son zonas donde los vehículos se ven en la necesidad de disminuir su velocidad debido a los giros que deben hacer o simplemente para evitar pasarse un semáforo en rojo; estas velocidades reducidas dependerán del tipo de vehículo; basado en normativa para zonas urbanas para este estudio se reducirá a 15km/h.



**Figura 33**

*Áreas de conflicto en Intersecciones*

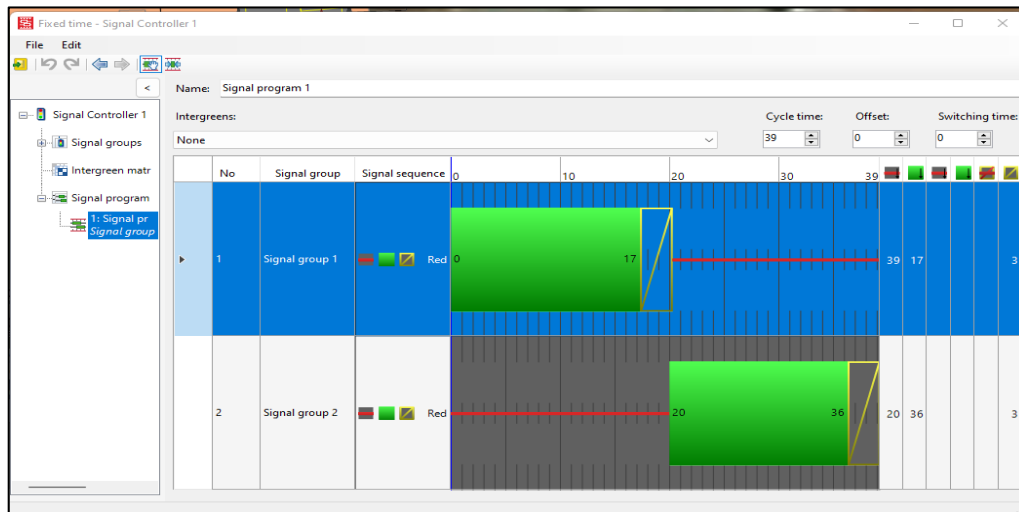


**3.4.3 Señales de Control**

Luego de construir toda la red de simulación, se procede a asignar las señales de control como lo son los semáforos; se asignará el tiempo de duración tomado en campo de cada uno de los ciclos correspondientes a cada intersección. La figura 35 corresponde a la programación del ciclo semafórico de la I1 (Intersección Grau con Jr. Triunfo)

**Figura 34**

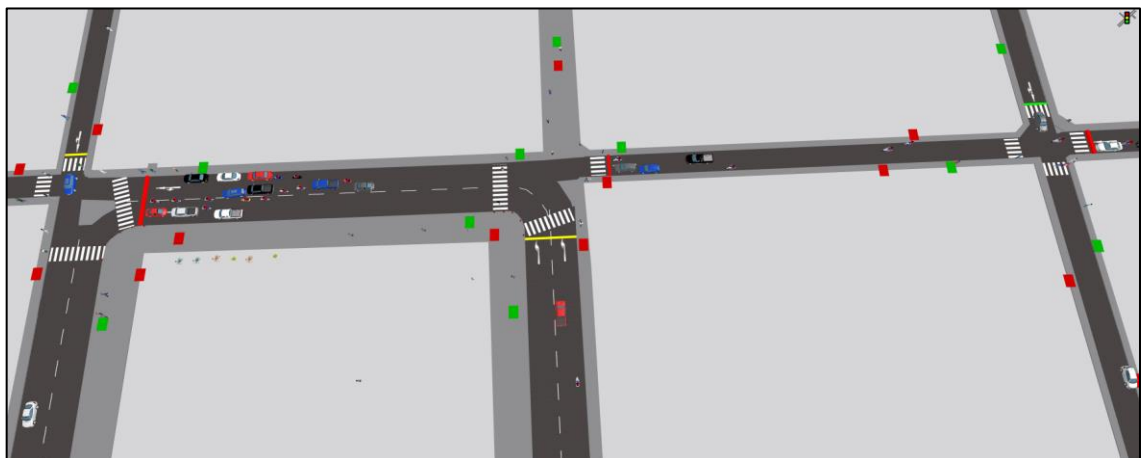
*Ventana programación de los ciclos semafóricos*



Finalmente, tanto en la figura 36 y 37, se muestra el resultado de la construcción virtual del modelo de microsimulación de las 3 intersecciones semaforizadas a evaluar y optimizar.

**Figura 35**

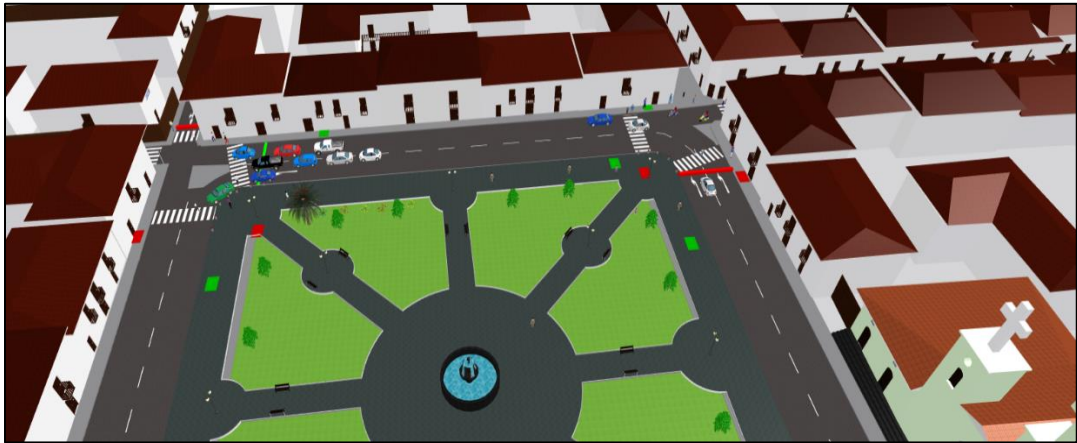
*Vista en planta del modelo virtual de simulación*





**Figura 36**

*Vista en 3D del modelo de simulación de la zona en estudio.*





### 3.5 Calibración y validación del modelo

Este proceso permite adaptar los parámetros del modelo construido en el software con la finalidad de que este represente el comportamiento del tránsito en la realidad.

La metodología empleada para la calibración de los parámetros es el modelo de seguimiento de Wiedemann 74. El modelo sitúa al conductor en uno de los cuatro posibles estados de conducción: libre, acercándose, siguiendo y frenando; determina la posición del vehículo, que viene determinada por la diferencia de velocidad y distancia con respecto al vehículo libre (distancia de seguridad).

