

Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo

Facultad de Ingeniería Civil

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**~~MODELO DE MICROSIMULACIÓN DE TRÁFICO PARA
LA REDUCCIÓN DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR EN
UNA INTERSECCIÓN URBANA~~**

AUTOR

RICARDO CRISTOPHER TÁMARA CANO

ORCID: 0000-0001-9343-1835

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

ASESOR

Mtro. OSCAR FREDY ALVA VILLACORTA

ORCID: 0000-0003-4085-7378

**LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN
ENERGÍA RENOVABLE E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA
INGENIERÍA DE TRANSPORTES**

**HUARAZ – PERÚ
2023**





**UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



REGISTRO	
LIBRO	FOLIO
01	321

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 317

En la ciudad de Huaraz, al (a los) día (s) del mes de

del , siendo las : horas, se reunieron el

Jurado Evaluador integrado por:

PRESIDENTE :
 PRIMER MIEMBRO :
 SEGUNDO MIEMBRO :

Para proceder al Acto de Sustentación para optar el Título Profesional de INGENIERO(A) CIVIL, bajo la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional, del (de la) Bachiller

(de la Tesis) - (del Trabajo de suficiencia profesional) titulada:

"MODELO DE MICROSIMULACIÓN DE TRÁFICO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR EN UNA INTERSECCIÓN URBANA".

desarrollada bajo el asesoramiento de:

ASESOR :
 CO - ASESOR :

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil; se procedió a recepcionar la exposición del aspirante; luego de las interrogantes, objeciones y aclaraciones y su absolución, el Jurado Evaluador determinó la calificación de:

Siendo las : horas del mismo día, se dio por concluido el Acto de Sustentación, firmando la presente por triplicado, en señal de conformidad.

PRESIDENTE

Dr. JOAQUÍN SAMUEL TÁMARA RODRÍGUEZ

PRIMER MIEMBRO

Mag. LUIS TEODOSIO JAVIER CABANA

SEGUNDO MIEMBRO

Mag. CARLA GRISELLE POMA GONZÁLEZ

ASESOR

Mag. OSCAR FREDY ALVA VILLACORTA

CO - ASESOR

SUSTENTANTE

RICARDO CRISTOPHER TÁMARA CANO





UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO"
"Unasam Generando Conocimiento y Progreso"
UNIDAD DE INVESTIGACION DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Ciudad Universitaria de Shancayán – Teléfono (043) 640020 anexo 1602



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Constancia de Similitud N° CS-006-2024/UI-FIC

Huaraz, 12 de Abril del 2024.

CERTIFICADO DE SIMILITUD

El que suscribe, Jefe de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNASAM, deja constancia que la tesis titulada "MODELO DE MICROSIMULACIÓN DE TRÁFICO PARA LA REDUCCIÓN DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR EN UNA INTERSECCIÓN URBANA" desarrollada por **TÁMARA CANO RICARDO CRISTOPHER** identificado con código 121.0904.423, que será sustentada el 25 de Abril del 2024, cuenta con **12%** de similitud según el informe de originalidad¹ y reporte de similitud² de fecha 10 de Abril del 2024 elaborado por su Asesor de Tesis **Mag. Ing. OSCAR FREDY ALVA VILLACORTA**.

Se emite este documento como requisito para presentar y sustentar la tesis, según lo establecido por el Art. 7.e del Reglamento de Originalidad y/o Grado de Similitud de la Producción Académica, Científica e Investigativa en la UNASAM³.

Asimismo, se expide la presente, a solicitud de la tesista para que se continúe el trámite correspondiente.

Atentamente,



Cc.

Archivo digital
RADB/JUI-FIC

¹ Anexo N° 01/02. Informe de originalidad.

² Anexo N° 02/02. Reporte de similitud.

³ Aprobada por RCU-R N° 126-2022-UNASAM del 25 feb 2022.



Anexo de la R.C.U N° 126 -2022 -UNASAM
ANEXO 1
INFORME DE SIMILITUD.

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

Modelo de microsimulación de tráfico para la reducción de la congestión vehicular en una intersección urbana

Presentado por: **Támara Cano Ricardo Cristopher**

con DNI N°: **46927310**

para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Informo que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11 ° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de :**12%**..... de similitud.

Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pre grado (Art. 11, inc. 1).

Porcentaje		Evaluación y acciones	Seleccione donde corresponda <input type="radio"/>
Trabajos de estudiantes	Tesis de pregrado		
Del 1 al 30%	Del 1 al 25%	Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso.	<input checked="" type="radio"/>
Del 31 al 50%	Del 26 al 50%	Se debe devolver al estudiante o egresado para las correcciones con las sugerencias que amerita y que se presente nuevamente el trabajo.	<input type="radio"/>
Mayores a 51%	Mayores a 51%	El docente o asesor que es el responsable de la revisión del documento emite un informe y el autor recibe una observación en un primer momento y si persistiese el trabajo es invalidado.	<input type="radio"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor/ Jefe de Grados y Títulos de la EPG UNASAM/ Director o Editor responsable, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz, **10/05/2024**

Apellidos y Nombres:



FIRMA

Alva Villacorta Oscar Fredy

DNI N°:

31633343

Se adjunta:

1. Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

BORRADOR DE TESIS

AUTOR

RICARDO CRISTOPHER TAMARA CANO

RECUENTO DE PALABRAS

33930 Words

RECUENTO DE CARACTERES

173512 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

182 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

8.3MB

FECHA DE ENTREGA

Apr 10, 2024 1:13 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Apr 10, 2024 1:16 PM GMT-5

● 12% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 6% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Fuentes excluidas manualmente

DEDICATORIA

A mi madre, mi padre y mi hermano por ser un sólido respaldo en mi vida, que han sabido inculcarme buenos sentimientos, hábitos y valores, brindándome el apoyo necesario para alcanzar mis metas y seguir luchando por ellas. Mi gratitud a mi compañera de vida por su apoyo y amor incondicional, que ahora lleva dentro de ella a nuestra hija, que representa la promesa de un futuro lleno de dicha. A mi abuelo Mamerto, a pesar de la ausencia física, su espíritu y amor continúan guiándome en cada paso de mi camino.

A mis tíos, tías y seres queridos por sus valiosos consejos, confianza, compañía y apoyo constante, que siempre me han alentado a seguir adelante en la búsqueda de mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo” por las enseñanzas, experiencias y valores que me han ayudado a mejorar profesionalmente.

Expresar mi gratitud al Mtro. Ing. Oscar Fredy Alva Villacorta por su paciencia, tiempo y ayuda durante el desarrollo de la presente investigación.



ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
Resumen	XIII
Abstract	XIV
Introducción	1
I. Planteamiento de la investigación	2
1.1. Descripción del problema	2
1.2. Formulación del Problema	5
1.2.1. <i>Problema General</i>	5
1.2.2. <i>Problemas Específicos</i>	5
1.3. Importancia y justificación de la investigación	5
1.4. Delimitaciones de estudio	6
1.5. Objetivos	7
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	7
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	7
II. Marco teórico	8
2.1. Antecedentes de la investigación	8
2.1.1. <i>Antecedentes internacionales</i>	8
2.1.2. <i>Antecedentes nacionales</i>	11
2.1.3. <i>Antecedente local</i>	15
2.2. Bases teóricas	16
2.2.1. <i>Congestión vehicular</i>	16
2.2.2. <i>Estudio de Tráfico</i>	18
2.2.3. <i>Modelos de simulación de tráfico</i>	24

2.2.4. <i>Microsimulación de tráfico</i>	27
2.2.5. <i>Software PTV Vissim</i>	36
2.2.6. <i>Intersecciones</i>	42
2.3. Definición de términos	43
2.4. Hipótesis	45
2.4.1. <i>Hipótesis general</i>	45
2.4.2. <i>Hipótesis específicas</i>	45
2.5. Variables	45
2.5.1. <i>Operacionalización de Variables</i>	46
III. Metodología	47
3.1. Tipo de investigación.....	47
3.1.1. <i>Método</i>	47
3.1.2. <i>Orientación</i>	47
3.1.3. <i>Por el enfoque</i>	47
3.1.4. <i>Por el nivel</i>	47
3.1.5. <i>Diseño de investigación</i>	47
3.2. Población y muestra.....	48
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	48
3.3.1. <i>Recolección de datos de campo</i>	48
3.4. Descripción y procedimiento de análisis	59
3.4.1. <i>Descripción del desarrollo del proyecto</i>	59
3.4.2. <i>Procesamiento de los datos de campo</i>	63
IV. Resultados	69
4.1. Resultados.....	69
4.1.1. <i>Construcción, calibración y validación del modelo</i>	69
4.1.2. <i>Parámetros de eficiencia en el modelo</i>	86
4.1.3. <i>Propuestas de solución</i>	90

4.2.	Análisis de resultados	106
4.2.1.	<i>Análisis de la construcción, calibración y validación del modelo</i>	106
4.2.2.	<i>Análisis de los parámetros de eficiencia en el modelo</i>	108
4.2.3.	<i>Análisis de las propuestas de solución</i>	109
4.3.	Contrastación de la hipótesis	119
V.	Conclusiones – Recomendaciones	121
5.1.	Conclusiones	121
5.2.	Recomendaciones	123
VI.	Referencias bibliográficas	124
ANEXOS	132

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Fases y diagrama en una intersección con semáforos.....	23
Figura 2 Modelos de simulación de tráfico.	24
Figura 3 Niveles de detalle de simulación del tráfico	27
Figura 4 Fases del modelo de Wiedemann.....	35
Figura 5 Giros y movimientos en una intersección.....	38
Figura 6 Intersecciones señalizadas.	40
Figura 7 Vista satelital de la intersección en estudio.	49
Figura 8 Fases de movimiento de los vehículos en la intersección.....	50
Figura 9 Agrietamientos transversales, longitudinales y en esquinas.....	51
Figura 10 Fracturas en juntas y esquinas.....	51
Figura 11 Desgaste del pavimento en la intersección.	51
Figura 12 Deterioro de líneas de carril y cruce peatonal.....	52
Figura 13 Desgaste de flechas direccionales y de giro.....	53
Figura 14 Deterioro de pintura de restricción de estacionamiento y de veredas.....	53
Figura 15 Semáforos de la intersección.	54
Figura 16 Equipos para la recolección de datos de campo.....	56
Figura 17 Distribución de las longitudes de cola.	57

Figura 18 Ubicación de semáforos.....	59
Figura 19 Metodología propuesta para el desarrollo del proyecto.....	62
Figura 20 Ubicación de los equipos de filmación.....	63
Figura 21 Flujograma para la calibración: Av. Centenario (Norte), sentido N-S.....	65
Figura 22 Lugares asignados para el aforo peatonal.....	67
Figura 23 Tiempos de fase de los semáforos en la intersección.....	68
Figura 24 Background.....	69
Figura 25 Creación de los carriles en el modelo de la intersección.....	70
Figura 26 Composición vehicular de la Av. Centenario (Norte).....	71
Figura 27 Composición vehicular en la intersección.....	72
Figura 28 Asignación de rutas de decisión para la Av. Centenario (Norte).....	73
Figura 29 Programación de los tiempos de los semáforos.....	74
Figura 30 Áreas de conflicto mitigadas en la intersección.....	75
Figura 31 Tramo seleccionado para el registro del tiempo de viaje.....	76
Figura 32 Prueba de hipótesis nula para la calibración del modelo.....	82
Figura 33 Flujograma para la validación: Av. Centenario (Norte), sentido N-S.....	83
Figura 34 Prueba de hipótesis nula para la validación del modelo.....	86
Figura 35 Gráfico de las longitudes de cola inicial en la intersección.....	87

Figura 36 Ubicación de semáforos peatonales sugeridos en la intersección.....	91
Figura 37 Ciclo y fase de los semáforos (propuesta 01).	92
Figura 38 Ubicación de semáforos adicionales (propuesta 02).....	96
Figura 39 Ciclo y fase de los semáforos (propuesta 02).	96
Figura 40 Gráfico de evaluación de longitud de cola – Av. Centenario (Norte) (propuesta 01).....	101
Figura 41 Gráfico de evaluación de longitud de cola – Av. Centenario (Sur) (propuesta 01).	102
Figura 42 Gráfico de evaluación de la velocidad promedio de viaje (propuesta 01).	102
Figura 43 Gráfico de evaluación de la demora promedio de viaje (propuesta 01).....	103
Figura 44 Gráfico de evaluación de longitud de cola – Av. Centenario (Norte) (propuesta 02).....	104
Figura 45 Gráfico de evaluación de longitud de cola – Av. Centenario (Sur) (propuesta 02).	105
Figura 46 Gráfico de evaluación de la velocidad promedio de viaje (propuesta 02).	105
Figura 47 Gráfico de evaluación de la demora promedio de viaje (propuesta 02).....	106
Figura 48 Composición vehicular de la situación actual de la intersección en el modelo.	107
Figura 49 Volumen de vehículos de la situación actual de la intersección en el modelo.	108

Figura 50 Diagrama de fases del semáforo (propuesta 01).	110
Figura 51 Comparación de longitudes de colas (propuesta 01).	112
Figura 52 Diagrama de fases del semáforo (propuesta 02).	115
Figura 53 Comparación de longitudes de colas (propuesta 02).	117

