



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Microsimulación de flujo vehicular para reducir el congestionamiento
en una intersección de la ciudad de Puno, 2021.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTOR:

Bach. Avalos Alave, Eddy Alberth (ORCID: 0000-0002-9994-9755)

ASESOR:

Mg. Requis Carbajal, Luis Villar (ORCID: 0000-0002-3816-7047)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA VIAL

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A mi madre Hilda Alave Aguilar por todo el amor y apoyo incondicional, a mi esposa Nereyda y a mis queridos hijos Eddy y Dylan, por ser los cómplices de mis sueños y la motivación para seguir cumpliendo metas y objetivos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarme por el camino del bien, brindándome sabiduría e inteligencia para culminar con éxito una etapa más de mi vida.

A mi familia por ser el pilar fundamental de mi desarrollo y crecimiento integral.

A la Universidad Cesar Vallejo, la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por darme la oportunidad de concluir satisfactoriamente mis estudios y lograr una meta más en mi vida profesional.

Al Mg. Luis Villar Requis Carbajal, por su paciencia, orientación y apoyo incondicional durante el desarrollo de la presente tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I	3
I. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.1.1. Problema general	4
1.1.2. Problemas específicos.....	4
1.2. ANTECEDENTES	4
1.3. JUSTIFICACIÓN	6
1.4. OBJETIVOS	7
1.4.1. Objetivo general.....	7
1.4.2. Objetivo específico.....	7
1.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	7
1.5.1. Hipótesis general.....	7
1.5.2. Hipótesis específica	7
CAPÍTULO II	9
II. MARCO TEÓRICO	9
2.1. INGENIERÍA DE TRÁNSITO.....	9
2.2. ESTUDIO DE TRÁNSITO	9
2.2.1. Tipos de Flujo de trafico	10
2.2.2. Parámetros Básicos de Trafico.....	11
2.2.3. Capacidad vial y Nivel de Servicio.....	12
2.3. MODELO Y SISTEMA.....	13
2.4. MODELACIÓN DEL TRAFICO.....	14
2.4.1. Generalidades	14
2.4.2. Clasificación de modelos de simulación de trafico.....	14
2.5. FUNDAMENTOS DE LA MICRO SIMULACIÓN	16

2.5.1.	Nivel de aleatoriedad en el flujo del tráfico	16
2.5.2.	Generación de vehículos	17
2.5.3.	Movimiento e Interacción de Vehículos	17
2.5.4.	Numero de Corridas	21
2.5.5.	Warm up (periodo de calentamiento o estabilidad).....	22
2.5.6.	Calibración del modelo	23
2.5.7.	Validación del modelo.....	24
2.6.	MODELO DE MICROSIMULACIÓN CON VISSIM.....	24
2.6.1.	VISSIM.....	24
2.6.2.	Funcionamiento del Software	25
2.6.3.	Consideraciones del modelo.....	28
CAPÍTULO III		29
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1.	LUGAR DE ESTUDIO	29
3.2.	MATERIALES.....	30
3.2.1.	Información de campo	30
3.2.2.	Equipos y herramientas	30
3.2.3.	Materiales	30
3.3.	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	30
3.4.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	31
3.4.1.	Población.....	31
3.4.2.	Muestra.....	31
3.5.	PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS SEGUIDOS.....	31
3.6.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	33
3.7.	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS.....	33
3.7.1.	Geometría de la intersección	33
3.7.2.	Aforo vehicular.....	34
3.7.3.	Flujos vehiculares	36
3.7.4.	Longitud de cola	40
3.7.5.	Tiempo de recorrido.....	40
3.7.6.	Ciclo de semáforos	41
3.8.	DESARROLLO DEL MODELO BASE EN PTV VISSIM 11	43
3.8.1.	Importación de imagen de fondo	43
3.8.2.	Link y conectores.....	43
3.8.3.	Áreas de conflicto y reglas de prioridad.....	44
3.8.4.	Creación de flujos vehiculares	45

3.8.5.	Asignación de rutas estáticas	46
3.8.6.	Señales de control semafóricos.....	47
3.9.	CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO.....	48
3.9.1.	Calibración del modelo de micro simulación.....	48
3.9.2.	Validación del modelo de microsimulacion	51
3.9.3.	Simulación del modelo de microsimulacion	52
CAPÍTULO IV	.....	53
IV.	RESULTADOS.....	53
4.1.	ANÁLISIS DE REGISTROS OBTENIDOS	53
4.2.	RESULTADOS DE SIMULACIÓN – ESCENARIO ACTUAL 1.....	53
4.3.	RESULTADOS DE SIMULACIÓN – ESCENARIO ACTUAL 2.....	56
4.4.	PROPUESTA DE MEJORA	57
4.5.	ESCENARIO FUTURO	58
4.5.1.	Método A	58
4.5.2.	Método B	59
CAPÍTULO V	.....	63
V.	DISCUSIÓN	63
CAPÍTULO VI	.....	65
VI.	CONCLUSIONES	65
CAPÍTULO VII	.....	68
VII.	RECOMENDACIONES.....	68
CAPÍTULO VIII	.....	69
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Nivel de servicio para intersecciones controladas con semáforo.	13
Tabla 2. Datos geométricos de la intersección.....	34
Tabla 3. Volumen vehicular horario 07:30 am - 08:30 am.....	37
Tabla 4. Volumen vehicular horario 11:30 - 12:30.....	38
Tabla 5. Volumen vehicular horario 17:15 - 18:15.....	39
Tabla 6. Registros de longitud de cola - medición en campo	40
Tabla 7. Registro de tiempo de recorrido (d=35 m).....	40
Tabla 8. Volumen vehicular por cada link.....	46
Tabla 9. Asignación de vehículos por ruta (%).....	46
Tabla 10. Valores iniciales del modelo	48
Tabla 11. Iteración de parámetros de Wideman - proceso de calibración.....	49
Tabla 12. Datos para la validación del modelo.....	51
Tabla 13. Resultados de simulación - escenario actual.....	53
Tabla 14. Diferencia porcentual escenario 01	55
Tabla 15. clasificación de vías según nivel de servicio - escenario 1	55
Tabla 16. Diferencia porcentual escenario 02	56
Tabla 17. Clasificación de vías según el nivel de servicio – escenario 2	57
Tabla 18. Tiempo de demora con nuevo ciclo semafórico	58
Tabla 19. Parque automotor en circulación 2010 - 2019, Dep. de Puno	60
Tabla 20. Proyección del parque automotor al 2026.	61
Tabla 21. Proyección de parque automotor al año 2026 - Puno	62
Tabla 22. Resultados de simulación - escenario futuro.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relaciones matemáticas que describen el flujo de tráfico	14
Figura 2. Modelo de seguimiento de Wiedemann.	20
Figura 3. Ilustración del periodo de Calentamiento.	22
Figura 4. Relación entre el simulador de tráfico y el generador de señal.	26
Figura 5. Lógica de seguimiento de vehículo.	27
Figura 6. Ubicación de la zona de estudio.....	29
Figura 7. Condiciones de borde y lugar de estudio	29
Figura 8. proceso de desarrollo y aplicación del modelo de microsimulación.	32
Figura 9. Geometría de la zona de estudio	34
Figura 10. Formato de conteo y clasificación vehicular	35
Figura 11. Variación de flujo vehicular por 1/4 de hora	35
Figura 12. Variación de flujo vehicular por una hora	36
Figura 13. Flujograma vehicular (veh/hora) 07:30 – 08:30 am.	37
Figura 14. Flujograma vehicular (vehículos/hora) 11:30 – 12:30.....	38
Figura 15. Flujograma vehicular (vehículos/hora) 17:15 – 18:15.....	39
Figura 16. Ubicación de los semáforos en el área de estudio.	42
Figura 17. Ciclos semafóricos registrados en la intersección.....	42
Figura 18. Ciclos semafóricos registrados en la intersección.....	42
Figura 19. Background del proyecto.....	43
Figura 20. Creación y edición de links.....	44
Figura 21. Creación de carriles del proyecto	44
Figura 22. Creación de áreas de conflicto	45
Figura 23. Asignación de volumen de tráfico por cada link	45
Figura 24. Distribución del flujo vehicular por ruta o sentido	47
Figura 25. Programación de los ciclos semafóricos	48
Figura 26. Prueba de hipótesis nula - etapa de calibración.....	50
Figura 27. Prueba de hipótesis nula – etapa de validación	52
Figura 28. Simulación del modelo de microsimulación.....	52
Figura 29. estacionamiento de vehículos en el carril derecho de la Av. El Sol.....	54
Figura 30. Ciclos semafóricos registrados en la intersección.....	57
Figura 31. Ciclos semafóricos registrados en la intersección.....	57
Figura 32. Crecimiento del parque automotor - Puno.....	60

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se presentan los resultados obtenidos de la implementación de un modelo de microsimulación del flujo vehicular en la intersección de la Av. El Sol con el Jr. Ricardo Palma de la ciudad de Puno, la cual fue seleccionada para representar eficientemente las condiciones actuales del flujo vehicular y obtener indicadores que contribuyan a reducir el nivel de congestión de la vía, para ello se utilizó la plataforma de microsimulación PTV VISSIM. En primera instancia se realizó el diseño para el escenario actual con la finalidad de poder calibrar y validar el modelo de microsimulación; este proceso se realizó modificando los parámetros de Wideman hasta encontrar un conjunto de valores de parámetros que reproduzca eficientemente el tiempo de viaje, Una vez validado el modelo se realizó una propuesta de mejora que consiste en la optimización de los ciclos semafóricos a fin de reducir las longitudes de cola, y mejorar el nivel de servicio (NS) de la vía. Finalmente se realizó la simulación del flujo vehicular para un escenario futuro con una proyección de 5 años con la finalidad de evaluar el nivel de congestión futuro. Los resultados obtenidos en el proceso de microsimulación para el escenario actual, muestra longitudes de cola de hasta 90.86 m para la Av. El Sol (NS = D) y de 40.50 m para el Jr. Ricardo Palma (NS = C). Estos valores se han logrado reducir con la optimización de los ciclos semafóricos hasta en 18.79 % para la Av. El Sol (NS = C) y 17.43% para el Jr. Ricardo Palma (NS = B), considerándose resultados muy satisfactorios. Para el escenario futuro los resultados en cuanto a los indicadores evaluados se han incrementado significativamente presentando una longitud de cola de hasta 118.80 m en la Av. El Sol y de 53.65 m en el Jr. Ricardo Palma, lo que indicaría una sobresaturación en el sistema de transporte.

Palabras clave: Microsimulación de tráfico, estudio de tráfico, modelos de microsimulación, congestión de vehículos.

ABSTRACT

In this research work, the results obtained from the implementation of a vehicle flow microsimulation model are presented at the intersection of Av. El Sol with Jr. Ricardo Palma from the city of Puno, which was selected to represent efficiently current traffic flow conditions and obtain indicators that contribute to reducing the level of congestion on the road, for this, the PTV VISSIM microsimulation platform was used. In the first instance, the design for the current scenario was carried out in order to be able to calibrate and validate the microsimulation model; This process was carried out by modifying the Wideman parameters until a set of parameter values was found that efficiently reproduced the travel time. Once the model was validated, an improvement proposal was made that consists of optimizing the traffic light cycles in order to reduce the queue lengths, and improve the service level (NS) of the road. Finally, the vehicle flow simulation was carried out for a future scenario with a 5-year projection in order to evaluate the level of future congestion. The results obtained in the microsimulation process for the current scenario show tail lengths of up to 90.86 m for Av. El Sol (NS = D) and 40.50 m for Jr. Ricardo Palma (NS = C). These values have been reduced with the optimization of traffic light cycles up to 18.79% for Av. El Sol (NS = C) and 17.43% for Jr. Ricardo Palma (NS = B), considering very satisfactory results. For the future scenario, the results regarding the evaluated indicators have increased significantly, presenting a tail length of up to 118.80 m on Av. El Sol and 53.65 m on Jr. Ricardo Palma, which would indicate a supersaturation in the system of transport.

Keywords: Traffic microsimulation, traffic study, microsimulation models, vehicle congestion.

CAPÍTULO I

I. INTRODUCCIÓN

Debido al incremento acelerado del parque automotor en los últimos años, se han producido sustanciales cambios en el sistema de transporte, sin embargo, muchos de sus problemas no sólo han persistido, sino que se han incrementado como el congestionamiento vehicular, los niveles de contaminación, deficiente infraestructura vial, etc.

Según la Asociación Automotriz del Perú (AAP) (2019), el Perú tiene un parque automotor de 2981000 unidades lo cual es escaso en relación al número de habitantes respecto al vehículo (índice de motorización de 10.7); lo que nos indica que los problemas de congestionamiento no se generan por la cantidad de vehículos, si no por otros factores.

Según el director ejecutivo del Instituto de Investigación y Desarrollo de Comercio Exterior, Posada (2018), uno de los principales factores que ocasiona el aumento de tráfico, es la falta de planificación que viene acompañado del tráfico generado por la sobrepoblación y la mala logística, diseño e infraestructura de las vías. Así también según la ONG Luz Ambar, una de las razones del caos vehicular es la falta de ordenamiento en el sistema de semaforización en las intersecciones, debido a que el 90% de las semaforizaciones funcionan a su libre albedrío sin ningún nivel de coordinación (Posada, 2018).

Ante este problema, surge la necesidad de aplicar herramientas informáticas que ayuden a representar lo más realista posible el tránsito en una determinada zona, y así poder tomar acciones para disminuir los problemas de congestionamiento.

La utilización de estas herramientas de micro simulación representan una gran ventaja debido a su versatilidad, detalle de modelación, fácil manejo y visualización de alta calidad (Roca, 2010).

Dada la eficiencia de estos modelos de micro simulación en diferentes estudios, es que se ha planteado como objetivo principal la aplicación del mismo en una zona de gran congestionamiento vehicular en la ciudad de Puno y demostrar que mediante una adecuada implementación de los dispositivos de tránsito, se pueden disminuir los problemas de congestionamiento vehicular.

1.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Problema general

- ¿Cómo la microsimulación del flujo vehicular contribuirá a reducir el descongestionamiento de la intersección de la avenida El Sol con el Jr. Ricardo Palma de la ciudad de Puno?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el nivel de servicio actual en la intersección de la avenida El Sol con el Jr. Ricardo Palma de la ciudad de Puno?
- ¿Cómo influye los ciclos semafóricos en el congestionamiento de la intersección de la avenida El Sol con el Jr. Ricardo Palma de la ciudad de Puno?
- ¿Cuánto es la longitud de cola generada por el flujo vehicular en un escenario futuro en la intersección de la Av. El Sol con el Jr. Ricardo Palma de la ciudad de Puno?.

1.2. ANTECEDENTES

Las investigaciones sobre la representación del flujo vehicular a través de un modelo han dado inicio hace muchos años atrás; sin embargo la descripción matemática del flujo de tráfico ha sido un tema de investigación para los ingenieros de tráfico Hoogendoorn y Bovy (2001), con la única finalidad de analizar y representar los diferentes problemas de tráfico a través de la microsimulación, algunos estudios se detallan a continuación.

Antecedentes Internacionales

Martínez, Garcia y Moreno (2011), realizan una investigación para evaluar la trazado de rampas de salida de una autopista mediante la microsimulación del tráfico, evaluando principalmente la capacidad, en este estudio realizan recomendaciones geométricas de diseño de rampas de salida en intersecciones para altos flujos vehiculares.

Así como también Ištoka Otković, Tollazzi y Šraml (2013), realiza la calibración de los parámetros de un modelo de microsimulación de tráfico mediante la aplicación de redes neuronales, basándose en el tiempo de viaje como indicador del modelo.

En este contexto, a nivel internacional existe varias investigaciones realizadas con la finalidad de disminuir las zonas de tráfico en vías urbanas, así como Salgado et. al (2016), realiza la evaluación de modelos de microsimulación de tráfico para la entrada internacional entre EE. UU. y México, con la finalidad de evaluar tres paquetes de software diferentes en la simulación del tráfico; Según los resultados obtenidos cada herramienta informática presenta sus virtudes así como sus deficiencias y recomienda el empleo de las mismas según los objetivos de la investigación.

Recientemente Osei et. al (2021), realizan una investigación sobre las opciones de señalización para mejorar la capacidad y retraso en las rotondas mediante un enfoque de microsimulación en las carreteras de Ghana, como primer objetivo realiza la evaluación del desempeño de dos rotondas seleccionadas y como segundo objetivo busca configuraciones alternativas para mejorar la capacidad y el retraso; los resultados mostraron que las intersecciones de rotondas señalizadas aumentaron efectivamente la capacidad hasta en un 50% en algunos casos y se redujo significativamente la demora y la longitud de cola.

Antecedentes Nacionales

En el ámbito nacional, las investigaciones se han basado más en buscar optimizar los ciclos semafóricos tal es así en el año 2016 Alcalá (2016), realiza la evaluación de dos propuestas de mejora de circulación en una intersección del distrito de Pueblo Libre – Lima, mediante un modelo de micro simulación de tráfico, los resultados de esta investigación sugieren que la optimización de los ciclos semafóricos muestran mejores resultados que la redistribución vehicular en base a los indicadores evaluados.

El siguiente año Lapa (2017), realiza la evaluación de dos alternativas para reducir el congestionamiento vehicular en la intersección de la Av. El Ejército con la Av. Ramon Castilla mediante un modelo de microsimulación. Los resultados de la evaluación indica que los pasos a desnivel presentan un mejor resultado frente al

sistema inteligente de transporte, al obtener menores longitudes de cola y tiempos de recorrido.

Así mismo Salazar (2018), realiza la evaluación de dos alternativas de mejora de circulación en una intersección de la ciudad de Lima, a partir de un modelo de microsimulación con el uso de las herramientas VISSIM y VISWALK. Los resultados sugieren realizar un rediseño de la geometría de la intersección para disminuir en gran medida la demora promedio.

Recientemente Sanchez (2020), realiza la evaluación de tres alternativas de solución para disminuir el congestionamiento y mejorar el Niveles de Servicio en intersecciones semaforizadas del distrito de San Luis – Lima, mediante un modelo de microsimulación. Los resultados indican que, con la modificación del ciclo semafórico, geometría de la vía y ubicación de paraderos se logra mejoras significativas respecto a las demás alternativas.

1.3. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años, el problema de la congestión de tráfico se ha venido incrementando, debido a muchos factores; ante ello las entidades públicas como gobiernos locales, han ido incrementando las infraestructuras viales y a su vez implementando las intersecciones con semaforización, sin embargo, estas medidas adoptadas no son del todo una solución al congestionamiento. Según la Superintendencia Nacional de Registros Públicos (SUNARP), un aproximado de 14 mil vehículos/año ingresan a la región Puno, lo que ocasiona un incremento acelerado del parque automotor en la última década y que trae consigo el colapso del sistema de transporte en la ciudad de Puno, no solo por la cantidad de vehículos sino también por la configuración de sus vías (Los Andes, 2014). Así mismo según el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) (2016), la tasa de motorización en la región Puno en el año 2016, ha alcanzado alrededor de 34 vehículos por 1000 habitantes, con una tasa de crecimiento promedio anual de 13%. Lo que significa que los problemas de congestión vehicular se han ido incrementando a pasos acelerados, generando embotellamientos en hora punta sobre todo en las intersecciones céntricas de la ciudad. Por tal motivo en esta

investigación se plantea la aplicación de una herramienta de microsimulación de tráfico, con la finalidad de simular lo más realista posible el flujo de tráfico en la intersección de la Av. El Sol con el Jr. Ricardo Palma de la ciudad de Puno, a fin de encontrar indicadores que ayuden a reducir los niveles de congestiónamiento de tráfico.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

- Realizar la microsimulación de flujo vehicular para reducir el congestiónamiento en la intersección de la avenida El Sol con el Jr. Ricardo Palma de la ciudad de Puno.

1.4.2. Objetivo específico

- Determinar el nivel de servicio actual en la intersección de la avenida El Sol con el Jr. Ricardo Palma de la ciudad de Puno a través de un modelo de microsimulación.
- Determinar los ciclos semafóricos óptimos para reducir el congestiónamiento de la avenida El Sol con el Jr. Ricardo Palma de la ciudad de Puno.
- Determinar la longitud de cola generada por el flujo vehicular en un escenario futuro en la intersección de la Av. El Sol con el Jr. Ricardo Palma de la ciudad de Puno.