**Figura 37**

Parámetros de modelo de Wiedemann 74  $d = ax + (bx_{add} + bx_{mult} * z) * \sqrt{v}$

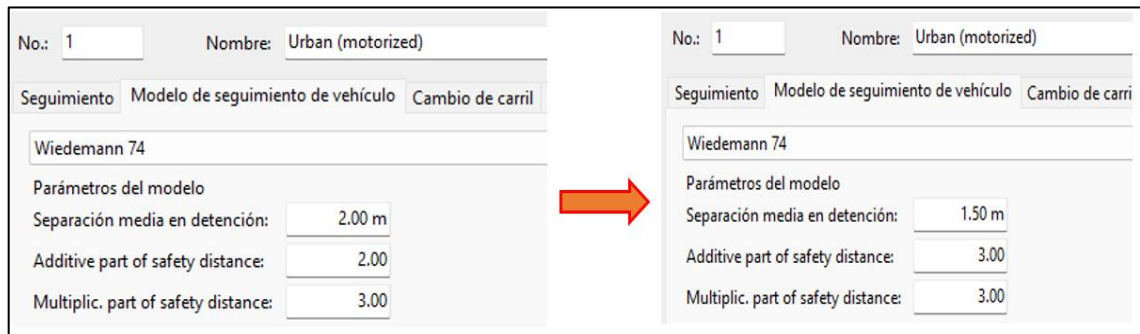
Parámetro	Descripción
<b>ax</b> Distancia media entre vehículos detenidos.	Tolerancia se encuentra entre -1,0 m y 1,0 m. Desviación estándar de 0,3 m. Valor por defecto 2.0
<b>bx<sub>add</sub></b> Distancia de seguridad (parte aditiva)	Permite ajustar los valores requisito de tiempo. Valor por defecto 2.0
<b>bx<sub>mult</sub></b> Distancia de seguridad (parte multiplicativa)	Mayor valor = mayor distribución Desviación estándar de distancia de seguridad por defecto 3.0

Fuente: PTV Vissim 10 User Manual, 2018

Para la calibración se realizó 10 intentos; en cada uno de ellos se modificaron los parámetros de Wiedemann 74 con el objetivo de que el modelo de simulación alcance un nivel de confianza del 95% respecto a los datos de campo.

**Figura 38**

*Valores iniciales y finales - Wiedemann 74*



El número mínimo de corridas recomendado por FHWA (Federal Highway Administration) es de 15 veces. Para el modelo se realizó 20 corridas para cada uno de los 10 intentos; el parámetro evaluado para esta calibración fue el tiempo de viaje de los vehículos entre la intersección 1 y 2 en una longitud de 60 m. Ver tabla 10.

Para los parámetros ya predeterminados por el software 2, 2, 3 se obtuvo un promedio de tiempo de viaje de 22,99 segundos y una desviación estándar de 1,92 cuyos valores no corresponden al promedio registrado en campo; por ende, se realizó otras combinaciones hasta encontrar un promedio idéntico al registro de campo. Los valores de los parámetros seleccionados son 1.5, 3,3 correspondientes al intento número 8 con un valor promedio de tiempo de viaje de 21,63 segundos.

**Tabla 13**

*Proceso de calibración - Wiedemann 74*

Intento	PTV VISSIM							CAMPO	
	Parámetros de Wiedemann 74			Valores				media	Desv. Est.
	ax	bx_sd	bx_m	min	máx.	media	Desv. Est.		
1	2	2	3	21.01	24.96	22.99	1.98	21.63	2.63
2	1.5	3	2	21.25	23.65	22.45	1.68	21.63	2.63
3	1.8	2	2	17.45	23.45	20.45	2.89	21.63	2.63
4	1	2	3	18.56	21.45	20.01	2.12	21.63	2.63
5	2	1	3	18.95	23.45	21.20	2.10	21.63	2.63

6	1.5	2	3	19.98	23.91	21.95	1.92	21.63	2.63
7	1.8	3	3	20.25	24.32	22.29	2.25	21.63	2.63
8	<b>1.5</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>18.77</b>	<b>24.20</b>	<b>21.63</b>	<b>1.91</b>	<b>21.63</b>	<b>2.63</b>
9	1.8	3	3	18.86	25.32	22.09	2.45	21.63	2.63
10	1.5	2	3	19.45	23.45	21.45	2.25	21.63	2.63

**Figura 39**

*Valores del intento número 8 - proceso de calibración*

Vehicle Travel Time Results					
28 / 168	SimRun	TimeInt	VehicleTravelTi	TravTm(todos)	DistTrav(todos)
1	1	0-4200	6: 12 - 13	23.76	60.00
2	2	0-4200	6: 12 - 13	20.28	60.00
3	3	0-4200	6: 12 - 13	21.15	60.00
4	4	0-4200	6: 12 - 13	24.20	60.00
5	5	0-4200	6: 12 - 13	18.92	60.00
6	6	0-4200	6: 12 - 13	18.77	60.00
7	7	0-4200	6: 12 - 13	22.33	60.00
8	8	0-4200	6: 12 - 13	23.03	60.00
9	9	0-4200	6: 12 - 13	22.73	60.00
10	10	0-4200	6: 12 - 13	21.05	60.00
11	11	0-4200	6: 12 - 13	21.33	60.00
12	12	0-4200	6: 12 - 13	23.66	60.00
13	13	0-4200	6: 12 - 13	21.34	60.00
14	14	0-4200	6: 12 - 13	19.02	60.00
15	15	0-4200	6: 12 - 13	23.47	60.00
16	16	0-4200	6: 12 - 13	21.77	60.00
17	17	0-4200	6: 12 - 13	22.86	60.00
18	18	0-4200	6: 12 - 13	17.43	60.00
19	19	0-4200	6: 12 - 13	22.12	60.00
20	20	0-4200	6: 12 - 13	23.31	60.00
21	Average	0-4200	6: 12 - 13	21.63	60.00
22	Standard deviation	0-4200	6: 12 - 13	1.91	0.00
23	Minimum	0-4200	6: 12 - 13	17.43	60.00
24	Maximum	0-4200	6: 12 - 13	24.20	60.00
25	50% percentile	0-4200	6: 12 - 13	21.77	60.00
26	75% percentile	0-4200	6: 12 - 13	23.03	60.00
27	90% percentile	0-4200	6: 12 - 13	23.66	60.00
28	95% percentile	0-4200	6: 12 - 13	23.76	60.00

Para la validación de modelo se realizó la simulación con datos de tiempo de viaje para el mismo tramo que fueron tomados en campo pero que no se usaron durante la calibración del modelo; los resultados arrojados se presentan en la tabla 14.