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Definición de los parámetros del modelo Wiedemann 74.....	41
Tabla 2 Matriz de operacionalización de variables.	46
Tabla 3 Técnica e instrumentos de investigación.....	48
Tabla 4 Registro de señalización horizontal.....	52
Tabla 5 Registro de datos para el aforo vehicular.	57
Tabla 6 Registro de datos para el aforo peatonal.....	58
Tabla 7 Registro de las longitudes de cola.	64
Tabla 8 Distribución de aforo vehicular de la intersección Norte-Sur.	66
Tabla 9 Distribución de aforo vehicular de la intersección Norte-Este.....	66
Tabla 10 Distribución de aforo vehicular de la intersección Norte-Oeste.....	66
Tabla 11 Resumen de la distribución de aforo peatonal.....	67
Tabla 12 Registro de tiempo de viaje de vehículos para la calibración.....	77
Tabla 13 Iteración de parámetros de Wiedemann 74 y resultados para la calibración.....	78
Tabla 14 Registro de tiempo de viaje del software PTV Vissim para la calibración.	81
Tabla 15 Distribución de aforo vehicular de la intersección Norte-Sur (validación).....	84
Tabla 16 Distribución de aforo vehicular de la intersección Norte-Este (validación).	84
Tabla 17 Distribución de aforo vehicular de la intersección Norte-Oeste (validación).	84

Tabla 18	Registro de tiempo de viaje del software PTV Vissim para validación.	85
Tabla 19	Resultados de longitudes de colas (situación actual).....	87
Tabla 20	Resultados de la velocidad promedio de viaje (situación actual).....	89
Tabla 21	Resultados de demora promedio de viaje (situación actual).	90
Tabla 22	Resultados de longitudes de cola (propuesta 01).....	93
Tabla 23	Registro de velocidades promedio de viaje (propuesta 01).....	94
Tabla 24	Registro de demoras promedio de viaje (propuesta 01).	95
Tabla 25	Resultados de longitudes de cola (propuesta 02).....	97
Tabla 26	Registro de velocidades promedio de viaje (propuesta 02).....	98
Tabla 27	Registro de demoras promedio de viaje (propuesta 02).	99
Tabla 28	Demanda vehicular para la calibración y validación.....	107
Tabla 29	Cuadro comparativo de longitudes de colas.....	109
Tabla 30	Comparación de resultados de longitudes de colas (propuesta 01).	111
Tabla 31	Comparación de registros de velocidades promedio de viaje (propuesta 01). ..	113
Tabla 32	Comparación de registros de demoras promedio de viaje (propuesta 01).....	114
Tabla 33	Comparación de resultados de longitudes de cola (propuesta 02).	116
Tabla 34	Comparación de registros de velocidades promedio de viaje (propuesta 02). ..	118
Tabla 35	Comparación de registro de demoras promedio de viaje (propuesta 02).	119

Resumen

Esta investigación determina un modelo de microsimulación de tráfico para la reducción de la congestión vehicular en una intersección ubicada en Independencia-Huaraz, empleando el software PTV Vissim 2024. La investigación es de orientación aplicada, de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo y diseño transversal no experimental. Los datos recopilados en campo, comprenden el aforo vehicular y peatonal, la geometría de la intersección, entre otros, estos fueron procesados y utilizados para la construcción, calibración y validación del modelo microscópico. El análisis de circulación en la intersección se realizó mediante parámetros de eficiencia que brinda el software, como la longitud de cola, la velocidad promedio de viaje y la demora promedio de viaje, revelando condiciones no óptimas y la presencia de congestión vehicular. Para abordar este problema, se propusieron dos soluciones. En la primera propuesta, se optimizó el ciclo del semáforo, logrando reducciones del 11.07% y 7.42% en las longitudes de las colas al Norte y Sur, respectivamente; la velocidad promedio aumentó en 74.35%, y la demora promedio disminuyó en 31.90%. En la segunda propuesta, se sugirió la instalación de dos semáforos en los accesos Norte y Sur, sincronizados con los semáforos existentes con un ciclo de 63 segundos. Esto resultó en reducciones del 58.70% y 35.32% en las longitudes de las colas al Norte y Sur, respectivamente. La velocidad promedio incremento en 83.94%, y la demora promedio se redujo en 44.43%. Por lo que, estas intervenciones condujeron a mejorar los parámetros de eficiencia y, consecuentemente, a la reducción de la congestión vehicular.

Palabras Clave: microsimulación de tráfico, congestión vehicular, parámetros de eficiencia, software PTV Vissim, ciclo del semáforo.

Abstract

This investigation determines a traffic microsimulation model to reduce vehicle congestion at an intersection located in Independencia-Huaraz, using the PTV Vissim 2024 software. The investigation is applied in orientation, with a quantitative approach, descriptive level and non-experimental cross-sectional design. The data collected in the field, which includes vehicle and pedestrian capacity, intersection geometry, among others, were processed and used for the construction, calibration and validation of the microscopic model. The analysis of traffic at the intersection was carried out using efficiency parameters provided by the software, such as queue length, average travel speed and average travel delay, revealing non-optimal conditions and the presence of vehicle congestion. To address this problem, two solutions were proposed. In the first proposal, the traffic light cycle was optimized, achieving reductions of 11.07% and 7.42% in the lengths of the queues to the North and South, respectively; the average speed increased by 74.35%, and the average delay decreased by 31.90%. In the second proposal, the installation of two traffic lights at the North and South entrances was suggested, synchronized with the existing traffic lights with a 63-second cycle. This resulted in reductions of 58.70% and 35.32% in northern and southern queue lengths, respectively. The average speed increased by 83.94%, and the average delay was reduced by 44.43%. Therefore, these interventions led to improving efficiency parameters and, consequently, to reducing vehicle congestion.

Keywords: traffic microsimulation, vehicle congestion, efficiency parameters, PTV Vissim software, traffic light cycle.

TÍTULO DE LA TESIS:

**MODELO DE MICROSIMULACIÓN DE TRÁFICO PARA
LA REDUCCIÓN DE LA CONGESTIÓN VEHICULAR EN
UNA INTERSECCIÓN URBANA**



Introducción

En los últimos años, el aumento significativo de vehículos en las ciudades del país ha provocado notables problemas de congestión vehicular, atribuidos en parte a la falta de atención al sistema de transporte e infraestructura vial, lo que ha llevado a desafíos en la circulación, como congestiones en avenidas e intersecciones, diseños poco eficientes de semáforos y señalizaciones, así como el descuido en el mantenimiento de las vías.

Ante esta situación, la investigación se centra en comprender la importancia de estudiar los flujos vehiculares y peatonales en el diseño de vías urbanas, utilizando el software PTV Vissim, que adopta un enfoque microscópico al considerar las interacciones entre cada par de vehículos, asignándoles características específicas. Desarrollado en Alemania en los noventa, este software ha ganado aceptación en varios países europeos y se utilizan en naciones sudamericanas para evaluar las condiciones de circulación.

La ciudad de Huaraz experimenta un notorio aumento en su parque automotor y se percibe una falta de atención adecuada al sistema de transporte, reflejado en la congestión vehicular, especialmente en horas punta. Por este motivo, la investigación busca reducir esta congestión en la intersección de la Avenida Centenario con el Jr. Víctor Vélez y el Jr. Sebastián de Aliste, una zona muy transitada en la ciudad, mediante la construcción de un modelo de microsimulación de tráfico empleando el software PTV Vissim 2024.