1.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general

- La micro simulación del flujo vehicular contribuye a reducir el congestiónamiento vehicular en la intersección de la avenida El Sol con el Jr. Ricardo Palma de la ciudad de Puno

1.5.2. Hipótesis específica

- La Microsimulación del flujo vehicular mejora el nivel de servicio de la intersección de la avenida El Sol con el Jr. Ricardo Palma de la ciudad de Puno

- Los ciclos semafóricos influyen significativamente en el descongestionamiento de la intersección de la avenida El Sol con el Jr. Ricardo Palma de la ciudad de Puno.
- la longitud de cola generada por el flujo vehicular en un escenario futuro aumenta significativamente en la intersección de la Av. El Sol con el Jr. Ricardo Palma de la ciudad de Puno.

CAPÍTULO II

II. MARCO TEÓRICO

2.1. INGENIERÍA DE TRÁNSITO

El Institute of Transportation Engineers (ITE) (2009), define la ingeniería de tránsito como “la rama de la ingeniería Civil vinculada a la planeación, diseño geométrico, operación del tránsito en una determinada vía así como las relaciones entre diferentes modos de transporte y usuarios consiguiendo una movilidad segura, eficiente y conveniente.

Según Cal, Reyes y Cárdenas (2007), la ingeniería de tránsito consiste en estructurar planes adecuados, prácticos y bien meditados para mejorar la seguridad y movilidad de los flujos vehiculares, sobre todo en áreas críticas, donde la interacción con otras disciplinas es fundamental.

2.2. ESTUDIO DE TRÁNSITO

Según Moreno (2016), El estudio de tránsito tienen como finalidad analizar la movilidad contemplando de manera coordinada los diferentes elementos que la componen y simulando la interacción de los nuevos proyectos con el fin de obtener una movilidad eficiente, segura y comprometida con el medio ambiente.

Los elementos que componen un estudio de tránsito son:

- Planeamiento urbanístico.
- Estudio de intersecciones, rotondas.
- El tráfico existente de los diferentes modos de transporte
- Crecimiento del flujo vehicular.
- Y la accidentalidad histórica entre otros.

Para obtener los siguientes resultados:

- El tráfico previsto.
- La congestión vehicular actual.
- El nivel de servicio, las longitudes de cola, etc.

- Alternativas para reducir la congestión como: sincronización de semáforos, carriles adicionales, infraestructura nueva, rotondas, etc.

Para ello es recomendable la utilización del Highway Capacity Manual (HCM) del Transportation Research Board of The National Academies (TRB), cuyo propósito es el de proporcionar una base para establecer los valores de Capacidad y Niveles de Servicio de un sistema de transporte urbano.

Otra de las herramientas más utilizadas en los estudios de tránsito, son los softwares de simulación que son capaces de representar de manera fiel el flujo vehicular que circula por una red vial. Para ello se hace énfasis en los parámetros básicos: volumen o velocidad de flujo, velocidad y densidad, para describir el tráfico en cualquier carretera.

Según el Highway Capacity Manual (HCM) (TRB, 2000), el volumen o el flujo de tráfico es un parámetro común a las instalaciones de flujo ininterrumpido e interrumpido, pero la velocidad y la densidad se aplican principalmente al flujo ininterrumpido. Algunos parámetros relacionados con la velocidad de flujo, como la separación y el avance, también se utilizan para ambos tipos de instalaciones; Otros parámetros, como el flujo de saturación o la brecha, son específicos del flujo interrumpido.

2.2.1. Tipos de Flujo de tráfico

2.2.1.1. Flujo ininterrumpido

Es el flujo regulado por interacciones vehículo - vehículo e interacciones entre vehículos y la vía. Por ejemplo, los vehículos que viajan en una vía interurbana están participando de un flujo ininterrumpido.

2.2.1.2. Flujo interrumpido

Es regulado por medio externo, como un semáforo. Bajo condiciones de flujo interrumpido, las interacciones vehículo – vehículo - vía juegan un papel secundario en la definición del flujo de tráfico.

2.2.2. Parámetros Básicos de Trafico

2.2.2.1. Velocidad de flujo

Es la velocidad por hora en la que un vehículo pasa sobre un punto o una sección determinada de un carril o carretera durante un tiempo determinado de menos de 1 h, generalmente 15 min

$$V = \frac{d}{t}$$

Dónde:

V = Velocidad de una unidad (km/h, m/s)

d = distancia recorrida (km, m.)

t = tiempo que dura en recorrer una distancia d (hr, seg.)

2.2.2.2. Volumen

El volumen es la cantidad total de vehículos que atraviesan sobre un punto o sección de un carril o carretera en un tiempo determinado; los volúmenes se pueden expresar en períodos anuales, diarios, por hora o sub horarios.

$$Q = \frac{N}{t}$$

Dónde:

Q = Vehículos por unidad de tiempo (veh/h, veh/día).

N = Número de vehículos que pasa por una sección fija.

t = Periodo determinado (año, mes, día).

El índice medio diario anual (IMDA), Volumen promedio del tránsito de vehículos en ambos sentidos de la carretera, durante 24 horas, de una muestra vehicular (conteo vehicular), para un período anual (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

2.2.2.3. Densidad

Es la cantidad de vehículos (o peatones) que ocupan una longitud determinada de un carril o carretera en un instante particular. Para los cálculos la densidad se promedia con el tiempo y generalmente se expresa como vehículos por kilómetro (veh / km).

La medición directa de la densidad en el campo es difícil, ya que requiere un punto de vista para fotografiar, grabar en video u observar largos tramos de autopista. La densidad se puede calcular a partir de la velocidad de desplazamiento y la velocidad de flujo promedio, que se miden más fácilmente. La siguiente expresión se usa para condiciones de tráfico con baja saturación

$$D = \frac{q}{S}$$

Dónde:

D = Densidad (veh/Km)

q = Caudal (veh/h)

S = velocidad de viaje promedio (km/h)

La densidad indica la calidad del servicio de una vía.

2.2.3. Capacidad vial y Nivel de Servicio

2.2.3.1. Capacidad Vial

De acuerdo al HCM (2000), es el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto determinado y durante un periodo específico bajo las condiciones de tránsito actual. El análisis de capacidad examina segmentos o puntos como intersecciones señalizadas en condiciones uniformes de tráfico y control.

2.2.3.2. Nivel de servicio

El nivel de servicio (LOS) es una medida de calidad que describe las condiciones operativas dentro de un flujo de tráfico, generalmente en términos de medidas de servicio tales como velocidad y tiempo de viaje, libertad de maniobra, interrupciones de tráfico y comodidad y conveniencia (TRB, 2000).

Se definen seis niveles de servicio caracterizados con las letras de A a F; donde A representa las mejores condiciones de operación de una vía y F representa una vía con gran retraso y congestión vehicular.

Cada nivel de servicio representa un rango de condiciones de operación y la percepción del conductor de esas condiciones. La seguridad no está incluida en las medidas que establecen los niveles de servicio (TRB, 2000).

Tabla 1. Nivel de servicio para intersecciones controladas con semáforo.

Nivel de Servicio	Características de la operación	Demora (segundos)
A	Baja demora, sincronía extremadamente favorable y ciclos cortos. Los vehículos no se detienen.	≤ 10
B	Ocurre con una buena sincronía y ciclos cortos. Los vehículos empiezan a detenerse.	$>10 - 20$
C	Ocurre con una sincronía regular o ciclos largos; los ciclos individuales: empiezan a fallar	$>20 - 35$
D	Un ciclo largo y/o una sincronía desfavorable o relaciones v/c altas, muchos vehículos se detienen.	$>35 - 55$
E	Es el límite aceptable de la demora; indica una sincronía muy pobre, grandes ciclos y relaciones v/c mayores, las fallas en los ciclos frecuentes.	$>55 - 80$
F	El tiempo de demora es inaceptable para la mayoría de los conductores, ocurren cuando los calores de flujo exceden a la capacidad de la intersección o cuando las relaciones v/c son menores de 1.00 pero con una sincronía muy eficiente y/o ciclos demasiados largos.	>80

Fuente: (TRB, 2000)

2.3. MODELO Y SISTEMA

En el campo de la Ingeniería el desarrollo de los modelos matemáticos en los últimos años ha sido muy importante. Con la modelación se busca analizar el

funcionamiento de un sistema y así simular distintas situaciones hipotéticas con cierto grado de aproximación.

Según (Ortúzar y Willumsen, 2008), un modelo es una representación simplificada de la realidad. Es una abstracción que se utiliza para lograr mayor claridad conceptual acerca de la realidad, reduciendo su complejidad a niveles que permitan su fácil comprensión.

Un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí para lograr un comportamiento global.

2.4. MODELACIÓN DEL TRAFICO

2.4.1. Generalidades

La modelación de Trafico es una herramienta que nos permite entender las propiedades del flujo vehicular, y conocer la condición actual de circulación vehicular para de esta manera poder plantear alternativas y/o escenarios futuros que ayuden a disminuir los problemas de congestión vehicular por medio de los parámetros considerados en el estudio.

2.4.2. Clasificación de modelos de simulación de trafico

Los modelos de simulación de tráfico pueden clasificarse en tres tipos macroscópicos, mesoscópicos y microscópicos, dependiendo del enfoque que se use en el desarrollo de estas relaciones.

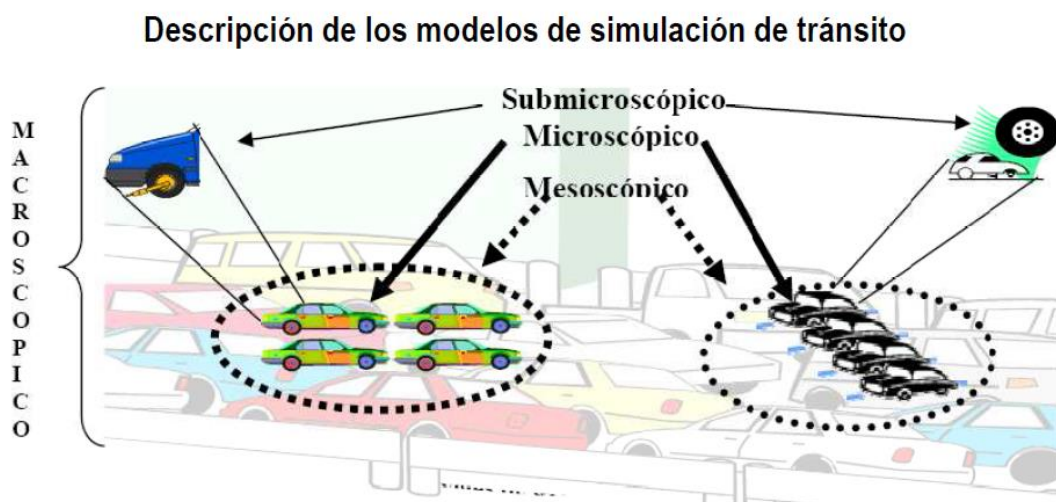


Figura 1. Relaciones matemáticas que describen el flujo de tráfico

2.4.2.1. Modelos Macroscópicos

Los modelos de simulación macroscópica se basan en las relaciones deterministas de las variables como el flujo, velocidad y densidad del flujo de tráfico. La simulación en un modelo macroscópico se lleva a cabo sección por sección en lugar de rastrear vehículos individuales. Los modelos macroscópicos tienen requisitos informáticos menos exigentes que los modelos microscópicos. Sin embargo, no tienen la capacidad de analizar las mejoras en el transporte con tanto detalle como los modelos microscópicos (Alexiadis, Jeannotte y Chandra, 2004).

Según Delgado, Saavedra y Velasco (2011), en los modelos Macroscópicos el flujo de vehículos en la carretera se concibe como el flujo comprensible de un fluido descrito por variables macroscópicas asociadas al comportamiento colectivo del sistema.

2.4.2.2. Modelos Mesoscópico

Los modelos de simulación mesoscópica combinan propiedades de modelos de simulación microscópicos y macroscópicos. Como en los modelos microscópicos, la unidad de flujo de tráfico de los modelos mesoscópicos es el vehículo individual; Sin embargo, su movimiento sigue el enfoque de los modelos macroscópicos y se rige por la velocidad promedio en el enlace de viaje. La simulación de viaje del modelo mesoscópico se lleva a cabo a nivel agregado y no considera las relaciones dinámicas de velocidad/volumen. Como tal, los modelos mesoscópicos proporcionan menos fidelidad que las herramientas de microsimulación, pero son superiores a las técnicas típicas de análisis de planificación (Alexiadis, Jeannotte y Chandra, 2004).

Los modelos mesoscópicos describen la evolución de la velocidad media macroscópicamente, pero también consideran vehículos individuales propios de los modelos microscópicos (Papageorgiou et al., 2007); es decir es una aproximación intermedia entre los modelos microscópicos y los modelos macroscópicos.

2.4.2.3. Modelos Microscópico

Los modelos microscópicos simulan el movimiento de vehículos individuales basados en teorías de seguimiento de automóviles y cambio de carril. Por lo

general, los vehículos ingresan a una red de transporte utilizando una distribución estadística de llegadas (un proceso estocástico) y se rastrean a través de la red en pequeños intervalos de tiempo (por ejemplo, 1 segundo o una fracción de segundo). Normalmente, al entrar, a cada vehículo se le asigna un destino, un tipo de vehículo y un tipo de conductor (Alexiadis, Jeannotte y Chandra, 2004).

Un modelo microscópico describe una carretera ocupada por vehículos donde cada vehículo se relaciona con su entorno según sus propias reglas, dependiendo de estas reglas, surgen diferentes tipos de comportamiento cuando los grupos de vehículos interactúan (Wiering et al., 2004, p. 29).

Los comportamientos de los vehículos son propios de cada uno y comprende aceleraciones, desaceleraciones, cambios de carril, adelantamientos, etc. Logrando retratar el comportamiento del conductor en condiciones de tránsito reales (Dowling, Skabardonis y Alexiadis, 2004).

2.5. FUNDAMENTOS DE LA MICRO SIMULACIÓN

Los modelos de simulación de tráfico son una herramienta muy útil para evaluar el impacto del diseño de una carretera o una medida de la gestión del tráfico. Al evaluar diferenciamos entre el análisis antes de y después de; esto significa respectivamente que el análisis se lleva a cabo antes de que la medida se implemente en la práctica, o después, para ello los modelos son muy útiles.

La teoría del flujo de tráfico y las herramientas de simulación que se discuten en este capítulo pueden ser una base útil para realizar estos análisis. Sin embargo, deben usarse con cuidado.

Este capítulo se describe algunos pasos que un investigador o ingeniero necesita tomar antes de que los modelos puedan ser utilizados. Estos pasos son la aleatoriedad en el flujo del tráfico, la generación de vehículos, el movimiento e interacción de los vehículos, periodo de estabilidad, calibración y validación.

2.5.1. Nivel de aleatoriedad en el flujo del tráfico

El nivel de aleatoriedad en el flujo del tráfico se presenta de dos formas determinística y estocástica. En los modelos determinísticos el comportamiento del conductor y las características del vehículo son estándar, no existe variabilidad por

lo que los resultados siempre son los mismos. En los modelos estocásticos se asigna distribuciones estadísticas aleatorias que estipulen el comportamiento del conductor y las características del vehículo; los resultados siempre son diferentes para los mismos datos de entrada.

2.5.2. Generación de vehículos

Al momento de ingresar los vehículos al modelo de simulación se le asigna características propias a cada vehículo (tipo, ancho, longitud, velocidad máxima, etc.) así como también se asigna características propias al conductor como la agresividad, la reacción y la velocidad que cada conductor desea, etc.

En los modelos determinísticos estas características se mantienen constantes en cambio en los modelos estocásticos se rigen en función de distribuciones de probabilidad.

La mayoría de modelos de micro simulación emplean distribuciones estadísticas que representan los atributos del conductor y sus respectivos parámetros, los cuales deben ser calibrados para reflejar las condiciones locales (Salazar, 2018).

2.5.2.1. Número de Semilla

Es el valor inicial con el que inicia el proceso de simulación, y determina las características iniciales de la simulación, a partir de allí se generan números aleatorios para obtener los demás parámetros que modifican las características y el comportamiento del conductor y del vehículo.

La semilla aleatoria determina la realización de simulaciones estocásticas dentro del software VISSIM, como los flujos de entrada y las capacidades del vehículo (Gomes, May y Horowitz, 2004).

2.5.3. Movimiento e Interacción de Vehículos

La interacción entre vehículos dentro de la red es una característica esencial de los modelos microscópicos. Se realiza mediante los modelos de seguimiento vehicular y cambio de carril (Fellendorf y Vortisch, 2001b).

Para el seguimiento vehicular se considera parámetros como la distancia segura, la velocidad, aceleración y deceleración. Para el cambio de carril se considera las

características propias del conductor (comportamiento del conductor) estos parámetros se basan generalmente en el estilo de manejo que poseen los conductores.

2.5.3.1. Modelo de Cambio de carril

Estos modelos se basan en el comportamiento del conductor en cada instante de tiempo acerca de si es conveniente mantener el carril actual o cambiar hacia carriles que le permitan mejorar su velocidad, evitar obstáculos o situarse correctamente para girar al final del tramo (Racero et al., 2001).

El comportamiento de cada conductor depende de la distancia hasta el inicio del giro, si se encuentra alejado del giro, entonces se concentra en mantener la velocidad deseada, ya sea en el carril actual o en otro cualquiera; si está próximo a una posición crítica (señal de final de carril o similar), entonces su objetivo principal es acercarse a los carriles que le permitan girar sin importarle la velocidad (Racero et al., 2001).

En este modelo se diferencia dos tipos de cambio de carril, el obligatorio y/o necesario cuando surge la necesidad de situarse en el carril apropiado como consecuencia de la realización de una maniobra (aparcamiento, giro, etc.) y El cambio de carril libre o por mejora es utilizado por conveniencia del conductor para alcanzar una velocidad deseada.

2.5.3.2. Modelos de seguimiento Vehicular (car following)

La Teoría del Seguimiento Vehicular (Car Following Theory) es considerada la base de todos los microsimuladores de tráfico.

Este modelo describe el comportamiento de un vehículo al ir detrás de otro. Con la finalidad de retratar este comportamiento en toda una cola de vehículos que van por una determinada vía.

En 1986 (Gipps, 1986), desarrolla una estructura que conecta las decisiones que debe tomar un conductor antes de cambiar de carril, simulando un comportamiento lógico para situaciones comúnmente encontradas en el tráfico real.

a. Modelo de la General Motor

Los modelos desarrollados por la General Motors se basan en la reacción finita de los conductores, si un vehículo comienza a desacelerar inesperadamente el siguiente vehículo comenzara a desacelerar con un retraso provocando así una ola de reducción de la velocidad (estimulo respuesta) (Kerner, 2009).

b. Modelo de Gipps

Los modelos de Gipps fue desarrollado en Australia en 1981, este modelo adopta un criterio de seguridad con el fin de evitar la colisión entre vehículos de modo que estos vehículos especifican una distancia de seguridad en función del diferencial de velocidades y el tiempo de reacción del vehículo seguidor (Gipps, 1986).

c. Modelo de Wiedemann

El Modelo del Seguimiento de Vehículos planteado por R. Wiedemann en 1974, es un modelo microscópico multimodal para simular el flujo del tránsito vehicular en zonas urbanas.

Este modelo explica la interacción entre dos vehículos en un mismo carril, teniendo en cuenta la percepción del conductor en el tiempo, espacio, diferencia de velocidades y el comportamiento, a fin de ajustar la separación necesaria para evitar una colisión.

Según Fellendorf y Vortisch (2001a), Cuando un vehículo más rápido se acerca a un vehículo más lento en un solo carril, tiene que desacelerar. El punto de acción de la reacción consciente depende de la diferencia de velocidad, la distancia y el comportamiento dependiente del conductor.

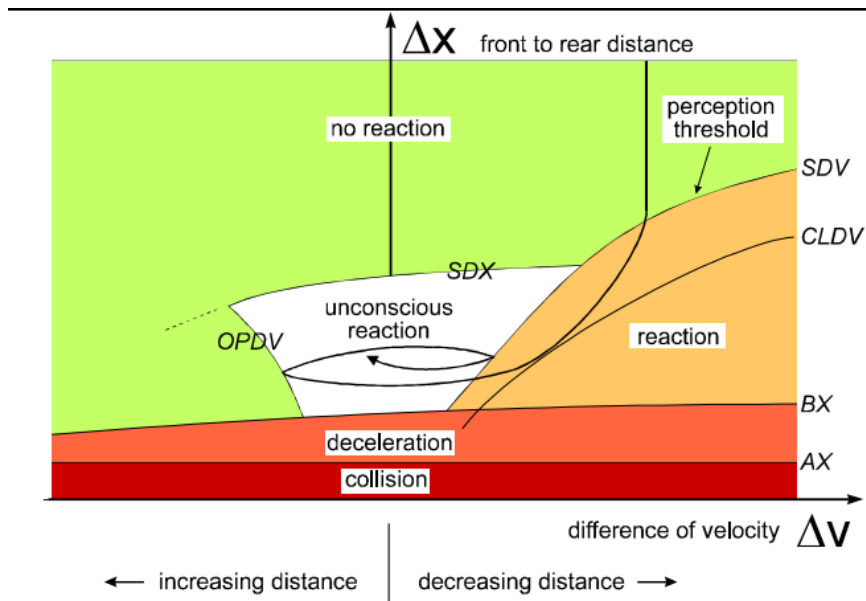


Figura 2. Modelo de seguimiento de Wiedemann.