**Tabla 14***Datos de validación del modelo*

<b>VALIDACIÓN DEL MODELO</b>		
N°	CAMPO	VISSIM
1	20.10	22.02
2	21.41	20.28
3	23.52	23.76
4	22.64	22.02
5	19.25	20.12
6	21.64	22.04
7	21.45	21.5
8	20.95	20.23
9	24.18	23.53
10	21.55	22.58

Se aplicó la prueba de T de student (prueba de hipótesis nula) aplicado a muestras independientes con varianzas iguales, para validar los resultados del modelo.

**Tabla 15***Prueba de hipótesis nula (Ho)*

<b>PRUEBA t DE STUDENT - Ho</b>		
	<i>CAMPO</i>	<i>VISSIM</i>
Media	21.669	21.608
Varianza	2.18161	1.7551511
Observaciones	10	10
Varianza agrupada	1.9683806	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	18	
Estadístico t	<b>0.097221</b>	
P(T<=t) una cola	0.4618126	
Valor crítico de t (una cola)	1.7340636	
P(T<=t) dos colas	0.9236252	
Valor crítico de t (dos colas)	<b>2.100922</b>	

A un 95% de confiabilidad se obtuvo los puntos críticos entre  $-2.101$  a  $2.101$  y un estadístico  $t$  de  $0.097$ ; al encontrarse el estadístico  $t$  dentro del rango de puntos críticos (zona de aceptación de  $H_0$ ) se acepta la hipótesis nula.

### 3.6 Evaluación escenario actual

Para la evaluación de del nivel de servicio de las vías que conforman el área de estudio se empleó la metodología HCM.

Este manual de capacidad de carreteras aborda un capítulo específico acerca de la intersección sanforizadas. En tal capítulo (18) describe a las intersecciones como las más complejas en cuanto a circulación de tránsito. Este método tiene como objetivo determinar la capacidad y el nivel de servicio de las intersecciones mediante el análisis basado en las condiciones geométricas de la vía, volumen, señalización, saturación, etc. Existen diferentes parámetros para evaluar una vía tales como el grado de saturación, tiempos de viaje, longitud de cola y demoras; la investigación se basó en estos dos últimos.

**Figura 40**

*Tipos de niveles de servicio*

Nivel de servicio (NDS)	Demora (segundos/vehículo)	Interpretación adicional
A	10	Circulación muy fluida
B	10 – 20	Circulación fluida
C	20 – 35	Circulación no tan fluida
D	35 – 55	Circulación no tan forzada
E	55 – 80	Circulación forzada
F	>80	Circulación muy forzada

*Fuente*, Manual del HCM, 2010.

#### 3.6.1 Registros de campo

Los datos registrados en campo de los parámetros de longitud de cola y tiempo de demora promedios en cada una de las intersecciones se muestran en la tabla 16. Los registros detallados obtenidos en campo (Anexo 05).

**Tabla 16***Longitudes de cola y demoras registrados en campo*

	<b>Vías</b>	<b>Longitud de cola (m)</b>	<b>Tiempo de demora (seg)</b>	<b>Nivel de servicio</b>
I1	JR. GRAU C7 - SN	70.64	32.24	C
	JR. TRIUNFO C8 - EO	61.58	13.49	B
	JR. GRAU C6 - SN	81.33	37.34	D
I2	JR. AMAZONAS C9 - OE	63.37	14.60	B
	JR. GRAU C5 - SN	70.11	36.65	D
I3	JR. AYACUCHO C8 - EO	74.28	31.58	C

Tales datos han sido obtenidos directamente de la observación en campo; tanto para la longitud de cola como para los tiempos de demora se ha realizado 10 mediciones por cada uno de los accesos a las 3 intersecciones.

De acuerdo a la metodología HCM el nivel de servicio de las vías involucradas oscilan entre B, C y D con tiempos de demoras promedios entre 13.49 y 37.34; lo que implica que la circulación es fluida en vías como Triunfo y Amazonas y circulación no tan fluida o no tan forzada en el Jr. Grau.

### 3.6.2 Registros de simulación

Para analizar la variación de los parámetros de longitud de cola y demoras de los proporcionados por la simulación respecto al registro en campo se empleó la diferencia porcentual aplicado a cada uno de las vías.

$$DPi = \frac{Dsi - Doi}{Doi} * 100 \quad \dots \dots \dots \text{Ecuación 01}$$

- Dpi: Variación % entre simulado y observado
- Dsi: Dato simulado para una vía i
- Doi: Dato observado para una vía i

#### ➤ Intersección 01 (jr. Grau C7 - jr. Triunfo C8)

Los resultados de la simulación se ven en la tabla 17, se calculó la diferencia porcentual para ambos parámetros; en cuanto a la longitud de cola se observa una diferencia porcentual máximo de 6.11 % en el Jr. Grau C7, lo cual podría deberse a las distancias de



seguridad entre vehículos de 1.8, 3,3 m (parámetros de Wiedemann 74) considerados en el modelo y que sin embargo en la realidad esa distancia tiende a variar.

En cuanto a las demoras; también se tienen diferencias porcentuales relativamente bajas, un 5.65 % para el Jr. Grau C7 y un 7.17 % para el Jr. Triunfo C8; lo que indicaría que el modelo refleja el comportamiento del flujo vehicular en esta intersección.

**Tabla 17**

*Diferencia (%) de longitud de cola y demoras – II*

Vías	Registro de campo	Simulado	Dpi (%)
<b>LONGITUD DE COLA (m)</b>			
JR. GRAU C7 - SN	70.64	74.95	6.11
JR. TRIUNFO C8 - EO	61.58	63.87	3.71
<b>TIEMPO DE DEMORA (seg)</b>			
JR. GRAU C7 - SN	32.24	34.05	5.62
JR. TRIUNFO C8 - EO	13.49	14.46	7.17

**Figura 41**

*Longitud de cola en el jr. Grau C7*



*Nota*, en las imágenes se observa la acumulación de vehículos en una hora de máxima demanda en el jr. Grau C7.

En la tabla 18 se muestra el nivel de servicio que presenta cada uno de los accesos a la intersección 1; para el jr. Grau C7 un nivel de servicio C (circulación no tan fluida) y para el jr. Triunfo C8 un nivel de servicio B (circulación fluida).