La investigación consta de seis capítulos, abordando el planteamiento del problema, objetivos, antecedentes, hipótesis, variables, metodología, técnica, instrumentos y procedimientos en la recolección de datos, resultados del modelo de microsimulación, propuestas de solución, conclusiones y recomendaciones. La bibliografía utilizada se presenta en el último capítulo.

I. Planteamiento de la investigación

1.1. Descripción del problema

Durante las últimas décadas, ha habido un aumento significativo en la cantidad de vehículos motorizados en países en desarrollo. Este aumento se ha debido a una variedad de factores, como el aumento del poder adquisitivo de la clase media, la disponibilidad de crédito, la disminución relativa de los precios de venta y una mayor oferta de vehículos usados. Aunque la creciente disponibilidad de vehículos ha permitido una mayor movilidad individual, también ha contribuido a la congestión debido al aumento de la población urbana, la disminución del tamaño promedio de los hogares y la falta de políticas de transporte urbano efectivas. Aunque se puede ver como positivo el aumento de la movilidad individual, el uso intensivo del espacio destinado a la circulación es una consecuencia negativa (Bull, 2003).

La congestión provoca un aumento notable en los tiempos de viaje, especialmente durante las horas punta, lo que en algunas ciudades supera los límites considerados aceptables. Además, la lentitud del tráfico agrava la impaciencia y propicia una actitud agresiva entre los conductores (Bull, 2003).

Es por ello que, el incremento del uso de vehículos particulares, resultado de las políticas de transporte urbano recientes, ha provocado que la congestión vehicular se convierta en un importante problema que afecta a muchas ciudades y localidades en todo el mundo. Por esta razón, la ingeniería de transportes se encarga de estudiar principalmente los indicadores de eficiencia en la infraestructura vial y la prestación del servicio de transporte urbano, adaptando los diferentes flujos de tráfico a los recursos físicos de la red. Sin embargo, esta gestión e implementación de medidas ha sido problemática a largo plazo, ya que, aunque inicialmente mostraron éxito, presentaron inconvenientes con el tiempo (Quintero, 2017). A partir de los años 80 del siglo pasado, los encargados de los

departamentos de tráfico comenzaron a percibir que las soluciones convencionales que se estaban aplicando no serían suficientes para abordar el problema. Estas soluciones solían implicar la construcción de nuevas infraestructuras o la expansión de las ya existentes, pero en muchos casos no eran viables debido a los altos costos, la falta de espacio disponible y el impacto ambiental inevitable. Por lo tanto, los departamentos de tráfico en todo el mundo se interesaron en optimizar las infraestructuras existentes para maximizar su rendimiento a través del estudio de los flujos vehiculares, los peatones, el funcionamiento de los semáforos, etc., para evaluar las intersecciones en condiciones variables de tráfico (Lema, 2012). Por tal razón, en la actualidad es necesario emplear herramientas computacionales que utilicen modelos de simulación vehicular como punto de partida para aplicar técnicas que mejoren el flujo vehicular.

En Perú, Lima es un ejemplo evidente de la gravedad del tráfico vehicular. Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), en 2014 había 1.5 millones de vehículos en la Región Lima, lo que equivale al 66% del total de vehículos a nivel nacional. En los últimos años, el número de vehículos en Lima ha aumentado a una tasa anual de entre el 8% y el 9%. En términos de propiedad de vehículos, el 15.5% de los hogares de Lima cuenta con al menos un automóvil (Alegre, 2016).

Según Cusicuna & Dextre (2023) en el Informe Técnico N° 02 – febrero 2023 de Flujo Vehicular por Unidades de Peaje del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), en diciembre de 2022, el Índice Nacional del Flujo Vehicular aumentó un 2.9% en comparación con el mismo mes del año anterior, impulsado por un aumento del 5.8% en el tráfico de vehículos ligeros, debido al mayor desplazamiento de personas y vehículos.

A finales del año 2021, se registró un aumento del 3.8% en el número de vehículos circulando en el país en comparación con el año anterior. De los 3,186,730 vehículos

registrados en 2021, el 97.5% eran unidades motorizadas y el 2.5% eran unidades no motorizadas o de arrastre. Y en el departamento de Ancash, se registraron un total de 40,373 vehículos. (Oficina de Estadística del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2021).

Actualmente, en la ciudad de Huaraz se han observado intersecciones viales en las que el tráfico vehicular ha aumentado progresivamente en el tiempo; en donde genera malestar en conductores y transeúntes. Mediante la observación directa, se verifica que uno de los puntos críticos es la intersección de la Avenida Centenario con el Jr. Víctor Vélez y el Jr. Sebastián de Aliste, ubicada en el distrito de Independencia – Huaraz, siendo esta la zona de investigación. Esta intersección es una ruta de acceso importante hacia la zona céntrica de Huaraz, además en esta área de estudio también se encuentran el Colegio Antonio Raymondi y la sede Central de la Unasam. Debido a esto se presenta un aumento de tráfico vehicular (transporte público y privado) en horas punta debido a que es una zona concurrida.

Además, la intersección está controlada por semáforos de tiempo fijo, que siguen un diseño de ciclo semafórico único durante las horas punta o las horas valle, lo que contribuye al aumento del tráfico vehicular. Por tanto, para lograr un adecuado control del tráfico vehicular en dicha intersección vial, es necesario emplear nuevas tecnologías, específicamente softwares especializados en simulación.

En el caso particular se utilizará el software PTV Vissim 2024, especializado en transportes, para simular la situación actual del tráfico vehicular en la intersección de la Av. Centenario con el Jr. Víctor Vélez y el Jr. Sebastián de Aliste, ubicada en el distrito de Independencia – Huaraz. A través de esta simulación se obtendrá un diagnóstico preciso del tráfico vehicular, lo que permitirá proponer alternativas efectivas en la zona de estudio.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál será el modelo de microsimulación de tráfico para la reducción de la congestión vehicular en la intersección de la Av. Centenario con el Jr. Víctor Vélez y el Jr. Sebastián de Aliste, distrito de Independencia, provincia de Huaraz-2023, empleando el software PTV Vissim 2024?

1.2.2. Problemas Específicos

1. ¿Cuál es la situación actual realizando la construcción, calibración y validación del modelo de microsimulación de tráfico de la intersección empleando el software PTV Vissim 2024, para la reducción de la congestión vehicular?
2. ¿Cuáles son los parámetros de eficiencia que intervienen en el modelo de microsimulación de tráfico para la reducción de la congestión vehicular en la intersección?
3. ¿Qué propuestas de solución son las más convenientes en el modelo de microsimulación de tráfico para la reducción de la congestión vehicular en la intersección?

1.3. Importancia y justificación de la investigación

Esta investigación pretende mejorar la fluidez vehicular en la intersección de la Av. Centenario con el Jr. Víctor Vélez y el Jr. Sebastián de Aliste, distrito de Independencia-Huaraz, para luego ser modeladas con la microsimulación de tráfico, y posteriormente proponer la alternativa de solución para disminuir la congestión vehicular que aumenta en las horas punta y que aqueja a los usuarios de esta zona; y de ese modo conseguir reducir los tiempos de espera y el tráfico vehicular.