Fuente: (Fellendorf y Vortisch, 2001a).

Los umbrales de la figura 2 se explican en forma abreviada. Las habilidades de percepción específicas del conductor y el comportamiento de riesgo individual se modelan agregando valores aleatorios a cada uno de los parámetros como se muestra para AX.

AX: distancia deseada entre los frentes de dos vehículos sucesivos en una cola permanente.

$$AX: = VehL + MinGap + RND1 \cdot AXMult$$

con RND1 normalmente distribuido $N(0.5, 0.15)$

ABX: Distancia de seguimiento mínima deseada que es una función de AX, una distancia delta de seguridad BX y la velocidad

$$ABX: = AX + BX \cdot \sqrt{v}$$

SDV: Punto de acción donde un conductor observa conscientemente que se acerca a un automóvil más lento al frente. SDV aumenta con el aumento de las diferencias de velocidad ($\sqrt{\Delta v}$). En el trabajo original de Wiedemann, se aplica un umbral adicional CLDV (velocidad delta de cierre) para modelar la desaceleración adicional mediante uso de los frenos con una variación mayor que SDV.

OPDV: Punto de acción donde el siguiente conductor se da cuenta de que es más lento que el vehículo líder y comienza a acelerar de nuevo. La variación de OPDV es mayor que la variación de OPDV.

SDX: umbral de percepción para modelar la distancia máxima de seguimiento que es aproximadamente 1.5 - 2.5 veces ABX.

El siguiente conductor reacciona a un vehículo líder hasta una cierta distancia, que es de aproximadamente 150 m. La velocidad mínima de aceleración y desaceleración se establece en 0.2 m / s². Las velocidades máximas de aceleración dependen de las características técnicas de los vehículos, que generalmente son más bajas para los camiones que el deseo personal de su conductor. El modelo incluye una regla para exceder la tasa de desaceleración máxima en caso de emergencia. Esto sucede si se supera ABX. Los valores de los umbrales dependen de la velocidad actual del vehículo.

2.5.4. Número de Corridas

En los modelos estocásticos, la simulación es impulsada por las muestras de variables aleatorias de distribución de probabilidad (número de semilla), por lo que cada corrida realizada podría diferir mucho a las ya realizadas. Las variaciones producidas se pueden disminuir mediante un largo periodo de simulación y el incremento de número de corridas a fin de proporcionar una estimación precisa sobre las medidas de rendimiento.

Sobre la base de los modelos estocásticos, para estimar la cantidad de corridas necesarias puede utilizarse la siguiente ecuación para proporcionar una estimación de la media y con un intervalo de confianza y un margen de error determinado (Agosta et al., 2014).

$$n = \left(\frac{(Z_{\alpha/2} S)}{E} \right)^2$$

Dónde:

E: margen de error

$Z_{\alpha/2}$: valor límite para intervalo de percentil de confianza (95%)

S: desviación estándar para el promedio de la medida de eficacia seleccionada

n: número mínimo de corridas

2.5.5. Warm up (periodo de calentamiento o estabilidad)

Es el periodo en el cual el modelo de microsimulación da inicio a las simulaciones hasta alcanzar un equilibrio determinado. La simulación generalmente se inicia con cero vehículos en un momento dado el número de vehículos presentes en la red deja de aumentar en una cantidad mínima especificada, entonces se considera que el período de calentamiento ha concluido y el modelo ha alcanzado el equilibrio deseado. A partir de ahí se puede empezar a contar las estadísticas de rendimiento del modelo.

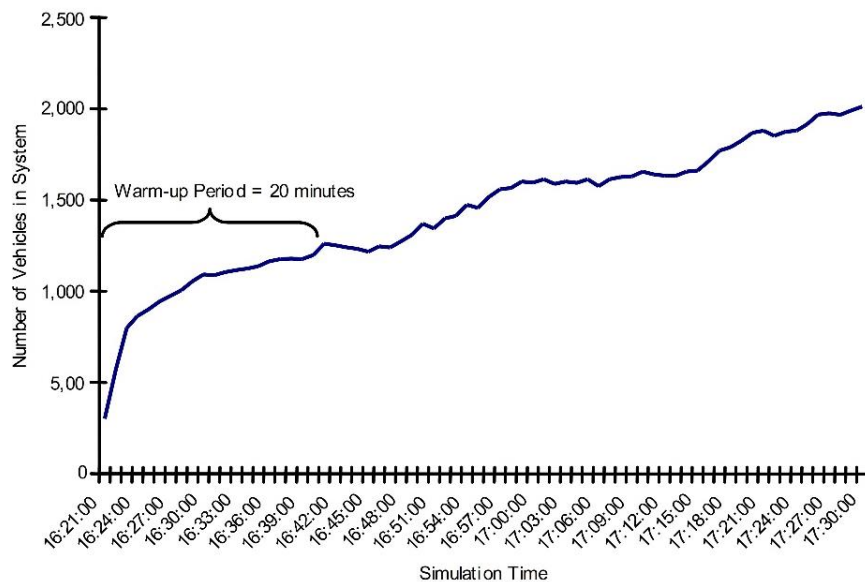


Figura 3. Ilustración del periodo de Calentamiento.

Fuente: (Dowling, Skabardonis y Alexiadis, 2004).

Si el número de vehículos y la velocidad media no se nivelan dentro de los primeros 15 minutos, podría ser que la demanda codificada por el analista para el sistema sea mayor que la capacidad del sistema. En este caso, la congestión nunca se nivelará. Esto dará como resultado estadísticas de congestión menos precisas ya que el sistema nunca despeja la congestión. El analista debe considerar extender los tiempos de inicio y finalización de la simulación para incorporar períodos de menor demanda antes y después del período pico.

Si no es factible extender el período de simulación a períodos de tiempo no congestionados, el analista debe elegir un período de calentamiento que sea igual al menos al doble del tiempo de viaje estimado en condiciones de flujo libre para atravesar la longitud de la red. Por ejemplo, si en una determinada autopista se tarda aproximadamente 5 minutos en recorrer su longitud a la velocidad de flujo libre, el período de calentamiento se establece en 10 minutos.

Tenga en cuenta que, en este ejemplo, el número de vehículos en el sistema generalmente aumenta constantemente. El sistema nunca alcanza el equilibrio. La inicialización se logra cuando la cantidad de vehículos que ingresan al sistema es aproximadamente igual a la cantidad que sale del sistema (a pesar de que esta ligera disminución luego es reemplazada por mayores aumentos). los

La tendencia generalmente creciente en el número de vehículos presentes en el sistema sugiere que el período de simulación debe extenderse cada vez más para incorporar períodos de menor demanda al comienzo y al final del período pico.

2.5.6. Calibración del modelo

La calibración es el proceso mediante el cual buscamos ajustar los valores de los parámetros de un modelo para que pueda reproducir mejor las condiciones específicas del tráfico. El acto de calibración comienza con la identificación de los objetivos del estudio y de los parámetros relevantes del modelo. Dependiendo de su número, el algoritmo de optimización puede no ser capaz de manejarlos todos a la vez, y un análisis de sensibilidad puede ser obligatorio para seleccionar aquellos parámetros que tienen el mayor impacto en los indicadores elegidos para estudiar la capacidad del modelo de reproducir las condiciones de campo (Gauthier et al., 2016).

Suponiendo que este paso se haya realizado correctamente, aún deben tenerse en cuenta muchos factores: la recopilación de datos, la formulación del problema de calibración, la automatización del procedimiento, la medición de la aptitud física y la necesidad de ejecutar modelos repetidos.

Según el tipo de datos, su resolución y cobertura temporal y espacial deben evaluarse en función del alcance del proyecto y el modelo que está calibrado. Dado que adquirir esos datos es a menudo un desafío, su disponibilidad puede afectar el

alcance factible del proceso de calibración. Los datos como el flujo, la densidad, la velocidad y el número de vehículos que giran se utilizan comúnmente en los estudios de calibración. Otro aspecto de la recopilación de datos a considerar es la necesidad de evitar el sobreajuste, que ocurre cuando un modelo está sobre calibrado para adaptarse a condiciones específicas y su capacidad para reproducir otras condiciones no es buena.

La calibración se realiza en varios componentes del modelo general, como la longitud de colas, velocidad de viaje, tiempo de viaje y otros.

La importancia de la calibración no puede exagerarse. Pruebas recientes de seis programas de software diferentes encontraron que se podría presentar hasta una diferencia de resultados del 69% a condiciones futuras, si se presenta una diferencia del 13% entre velocidades en la calibración en vías rápidas.

Cada programa de software de micro simulación viene con un conjunto de parámetros ajustables por el usuario con el fin de calibrar el modelo a las condiciones locales. Por lo tanto, el objetivo de la calibración es encontrar el conjunto de valores de parámetros para el modelo que mejor reproduzca las condiciones del tráfico local.

2.5.7. Validación del modelo

El proceso de validación es la etapa en donde se verifica si el modelo cumple con las condiciones mínimas requeridas, la realización de este proceso se hará con la utilización de nuevos datos de campo del mismo lugar en estudio. Los resultados obtenidos deben retratar el comportamiento real del flujo vehicular.

2.6. MODELO DE MICROSIMULACIÓN CON VISSIM

2.6.1. VISSIM

Vissim es una herramienta de simulación microscópica del tráfico con diferentes modos de transporte (multimodal), desarrollado por Planning Transport Verkehr (PTV), en Karlsruhe, Alemania. Esta herramienta es capaz de analizar la operación del transporte público y transporte privado bajo distintas condiciones de configuración (intersecciones, rotondas, carriles adicionales, rampas, semáforos,

estacionamiento, paraderos, peatones, etc.), convirtiéndose así en una herramienta robusta de análisis en la ingeniería de transporte.

Este software generalmente ha sido aplicado para las siguientes configuraciones:

- Desarrollo y evaluación de sistemas semafóricos.
- Evaluación y optimización (interfaz a Signal97) de la operación del tráfico en una red que combina semáforos actuados y coordinados.
- Estudios de integración de transporte sostenible en redes urbanas.
- Análisis de intersecciones, rotondas, pasos a desnivel y creación de rampas de salida.
- Análisis de capacidad y operación para sistemas de transporte masivo.
- Reubicación de paraderos en transporte público.
- Simulación de peatones y las interacciones con el tráfico vehicular, etc.

2.6.2. Funcionamiento del Software

La estructura del software VISSIM consta de dos apartados diferentes, el simulador de flujo y el control de señal; en el simulador de flujo a escala microscópica se realiza el seguimiento del vehículo y el cambio de carril, en este apartado interactúan todos los modos de transporte y emite los estados de señal a la otra parte del modelo. El control de señal es una parte del modelo que suministra la información de controles de tiempo (así como el controlador semafórico) y/o los valores del detector, este determina entonces el estado de la señal para el siguiente paso de tiempo y retorna esta información a el simulador de tráfico.

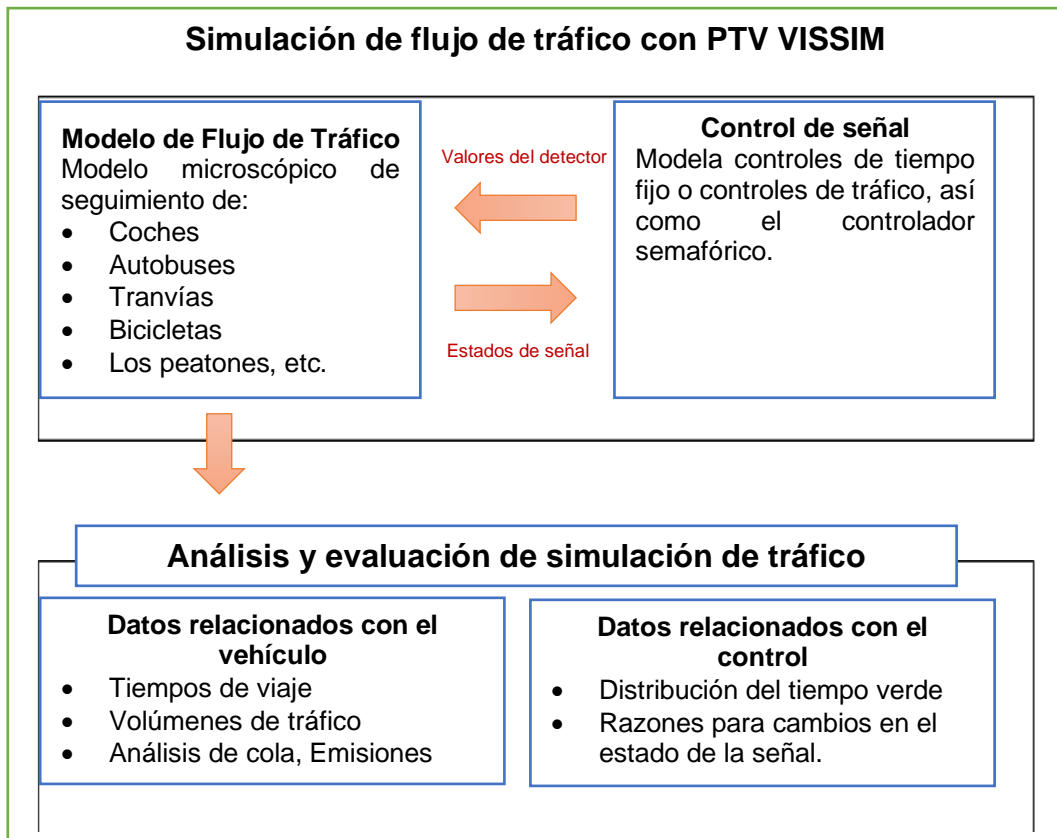


Figura 4. Relación entre el simulador de tráfico y el generador de señal.

Fuente: (PTV, 2018)

El software VISSIM usa el modelo psico-físico de comportamiento de conductor desarrollado por WIEDEMANN (1974). El concepto se basa en que un determinado vehículo al alcanzar su velocidad máxima (umbral de percepción), empieza a desacelerar en base a su percepción individual de un vehículo más lento. Dado que el desconoce la velocidad de ese vehículo, entonces su velocidad descenderá por debajo de la velocidad del otro vehículo hasta que él nuevamente inicie a acelerar. Esto resulta en un proceso iterativo de aceleración y desaceleración.

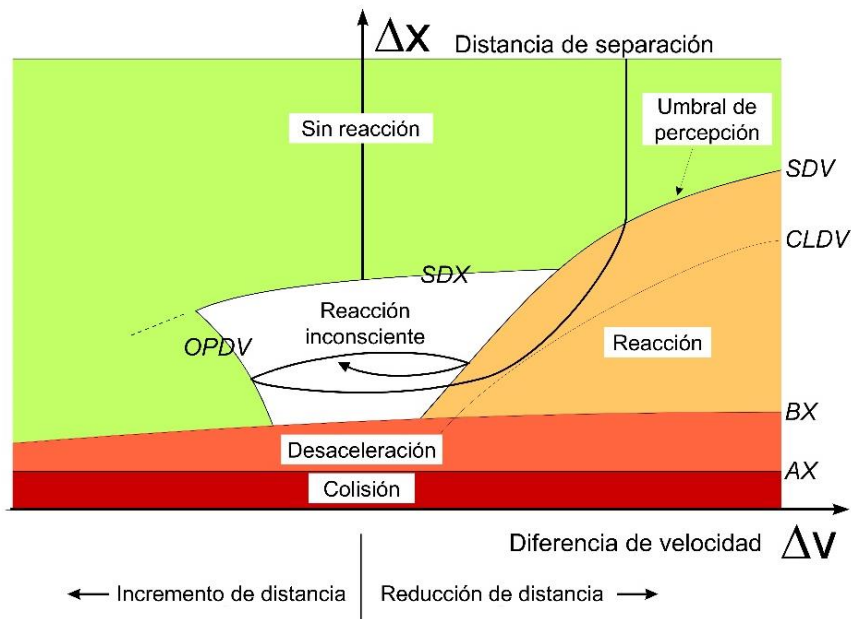


Figura 5. Lógica de seguimiento de vehículo.

Fuente: (Wiedemann, 1974)

VISSIM simula el tráfico mediante la interacción de vehículo – conductor, en donde cada conductor presenta características específicas de comportamiento ligados a un vehículo en específico. Los atributos de caracterización de cada unidad vehículo-conductor pueden ser distribuidos en tres categorías:

- Especificación técnica del vehículo:
 - Longitud
 - Velocidad máxima
 - Aceleración potencial
 - Posición actual en la red
 - Velocidad efectiva y aceleración
- Comportamiento del vehículo-conductor:
 - Umbrales de sensibilidad del conductor.
 - Memoria del conductor

- Aceleración basada en la velocidad actual y la velocidad deseada por el conductor
- Interdependencia de las unidades vehículo-conductor, por ejemplo:
 - Referencia para liderar y seguir vehículos en los carriles de viaje propio y adyacentes
 - Referencia del carril actual y la siguiente intersección
 - Referencia hacia el semáforo siguiente.

2.6.3. Consideraciones del modelo

Vissim se basa en el funcionamiento de los parámetros psicofísicos de Wiedemann. Tomando en cuenta los umbrales de percepción y reacción del conductor considerando los submodelos de seguimiento vehicular (cambio de carril, comportamiento lateral y control semaforizada).

Mediante la siguiente ecuación se puede expresar la distancia requerida en la interacción entre un par de vehículos.

$$d = a_x + (b_{x_{add}} + b_{x_{mul}} * z) * \sqrt{v}$$

Dónde:

a_x : Distancia promedio deseada entre vehículos detenidos.

$b_{x_{add}}$: Parte aditiva de la distancia deseada por seguridad.

$b_{x_{mul}}$: Parte multiplicativa de la distancia deseada por seguridad.

z : Valor que va de 0 a 1 (obtenido de una distribución normal $x=0.5$ y $s=0.15$).

v : Velocidad (m/s).

Estos parámetros de Wiedemann sirven para calibrar los resultados obtenidos con los datos de campo.

CAPÍTULO III

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se encuentra ubicado en la ciudad de Puno, del distrito, provincia y departamento de Puno.

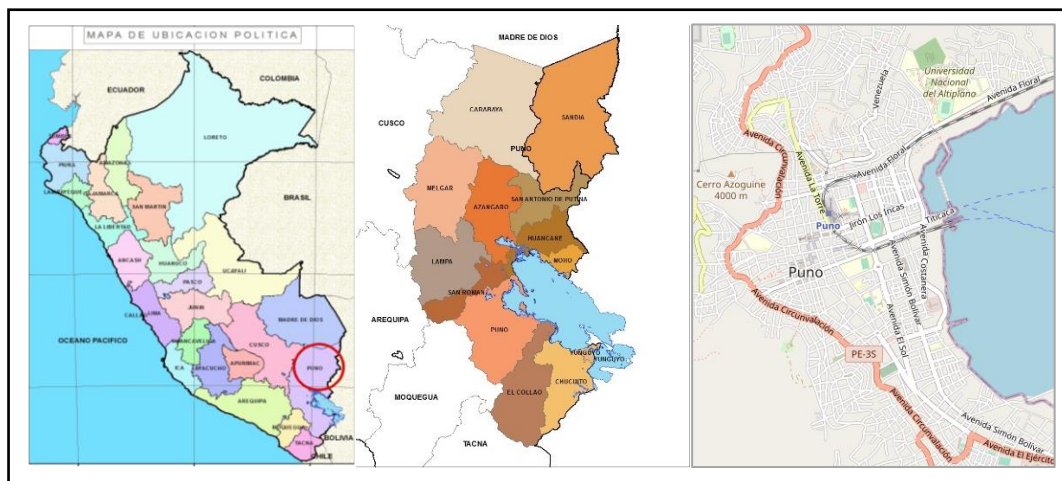


Figura 6. Ubicación de la zona de estudio.