**Tabla 18***Nivel de servicio - I1*

<b>NIVEL DE SERVICIO - I1</b>	
JR. GRAU C7 - SN	C
JR. TRIUNFO C8 - EO	B

➤ **Intersección 02 (jr. Grau C6 - jr. Amazonas C9)**

Se calculó la diferencia porcentual para ambos parámetros; en cuanto a la longitud de cola se observa una diferencia porcentual de 6.67 % en el jr. Grau C6 y 5.56 % en el jr. Amazonas C9, lo cual podría deberse a las distancias de seguridad entre vehículos de 1.8, 3,3 m (parámetros de Wiedemann 74) considerados en el modelo y que sin embargo en la realidad esa distancia tiende a variar.

En cuanto a las demoras; también se tienen diferencias porcentuales relativamente bajas, un 3.26 % para el Jr. Grau C6 y un 2.84 % para el Jr. Amazonas C9; lo que indicaría que el modelo refleja el comportamiento del flujo vehicular en esta intersección.

**Tabla 19***Diferencia (%) de longitud de cola y demoras - I2*

	<b>Vías</b>	<b>Registro de campo</b>	<b>Simulado</b>	<b>Dpi (%)</b>
	<b>LONGITUD DE COLA (m)</b>			
	JR. GRAU C6 - SN	81.33	86.76	6.67
<b>I2</b>	JR. AMAZONAS C9 - OE	63.37	66.89	5.56
	<b>TIEMPO DE DEMORA (seg)</b>			
	JR. GRAU C6 - SN	37.34	38.56	3.26
	JR. AMAZONAS C9 - OE	14.60	15.01	2.84

**Figura 42**

*Longitud de cola en el jr. Grau C6*



*Nota*, en las imágenes se observa como la acumulación de vehículos en una hora de máxima demanda en el jr. Grau C6 llega a cubrir toda la longitud de la cuadra.

En la tabla 20 se muestra el nivel de servicio que presenta cada uno de los accesos a la intersección 2; para el jr. Grau C6 un nivel de servicio D (circulación no tan forzada) y para el jr. Amazonas C9 un nivel de servicio B (circulación fluida).

**Tabla 20**

*Nivel de servicio - I2*

<b>NIVEL DE SERVICIO - I2</b>	
JR. GRAU C6 - SN	D
JR. AMAZONAS C9 - OE	B

➤ **Intersección 03 (jr. Grau C5 - jr. Ayacucho C8)**

Se calculó la diferencia porcentual para ambos parámetros; en cuanto a la longitud de cola se observa una diferencia porcentual de 7,48 % en el jr. Grau C5 y 5,96 % en el jr. Ayacucho C8, lo cual podría deberse a las distancias de seguridad entre vehículos de 1,8, 3,3 m (parámetros de Wiedemann 74) considerados en el modelo y que sin embargo en la realidad esa distancia tiende a variar.

En cuanto a las demoras; se tienen diferencias porcentuales bajas, un 4,28 % para el Jr. Grau C6 y un 4,67 % para el Jr. Ayacucho C8.

**Tabla 21**

*Diferencia (%) de longitud de cola y demoras - I3*

	Vías	Registro de campo	Simulado	Dpi (%)
	<b>LONGITUD DE COLA (m)</b>			
<b>I3</b>	JR. GRAU C5 - SN	70.11	75.35	7.48
	JR. AYACUCHO C8 - EO	74.28	78.7	5.96
	<b>TIEMPO DE DEMORA (seg)</b>			
	JR. GRAU C7 - SN	36.65	38.22	4.28
	JR. AYACUCHO C8 - EO	31.58	33.05	4.67

**Figura 43**

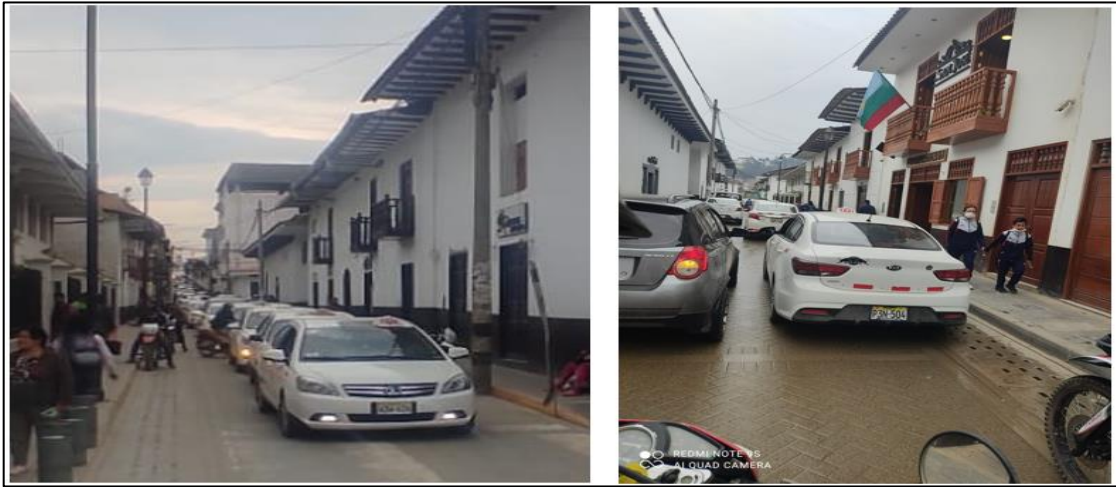
*Longitud de cola en el jr. Grau C5*



*Nota, en las imágenes se observa la acumulación de vehículos en una hora de máxima demanda en el jr. Grau C5.*

**Figura 44**

*Longitud de cola en el jr. Ayacucho C8*



*Nota*, en las imágenes se observa la acumulación de vehículos en una hora de máxima demanda en el jr. Ayacucho C8.

En la tabla 22 se muestra el nivel de servicio que presenta cada uno de los accesos a la intersección 3; para el jr. Grau C5 un nivel de servicio D (circulación no tan forzada) y para el jr. Amazonas C9 un nivel de servicio C (circulación no tan fluida).

**Tabla 22**

*Nivel de servicio - I3*

NIVEL DE SERVICIO - I3	
JR. GRAU C5 - SN	D
JR. AYACUCHO C8 - EO	C

### 3.7 Optimización de ciclos semafóricos

El método Webster es el más recomendado para determinar el ciclo semafórico óptimo, pretende disminuir los tiempos de demora y obtener mejores niveles de servicio.