De esta manera, se pretende recolectar datos del tráfico vial en la intersección, y diseñar a través de este, la microsimulación de tráfico para la distribución adecuada de los tiempos del ciclo semafórico, el análisis de los movimientos permitidos, la coordinación semafórica o la redistribución del flujo de los vehículos en la intersección, permitiendo disminuir las longitudes de cola y demoras de viaje, y optimizando la velocidad promedio de viaje, y de esta manera lograr canalizar la congestión vehicular para conseguir dar mayor fluidez y movilidad a los vehículos, mediante una simulación microscópica del tránsito a través del software PTV Vissim 2024.

Con los resultados se beneficia directamente a los usuarios como peatones y transportistas que transitan por la intersección de la Av. Centenario con el Jr. Víctor Vález y el Jr. Sebastián de Aliste, los cuales son de acceso a la zona céntrica de la ciudad de Huaraz, y de esta manera mejorar el sistema de transporte en la ciudad.

1.4. Delimitaciones de estudio

La investigación pretende reducir la congestión vehicular de la intersección de la Av. Centenario con el Jr. Víctor Vález y el Jr. Sebastián de Aliste, y plantear soluciones para reducir esta problemática que presenta actualmente esta intersección, realizando la microsimulación empleando el software PTV Vissim 2024, porque se requiere representar el tráfico y su comportamiento muy a detalle y de la forma más real posible.

La investigación está limitada al análisis de tráfico vehicular de la intersección de la Av. Centenario con el Jr. Víctor Vález y el Jr. Sebastián de Aliste, y se desarrolla en el año 2023, período durante el cual se recopilarán los datos como el aforo vehicular, longitud de cola, demoras de viaje, velocidad promedio de viaje, ciclo semafórico y la geometría del sistema; posteriormente se volverá a tomar los mismos datos en otra etapa, todo estos datos son esenciales para la construcción, calibración y validación del modelo de microsimulación

a través del software PTV Vissim 2024, y finalmente se plantea soluciones a esta problemática.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar el modelo de microsimulación de tráfico para la reducción de la congestión vehicular en la intersección de la Av. Centenario con el Jr. Víctor Vélez y el Jr. Sebastián de Aliste, distrito de Independencia, provincia de Huaraz-2023, empleando el software PTV Vissim 2024.

1.5.2. Objetivos Específicos

1. Determinar la situación actual realizando la construcción, calibración y validación del modelo de microsimulación de tráfico de la intersección empleando el software PTV Vissim 2024, para la reducción de la congestión vehicular.
2. Determinar los parámetros de eficiencia que intervienen en el modelo de microsimulación de tráfico para la reducción de la congestión vehicular en la intersección.
3. Plantear propuestas de solución más convenientes en el modelo de microsimulación de tráfico para la reducción de la congestión vehicular en la intersección.

II. Marco teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Antecedentes internacionales

Rodríguez y Cano (2018), el propósito de esta investigación fue desarrollar una propuesta técnica para reducir el impacto negativo de la congestión vehicular causada por vehículos de carga pesada en la ciudad. Después de realizar un estudio, se determinó que los vehículos de carga pesada tienen un impacto significativo en las principales vías de la ciudad y se sugirió la implementación de un puerto seco en la ciudad de Mosquera (Cundinamarca). Utilizando el software PTV Vissim para modelar distintos escenarios, se identificó que la Calle 13 es la vía más transitada por vehículos de carga pesada y recibe cuatro veces más tráfico de carga que la autopista norte, con una diferencia de 1400 vehículos. Se recopiló información de tráfico vehicular de las estaciones para entender mejor los factores que contribuyen a la congestión. Los resultados de la modelación de cada corredor con restricciones al tránsito de carga demostraron una mejora en la calidad del flujo vehicular en velocidad y corredores, reduciendo la longitud de colas. Los dos sectores estuvieron de acuerdo con la restricción de vehículos de carga, lo que condujo a una conclusión positiva de la investigación.

Muñoz (2018), el objetivo de este estudio consiste en analizar el impacto del tráfico generado en la intersección entre la Avenida Simón Bolívar y Juan Bautista Aguirre, ubicada en la parroquia de Puengasí, Quito, Ecuador. Se trata de una investigación básica, empleando un método deductivo que se centra en analizar la realidad y comprobar la hipótesis planteada. Se logró recopilar datos relevantes que fueron utilizados para identificar posibles soluciones, como la mejora en la sincronización de semáforos, con el objetivo de explorar nuevas alternativas. Se considera la posibilidad de diseñar una intersección a desnivel, ya que se

observa que los parámetros, tales como los niveles de servicio, el tiempo de viaje y el consumo de combustible, muestran resultados más favorables en este enfoque.

Álvarez y Quiñones (2020), se realizó un análisis del tráfico vehicular utilizando el software PTV VISSIM para llevar a cabo una micro-simulación. Los resultados obtenidos demuestran que este programa es funcional para la simulación de transporte, ya que utiliza diversas variables para simular los datos en tiempo real de una red vial, tales como velocidad, frecuencia, volúmenes y características geométricas de la vía. Debido a esto, se trata de una herramienta muy útil para proponer alternativas o soluciones que conduzcan a una mejora en la red vial. Después de analizar las alternativas de mejora y utilizar las herramientas de calibración y evaluación del software, se llegó a la conclusión de que, aunque la ampliación de la vía a cuatro carriles en algunos tramos podría ser una solución viable, la construcción de un puente vehicular en la carrera 104 es la mejor opción en ambos horarios, ya que mejora significativamente la movilidad a lo largo de la red vial de la Calle 80.

Sierra (2021), el objetivo fue analizar a nivel funcional la intersección y resaltar la importancia de construir un puente vehicular en la glorieta ubicada en la carrera 60 con calle 63 en la ciudad de Bogotá. La investigación constituye un estudio de caso de evaluación cuantitativa. Las etapas iniciales de la investigación involucraron el estudio y análisis de la información, la elaboración de un plano de la intersección para procesar los volúmenes vehiculares mediante el software PTV Vissim. La glorieta en la AC 63 con AK 60 funciona como una intersección controlada por "Ceda el Paso". Tanto la geometría vial como el volumen vehicular manejado por la intersección en la hora de mayor demanda fueron evaluados a través de la microsimulación (PTV-Vissim). Los resultados indicaron un nivel de servicio E, con demoras promedio de 45 segundos para la intersección. No obstante, al realizar una evaluación por acceso, se determinó que la Calle 63 presentaba un nivel de servicio D, lo que llevó a la conclusión de que la intersección no opera de manera

satisfactoria. Por otra parte, al elevar la Carrera 60 y mantener la glorieta para los intercambios viales, se logró un nivel de servicio C para la intersección. Al revisar los resultados por acceso, se evidenció una mejora de los niveles de servicio de D. Finalmente, al elevar la Calle 63 y mantener la rotonda para los intercambios viales, se alcanzó un nivel de servicio A, es decir, una mejora significativa. Este resultado también se reflejó en los accesos, donde todos alcanzaron un nivel de servicio A.