Las condiciones de borde se encuentran delimitadas por las vías que acceden a la intersección de la avenida El Sol con el Jr. Ricardo Palma.



Figura 7. Condiciones de borde y lugar de estudio

A nivel de la región, la ciudad de Puno es la segunda ciudad con mayor concentración de población, y es en donde se ubican las instituciones más representativas de la región de Puno, lo que genera un crecimiento acelerado de la población urbana que trae consigo un crecimiento desmedido del parque automotor generando problemas de congestión urbano en puntos estratégicos y de mayor confluencia peatonal.

3.2. MATERIALES

Para el desarrollo del presente trabajo se ha recurrido básicamente a información primaria, recopilada de campo, los mismos que se detallan en forma breve.

3.2.1. Información de campo

La información proveniente de campo son la geometría de la intersección, registro de aforos del flujo vehicular, inventario de las señales de tránsito existentes y los tiempos semafóricos, etc.

3.2.2. Equipos y herramientas

Se ha utilizado una computadora portátil de alta capacidad para poder simular el tráfico en la zona de interés; así mismo se realizó el empleo de las siguientes herramientas informáticas: PTV Vissim 11, Office 2016® de Microsoft, StatKey, etc.

3.2.3. Materiales

Dentro de los materiales empleados se tiene:

- Wincha de 50 metros
- Cámara de video, Cronómetros.
- Libretas de campo
- Fichas de aforo

3.3. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El tipo de Investigación es Cuantitativo – investigación aplicada.

El nivel de investigación es: Descriptivo – Explicativo – No Experimental.

Según el tiempo de estudio: Transversal.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

La presente investigación se realizó en la Ciudad de Puno, precisamente en la intersección de la avenida El Sol con el jirón Ricardo Palma de la ciudad de Puno.

3.4.1. Población

La población en el presente estudio lo conforman todos los usuarios y modos de transporte que pasan por la intersección en interés haciendo uso de la infraestructura vial correspondiente (conductores, vehículos y peatones, calles y las señales de tránsito).

3.4.2. Muestra

Se ha tomado como muestra los aforos realizados en la intersección de la avenida El Sol con el jirón Ricardo Palma de la ciudad de Puno.

3.5. PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS SEGUIDOS

El procedimiento metodológico a seguir en la presente investigación obedece a lo recomendado por el Federal Highway Administration FHWA 2004 en su manual “directrices para la aplicación de software en la microsimulación de tráfico”. En la figura 11, se detalla las etapas del procedimiento metodológico.

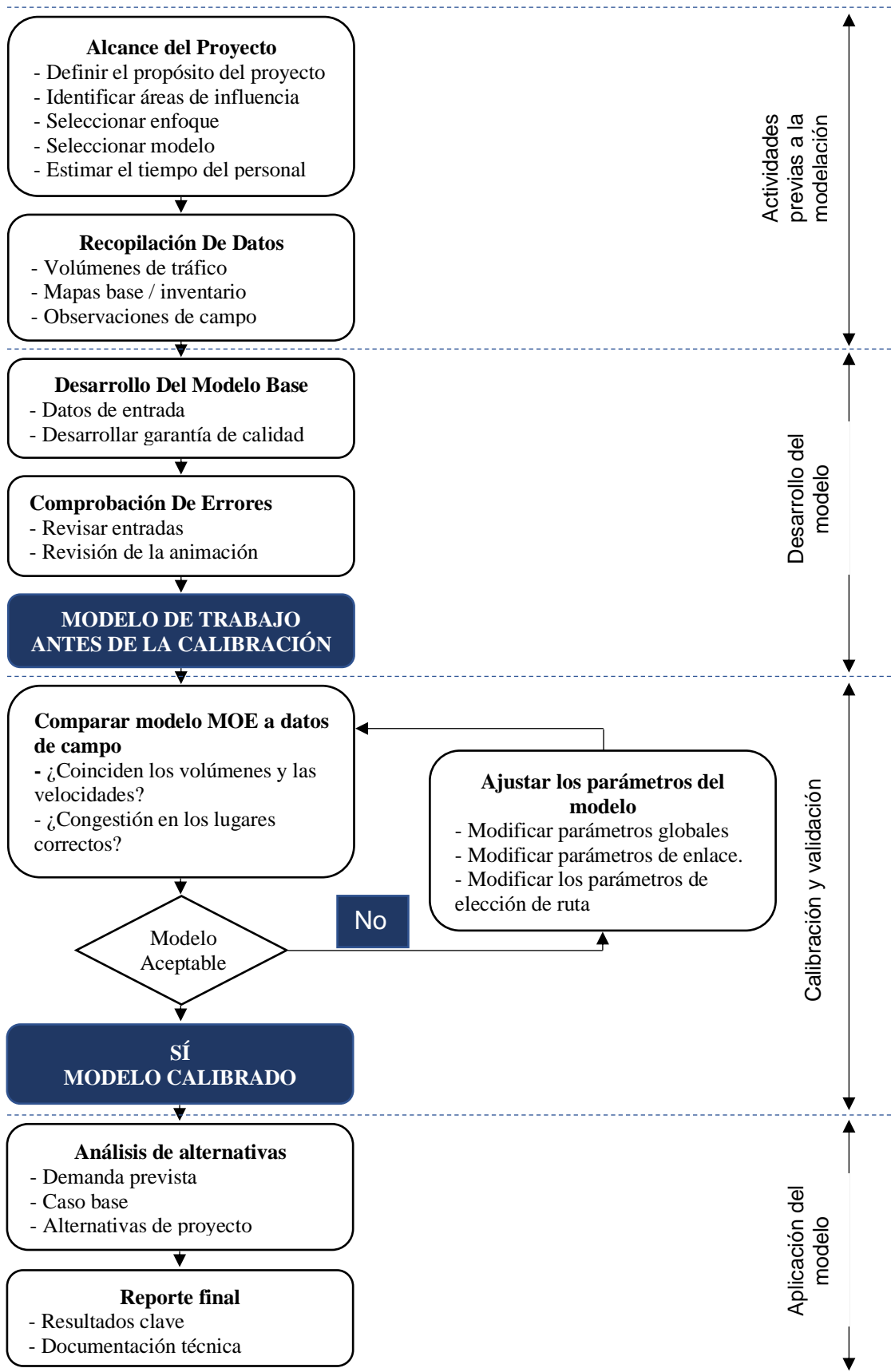


Figura 8. proceso de desarrollo y aplicación del modelo de microsimulación.
Fuente: (Dowling, Skabardonis y Alexiadis, 2004)

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se ha realizado la recolección de datos en la intersección de la Av. El Sol con el Jr. Ricardo Palma de la ciudad de Puno, este trabajo se realizó durante 06 días consecutivos en el horario desde las 07:00 am, hasta las 08 pm a fin de lograr los objetivos trazados.

- Técnicas de muestreo

En la presente investigación las técnicas de muestreo de datos han sido no probabilístico - por conveniencia, debido a que los equipos, materiales y puntos de control han sido tomados y ubicados convenientemente por el ejecutor de la presente investigación con la finalidad de poder captar los mayores datos posibles y de mejor calidad.

- Técnicas e instrumentos de recolecta de datos,

En la presente investigación se aplicó la técnica de observación estructurada en campo para la toma de datos y el análisis de la intersección en estudio. La mencionada técnica nos permite obtener el registro de lo que ocurre en el instante, obteniendo datos e información de campo detallada como la geometría de la intersección, flujo vehicular, longitud de cola, tiempo de viaje y los ciclos semafóricos de la intersección en estudio por lo que el tipo de información obtenida es primaria.

Los instrumentos utilizados en la presente investigación son instrumentos documentales como fichas de aforo y/o archivos de video, los cuales se han utilizado para realizar el registro de aforo de vehículos.

3.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS

3.7.1. Geometría de la intersección

Se realizó el registro de la geometría del área de estudio, así como anchos de vía, número de carriles, número de sentidos, radios de giro, ancho de veredas y el ancho de las islas, con el fin de poder diseñar a escala la intersección en el software de simulación.

Tabla 2. Datos geométricos de la intersección

Intersección Av. El Sol - Jr. Ricardo Palma		
Datos Geométricos	Av. El Sol	Jr. RP
Ancho de calle	8.00	11.50
Ancho de Islas	4.50	NP
Ancho de veredas	2.00	1.20
Numero de sentidos	2	2
Número de carriles por sentido	2	1
Numero de desvíos	6	2
Semaforización	Presenta	Presenta

Las mediciones realizadas permitieron la elaboración del plano en planta de la intersección (Figura 9), en donde se puede apreciar a detalle todos los elementos existentes en la intersección.

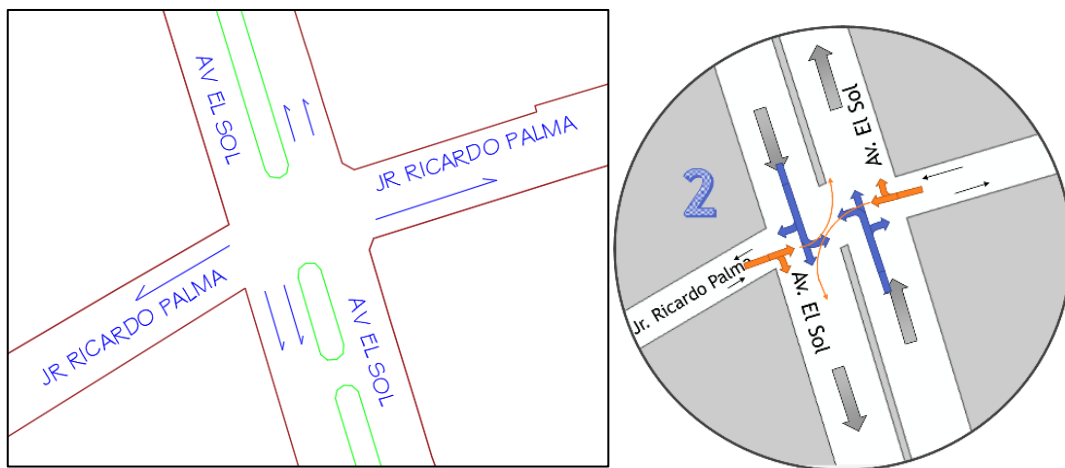


Figura 9. Geometría de la zona de estudio

3.7.2. Aforo vehicular

El aforo vehicular es el conteo de vehículos realizado durante un periodo de tiempo determinado, con el objetivo de cuantificar la cantidad de vehículos que efectivamente pasan por un tramo, vía y/o intersección.

Para el registro del aforo vehicular se utilizó el formato de “Estudio de Tráfico Vehicular” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, este trabajo se realizó durante 06 días consecutivos en el horario de 07:00 am hasta las 08 pm; el conteo se ha realizado en intervalos de 15 minutos para el registro del flujo vehicular.

PERÚ		Ministerio de Transportes y Comunicaciones		FORMATO Nº 1.3																	
FORMATO DE CONTEO Y CLASIFICACIÓN VEHICULAR																					
TRAMO DE LA CARRETERA												ESTACION									
SENTIDO												CODIGO DE LA ESTACION									
UBICACION												DIA Y FECHA									
HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS			CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER			
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
DIGRA. VEH.																					
00	E																				
01	S																				

Figura 10. Formato de conteo y clasificación vehicular

Una vez realizado el aforo total se ha procedido a determinar los horarios picos o de mayor flujo vehicular, en el cual se presenta mayor congestión vehicular; los horarios determinados son: de 07:15 am a 08:15 am; de 12:15 pm a 01:15 pm y de 05:30 pm a 18:30 pm respectivamente tal como se muestran en la figura 11 y figura 12.

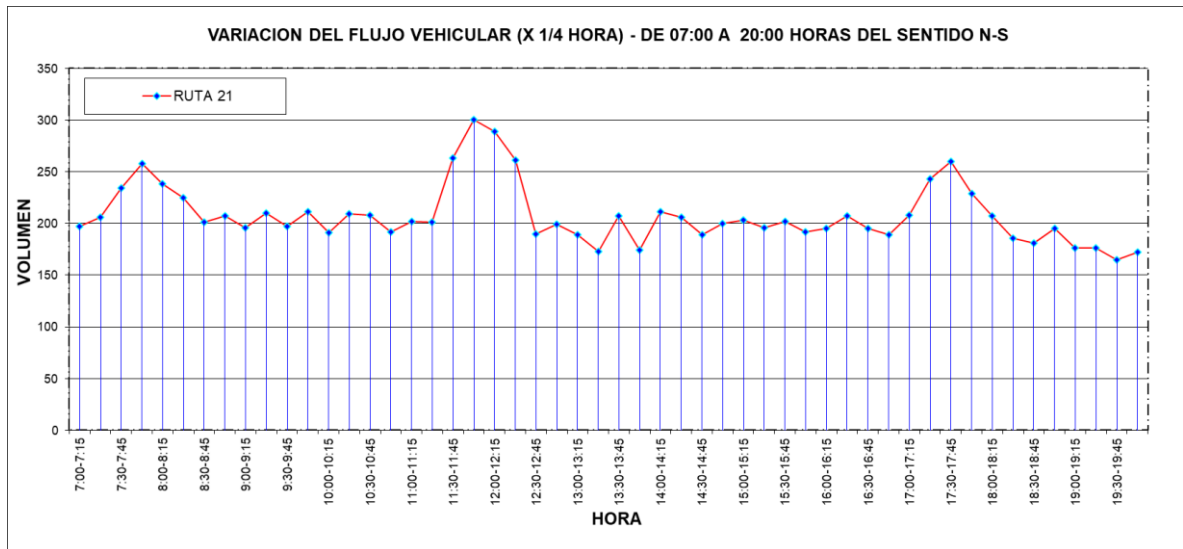


Figura 11. Variación de flujo vehicular por 1/4 de hora

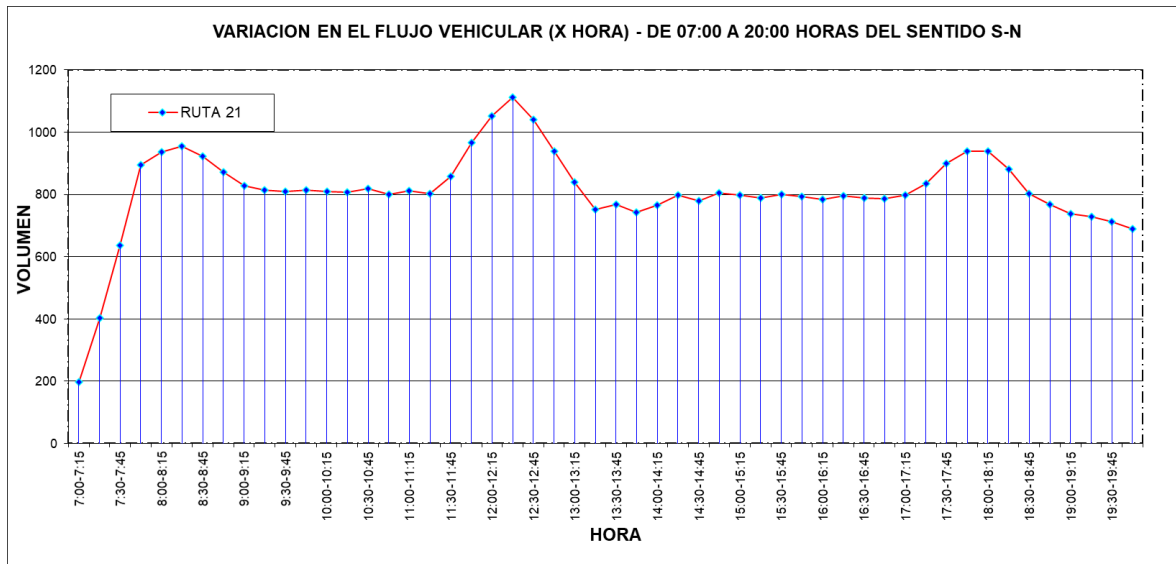


Figura 12. Variación de flujo vehicular por una hora

Estos valores serán empleados en el modelo de simulación, con la finalidad de lograr los objetivos de la presente tesis.

3.7.3. Flujos vehiculares

Se realizó el conteo de todos los tipos de vehículos para todas las vías y en todos los sentidos que intervienen en la intersección. En las figuras 13, 14 y 15, se presentan la cantidad total de vehículos por ruta que pasan por la intersección, en el lapso de una hora; para ello se ha tomado como referencia las horas con mayor flujo vehicular identificadas en la figura 11.

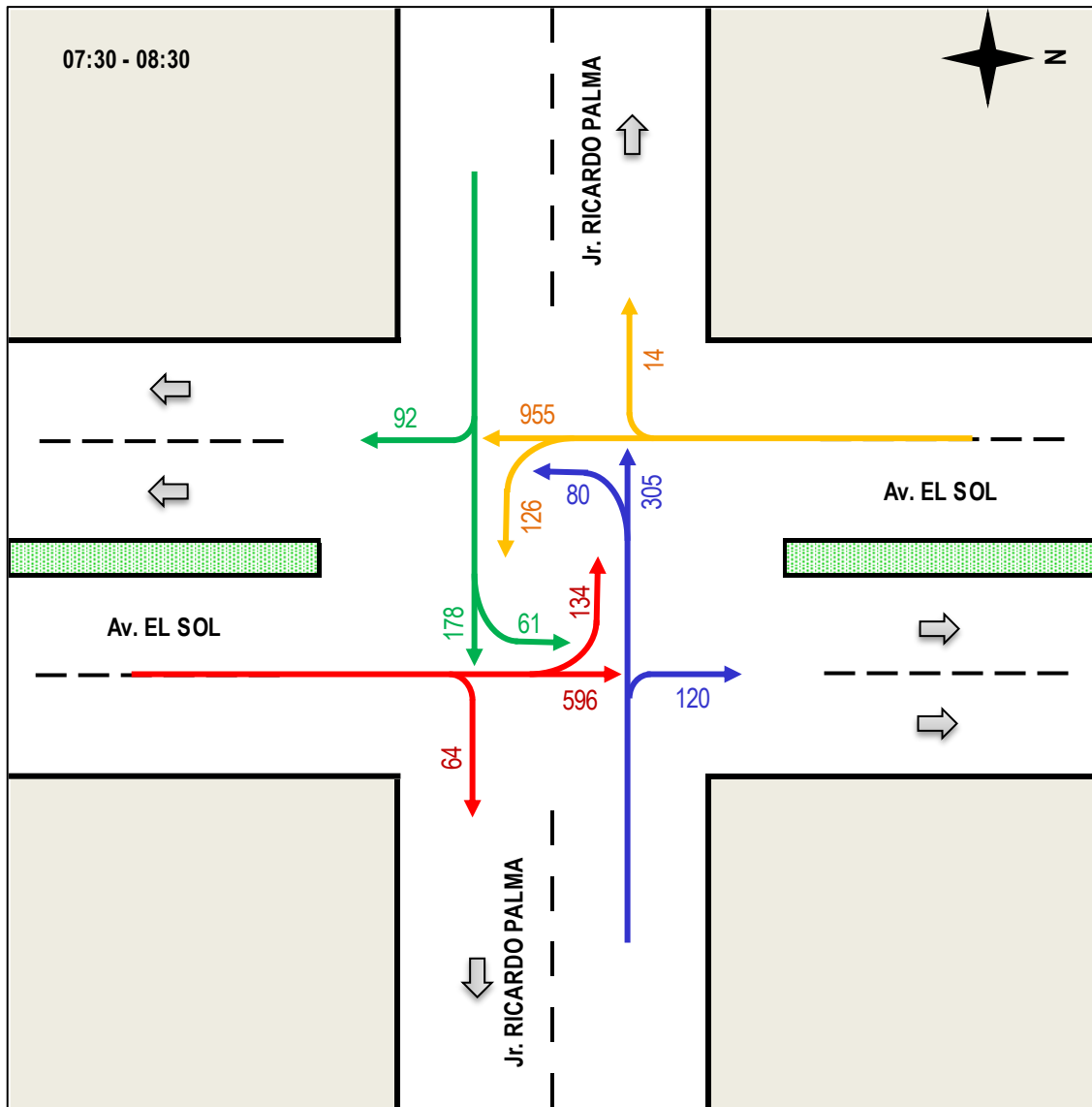


Figura 13. Flujograma vehicular (veh/hora) 07:30 – 08:30 am.