Este método relaciona el flujo de congestión con los vehículos estacionados, la acción de los vehículos en una intersección, presencia de peatones, giros precediendo a realizar los respectivos cálculos de tiempos y demás parámetros que son necesarios para sincronizar semáforos.(Valencia, 2000).

$$C_0 = \frac{1.5 L + 5}{1 - \sum_{i=1}^j S_i} \dots \dots \dots \text{Ecuación 02}$$

Donde:

$C_0$ : Tiempo de ciclo óptimo (seg.)

L: Tiempo perdido por ciclo (seg.) suma de tiempo amarillo y rojo

$S_i$ : Índice de saturación (máx. valor)

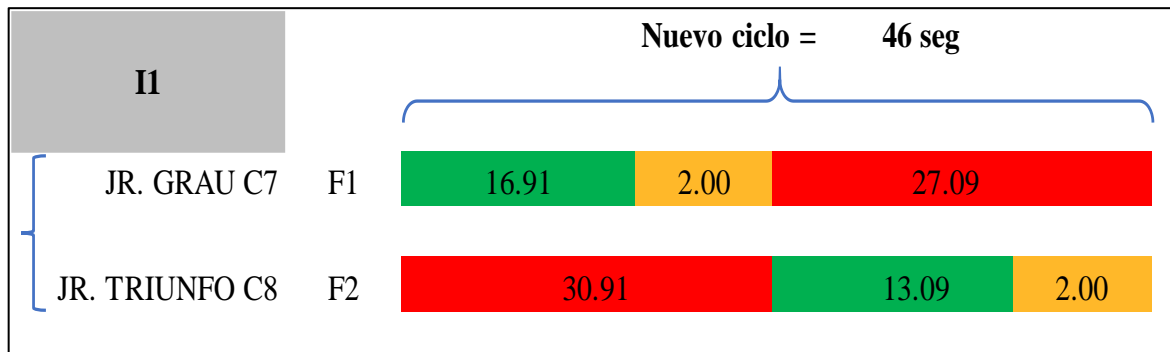
j: Número de fases

Se realizaron diferentes cálculos para determinar los nuevos ciclos semafóricos que garanticen optimizar el flujo de tránsito; para cada intersección se calculó un ciclo diferente, acorde a cada uno de los parámetros involucrados, tales como: el volumen de tránsito vehicular registrado en cada una de ellas, considerando la presencia de peatones, giros a la derecha y giros a la izquierda, velocidad con la que llega un vehículo a la intersección, ancho del carril a cruzar, tiempo necesario de reacción del conductor, desaceleración, entre otros parámetros.

### 3.7.1 Intersección 01 (jr. Grau C7 - jr. Triunfo C8)

**Figura 45**

*Ciclo optimo calculado II- Método Webster*



Luego de programar en el software el ciclo óptimo calculado; se obtuvieron los resultados siguientes.

**Figura 46**

*Flujo de tránsito II - ciclo semafórico óptimo*



**Tabla 23**

*Resultados de simulación - ciclo óptimo II*

	Vías	Registro de campo	Simulado	Dpi (%)
	<b>LONGITUD DE COLA (m)</b>			
	JR. GRAU C7 - SN	70.64	55.7	-21.14
	JR. TRIUNFO C8 - EO	61.58	50.5	-18.00
<b>II</b>	<b>TIEMPO DE DEMORA (seg)</b>			
	JR. GRAU C7 - SN	32.24	24.05	-25.40
	JR. TRIUNFO C8 - EO	13.49	11.46	-15.06

Con el ciclo óptimo obtenido aplicando el método de Webster, el nivel de servicio del jr. Grau C7 pasa de un nivel C a un nivel B, disminuyendo la longitud de cola en una 21.14% y la demora promedio se reduce en un 25.40%. El jr. Triunfo mantiene su nivel de servicio B; sin embargo, hay una reducción del 18.00 % en la longitud de cola y un 15% en cuanto a los tiempos de demora.



**Tabla 24**

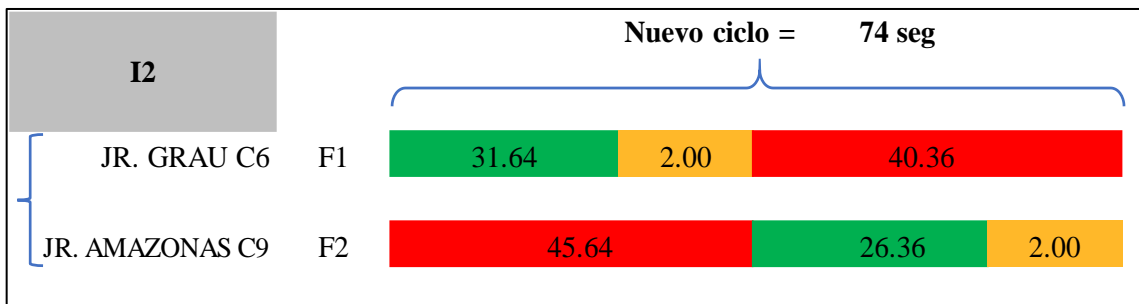
*Niveles de servicio I1 - ciclo semafórico óptimo*

NIVEL DE SERVICIO - I1	
JR. GRAU C7 - SN	B
JR. TRIUNFO C8 - EO	B

**3.7.2 Intersección 02 (jr. Grau C6 - jr. Amazonas C9)**

**Figura 47**

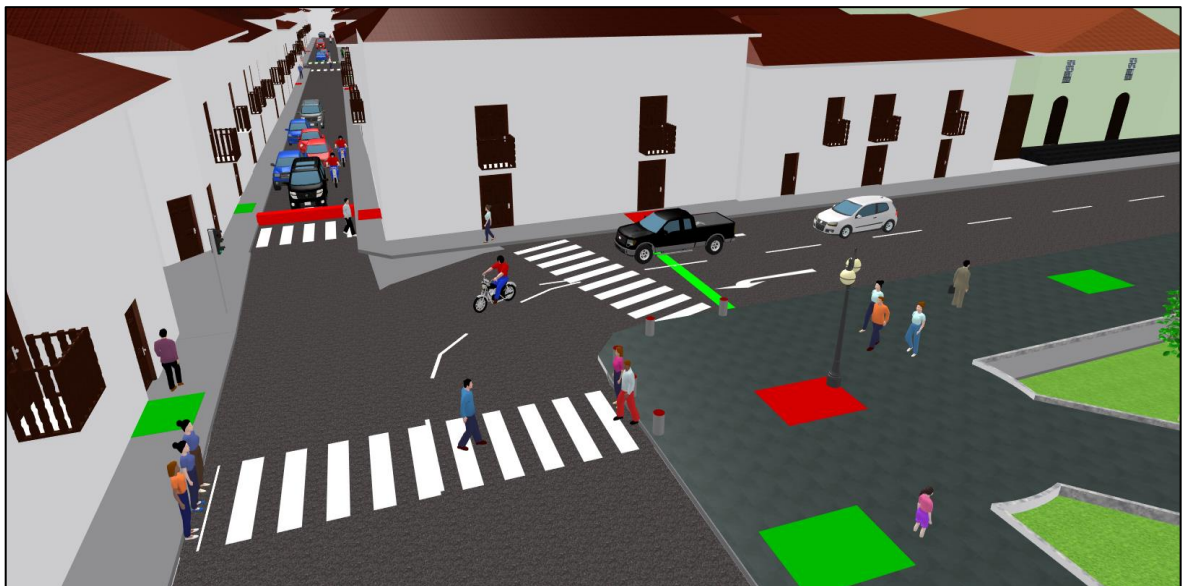
*Ciclo óptimo calculado I2- Método Webster*



Luego de programar en software el ciclo óptimo calculado; se obtuvieron los resultados siguientes.