Martínez (2021), la investigación tiene por objeto analizar las condiciones de movilidad a lo largo de la Transversal 54, específicamente en el tramo que va desde la intersección con la Avenida Pedro de Heredia (Estación de servicio El Amparo) hasta la intersección con la Diagonal 30 (CAI de Ceballos). Se tiene en cuenta el comportamiento de las intersecciones críticas tanto para el tráfico vehicular como peatonal, utilizando el software PTV Vissim, con el fin de evaluar la situación actual, realizar proyecciones y proponer alternativas de solución para los problemas identificados. El enfoque de investigación es mixto. Se realizaron modelos de los volúmenes, proyectando la cantidad de vehículos para 5, 10 y 15 años. En términos generales, se observa una disminución en los niveles de servicio y un aumento en las longitudes de las colas. En la estación 1, que tiene un nivel de servicio actual de C, la proyección indica que alcanzará un nivel de servicio D en 15 años, con demoras por vehículo de hasta 50,78 segundos y longitudes de colas de hasta 96,93 metros. En la estación 2, entrada a Blas de Lezo, el nivel de servicio proyectado en C coincide con el nivel actual, con la predicción de un aumento en las demoras de 12 segundos en 15 años. Las estaciones 3 (Retorno hacia Blas de Lezo), 5 (Retorno hacia la Troncal) y 7 (Retorno hacia CAI de Ceballos) mantienen el nivel de servicio en A. A los 15 años, se presenta un aumento significativo en las longitudes de colas máximas, pero las demoras no superan los 6 segundos, indicando un flujo libre en estas zonas. En la estación 4, Ingreso a los Caracoles, pasa de un nivel de servicio B a uno C en 5 años y se mantiene igual hasta los

15 años, con un aumento en la demora de 20 segundos por vehículo. La estación 6, Entrada al Almirante Colon, tuvo un comportamiento similar a la estación 4.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Meza (2018), el objetivo de la investigación fue analizar el tráfico vehicular en una intersección utilizando el software de micro simulación Vissim. Se evaluaron parámetros como la demora, la detención de tiempo y la velocidad, y se utilizó el programa Randomization Test para validar los resultados obtenidos. Se concluyó que era necesario instalar semáforos debido al alto tráfico que presentaba la vía, lo que dificultaba el cruce de los peatones y los ponía en riesgo. El rediseño realizado fue efectivo, ya que se redujeron las demoras y las detenciones de los vehículos en un 6,89% y un 15,21% respectivamente, mientras que la velocidad aumentó en un 11,82%. En cuanto a los peatones, la velocidad aumentó en un 8,81% y el tiempo de viaje se redujo en un 8,21%.

Arteaga (2018), el propósito del estudio consistió en analizar y evaluar las condiciones de tráfico en una intersección de la ciudad de Cerro de Pasco mediante un modelo microscópico. El estudio es de carácter descriptivo y cuenta con un diseño no experimental. En el proyecto se presentaron tres propuestas de mejora a corto, mediano y largo plazo. La primera propuesta sugiere un cambio en el ciclo de los semáforos, la segunda propone la introducción de un plan de transporte masivo utilizando vehículos de mayor capacidad y la tercera plantea un rediseño de la actual infraestructura vial y su geometría. A través de estas propuestas se lograron mejoras significativas en los siguientes aspectos: la primera propuesta redujo el tiempo de espera en un 33%, la segunda redujo las colas en un 4% y la tercera incrementó el nivel de servicio de la calle Alfonso Rivera, que es la que tiene mayor flujo vehicular. Como conclusión, se determinó que las propuestas tuvieron un impacto positivo en las condiciones iniciales analizadas, logrando reducir los tiempos de espera y la longitud de las colas, así como aumentar el nivel de servicio.

Huanca y Rojas (2019), el estudio propone un diseño geométrico para mejorar los niveles de servicio y abordar los problemas de congestión vehicular en el óvalo La Curva. El modelo de construcción constó de cuatro fases: la recolección y procesamiento de datos, el modelamiento inicial en Vissim para la microsimulación, el análisis del diseño propuesto en términos de eficiencia vehicular (tiempo de viaje, longitud de cola y nivel de servicio), y la implementación de medidas de mitigación como dos mini óvalos y un paso a desnivel. La propuesta 2 mostró cambios significativos en los parámetros de eficiencia en comparación de la situación actual optimizada. Los parámetros de distancia promedio (a_x) = 1, distancia de seguridad deseada (b_{xdd}) = 2 y (b_{xmult}) = 1.25, el nivel de servicio obtenido en promedio fue de F y se tomó la decisión de aplicar dos propuestas de mitigación: la construcción de dos mini óvalos y un cambio a desnivel. La implementación del diseño final con el cambio a desnivel redujo las demoras en un 34% en promedio en toda la intersección y eliminó completamente las colas de 30 m a 0 m en el acceso 2. Además, los niveles de servicio mejoraron desde un nivel F hasta un nivel C. En conclusión, este estudio proporciona una idea básica de los parámetros Wiedemann que deben considerarse en función del comportamiento del conductor en el entorno local de un óvalo y su configuración.

Quispe y Soto (2019), la investigación tuvo como objetivo analizar las condiciones de tráfico de peatones, ciclistas y automóviles en una sección de la avenida y proponer medidas de mejora para esta sección. El proyecto consta de cuatro etapas, en la primera se observaron directamente los conflictos en la sección estudiada de manera cualitativa; en la segunda se recopiló información sobre los flujos vehiculares, peatonales, semáforos y la geometría de la vía; en la tercera etapa, se generaron propuestas de mejora basadas en manuales de diseño urbano. Finalmente, en la cuarta etapa se construyó el modelo actual de la sección en Vissim y se comparó con el modelo mejorado. Se propuso la eliminación de carriles en la Av. Habich, la ampliación de medianas y veredas, la inclusión de ciclovías

unidireccionales en ambos sentidos de la vía, el rediseño de las fases del semáforo, la ampliación de rampas y el desplazamiento de paraderos de transporte público. Los resultados de este nuevo diseño se compararon con el diseño actual y se logró reducir los tiempos de viaje peatonal en los cruces de la Av. Eduardo de Habich en un 8% y un 30%. Del mismo modo, los tiempos de viaje vehicular en la sección estudiada aumentaron en un 7% en el sentido este-oeste, mientras que disminuyeron en un 35% en el sentido contrario. Los tiempos de espera para peatones y vehículos en la calle Darío Valdizán disminuyeron en un 13%. Asimismo, las colas en la calle Darío Valdizán se redujeron en un 44%, mientras que en la Av. Habich disminuyeron en un 31% en promedio. En conclusión, se puede mejorar la distribución del espacio público en la sección estudiada para beneficiar las condiciones de circulación de peatones y ciclistas sin afectar significativamente el tráfico de vehículos.