Tabla 3. Volumen vehicular horario 07:30 am - 08:30 am

	11	12	13	21	22	23	31	32	33	41	42	43
Autos	337	24	53	537	10	89	123	73	50	91	61	36
Bus	6	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
camiones	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
moto	12	1	2	39	1	10	14	6	4	3	1	3
mototaxi	74	27	8	231	3	24	70	24	18	40	12	10
combi	141	9	68	111	0	0	96	16	8	42	17	11
bicicleta	24	3	3	34	0	3	2	0	0	2	1	1
TOTAL	596	64	134	955	14	126	305	120	80	178	92	61

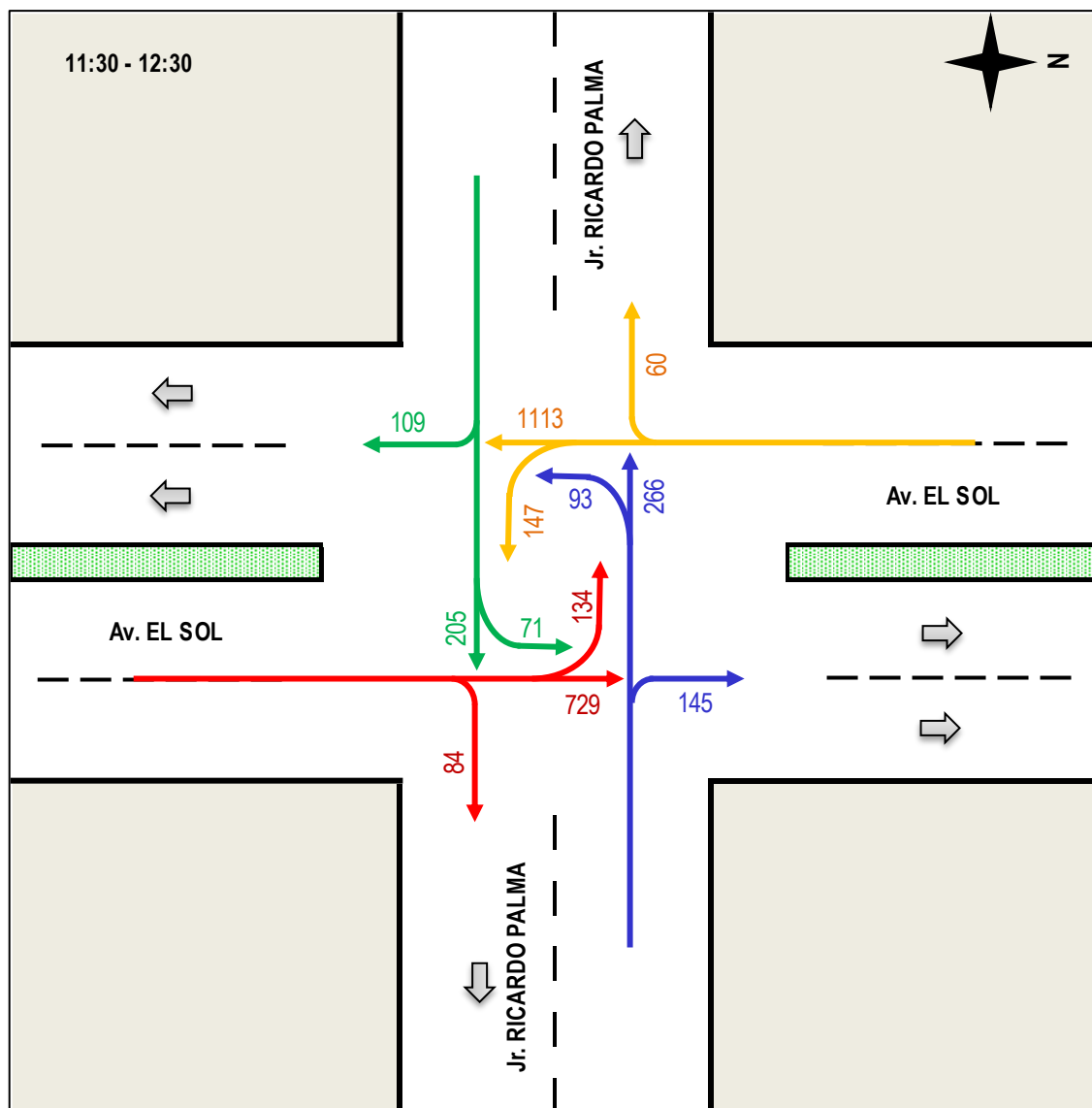


Figura 14. Flujo vehicular (vehículos/hora) 11:30 – 12:30

Tabla 4. Volumen vehicular horario 11:30 - 12:30

	11	12	13	21	22	23	31	32	33	41	42	43
Autos	416	31	45	606	23	101	116	57	48	92	46	31
Bus	6	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0
camiones	6	0	0	5	0	0	2	1	2	0	1	0
moto	10	4	4	61	2	11	6	4	3	5	6	3
mototaxi	101	29	7	256	34	30	57	35	29	53	24	16
combi	180	14	78	150	1	0	82	46	11	50	26	18
bicicleta	10	6	0	34	0	5	3	0	0	5	6	3
TOTAL	729	84	134	1113	60	147	266	145	93	205	109	71

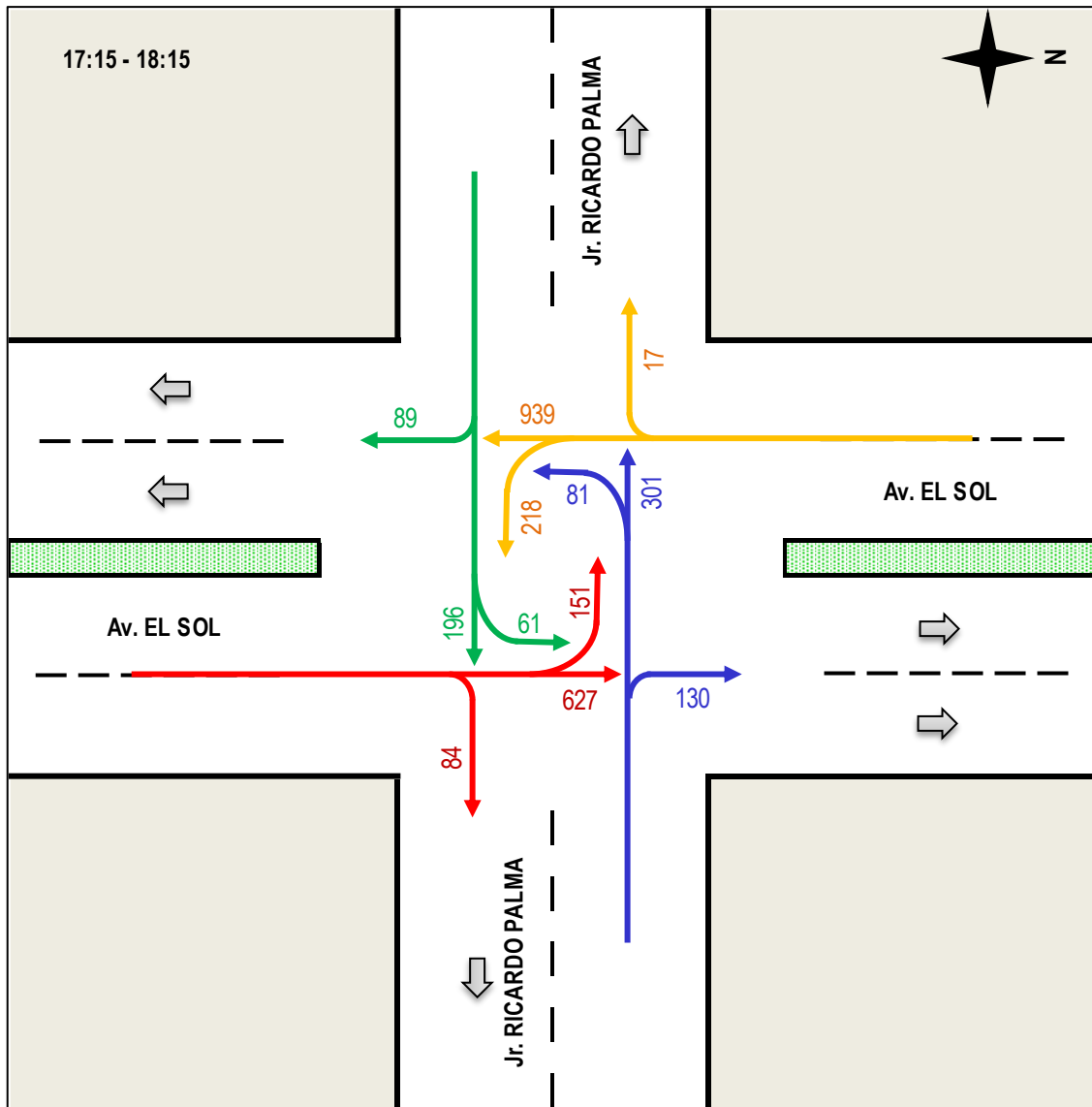


Figura 15. Flujograma vehicular (vehículos/hora) 17:15 – 18:15

Tabla 5. Volumen vehicular horario 17:15 - 18:15

	11	12	13	21	22	23	31	32	33	41	42	43
Autos	393	34	65	521	12	148	137	58	44	89	41	26
Bus	5	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0
camiones	2	0	0	3	0	0	1	1	0	0	0	0
moto	6	3	2	46	1	15	17	8	2	2	3	1
mototaxi	72	35	6	197	4	52	51	24	15	39	14	14
combi	137	9	77	140	0	0	93	37	20	63	28	18
bicicleta	12	3	1	30	0	3	2	0	0	3	3	2
TOTAL	627	84	151	939	17	218	301	130	81	196	89	61

3.7.4. Longitud de cola

La longitud de cola ha sido determinada mediante el conteo de la cantidad de vehículos en cola que esperan el cambio de semáforo y la medición de la distancia ocupada por los vehículos. La tabla 6 muestra la longitud de cola en cada una de las vías de interés.

Tabla 6. Registros de longitud de cola - medición en campo

Ítem	Jr. Ricardo Palma		Av. El Sol	
	E-O	O-E	S-N	N-S
1	45.00	15.00	65.00	92.00
2	40.00	19.00	45.00	85.00
3	35.00	22.00	55.00	75.00
4	44.00	14.00	60.00	88.00
5	42.00	20.00	62.00	82.00
6	30.00	23.00	48.00	80.00
7	34.00	15.00	48.00	95.00
8	48.00	16.00	55.00	89.00
9	35.00	23.00	60.00	78.00
10	46.00	17.00	45.00	90.00
Promedio	39.90	18.40	54.30	85.40
Max.	48.00	23.00	65.00	95.00
Min.	30.00	14.00	45.00	75.00
Desv. Est.	6.06	3.47	7.39	6.50

3.7.5. Tiempo de recorrido

El tiempo de recorrido o tiempo de viajes, es el tiempo tomado por un vehículo para atravesar una sección dada en una carretera o vía, este indicador se determinó en un tramo con distancia conocida para cada carril, mediante el registro del tiempo que cada vehículo tarda en recorrer el tramo designado; estos registros servirán para calibrar y validar el modelo de simulación de tráfico.

Tabla 7. Registro de tiempo de recorrido (d=35 m)

Ítem	Jr. Ricardo Palma		Av. El Sol	
	E-O	O-E	S-N	N-S
1	4.15	5.15	3.80	5.20
2	4.13	4.95	4.50	4.50
3	4.85	5.32	4.36	4.80
4	4.35	4.56	4.65	5.15

5	4.98	4.89	5.02	5.18
6	4.25	5.06	4.92	4.69
7	4.37	5.17	4.85	5.80
8	3.98	4.19	4.57	6.05
9	4.09	4.25	4.65	5.70
10	4.19	4.68	3.98	4.98
11	4.46	5.02	4.80	5.36
12	3.97	4.17	4.52	4.80
13	5.14	4.56	4.12	4.95
14	6.42	5.12	4.59	5.25
15	4.29	4.28	3.96	5.15
16	4.64	4.81	4.37	4.57
17	4.29	4.61	5.01	6.12
18	4.18	5.07	4.14	4.93
19	5.12	4.38	4.95	5.28
20	4.95	4.18	3.98	4.79
Promedio	4.54	4.72	4.49	5.16
Max.	6.42	5.32	5.02	6.12
Min.	3.97	4.17	3.80	4.50
Desv. Est.	0.58	0.38	0.38	0.46

3.7.6. Ciclo de semáforos

En el área de estudio se cuenta con un sistema de semaforización en ambas vías. Los semáforos que se observaron poseen un sistema de cronometro, el cual indica el tiempo que tarda en cambiar entre los colores: rojo, ámbar y verde, lo que facilitó el registro de datos; no se observaron semáforos para los peatones.



Figura 16. Ubicación de los semáforos en el área de estudio.

Los ciclos semafóricos registrados se detallan en la figura 17 y figura 18.

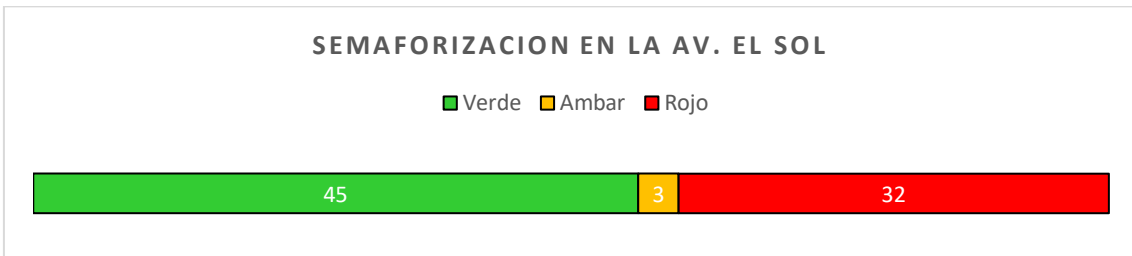


Figura 17. Ciclos semafóricos registrados en la intersección

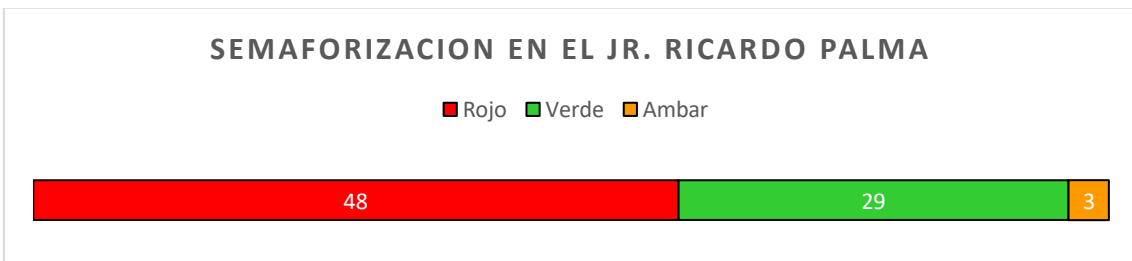


Figura 18. Ciclos semafóricos registrados en la intersección

3.8. DESARROLLO DEL MODELO BASE EN PTV VISSIM 11

Una vez concluida la recolección y procesamiento de datos de campo, se procede con la configuración y desarrollo del modelo de simulación en el software VISSIM 11.

3.8.1. Importación de imagen de fondo

Se realiza la importación de una imagen satelital con la finalidad de tener una base para la creación de los links y conectores a escala real, estos atributos definirán la geometría real de la intersección.

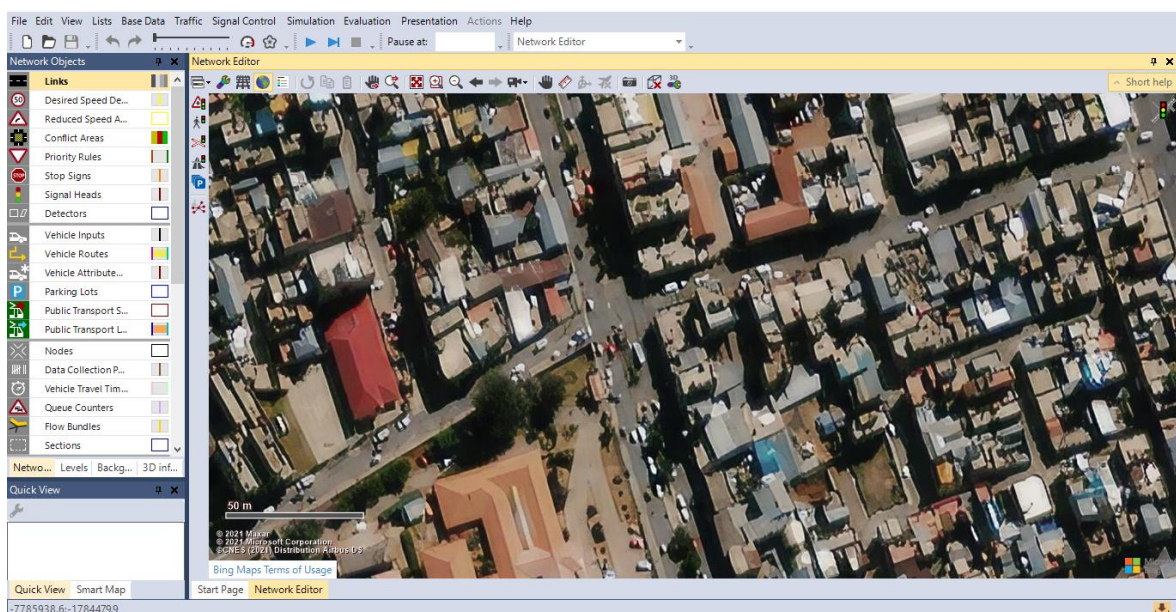


Figura 19. Background del proyecto.

3.8.2. Link y conectores

Los enlaces (link) y conectores forman la base de cualquier modelo Vissim. Los Link funcionan como objetos independientes entre sí, mientras que los conectores deben estar conectados a un link en cualquier extremo para agregarlos a la red. La mejor práctica es minimizar la longitud de los conectores siempre que sea posible durante la codificación de red (VDOT, 2020).

Para el presente proyecto se han creado los links para cada acceso a la intersección y para cada sentido, considerando el número de carriles, los anchos, el sentido del flujo y la longitud del mismo. Así mismo se han creado los conectores en función del número de giros que tiene cada acceso a la intersección.



Figura 20. Creación y edición de links

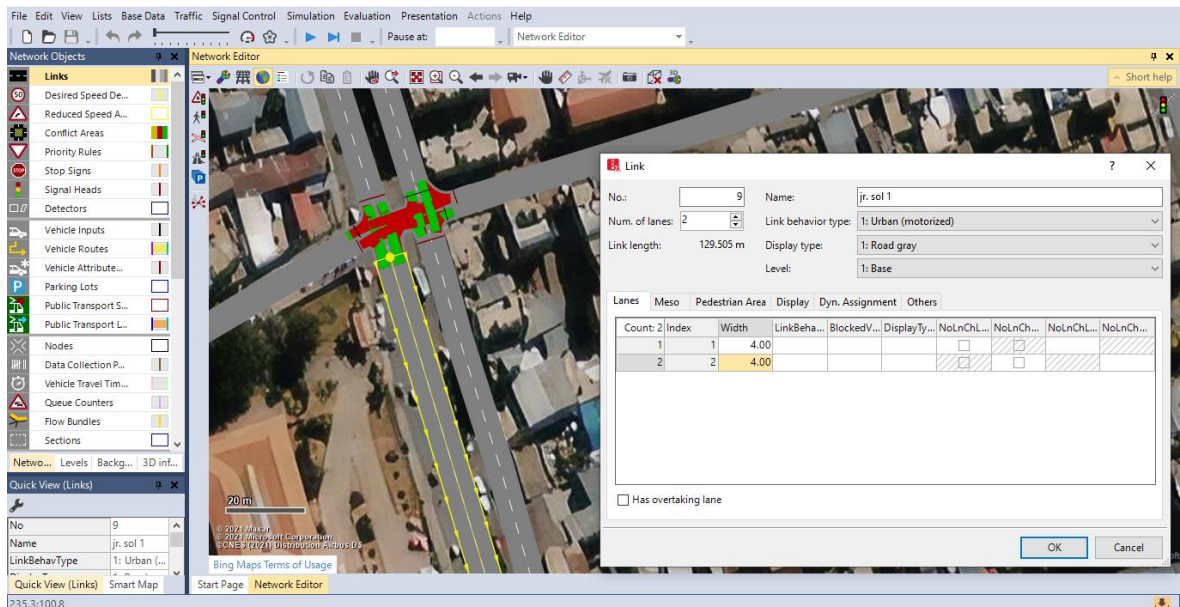


Figura 21. Creación de carriles del proyecto

3.8.3. Áreas de conflicto y reglas de prioridad

Las áreas de conflicto y las reglas de prioridad son objetos de red que se utilizan para definir la interacción entre vehículos simulados en un cruce o intersección entre dos enlaces.