**Figura 48**

*Flujo de tránsito I2 - ciclo semafórico óptimo*



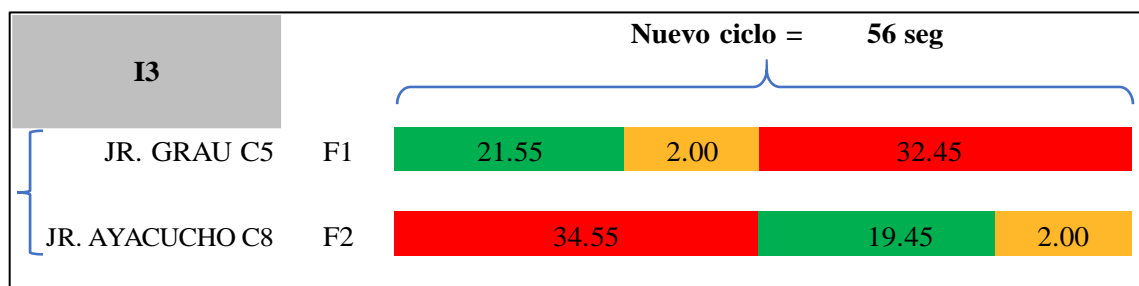
**Tabla 25***Resultados de simulación - ciclo óptimo I2*

	Vías	Registro de campo	Simulado	Dpi (%)
<b>I2</b>	<b>LONGITUD DE COLA (m)</b>			
	JR. GRAU C6 - SN	81.33	70.76	-13.00
	JR. AMAZONAS C9 - OE	63.37	58.45	-7.76
	<b>TIEMPO DE DEMORA (seg)</b>			
	JR. GRAU C6 - SN	37.34	30.36	-18.70
	JR. AMAZONAS C9 - OE	14.60	12.2	-16.42

Con el ciclo óptimo obtenido aplicando el método de Webster, el nivel de servicio del jr. Grau C6 pasa de un nivel D a un nivel C, disminuyendo la longitud de cola en una 13.00 % y la demora promedio se reduce en un 18.70 %. El jr. Amazonas mantiene su nivel de servicio B; sin embargo, hay una reducción del 7.76 % en la longitud de cola y un 16.42% en cuanto a los tiempos de demora.

**Tabla 26***Niveles de servicio I2 - ciclo semafórico óptimo*

<b>NIVEL DE SERVICIO - I2</b>	
JR. GRAU C6 - SN	C
JR. AMAZONAS C9 - OE	B

**3.7.3 Intersección 03 (jr. Grau C5 - jr. Ayacucho C8)****Figura 49***Ciclo optimo calculado I3- Método Webster*



Luego de programar en software el ciclo óptimo calculado; se obtuvieron los resultados siguientes.

**Figura 50**

*Flujo de tránsito I3 - ciclo semafórico óptimo*



**Tabla 27**

*Resultados de simulación - ciclo óptimo I3*

	Vías	Registro de campo	Simulado	Dpi (%)
	<b>LONGITUD DE COLA (m)</b>			
<b>I3</b>	JR. GRAU C5 - SN	70.11	66.35	-5.36
	JR. AYACUCHO C8 - EO	74.28	65.65	-11.61
	<b>TIEMPO DE DEMORA (seg)</b>			
	JR. GRAU C5 - SN	36.65	30.13	-17.79
	JR. AYACUCHO C8 - EO	31.58	27.45	-13.06

Con el ciclo óptimo obtenido aplicando el método de Webster, el nivel de servicio del jr. Grau C5 pasa de un nivel D a un nivel C, disminuyendo la longitud de cola en una 5.36 % y la demora promedio se reduce en un 17.79 %. El jr. Ayacucho mantiene su nivel de servicio C; sin embargo, hay una reducción del 11.61 % en la longitud de cola y un 13.06 % en cuanto a los tiempos de demora.

**Tabla 28**

*Niveles de servicio I3 - ciclo semafórico óptimo*

<b>NIVEL DE SERVICIO - I3</b>	
JR. GRAU C5 - SN	C
JR. AYACUCHO C8 - EO	C

## IV DISCUSIÓN

En la presente investigación se realizó la microsimulación del tránsito vehicular de las intersecciones semaforizadas del jr. Grau en la ciudad de Chachapoyas haciendo uso de las herramientas de microsimulación VISSIM, la metodología planteada se apoyó en el modelo de Wiedemann (1974); del mismo modo Flórez & Vargas (2019) realizaron una investigación en la ciudad de Tunja con el objetivo de realizar la calibración y validación de los parámetros que se involucran en el comportamiento del conductor; la primera etapa consistió en el análisis del seguimiento de los vehículos en las intersecciones determinándose la separación entre vehículos detenidos y las distancias de seguimiento acorde a los comportamientos de los conductores de Tunja. Finalmente, ambas investigaciones concluyen que los parámetros considerados en la metodología de Wiedemann 74 permite reflejar con precisión las características de tráficos reales.

Rodríguez (2019), en su búsqueda para disminuir los problemas de congestión de tránsito en las intersecciones semaforizadas de la Habana-Cuba evaluó que tan eficiente era una cadena sincronizada de semáforos empleando parámetros tales como duración del ciclo de un semáforo, las fases verdes, tomando en cuenta la disminución de las demoras; para realizar la microsimulación empleó el software synchro; mientras que en la presente investigación se consideraron los mismos parámetros pero se usó un software diferente (Vissim). Ambas investigaciones a pesar de usar softwares diferentes arrojaron resultados donde se refleja una mejora potencial en las operaciones de tránsito; logrando que los vehículos avancen a una velocidad continua acorde a las características geométricas de la vía disminuyendo demoras y detenciones.