Rodríguez (2019), el propósito de la investigación consiste en analizar cómo se puede mejorar una intersección utilizando el software PTV Vissim 8.0. Esto se logra a través de la evaluación de los parámetros de tiempo de viaje y velocidad tanto para peatones como para vehículos. La metodología empleada implicó la recolección de datos de campo, incluyendo el flujo vehicular y peatonal, las velocidades de ambos y los tiempos de viaje vehicular y peatonal durante las etapas de calibración y validación. Los parámetros Wiedemann utilizados en el rediseño son $ax=2$, $bx_add=3$ y $bx_mult=3$ y para los peatones, los siguientes, $\tau=0.4$ y $\lambda=0.176$. Los resultados obtenidos indican que el tiempo promedio de demora es de 14.83 seg/veh, mientras que el tiempo promedio detenido es de 0.76 segundos y la velocidad promedio es de 22.28 km/h para los vehículos. En cuanto a los peatones, se observó una velocidad promedio de 2.11 km/h y un tiempo de viaje promedio de 26.78 segundos, lo que indica una mejora en la eficiencia de su desplazamiento. En conclusión, las mejoras implementadas en la intersección, que tuvieron en cuenta las

necesidades de los usuarios más vulnerables, permitieron una reorganización adecuada del tráfico vehicular en la zona.

Vargas (2019), el objetivo principal de la propuesta es mejorar la movilidad sostenible tanto para los peatones como para los vehículos. Una de las soluciones propuestas fue la reorganización de los tiempos del semáforo y la reubicación de los cruces para peatones. Utilizando el modelo VISSIM, se determinó que la implementación de esta solución podría reducir la demora promedio en un 20% y aumentar la velocidad promedio actual en un 20%. Los resultados indican que el tiempo en verde no necesariamente mejora las condiciones de circulación en la intersección, ni favorece al flujo con el mayor tiempo en verde. En el escenario actual, el tiempo en verde para el flujo de la Av. La Marina es de 125 segundos para un ciclo de 210 que representa el 60% del ciclo. Por otro lado, en la propuesta de rediseño, el tiempo en verde fue de 58 segundos para un ciclo de 120 y se redujo a solo el 48% del ciclo, lo que llevó a un aumento de solo 1 segundo en el tiempo de viaje promedio, pero una disminución de 3 metros en la longitud de cola promedio. En conclusión, se sugiere que la redistribución de los tiempos del semáforo y la reubicación de los cruces para peatones pueden mejorar la movilidad sostenible y reducir la congestión vehicular.

Hernández y León (2021), el estudio tiene como propósito analizar la simulación a pequeña escala del tráfico y la congestión vehicular en la zona. Se utilizó un diseño descriptivo no experimental para analizar los datos, construyendo un modelo con el software Vissim que permitió el cálculo de indicadores de rendimiento de la intersección. A través de la calibración, se determinó que la situación existente en la intersección tenía un nivel de servicio F, con valores relacionados al tiempo de viaje. Por lo tanto, se propuso un diseño geométrico de una rotonda turbo, que fue evaluado mediante el mismo proceso y logró un importante alivio a la congestión hasta alcanzar un nivel de servicio D. Los valores obtenidos para la longitud de cola van desde 12.5 m hasta 47.5 m, presentando una reducción mínima

del 60.64% en comparación con la geometría actual. Del mismo modo, el tiempo de demora se redujo en un mínimo del 28.24%, arrojando valores que van desde los 14.60 segundos hasta los 32.81 segundos. La investigación demuestra que la combinación de la modificación geométrica y el uso de carriles exclusivos por movimiento mejoraría significativamente la eficiencia.

Huertas y Montenegro (2022), la investigación tiene por objetivo general evaluar la aplicabilidad del software de micro simulación Vissim y determinar sus diferencias con los métodos determinísticos, mediante la evaluación de cuatro alternativas de solución vial en el Óvalo Cáceres de Piura. Para lograr este objetivo, se recolectaron datos de campo, como la geometría de la intersección, el aforo vehicular, las velocidades y tiempos de viaje. Las cuatro alternativas de solución vial que se evaluaron son: la primera propuesta, que implica desviar los giros a la derecha hacia las auxiliares; la segunda propuesta, que propone la implementación de semáforos conservando la rotonda; la tercera propuesta, que sugiere la construcción de un paso a desnivel en la Avenida Sánchez Cerro; y la cuarta propuesta, que consiste en cambiar a una intersección semaforizada sin rotonda. Después de la evaluación, se concluyó que la segunda propuesta de solución es la más viable, ya que resulta en un aumento del 24% de la demora promedio y una disminución del 14% de la longitud de cola promedio, manteniendo el nivel de servicio en “C”. Esta solución también implica un bajo nivel de inversión económica y puede resultar más segura desde el punto de vista de la seguridad, ya que involucra la incorporación de semáforos con un mejor ordenamiento del tráfico. En conclusión, el objetivo general de la investigación se logró y se pudo determinar la mejor solución vial para el Óvalo Cáceres de Piura.

2.1.3. Antecedente local

Rondoño (2018), la investigación realiza el análisis vial en las intersecciones, con el fin de mejorar el flujo vehicular. La investigación es descriptiva y de diseño no experimental

transversal. Se proponen alternativas de solución con el objetivo de lograr una mayor eficiencia funcional, lo que implica una menor demora y un flujo vehicular más constante. Para ello, se estudiaron factores como las condiciones geométricas, de tráfico y semafóricas que influyen en el flujo de vehículos en las intersecciones. Se determinó que las intersecciones estaban operando cerca de su capacidad máxima y se procedió a realizar un nuevo diseño y optimización de las fases semafóricas y la coordinación de las intersecciones utilizando el software Synchro 8.0. Se logró obtener una ola verde que permitió un flujo continuo de vehículos en la red vial. Se concluye que, al analizar la situación actual de las intersecciones utilizando la metodología HCM 2010 y el software Synchro 8.0, se encontró que estaban operando con niveles de servicio C, lo que significa que estaban funcionando de manera aceptable. Sin embargo, se observó que esto se debía a una sincronía regular de semáforos y ciclos individuales largos, lo que puede llevar a un deterioro del nivel de servicio si los ciclos individuales empiezan a fallar.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Congestión vehicular

La congestión vehicular se refiere a una situación o período de tiempo en la que una cantidad mayor de vehículos circula por las vías urbanas más de lo que se había proyectado, lo que provoca una reducción en la velocidad de los vehículos y un aumento en su tiempo de circulación y desplazamiento (Bull, 2003).

La situación mencionada conduce a una reducción de la velocidad de los vehículos, generando una reacción negativa en los conductores, mayor contaminación ambiental y sonora, incremento en el consumo de combustible, aumento en los costos de transporte y aumento de la posibilidad de accidentes (Bull, 2003).