En el presente proyecto las áreas de conflicto han sido de terminados por la intersección de los links de la Av. El Sol con el Jr. Ricardo Palma.

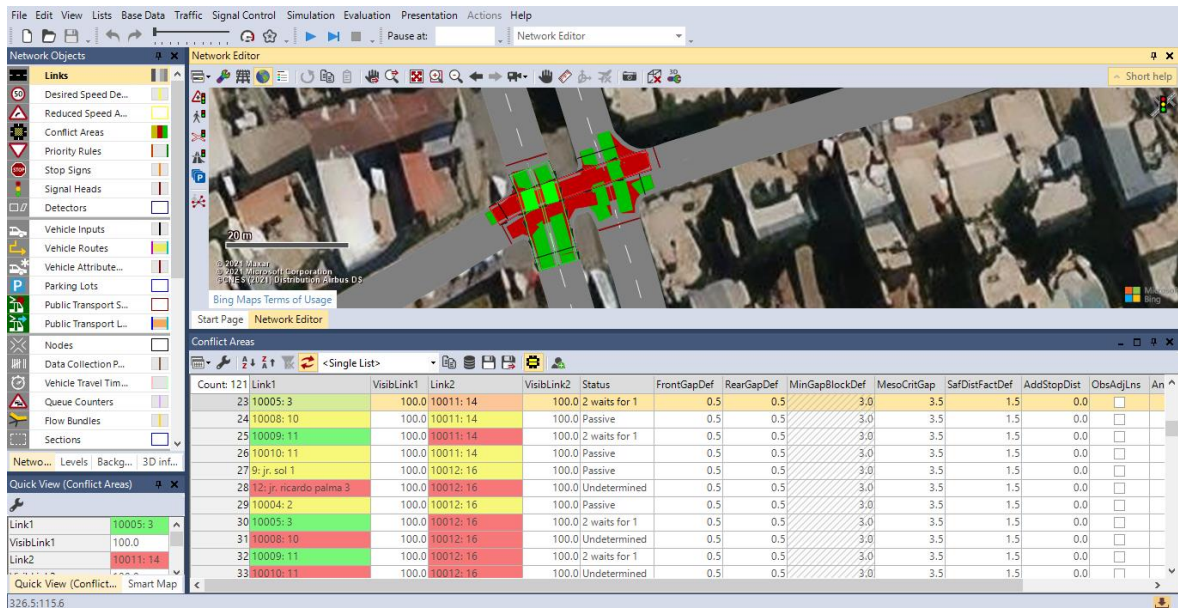


Figura 22. Creación de áreas de conflicto

3.8.4. Creación de flujos vehiculares

De acuerdo a los aforos realizados, se ha determinado la cantidad de vehículos que pasan por cada acceso a la intersección y en un determinado tiempo; a esta cantidad de vehículos se le denomina flujo vehicular, este valor se asigna a cada Link creado en el modelo, representando el tipo de vehículo y la cantidad por tipo en porcentaje respecto al flujo total.

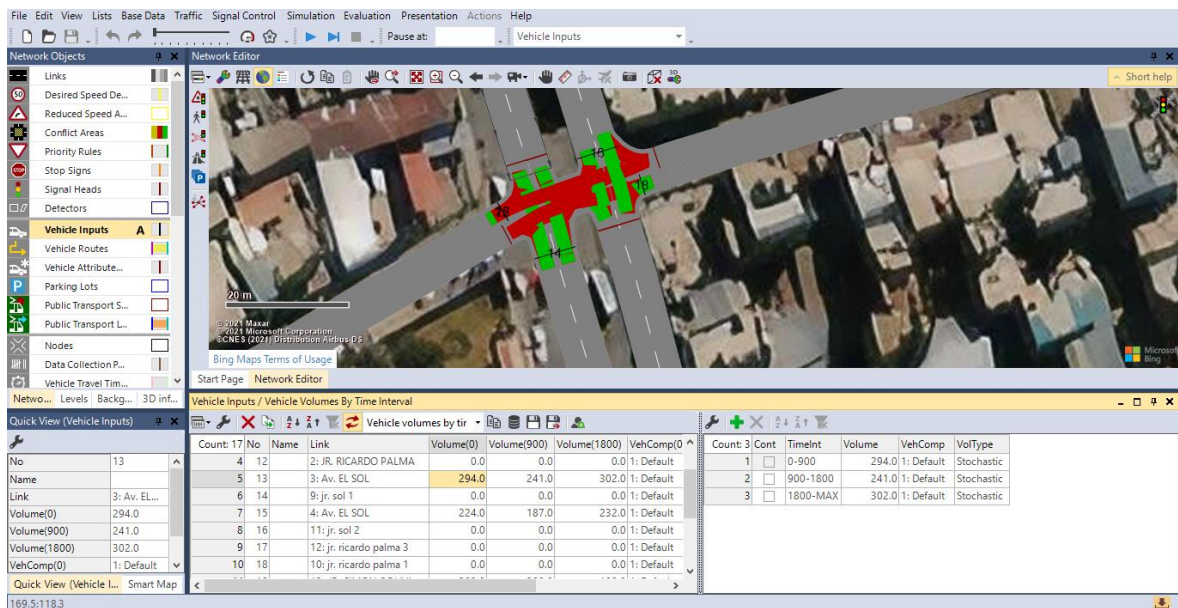


Figura 23. Asignación de volumen de tráfico por cada link

En el área de estudio se han registrado distintos tipos de vehículos de los cuales el mayor porcentaje son combis, taxis, motos vehículos bastante representativos en nuestro contexto, los cuales no están contemplados en la lista de vehículos típicos que posee el software. Para tal fin ha sido necesario la importación de todos los tipos de vehículos para representar lo más realista posible el flujo vehicular.

Tabla 8. Volumen vehicular por cada link

Vía	Volumen total
Av. El Sol (S-N)	947
Av. El Sol (N-S)	1320
Jr. Ricardo Palma (E-O)	504
Jr. Ricardo Palma (O-E)	385

3.8.5. Asignación de rutas estáticas

Una vez asignado la cantidad de vehículos por link o via, se procede a distribuir el flujo vehicular entre todas las posibles rutas que se hayan detectado en campo, este procedimiento se realizó según la tabla 9. En la figura 25 se visualiza el diagrama de flujo vehicular en donde se representan las diferentes rutas y cantidad de vehículos que recorren por cada sentido.

Tabla 9. Asignación de vehículos por ruta (%)

O -D	Ruta	Volumen total		
		Total	Ruta	%
EL SOL (S-N)	11	947	729	0.77
	12		84	0.09
	13		134	0.14
EL SOL (N-S)	21	1320	1113	0.84
	22		60	0.05
	23		147	0.11
RICARDO PALMA (E-O)	31	504	266	0.53
	32		145	0.29
	33		93	0.18
RICARDO PALMA (O-E)	41	385	205	0.53
	42		109	0.28
	43		71	0.18

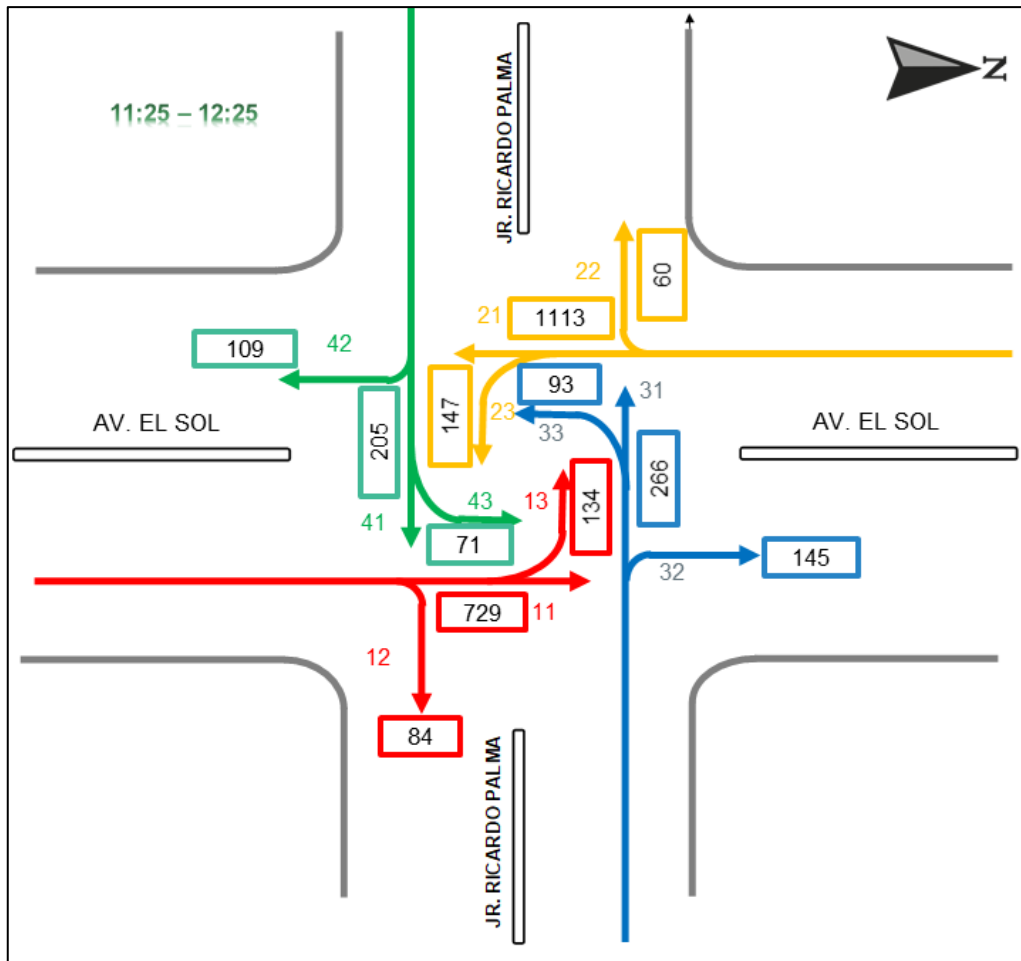


Figura 24. Distribución del flujo vehicular por ruta o sentido

3.8.6. Señales de control semafóricas

Una vez constituido el modelo de microsimulación, finalmente se asigna la semaforización existente que regula el flujo vehicular real, los tiempos semafóricos asignados se muestran en la figura 25.

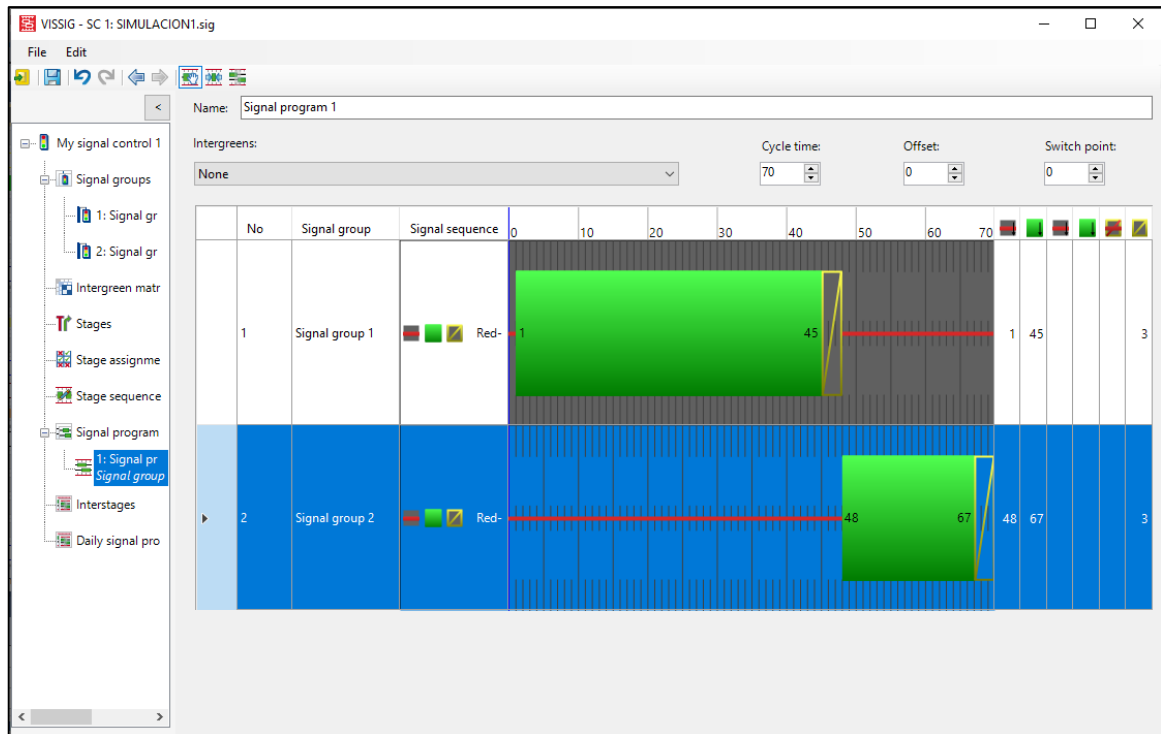


Figura 25. Programación de los ciclos semafóricos

3.9. CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO

3.9.1. Calibración del modelo de micro simulación

El proceso de calibración del modelo de microsimulación se realizó modificando los parámetros de Wideman; este procedimiento iterativo se realizó hasta que el modelo de simulación represente lo más realista posible el flujo vehicular y alcanzar un nivel de confianza del 95% respecto a los datos de campo.

Tabla 10. Valores iniciales del modelo

	Parámetros del modelo de micro simulación	Valores iniciales
Parámetros de Simulación	Numero de semilla	20
	Incremento de N° de semilla	1
	Numero de corridas	15
	Periodo warm up	900 seg
	Tiempo de simulación	3600 seg

Parámetros del modelo de micro simulación		Valores iniciales
	Confiabilidad	95%
	Distancia promedio deseada entre vehículos detenidos (ax)	2
Parámetros de Wideman 74	Parte aditiva de la distancia deseada por seguridad (bx_add)	3
	Parte multiplicativa de la distancia deseada por seguridad (bx_mult)	3

En esta etapa de calibración del modelo de microsimulación sea realizado un total de 20 intentos con 15 corridas para diferentes parámetros de Wideman 74, con la finalidad de que el modelo obtenga un mayor ajuste en base a los parámetros de eficiencia (tiempo de viaje), ver Tabla 11.

Tabla 11. Iteración de parámetros de Wideman - proceso de calibración

Int.	Parámetros de Wideman 74			Valores		VISSIM		Campo	
	ax	bx_ad d	bx_m ult	Min.	Max.	Media	Desv. Est.	Media	Desv. Est.
1	2	3	3	4.98	5.31	5.13	0.08	5.16	0.46
2	2	4	2	5.02	5.29	5.14	0.08	5.16	0.46
3	2	5	4	5.01	5.28	5.14	0.07	5.16	0.46
4	2	4	4	4.95	5.34	5.13	0.07	5.16	0.46
5	2	1	2	4.97	5.32	5.13	0.07	5.16	0.46
6	1.5	2	4	4.99	5.30	5.14	0.08	5.16	0.46
7	1.5	3	3	5.02	5.27	5.15	0.06	5.16	0.46
8	1.5	5	4	5.01	5.29	5.15	0.07	5.16	0.46
9	1.5	5	2	5.00	5.29	5.16	0.07	5.16	0.46
10	1.5	4	1	5.01	5.28	5.15	0.08	5.16	0.46
11	1	3	3	5.02	5.27	5.17	0.08	5.16	0.46
12	1	3	5	4.98	5.37	5.14	0.07	5.16	0.46
13	1	1	2	5.01	5.34	5.16	0.07	5.16	0.46
14	1	4	5	5.04	5.31	5.17	0.08	5.16	0.46
15	1	5	1	5.00	5.35	5.17	0.07	5.16	0.46
16	0.5	4	3	5.02	5.34	5.15	0.06	5.16	0.46
17	0.5	4	4	5.01	5.34	5.15	0.08	5.16	0.46

Int.	Parámetros de Wideman 74			Valores		VISSIM		Campo	
	ax	bx_ad d	bx_m ult	Min.	Max.	Media	Desv. Est.	Media	Desv. Est.
18	0.5	1	2	4.96	5.40	5.14	0.09	5.16	0.46
19	0.5	1	3	5.06	5.24	5.15	0.06	5.16	0.46
20	0.5	2	2	4.81	5.49	5.14	0.07	5.16	0.46

Para el primer intento los parámetros de Wideman fueron 2, 3 y 3 (valores iniciales), para obtener una media de 5.13 seg. Y una desviación estándar de 0.08, valores no tan cercanos a los observados en campo; por lo que se ha procedido a realizar una variación de valores en los parámetros de Wideman hasta lograr la aproximación deseada, para ello se realizó un total de 20 combinaciones para llegar a un promedio idéntico al estudio de campo.

Los parámetros de Wideman seleccionados corresponde al intento 9 y tienen valores de 1.5, 5, 2 con una media igual a la observada en campo 5.16 seg.

Así mismo, para verificar el nivel de confianza entre los valores medidos y los valores obtenidos del modelo se realizó el test de Randomization Test for a Difference in Means, el cual realiza prueba de hipótesis nula de diferencia de medias con un nivel de confianza de 95%, figura 26.

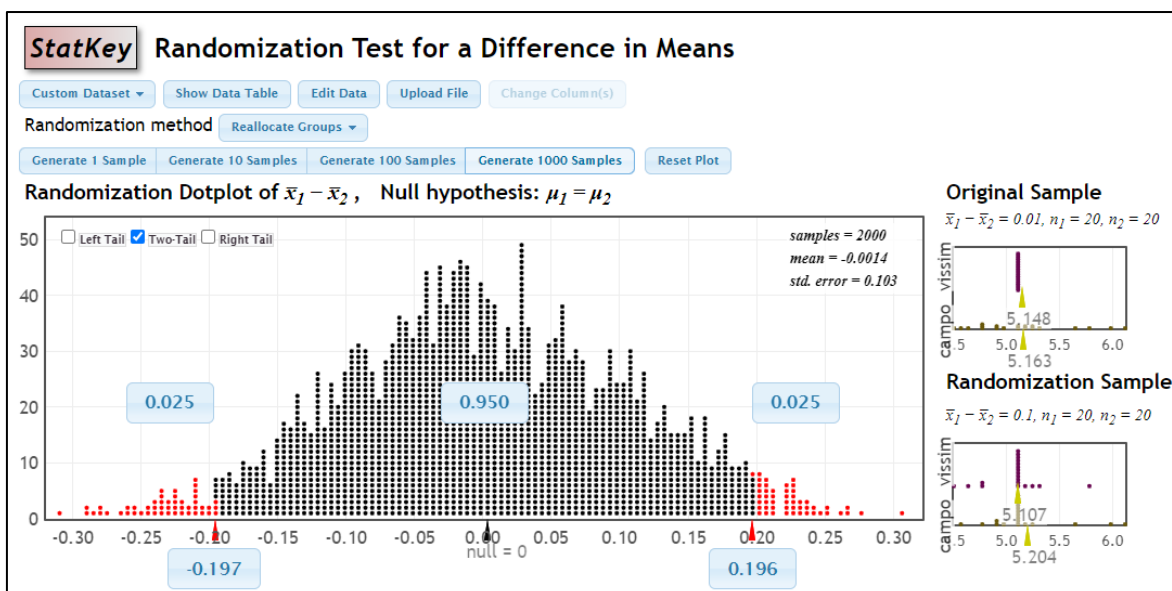


Figura 26. Prueba de hipótesis nula - etapa de calibración

Los resultados obtenidos indican que la diferencia de medias entre ambos grupos de valores es de 0.01 encontrándose dentro del rango de -0.197 – 0.196; por lo que se verifica el proceso de calibración y se cumple la prueba de hipótesis nula de igualdad.

Este procedimiento de calibración del modelo de simulación se realizó para cada una de los accesos a la intersección, obteniendo en todos un nivel de confianza del 95% (ver anexos).

3.9.2. Validación del modelo de microsimulación

El proceso de validación del modelo de microsimulación ha consistido en simular el sistema con un conjunto de valores distintos al utilizado en el proceso de la calibración; los resultados obtenidos de este proceso se muestran en la tabla 11.