Salcedo & Anccasi, (2021) En su investigación tuvo como objetivo determinar el ciclo semafórico más óptimo con ayuda de la microsimulación para el tránsito vehicular y peatonal en 2 intersecciones del campus de la Universidad Tecnológica del Perú en Arequipa, para el cálculo del tiempo óptimo emplearon el método de Webster y para la evaluación final de los resultados se basaron en el parámetro de tiempo de viaje; finalmente como resultado obtuvieron una mejora en el flujo vehicular y peatonal, el tiempo de viaje disminuyó en un 54% en la intersección 1 y un 42 % en la intersección 2. Del mismo modo en la presente investigación se empleó también el método de Webster para el cálculo de los tiempos óptimos, pero para la evaluación de los resultados se usó los parámetros de tiempo de demora y longitudes de cola obteniendo resultados favorables en cuanto a la mejora de servicios de las vías en estudio.

Hernández (2021), Realizó una investigación en el óvalo Larco – Trujillo teniendo como finalidad analizar el congestionamiento vehicular de la zona basado en la microsimulación de tráfico, para la calibración del modelo se basó en los parámetros de Wiedemann 74, los parámetros específicos empleados para la calibración fueron longitud de cola y tiempo de viaje; como resultado después de calibrar el modelo obtuvo un promedio de tiempo de viaje de 13.96 segundos que a comparación de la medida en campo fue de 13.98 segundos; para la calibración del modelo de esta investigación se usó también el parámetros de tiempo de viaje obteniendo un tiempo de viaje de 21.63 segundos de la simulación que fue lo mismo con lo registrado en campo.

Torre & Venegas (2020), con el objetivo de representar la problemática y diseñar una propuesta de solución vial que garantice la disminución del tiempo de demoras provocados por el control en la intersección del Jirón Tarma y Jirón Junín de la ciudad de La Merced; realizo un modelo de microsimulación empleando el software Vissim9.0; con datos obtenidos de campo tales como flujos de tráfico, demoras vehiculares, longitud de cola, demoras por el control de semáforos, conflictos peatón - vehículos y maniobras de conductores específicamente en horarios de alta demanda; después de validar y calibrar el modelo obtuvo una reducción del 65.5% en el tiempo de viaje y de un 43.0% en la disminución de longitud de cola; del mismo modo en esta investigación se obtuvieron resultados parecidos, el nivel de servicio de las vías en estudio mejoraron notablemente; las longitudes de cola se redujeron desde un 5.36% hasta un 21.14 %, mientras que en las demoras hubo una reducción que varía desde el 13.06% hasta el 25.40%. Si bien es cierto que estas mejoras son muy inferiores a los resultados del estudio de Torre y Venegas, esto se debe a que la infraestructura vial urbana que presenta la ciudad de Chachapoyas son relativamente angostas, casi el 90% de las vías solo presentan un carril y a eso hay que sumarle que pese a sus características no tan óptimas estas vías también son usada como estacionamiento, debido a la falta de zonas de parqueo o simplemente por falta de cultura por parte de sus habitantes; por lo que se hace un problema complicado mejorar el nivel de servicio de cada una de ellas.

## V CONCLUSIONES

- 5.1 Las características geométricas, duración de los ciclos semafóricos y volúmenes de tránsito de cada una de las intersecciones semaforizadas del estudio fueron:
- En la intersección **I1 (jr. Grau con jr. Triunfo)** las vías que conforman esta intersección tienen un ancho de vía que oscilan desde de 4.65m a 5.30 m en el jr. Grau C7 4.80m a 4.95m en el jr. Triunfo; veredas entre 1.20 m y 1.35 m de ancho; la duración del ciclo semafórico en esta intersección es de 39.29 segundos. El volumen de tránsito corresponde a 495 veh/h, 343 peatones/h en el acceso jr. Grau C7 y 286 veh/h y 229 peatones/h en el acceso jr. Triunfo.
  - En la intersección **I2 (jr. Grau con jr. Amazonas)** las vías que conforman esta intersección tienen un ancho de vía de 4.65m y 4.95m en jr. Grau C6 y jr. Amazonas C8 respectivamente, con un solo carril; mientras que el jr. Grau C5 y JR. Amazonas C9 cuenta con un ancho de 10.70m y 9.90m, ambas vías con dos carriles en el mismo sentido. La duración del ciclo semafórico en esta intersección es de 65.87 segundos. El volumen de tránsito corresponde a 478 veh/h, 282 peatones/h en el acceso jr. Grau C6 y 323 veh/h y 792 peatones/h en el acceso jr. Amazonas C9.
  - En la intersección **I3 (jr. Grau con jr. Ayacucho)** las vías que conforman esta intersección tienen un ancho de vía de 4.80 m y 4.47 m en jr. Grau C4 y jr. Ayacucho C8 respectivamente, con un solo carril; mientras que el jr. Grau C5 y JR. Ayacucho C9 cuenta con un ancho de 10.70m y 10.30 m, ambas vías con dos carriles en el mismo sentido. La duración del ciclo semafórico es de 65.63 segundos. El volumen de tránsito corresponde a 801 veh/h, 631 peatones/h en el acceso jr. Grau C5 y 481 veh/h y peatones/h en el acceso jr. Ayacucho C8.
- 5.2 El diseño de un modelo de microsimulación de flujo vehicular y peatonal de las intersecciones semaforizadas consistió en la construcción y calibración del modelo basándose en el parámetro tiempo de viaje, medida desde la intersección I2 a la intersección I3 aplicando la metodología de seguimiento de Wiedemann 74; los valores de los parámetros finales son 1.5, 3, 3 con un tiempo de viaje correspondiente de 21,63 segundos.

5.3 El tiempo óptimo del ciclo semafórico obtenido mediante la metodología de Webster y los otros parámetros arrojados de la microsimulación para cada una de las intersecciones en estudio son:

- Intersección **I1 (jr. Grau con jr. Triunfo)** tiempo óptimo obtenido es 46.00 segundos; con el cual el nivel de servicio del jr. Grau C7 mejora de un nivel C a un nivel B, disminuyendo la longitud de cola en una 21.14% y la demora promedio se reduce en un 25.40%. El jr. Triunfo mantiene su nivel de servicio B; sin embargo, hay una reducción del 18.00 % en la longitud de cola y un 15% en cuanto a los tiempos de demora.
- Intersección **I2 (jr. Grau con jr. Amazonas)** tiempo óptimo obtenido es 74.00 segundos; el nivel de servicio del jr. Grau C6 mejora de un nivel D a un nivel C, disminuyendo la longitud de cola en una 13.00 % y la demora promedio se reduce en un 18.70 %. El jr. Amazonas mantiene su nivel de servicio B; sin embargo, hay una reducción del 7.76 % en la longitud de cola y un 16.42% en cuanto a los tiempos de demora.
- Intersección **I3 (jr. Grau con jr. Ayacucho)** tiempo óptimo obtenido es 56.00 segundos; el nivel de servicio del jr. Grau C5 mejora de un nivel D a un nivel C, disminuyendo la longitud de cola en una 5.36 % y la demora promedio se reduce en un 17.79 %. El jr. Ayacucho mantiene su nivel de servicio C; sin embargo, hay una reducción del 11.61 % en la longitud de cola y un 13.06 % en cuanto a los tiempos de demora.