Tabla 12. Datos para la validación del modelo

N°	CAMPO	VISSIM	N°	CAMPO	VISSIM
1	5.20	5.10	11	5.49	5.15
2	5.50	5.18	12	4.79	5.15
3	4.18	5.20	13	4.37	5.16
4	5.30	5.13	14	4.98	5.17
5	4.95	5.15	15	5.26	5.19
6	4.80	5.18	16	4.57	5.21
7	5.20	5.12	17	6.25	5.10
8	6.05	5.19	18	5.89	5.20
9	5.95	5.18	19	6.30	5.09
10	4.88	5.13	20	5.91	5.14

Para validar los resultados del modelo se ha realizado la prueba de hipótesis nula mediante el test de Randomization Test for a Difference in Means, el cual nos ha permitido corroborar que los valores obtenidos del modelo etapa de validación se aceptan o se rechazan bajo un 95% de confiabilidad.

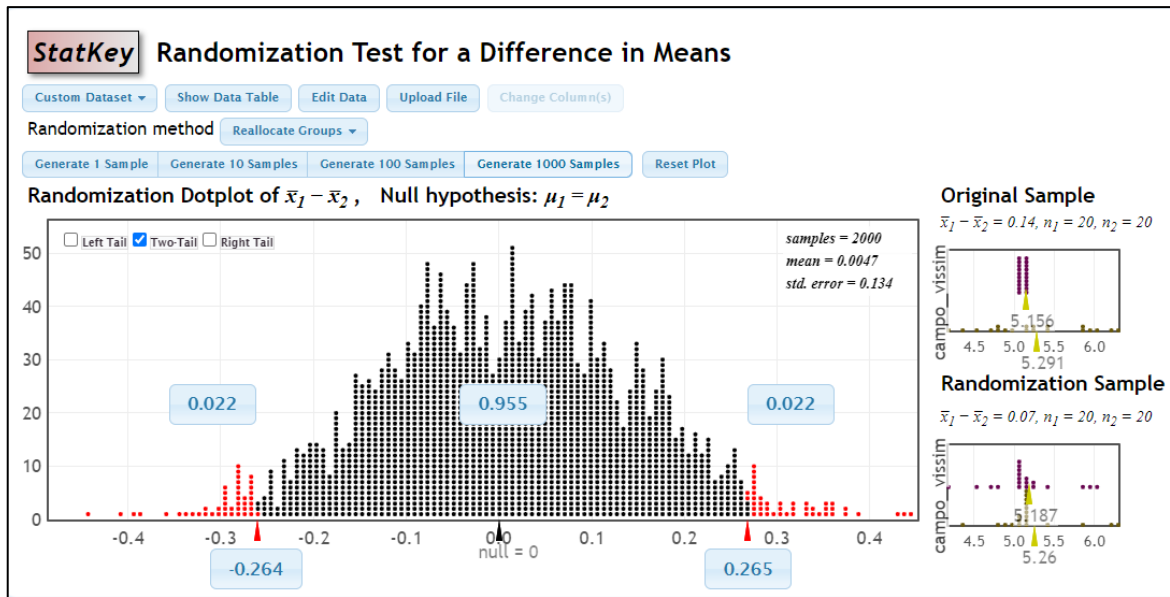


Figura 27. Prueba de hipótesis nula – etapa de validación

A un 95% de confiabilidad con la prueba de Randomization Test for a Difference in Means, se obtuvo un rango de -0.264 a 0.265 y la diferencia de medias de los tiempos de viaje fue de 0.14. Al encontrarse este valor dentro del rango de no rechazo se cumple la prueba de hipótesis nula de igualdad. Por lo tanto, se puede dar el modelo de microsimulación por validado.

3.9.3. Simulación del modelo de microsimulación

Una vez concluida las etapas de calibración y validación, se procedió a realizar la simulación del modelo de microsimulación del flujo vehicular en la intersección de la Av. El Sol con el Jr. Ricardo Palma, tal como se puede observar en la figura 27.



Figura 28. Simulación del modelo de microsimulación

CAPÍTULO IV

IV. RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE REGISTROS OBTENIDOS

Los valores registrados en campo para cada parámetro y que describen el comportamiento del tráfico vehicular actual en la intersección de la Av. El Sol con el Jr. Ricardo Palma se visualizan en la tabla 13.

Tabla 13. Resultados de simulación - escenario actual

O - D	Ruta	Longitud de cola (m)	volumen vehicular (veh)	Demora Promedio (seg.)	Nivel de servicio
EL SOL (S-N)	11	54.30	947	34.85	D
EL SOL (N-S)	21	85.40	1320	40.26	D
RICARDO PALMA (E-O)	31	39.90	504	23.93	C
RICARDO PALMA (O-E)	41	18.50	385	20.41	C

Estos valores han sido obtenidos en forma directa, mediante mediciones repetitivas; para la longitud de cola se ha realizado 10 mediciones para cada acceso a la intersección, los valores indicados en la tabla 13 corresponde al promedio de las mediciones realizadas; en cuanto al volumen vehicular y la demora promedio son el resultado de los registros realizados en la etapa inicial, los datos que se indican en la tabla 13 corresponden al horario de 11:25 am a 12:25 pm del día lunes.

Según el Highway Capacity Manual 2010, el nivel de servicio asignado a la avenida El Sol es NS = D, y para el Jr. Ricardo Palma NS = C.

4.2. RESULTADOS DE SIMULACIÓN – ESCENARIO ACTUAL 1

Una vez concluida la calibración y validación del modelo de simulación de flujo vehicular se realizó el análisis y evaluación de los parámetros obtenidos como resultado de la simulación escenario actual 1; estos resultados se pueden visualizar desde el menú **evaluación - resultados de nodo**.

Cabe resaltar que para este primer escenario de simulación el flujo vehicular de la Av. El Sol en dirección de Norte-Sur, se ha asignado a un solo carril, con la finalidad de retratar la situación actual de la vía, en este tramo en el carril derecho frecuentemente se encuentran vehículos estacionados lo que incrementa el congestionamiento de esta vía. en la figura 29 se puede observar el estacionamiento indebido en el carril derecho de la vía.



Figura 29. estacionamiento de vehículos en el carril derecho de la Av. El Sol

Para el análisis de variación de longitud de cola de los resultados de la simulación escenario actual 1, respecto a los datos observados se ha optado por utilizar la diferencia porcentual para cada uno de los accesos a la intersección; este análisis se da mediante la siguiente relación:

$$DPi = \frac{LCsi - LCoi}{LCoi} * 100$$

Dónde:

- Dpi: Diferencia porcentual entre la longitud de cola simulado y observado
- LCsi: Longitud de cola simulado para la vía i,
- LCoi: Longitud de cola observado para la vía i.

Los resultados de este análisis se muestran en la tabla 14, en donde la diferencia porcentual entre los valores simulados y los valores observados están en un rango de 1 a 6.39%, lo que indicaría que el modelo logra representar adecuadamente el flujo vehicular en esta intersección.

Tabla 14. Diferencia porcentual escenario 01

O - D	Ruta	Longitud de cola		Dpi(%)
		Observado	Simulado	
EL SOL (S-N)	11	54.30	56.19	3.48
EL SOL (N-S)	21	85.40	90.86	6.39
RICARDO PALMA (E-O)	31	39.90	40.50	1.50
RICARDO PALMA (O-E)	41	18.40	21.62	17.50

Respecto a los resultados de la demora promedio, los valores simulados tienden a ser mayores a los observados en un máximo de 14.58% para la avenida el Sol en dirección de norte a sur; esto se debe a que en el programa el distanciamiento entre vehículo – vehículo es de 1.50 m. y los vehículos siguen un solo comportamiento del conductor; sin embargo, en la realidad no sucede eso, en cada longitud de cola existe un distanciamiento vehículo – vehículo variable, incluso menores a 1.50 m. por tal motivo la longitud de cola de los valores observados es menor a los simulados Tabla 15.

Tabla 15. clasificación de vías según nivel de servicio - escenario 1

O - D	Ruta	Demora promedio		Dpi(%)	Nivel de servicio
		Observado	Simulado		
EL SOL (S-N)	11	34.85	35.40	1.58	D
EL SOL (N-S)	21	40.26	46.13	14.58	D
RICARDO PALMA (E-O)	31	23.93	25.61	7.02	C
RICARDO PALMA (O-E)	41	20.41	22.14	8.48	C

4.3. RESULTADOS DE SIMULACIÓN – ESCENARIO ACTUAL 2

Para el segundo escenario se ha considerado ambos carriles de la Av. El Sol en dirección norte - sur (sin considerar el aparcamiento de vehículos), los resultados de este análisis se muestran en la tabla 16, en donde en esta vía los resultados indican una menor longitud de cola con respecto a lo registrado en campo. La variación porcentual de los valores simulados respecto a los observados es de -25.70 % con una disminución de 21.95 m de longitud de cola, esta variación se debe a que en la representación real esta vía presenta dos carriles cada uno de 4.0 metros, sin embargo, en uno de los carriles siempre existen vehículos estacionados lo que explica que la longitud de cola medida en campo sea mayor a los resultados del modelo.

En los otros casos la longitud de cola representada por el modelo ha llevado un incremento con un máximo de 11.14 % en relación de los valores observados.

Tabla 16. Diferencia porcentual escenario 02

O - D	Ruta	Longitud de cola		Dpi(%)
		Observado	Simulado	
EL SOL (S-N)	11	54.30	55.50	2.21
EL SOL (N-S)	21	85.40	63.45	-25.70
RICARDO PALMA (E-O)	31	39.90	40.37	1.18
RICARDO PALMA (O-E)	41	18.40	20.45	11.14

Para la determinación de los niveles de servicio en cada una de las calles involucradas en el presente estudio, se ha realizado el análisis de la demora promedio por acceso. Los resultados indican que la demora promedio en la Av. El Sol en ambas direcciones se encuentra en el rango 35 – 55 segundos, que según el Manual de capacidad de carreteras (HCM 2000) esta vía presenta un nivel de servicio D.

Respecto al jiron Ricardo Palma la demora promedio simulada se encuentra en el rango de 20 – 35 seg. y le correspondería el nivel de servicio C según (HCM 2000).

Tabla 17. Clasificación de vías según el nivel de servicio – escenario 2

O - D	Ruta	Demora promedio		Dpi(%)	Nivel de servicio
		Observado	Simulado		
EL SOL (S-N)	11	34.85	35.06	0.60	D
EL SOL (N-S)	21	40.26	39.85	-1.02	D
RICARDO PALMA (E-O)	31	23.93	24.30	1.55	C
RICARDO PALMA (O-E)	41	20.41	21.87	7.15	C

4.4. PROPUESTA DE MEJORA

De acuerdo a los resultados obtenidos en el proceso de microsimulación de flujo vehicular en la intersección de la Av. El Sol con el Jr. Ricardo Palma, se ha podido determinar los niveles de servicio que presenta cada uno de los accesos a la intersección; para mejorar este indicador (NS) es necesario realizar algunas mejoras dentro de la intersección; una de ellas es la variación del ciclo semafórico de la intersección con la única finalidad de disminuir la demora que representa para el usuario una medida del tiempo perdido en el viaje, mayor consumo de combustible e incomodidad en el servicio. Por tanto, se presenta un nuevo ciclo semafórico para la implementación de mejoras en la intersección, los resultados obtenidos de este proceso se muestran en la siguiente figura.

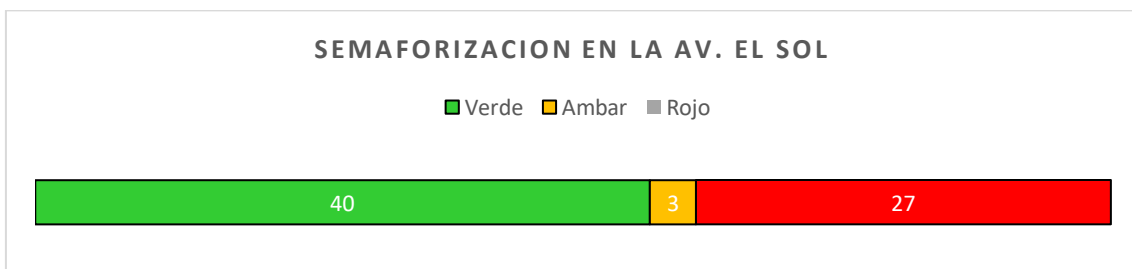


Figura 30. Ciclos semafóricos registrados en la intersección

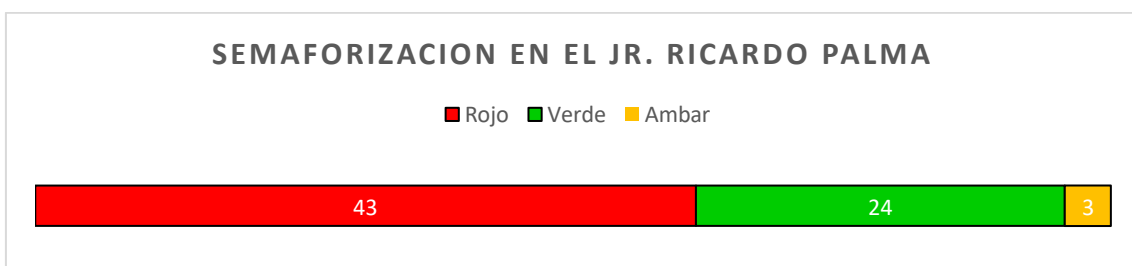


Figura 31. Ciclos semafóricos registrados en la intersección

Tabla 18. Tiempo de demora con nuevo ciclo semafórico

O - D	Ruta	Demora promedio		Dpi(%)	Nivel de servicio
		Observado	Simulado		
EL SOL (S-N)	11	34.85	28.30	-18.79	C
EL SOL (N-S)	21	40.26	34.50	-14.31	C
RICARDO PALMA (E-O)	31	23.93	19.76	-17.43	B
RICARDO PALMA (O-E)	41	20.41	17.83	-12.64	B

En la tabla 18 se aprecia los resultados de la demora promedio con el nuevo ciclo semafórico propuesto, en el cual se aprecia una disminución con respecto a la demora observada en campo. Así como también se puede apreciar el cambio en los niveles de servicio en las vías que componen la intersección.

Cabe resaltar que los datos observados tanto en la longitud de cola como en las demoras promedios están bastante influenciados por las características propias del conductor, características que no se han tomado en cuenta para este estudio.

4.5. ESCENARIO FUTURO

Para el análisis del escenario futuro, primeramente, se ha procedido a estimar el volumen de tránsito futuro para un periodo de 5 años; esta estimación se ha realizado por dos métodos:

4.5.1. Método A

El primer método a ser considerado es el propuesto en el Manual de Carreteras: Diseño Geométrico (DG-2018), en el que se establece una metodología para el estudio de la demanda de tránsito, mediante la siguiente relación:

$$P_f = P_o(1 + T_c)^n$$

Dónde:

Pf: tránsito final

Po: tránsito inicial (año base).

Tc: tasa de crecimiento anual por tipo de vehículo

n: año a estimarse

Debido a que en la intersección estudiada el flujo vehicular está representado en su mayoría por vehículos de pasajeros, se asume que la tasa de crecimiento anual T_c tendrá un crecimiento similar al crecimiento poblacional; por tanto este valor lo obtenemos del Compendio Estadístico Nacional 2020 del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2020).

$$T_c = T_{cp} = 1.1 \%$$

4.5.2. Método B

Según Cal, Reyes y Cárdenas (2007), los volúmenes del tránsito futuro se derivan a partir del tránsito actual y del incremento del tránsito esperado al final del periodo seleccionado, De acuerdo a esto, se plantea la siguiente expresión:

$$TF = TA + IT$$

Donde:

Para fines de mejoramiento de una carretera, el Transito Actual (TA), se compone del *Transito Existente* (TE) más el *Transito Atraído* (TAt), por consecuencia del mejoramiento de la vía. de esta manera el TA se expresa como:

$$TA = TE + TAt$$

Para estimar el transito atraído, es necesario conocer las condiciones locales Origen-Destino y el grado de atracción de tránsito que dependerá de la capacidad de la vía. En nuestro caso por ser una intersección en funcionamiento el TAt = 0.

El incremento de tránsito (IT), es el volumen total que usará la vía en el año futuro seleccionado y está dado por:

$$IT = CNT + TG + TD$$

Dónde:

CNT: Crecimiento Normal de Tránsito.

TG: Transito Generado.

TD: Transito Desarrollado

Por lo tanto:

$$TF = (TE + TAt) + (CNT + TG + TD)$$

Para el análisis de nuestra intersección los valores para las variables TAt, TG, y TD, son cero "0", debido a que la intersección analizada es un sistema existente y se encuentra en funcionamiento actual; por lo tanto, el TF se determinara mediante la siguiente relación:

$$TF = FP * TA$$

Donde: FP, es el *Factor de Proyección*, que será determinado mediante la proyección del crecimiento del parque automotor en la ciudad de Puno. La tabla 19 muestra el registro del parque automotor en circulación periodo 2010 – 2019.

Tabla 19. Parque automotor en circulación 2010 - 2019, Dep. de Puno

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Vehículos en circulación	34 169	37 074	40 543	43 477	45 056	46 200	47 696	49 387	51 041	52 689

Fuente: INEI (2020).

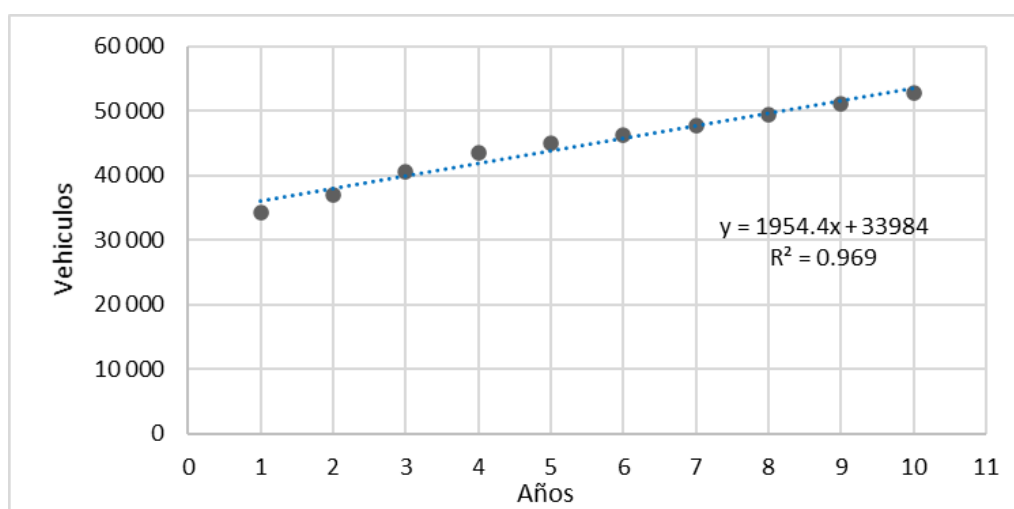


Figura 32. Crecimiento del parque automotor - Puno.

Mediante el análisis de regresión lineal obtenemos la relación del crecimiento del parque automotor en el departamento de Puno, y procedemos a realizar la proyección del parque automotor para un periodo de 5 años (año 2026). Así como también determinamos el *Factor de Proyección* para cada año en estudio, ver tabla 20.

Tabla 20. Proyección del parque automotor al 2026.

	Año	Vehículos registrados	Vehículos proyectados	Factor de Proyección anual
1	2010	34 169	35939	
2	2011	37 074	37893	1.05
3	2012	40 543	39848	1.05
4	2013	43 477	41802	1.05
5	2014	45 056	43756	1.05
6	2015	46 200	45711	1.04
7	2016	47 696	47665	1.04
8	2017	49 387	49620	1.04
9	2018	51 041	51574	1.04
10	2019	52 689	53528	1.04
11	2020	-	55483	1.04
12	2021	-	57437	1.04
13	2022	-	59392	1.03
14	2023	-	61346	1.03
15	2024	-	63300	1.03
16	2025	-	65255	1.03
17	2026	-	67209	1.03

De acuerdo a los resultados en la tabla 20. El *Factor de Proyección* determinado para el año 2026 es $FP = 1.17$.

$$FP = 1.17$$

La tabla 21 muestra los resultados de la proyección del crecimiento del tráfico al año 2026 por ambos métodos. Según los resultados, el método B es el que muestra un escenario con mayor crecimiento vehicular, por lo que para fines de la simulación se utilizara los resultados de este método.

Tabla 21. Proyección de parque automotor al año 2026 - Puno

O - D	Ruta	Trafico actual		Trafico Futuro (2026)			
		(2021)		Método A		Método B	
		Total	Ruta	Total	Ruta	Total	Ruta
EL SOL (S-N)	11		729		770		853
	12	947	84	1001	89	1109	99
	13		134		142		157
EL SOL (N-S)	21		1113		1176		1303
	22	1320	60	1396	64	1546	71
	23		147		156		172
RICARDO	31		266		281		312
PALMA (E-O)	32	504	145	534	154	591	170
	33		93		99		109
RICARDO	41		205		217		240
PALMA (O-E)	42	385	109	408	116	452	128
	43		71		75		84

La tabla 22 muestra los resultados producto de la simulación del escenario futuro con una proyección de 5 años (año 2026).

Tabla 22. Resultados de simulación - escenario futuro

O - D	Ruta	Longitud de cola		Dpi (%)	Nivel de Servicio
		Observado	Es. Futuro		
EL SOL (S-N)	11	54.30	79.50	46.41	D
EL SOL (N-S)	21	85.40	118.80	39.11	E
RICARDO PALMA (E-O)	31	39.90	53.65	34.46	C
RICARDO PALMA (O-E)	41	18.40	29.50	60.33	C

Los resultados indican que, para el escenario futuro, las longitudes de cola aumentan significativamente entre un 39.11 – 46.41 % para la avenida el Sol y entre 34.46 – 60.33% para el jirón Ricardo Palma; de acuerdo a estos resultados, podríamos afirmar que dentro de un mediano plazo esta intersección llegaría a colapsar por el incremento continuo del parque vehicular específicamente los autos y mototaxis que en los últimos 05 años han tenido un incremento acelerado.

CAPÍTULO V

V. DISCUSIÓN

Según nuestros resultados la microsimulación de flujo vehicular ha contribuido a reducir el congestionamiento de la intersección de la avenida El Sol con el jirón Ricardo Palma de la ciudad de Puno, la aplicación de estos modelos en la vida real podría desempeñar un rol muy importante y significativo no solo en el ordenamiento del sistema de transporte, sino más bien en la inclusión de nuevos sistemas de transporte y/o dar el soporte técnico al plan de movilidad urbana sostenible de la ciudad Puno, (PMUS. 2019), que está siendo impulsado por el gobierno local.

Para la calibración del modelo de simulación del flujo vehicular solo se ha considerado el tiempo de viaje como indicador principal; sin embargo, según el HCM 2000 recomienda calibrar también las características propias del conductor, lo que conlleva a un ajuste más real del modelo de simulación.

El nivel de servicio actual que presentan las vías de acceso que conforman la intersección de la avenida El Sol con el la calle Ricardo Palma se encuentran por debajo de lo recomendado en HCM 2000, esto se debe principalmente al estacionamiento indebido de vehículos en las calles, situación que se genera por la falta de estacionamientos y malos hábitos propios de los conductores.

Otro factor que contribuye a la generación de congestionamiento es la falta de sincronización de los semáforos en la ciudad, en este estudio en particular se ha realizado una variación del ciclo semaforico que ha dado buenos resultados para el flujo vehicular actual; sin embargo, no se ha hecho un análisis a nivel meso para ver las posibles influencias en las intersecciones colindantes.

Para la proyección del trafico futuro se ha empleado dos métodos; el primer método citado en el Manual de Carreteras DG- (2018); el segundo método citado en el libro Ingeniería de Transito Fundamentos y aplicaciones de (Cal, Reyes y Cárdenas, 2007); en ambas literaturas indica que la tasa de crecimiento y/o el incremento de transito depende de varios factores como crecimiento de la población, crecimiento de la economía (PBI), Inversión en infraestructura, etc. Sin embargo, según Valeriano (2016), demuestra que en la región Puno el crecimiento del parque automotor tiene una relación directa con el crecimiento de la población, y no con

las demás variables; es por eso que en la presente investigación solo se han considerado el crecimiento de la población para el primer método y el crecimiento del parque automotor para el segundo método.

Se ha desarrollado con éxito el modelo de simulación, los resultados obtenidos son concordantes con la literatura científica revisada; sin embargo este estudio abre las posibilidades de realizar cambios significativos en el sistema de transporte local como la implementación sistemas masivos de transporte y un sistema de control de tránsito en donde se dé prioridad al peatón; así mismo abre también la posibilidad de crear el sistema de transporte sostenible y evaluar el funcionamiento en ciudades como Puno.

CAPÍTULO VI

VI. CONCLUSIONES

Se ha realizado el análisis y la evaluación de las condiciones de tránsito actual en la intersección de la avenida El Sol con el jirón Ricardo Palma, el mismo que se ha catalogado con un nivel de servicio bajo, lo que indica que es una vía notablemente restringida con incidentes importantes que generan cola, esto se debe al alto flujo vehicular que circula en la Av. El Sol. El proceso de simulación se ha realizado en la plataforma de PTV VISSIM.

La toma de datos se realizó durante 06 días calendarios y en el horario de 07:00 am hasta las 08:00pm, con la única finalidad de identificar el día y los horarios en cual se presenta el congestionamiento de la vía; este trabajo dio como resultado la identificación de tres periodos diferentes (1 hora), en el que se presenta la generación de congestionamiento, los cuales han sido utilizados para la calibración y validación del modelo.

El proceso de calibración del modelo de micro simulación de flujo vehicular se realizó modificando los parámetros de Wideman 74, hasta que el modelo logre representar lo más realista posible el flujo vehicular, este objetivo se alcanzó realizando un total de 20 intentos, y tomando en consideración la distancia promedio deseada entre vehículos detenidos (ax), que por el estilo de manejo de la ciudad de Puno este parámetro oscila entre 1.20 a 2.00 m. de distancia. Por tal motivo se tomo los valores del intento 9 para los parámetros de wideman ($ax = 1.5$, $bx_add = 5$, $bx_mult = 2$); con estos valores se logro representar el tiempo recorrido promedio registrado en campo (5.16 seg), para una distancia de 35.00 metros.

El proceso de validación del modelo de microsimulación, se realizó con los parámetros de Wideman ya calibrados pero para otro grupo de valores de flujo vehicular; para la validación de los resultados de este proceso el tiempo de recorrido obtenido en la simulación se ha sometido a la prueba de hipótesis nula mediante el test de Randomization Test for a Difference in Means, el cual nos ha permitido corroborar que los valores obtenidos del modelo etapa de validación se aceptan bajo un 95% de confiabilidad.

Los resultados del modelo de microsimulación una vez calibrado y validado, nos ha permitido determinar la longitud de cola por cada acceso a la intersección (tabla 14); así mismo al comparar estos resultados con los datos registrados en campo se puede observar que en la avenida el sol con flujo en dirección de norte a sur, la longitud de cola simulada disminuye en un 25.70 % respecto a la longitud de cola registrada en campo; esta disminución se debe a que en el modelo de simulación la vía se ha representado con los datos geométricos reales pero sin considerar el aparcamiento indebido de algunos vehículos en uno de los carriles de esta vía. Este problema es muy común y frecuente poder visualizar en ciudades pequeñas y en la mayoría de las calles, debido a que su crecimiento y extensión no han sido planificadas y no existe áreas de estacionamiento.

Así también los resultados nos han permitido determinar la demora promedio por cada acceso a la intersección, este parámetro es un indicativo del nivel de servicio de la vía que representa para el usuario una media del tiempo perdido en el viaje, mayor consumo de combustible e insatisfacción en el servicio. Los valores obtenidos para la demora promedio según el Highway Capacity Manual 2010 indican que estas vías tienen un nivel de servicio de C y D niveles debajo de lo recomendado en el manual, por lo que es necesario tomar algunas medidas para incrementar el nivel de servicio de estas vías.

Para el mejoramiento del nivel de servicio de las vías que componen la intersección de la avenida El Sol con el jirón Ricardo Palma, se ha optado en la presente investigación plantear un nuevo ciclo semafórico en función de los datos observados en campo, específicamente en la avenida El Sol con el flujo en dirección de norte a sur debido a que en esta vía la longitud de cola generada por el ciclo semafórico actual tiende a llegar hasta el Ovalo Ramon Castilla generando una gran congestión en el ovalo. Por tal motivo se ha planteado reducir el ciclo semafórico de 80 seg a 70 seg. distribuidos según indican las figuras 28 y 29. Los resultados de la micro simulación del flujo vehicular con este nuevo ciclo semafórico han sido óptimos ya que se ha logrado reducir en todos los accesos la demora promedio y por ende hubo una ligera mejora en los niveles de servicio de las vías de acceso en la intersección tabla 18.

El análisis de escenario futuro se ha realizado con una proyección del flujo vehicular para el año 2026; los resultados de esta simulación respecto a los datos observados presentan un aumento significativo en la longitud de cola y en la demora promedio, lo que genera la saturación de la vía principalmente de la av. El Sol.

Los resultados de la simulación permiten concluir que el modelo de microsimulación de flujo vehicular, describe con buena precisión el flujo observado, representando con gran ajuste los parámetros como longitud de cola, demora promedio y el nivel de servicio de la vía. por tanto, podemos afirmar que se ha desarrollado con éxito el modelo de micro simulación en el software PTV VISSIM, para las condiciones actuales, aplicando muy bien los conceptos de la ingeniería de tránsito, que involucra factores como diseño geométrico de la vía, señalizaciones y semaforizaciones, planificación vial, etc.

CAPÍTULO VII

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con la investigación considerando más intersecciones semaforizadas y así tener un panorama más amplio del funcionamiento del tránsito actual, lo que nos permitiría adoptar nuevas medidas de solución al tráfico así como la redistribución de rutas, sistema de sincronización semafórica, inclusión de transporte masivo y otros así como también recomendamos realizar un trabajo a nivel de toda la ciudad para el ordenamiento del transporte y ubicar estratégicamente la construcción de estacionamiento, que es uno de los principales problemas que aquejan a ciudades en desarrollo como la ciudad de Puno.

Se recomienda también a instituciones como el gobierno regional y/o local para instalar cámaras de video en las intersecciones donde se genera mayor flujo vehicular, para de esta manera poder registrar a más detalle el comportamiento del vehículo y la interacción entre un par de vehículos, características propias que se deben adecuar en el modelo.

También recomendamos a las instituciones y/o universidades incentivar la realización de más investigaciones de esta naturaleza para realizar una adecuada planificación vial y ordenamiento del sistema de transporte, debido a que los modelos de simulación de tránsito permiten evaluar posibles modificaciones a las vías, configuraciones alternativas de señalización y la construcción de nuevas vías todo ello enlazado en un sistema cuyo funcionamiento debe dar comodidad de viaje al usuario.

En ese contexto también recomendamos para futuras investigaciones incluir en los modelos una propuesta de mejora mediante la inclusión de sistemas de transporte inteligentes con una visión de modernizar el medio urbano.

CAPÍTULO VIII

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AAP, 2019. AAP: Los efectos de un parque automotor escaso y antiguo | Asociación Automotriz del Perú. <https://aap.org.pe> [en línea]. [Consulta: 4 septiembre 2021]. Disponible en: <https://aap.org.pe/aap-los-efectos-de-un-parque-automotor-escaso-y-antiguo-2/>.
- AGOSTA, R., GONZALEZ, R., SUPPO, M. y CILLO, P., 2014. Verificación de la curva volumen-velocidad en autopistas utilizando un modelo de microsimulación de tránsito. *XV Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito* [en línea], pp. 1-19. Disponible en: <https://www.acyaglobal.com/wp/wp-content/uploads/2019/01/16.pdf>.
- ALCALÁ, M., 2016. *Micro simulación del tráfico de la intersección de las avenidas Bolívar, Córdoba y calle Andalucía empleando el Software VISSIM 6* [en línea]. S.I.: Pontificia Universidad Católica del Perú. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6856>.
- ALEXIADIS, V., JEANNOTTE, K. y CHANDRA, A., 2004. *Traffic Analysis Toolbox Volume I: Traffic Analysis Tools Primer*. Washington, DC: Federal Highway Administration. ISBN FHWA-HRT-04-038.
- CAL, R., REYES, M. y CÁRDENAS, J., 2007. *Ingeniería Tránsito Fundamentos y Aplicaciones okok.pdf*. Octava Edición. México: ALFAOMEGA. ISBN 970-15-1238-3.
- DELGADO, J., SAAVEDRA, P. y VELASCO, R., 2011. *Modelación de problemas de flujo vehicular* [en línea]. Universidad. Iztapalapa, México: s.n. Disponible en: <http://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/1/832/836/4956.pdf>.
- DOWLING, R., SKABARDONIS, A. y ALEXIADIS, V., 2004. *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software*. Washington, DC: Federal Highway Administration. ISBN FHWA-HRT-04-040.
- FELLENDORF, M. y VORTISCH, P., 2001a. Integrated modeling of transport demand, route choice, traffic flow and traffic emissions. *Proceedings of TRB* [en línea], no. January 2001, pp. 1-12. Disponible en:

[http://cgi.ptv.de/download/traffic/library/2000 TRB VISSIM route choice.pdf](http://cgi.ptv.de/download/traffic/library/2000%20TRB%20VISSIM%20route%20choice.pdf).

FELLENDORF, M. y VORTISCH, P., 2001b. Validation of the Microscopic Traffic Flow Model VISSIM in Different Real-World Situations. *Transportation Research Board 80th Annual Meeting* [en línea], no. January 2001, pp. 1-9. Disponible en: <http://trid.trb.org/view.aspx?id=689890>.

GAUTHIER, L., SAUNIER, N., LE DIGABEL, S. y CAO, G., 2016. Calibration of Driving Behavior Models using Derivative-Free Optimization and Video Data for Montreal Highways. *Transportation Research Board, 95th Annual Meeting* [en línea], pp. 15p. Disponible en: <https://trid.trb.org/view/1393128>.

GIPPS, P.G., 1986. A model for the structure of lane-changing decisions. *Transportation Research Part B: Methodological* [en línea], vol. 20, no. 5, pp. 403-414. ISSN 01912615. DOI 10.1016/0191-2615(86)90012-3. Disponible en: <https://ideas.repec.org/a/eee/transb/v20y1986i5p403-414.html>.

GOMES, G., MAY, A. y HOROWITZ, R., 2004. Calibration of VISSIM for a Congested Freeway California PATH Research Report. [en línea]. California: Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/46439394_Calibration_of_VISSIM_for_a_Congested_Freeway.

HOOGENDOORN, S.P. y BOVY, P.H.L., 2001. State-of-the-art of vehicular traffic flow modelling. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, vol. 215, no. 4, pp. 283-303. ISSN 09596518. DOI 10.1243/0959651011541120.

INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS, 2009. *Traffic Engineering Handbook*. 6TH EDITIO. Washington. DC Estados Unidos: Institute of Transportation Engineers (ITE). ISBN 978-1-933452-34-0.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA E INFORMATICA, 2020. COMPENDIO ESTADISTICO 2020. *Sistema Estadístico Nacional* [en línea]. [Consulta: 12 septiembre 2021]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1758/COMPENDIO2020.html.

- IŠTOKA OTKOVIĆ, I., TOLLAZZI, T. y ŠRAML, M., 2013. Calibration of microsimulation traffic model using neural network approach. *Expert Systems with Applications*, vol. 40, no. 15, pp. 5965-5974. ISSN 09574174. DOI 10.1016/j.eswa.2013.05.003.
- KERNER, B., 2009. *Introduction to Modern Traffic Flow Theory and Control*. Stuttgart, Alemania: Springer. ISBN 9783642026041.
- LAPA, 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*. [en línea]. S.l.: Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga. Disponible en: [http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/1738/Tesis SIS32_Bor.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsch.edu.pe/bitstream/handle/UNSCH/1738/Tesis_SIS32_Bor.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- LOS ANDES, 2014. Parque automotor en evidente colapso en Puno y Juliaca » Sociedad | Diario Los Andes » Noticias Puno Perú. <http://www.losandes.com.pe> [en línea]. [Consulta: 4 septiembre 2021]. Disponible en: <http://www.losandes.com.pe/oweb/Sociedad/20140120/77899.html>.
- MARTÍNEZ, M.P., GARCIA, A. y MORENO, A.T., 2011. Traffic microsimulation study to evaluate freeway exit ramps capacity. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* [en línea], vol. 16, pp. 139-150. ISSN 18770428. DOI 10.1016/j.sbspro.2011.04.437. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.04.437>.
- MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES, 2018. *Manual De Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018* [en línea]. Lima: s.n. Disponible en: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf.
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2018. *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. 2018. S.l.: s.n. ISBN 9788578110796.
- MORENO, B., 2016. Estudio de tránsito: impactos, resultados y herramientas -

- EADIC - Cursos y Master para Ingenieros y Arquitectos. <https://www.eadic.com> [en línea]. [Consulta: 4 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.eadic.com/estudio-de-transito-impactos-resultados-y-herramientas/>.
- ORTÚZAR, J. y WILLUMSEN, L., 2008. *Modelos de Transporte*. Publican E. España: PEDRO CID. ISBN 9788481025125.
- OSEI, K.K., ADAMS, C.A., ACKAAH, W. y OLIVER-COMMEY, Y., 2021. Signalization options to improve capacity and delay at roundabouts through microsimulation approach: A case study on arterial roadways in Ghana. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)* [en línea], vol. 8, no. 1, pp. 70-82. ISSN 20957564. DOI 10.1016/j.jtte.2019.06.003. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2019.06.003>.
- PAPAGEORGIU, M., DIAKAKI, C., DINOPOULOU, V., KOTSIALOS, A. y WANG, Y., 2007. Review of road traffic control strategies. *IEEE/ACM Transactions on Networking* [en línea], vol. 91, no. 12, pp. 2043-2067. ISSN 10636692. DOI 10.1109/TNET.2007.899067. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1109/JPROC.2003.819610>.
- POSADA, C., 2018. Aumento Continuo Del Parque Automotor, Un Problema Que Urge Solucionar. *La Cámara* [en línea], pp. 24-26. Disponible en: https://www.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/r816_3/comercio exterior.pdf.
- PTV, 2018. *PTV VISSIM 11 USER MANUAL*. Karlsruhe, Germany: s.n.
- RACERO, J., CANCA, J., SANCHEZ, J., JIMENEZ, F. y MUÑUZURI, J., 2001. Modelo de cambio de carril para un simulador microscópico de tráfico urbano. *IV Congreso de ...* [en línea], pp. 8. Disponible en: <http://www.adingor.es/congresos/web/articulo/detalle/a/1577>.
- ROCA, V., 2010. APLICACIÓN DE MODELOS DE MICROSIMULACIÓN EN LA INGENIERÍA DEL TRÁNSITO – Revista Vial. <http://revistavial.com> [en línea]. [Consulta: 4 septiembre 2021]. Disponible en: <http://revistavial.com/aplicacion-de-modelos-de-microsimulacion-en-la-ingenieria-del-transito-25993/>.

- SALAZAR, C., 2018. *Análisis por micro simulación de la intersección entre la Av. Brasil y el Jr. General Borgoño empleando VISSIM 8* [en línea]. S.I.: Pontificia Universidad Católica del Perú. Disponible en: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/12617>.
- SALGADO, D., JOLOVIC, D., MARTIN, P.T. y ALDRETE, R.M., 2016. Traffic Microsimulation Models Assessment - A Case Study of International Land Port of Entry. *Procedia Computer Science* [en línea], vol. 83, no. Ant, pp. 441-448. ISSN 18770509. DOI 10.1016/j.procs.2016.04.207. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2016.04.207>.
- SANCHEZ, L., 2020. *Evaluación y mejora de tres intersecciones de la avenida Canadá utilizando herramienta de microsimulación de tráfico* [en línea]. S.I.: Universidad San Ignacio De Loyola. Disponible en: <http://repositorio.usil.edu.pe/handle/USIL/9221>.
- SINIA, 2016. Indicador: Vehículos por cada mil habitantes | SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe> [en línea]. [Consulta: 4 septiembre 2021]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/indicador/966>.
- TRB, 2000. *Highway capacity manual*. United States of America: Transportation Research Board. ISBN 0309066816; 0309067464.
- VALERIANO, R., 2016. *Factores que determinan el incremento del parque automotor de la ciudad de Juliaca periodos 2000- 2016* [en línea]. S.I.: Universidad Nacional del Altiplano. Disponible en: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/11767>.
- VDOT, 2020. *VDOT Vissim User Guide*. S.I.: s.n.
- WIEDEMANN, R., 1974. Traffic flow simulation. *Schriftenreihe des instituts fur verkehrswesen*,
- WIERING, M., VEENEN, J., VREEKEN, J. y KOOPMAN, A., 2004. Intelligent Traffic Light Control. *Institute of Information and Computing Sciences* [en línea], vol. 16, no. 6, pp. 775-776. ISSN 0929693X. DOI 10.1016/S0929-693X(09)74148-X. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/2942266_Intelligent_Traffic_Light_Control.