## VI RECOMENDACIONES

- Basado en los resultados positivos de esta investigación, se recomienda realizar investigaciones en otros puntos de alta demanda de tránsito dentro de la ciudad de Chachapoyas; tales como la intersección entre el jr. Cuarto Centenario y Jr. Triunfo; Jr. Ayacucho y Jr. Hermosura.
- A los estudiantes de la UNTRM continuar investigando sobre el tema de la microsimulación, emplear esta herramienta para buscar soluciones a los diferentes problemas de tránsito, ordenamiento territorial, entre otros que afectan el desarrollo de nuestra ciudad.
- El proceso de registro manual, agrupamiento y procesamiento del aforo vehicular y peatonal se debe realizar con mucha cautela, ya que la información a manejar es bastante y puede generar ciertas confusiones.

## VII REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baza Solares, N., Velasquez Martínez, R., Torres Bohórquez, C., Martínez Estupiñán, Y., & Poliziani, C. (2022). Traffic Simulation with Open-Source and Commercial Traffic Microsimulators: A Case Study. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 24(2), E49-E62. <https://doi.org/10.26552/com.C.2022.2.E49-E62>
- Cifuentes Rojas, T. A., & Nieto Daza, S. D. (2018). Desarrollo de un modelo microscópico de tránsito en los accesos viales del aeropuerto internacional el dorado de Bogotá. Obtenido de Tesis para optar al título de ingeniero civil: Universidad Santo Tomás - Bogotá
- Flórez Hernández, S., & Vargas Amaya, D. (2019). Calibración y validación de parámetros de comportamiento mediante micro simulación en intersecciones caso estudio Tunja. Obtenido de Trabajo de investigación para optar al título de Ingeniero de Transporte y Vías: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
- Hernández Menéndez, O., & Alba Menéndez, L. (2020). Análisis de sincronización de semáforos utilizando el programa Synchro. *Infraestructura Vial*, 22(39), 1-11. <https://doi.org/10.15517/iv.v22i39.40953>
- Hernandez Rodriguez, L. A. (2021). Microsimulación de tráfico y congestiónamiento vehicular del óvalo Larco, Trujillo, 2021.
- Lapa Meza, S. (2017). Análisis vial en intersecciones a desnivel con microsimulación y sistema inteligente de transporte, aplicado a la intersección Av. Ejército con Av. Ramón Castilla. *Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga*. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1979>
- Quispe Chayña, E. R. (2017). Micro-simulación de ciclistas empleando VISSIM 8: Un caso aplicado en la ciudad de Lima. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7613>
- Rodríguez Urrego, D. (2019). Revisión del HCM 2010 Y 2000 intersecciones semaforizadas. *16(32)*, 19-31. Obtenido de *Ingénium*, Revista de la facultad de Ingeniería.
- Salcedo, E. N. C., & Ancasi, A. W. A. (2021). Determinación del Ciclo Semafórico mediante la Microsimulación para mejorar el Flujo Vehicular y Peatonal en las Intersecciones Correspondientes al Campus Parra—UTP Arequipa. 139.



- Singh, A., & Patel, B. (2021). Calibration of Simulation Models using the VISSIM Software – A Review. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 8, 333-335. Obtenido de <https://www.irjet.net/archives/V8/i9/IRJET-V8I955.pdf>
- Torre Sanchez, O. W., & Venegas Chise, T. D. (2020). Diagnóstico y una propuesta para reducir las demoras por control en la intersección del Jirón Tarma y Jirón Junín de la ciudad de La Merced, empleando la microsimulación del tránsito. Pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <https://doi.org/10.19083/tesis/652575>
- Valencia Alaix, V. (2000). Principio sobre semáforos. *Universidad Nacional de Colombia*.
- Vargas Cordero, Z. R. (2009). La Investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33(1), 155. <https://doi.org/10.15517/revedu.v33i1.538>

## ANEXOS

### 7.1 ANEXO 01 - AFORO VEHICULAR

([https://drive.google.com/file/d/1HmZzmDnXInF3d5QBtAeQ4lRaxb86U\\_pV/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1HmZzmDnXInF3d5QBtAeQ4lRaxb86U_pV/view?usp=share_link) )

### 7.2 ANEXO 02 - AFORO PEATONAL

([https://drive.google.com/file/d/18DVSDgoWhXMllub4sA4oGdsPis-r6ls/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/18DVSDgoWhXMllub4sA4oGdsPis-r6ls/view?usp=share_link) )

### 7.3 ANEXO 03 – VELOCIDAD DE OPERACIÓN VEHICULAR

([https://drive.google.com/file/d/1K9j8yp8HrgVw5Fkge-ZwyxuDYzZo9HGn/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1K9j8yp8HrgVw5Fkge-ZwyxuDYzZo9HGn/view?usp=share_link) )

### 7.4 ANEXO 04 – VELOCIDAD PEATONAL ([https://drive.google.com/file/d/1g8-bBZs01PrJwHbyTS2JaCjgCZ03tiJR/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1g8-bBZs01PrJwHbyTS2JaCjgCZ03tiJR/view?usp=share_link) )

### 7.5 ANEXO 05 – REGISTRO DE LONGITUD DE COLA Y TIEMPOS DE DEMORA

([https://drive.google.com/file/d/1q8fCdNAg4nLuzmK3M7FXCjGrNBTrOEuG/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1q8fCdNAg4nLuzmK3M7FXCjGrNBTrOEuG/view?usp=share_link) )

### 7.6 ANEXO 06 – CÁLCULO DEL CICLO SEMAFÓRICO ÓPTIMO

([https://drive.google.com/file/d/1beQ1pzISg7C0UT8kvWn080mV4e5g\\_mju/view?usp=share\\_link](https://drive.google.com/file/d/1beQ1pzISg7C0UT8kvWn080mV4e5g_mju/view?usp=share_link) )