1. Demora promedio de viaje

Las demoras en el tráfico pueden ser originadas por dos motivos: el primero es debido a los dispositivos de control de tráfico que interrumpen el flujo vehicular, como los semáforos, señales de ALTO y CEDA EL PASO, que provocan detenciones durante un viaje normal. El segundo motivo son las demoras periódicas que se producen en ciertas horas del día debido a la congestión en puntos estrechos de la vía, también conocidos como “cuellos de botella”, y las demoras no periódicas generadas por incidentes como accidentes, vehículos descompuestos o cierres temporales de carriles o calzadas (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).

La repercusión de estas demoras puede evaluarse mediante una medida llamada relación de demora, la cual se calcula a partir de la diferencia entre la relación del movimiento observado y la relación del movimiento que se considera como estándar para diversos tipos de vías urbanas. En términos de velocidad de recorrido, se establecen los siguientes valores mínimos para la relación del movimiento estándar: 56 km/h para autopistas con acceso controlado, 40 km/h para las arterias principales y 32 km/h para las calles secundarias (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).

2. Longitud de Cola

Las colas son llamadas también líneas de espera, las cuales se presentan en horas de máxima demanda vehicular, lo que sobrepasa la capacidad vial. Así mismo, su nivel de afectación depende de los tiempos de entrada y salida de vehículos, la infraestructura vial, los ciclos semafóricos, el aforo vehicular y la población en general (Gross et al., 2008).

3. Velocidad promedio de viaje

La medida de velocidad se define como la relación entre la distancia recorrida y el tiempo empleado, y se suele expresar en kilómetros por hora (km/h). En el HCM 2010 se utiliza la velocidad promedio de viaje como medida de velocidad, ya que es una medida

fácilmente observable para cada vehículo en el tráfico y es la medida estadística más importante en relación con otras variables.

Mozo (2011) nos dice que, la velocidad promedio de viaje se define como la medida de tránsito basada en la observación del tiempo de viaje total, incluyendo las detenciones, en una longitud determinada de la vía. Para calcular la velocidad promedio de viaje, se divide la longitud de la vía, sección o segmento entre el tiempo promedio de viaje de los vehículos que transitan por esa sección.

$$V = \frac{L}{t_a} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

V = Velocidad promedio de viaje (Km/h)

L = Longitud del segmento de la vía (km)

t_a = Tiempo promedio de viaje en el segmento (h)

2.2.2. Estudio de Tráfico

Se realiza un proceso con el fin de obtener información precisa acerca del número de vehículos que transitan por puntos específicos en una red de carreteras o calles. Aquí se lleva a cabo el análisis cuantitativo y cualitativo del tráfico, utilizando metodologías que permiten estimar de manera razonable la calidad del servicio que ofrece el sistema a los usuarios, así como su comportamiento (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).

2.2.2.1. Geometría de la Intersección

La presentación de la geometría de una intersección suele ser en forma de diagrama y es necesario incluir todos los detalles relevantes, como el número y ancho de los carriles, así como las condiciones de estacionamiento. También es importante señalar la existencia de carriles exclusivos para giros a la izquierda o a la derecha, junto con las longitudes de almacenamiento necesarias para dichos carriles. Al diseñar los detalles de la geometría, es



fundamental tener en cuenta estas características para garantizar la continuidad del análisis (Transportation Research Board, 2010). Asimismo, para la investigación se tomarán los datos que sea de relevancia para el modelado en la intersección.

2.2.2.2. Flujo Vehicular

A través del análisis del flujo vehicular se pueden conocer las particularidades y el funcionamiento del tráfico, lo que es esencial para la planificación, diseño y operación de carreteras, calles y otros elementos complementarios del sistema de transporte. Al aplicar principios de física y matemáticas, este análisis describe el movimiento de los vehículos en cualquier tipo de vía, lo que posibilita la evaluación del nivel de eficiencia de su operación (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).

Los modelos microscópicos y macroscópicos que relacionan las diferentes variables del flujo vehicular, como el volumen, la velocidad, la densidad, el intervalo y el espaciamiento, son el resultado más valioso del análisis de flujo vehicular. Estas variables sirven para indicar el nivel de servicio que experimentan los usuarios del sistema vial y son fundamentales para el desarrollo de modelos de tráfico (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).

1. Intensidad de tránsito o Volumen

La cantidad de vehículos que pasan por una sección específica de una carretera o calle en un período de tiempo determinado se define como volumen de tráfico. Esta variable puede ser medida en términos de número de vehículos o vehículos por unidad de tiempo (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).

El volumen se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{N}{T} \dots\dots\dots (2)$$



Donde:

N = Número total de vehículos que pasan (vehículos)

T = Período determinado (unidades de tiempo)

2. Volúmenes absolutos o totales

Según Cal y Mayor & Cárdenas (2018), diferentes tipos de volúmenes de tránsito se establecen en función de la duración del período de tiempo considerado:

- Tasa de flujo o flujo (q): se define como el volumen de tráfico que comprende el número total de vehículos que pasan por un punto o sección de una vía en un intervalo de tiempo menor a una hora.
- Tránsito horario (TH): se define como el número total de vehículos que pasan en una hora completa.
- Tránsito diario (TD): se expresa como la cantidad de vehículos que atraviesan un punto o sección transversal en un período de tiempo de 24 horas o un día completo.
- Tránsito semanal (TS): se define como el número total de vehículos que pasan en un lapso de tiempo equivalente a una semana completa.
- Tránsito mensual (TM): se define como el conteo total de vehículos que pasan durante un periodo de tiempo igual a un mes.
- Tránsito anual (TA): Se refiere al número total de vehículos que atraviesan un punto o sección en una vía específica durante un período de tiempo de un año completo.

3. Volumen horario de máxima demanda

La definición de volumen horario de máxima demanda se refiere al máximo número de vehículos que circulan por una sección o punto de una vía durante un lapso de tiempo de 60 minutos consecutivos. Esta variable está relacionada con los periodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día particular (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).

2.2.2.3.Ciclo semafórico

Los semáforos tienen como objetivo principal regular el tránsito de vehículos y peatones en una intersección de manera organizada y segura, alternando su paso. Para lograrlo, utilizan un sistema que les permite mostrar diferentes fases en un ciclo de tiempo determinado.

Entonces, el ciclo semafórico es el intervalo de tiempo que transcurre desde el momento en que cambia la señalización de un grupo de semáforos hasta que se repite la misma secuencia de maniobras en los semáforos que están conectados a un mismo controlador. Durante este tiempo se completa una secuencia completa de fases del semáforo.

1. Clasificación de los semáforos

Existen diversas clases de semáforos que se encargan de controlar el tráfico en áreas urbanas y rurales, y las principales son las siguientes (Valencia, 2000):

- **Semáforos de tiempos fijos:** Se refiere al lapso en el cual el semáforo sigue un programa preestablecido que define el ciclo, duración y secuencia de los intervalos, los cuales no cambian. Con el propósito de atender de manera más efectiva las necesidades del tráfico, el semáforo puede contar con varios programas que se activan en distintos momentos del día.
- **Semáforos totalmente accionados por el tránsito:** En estos casos, la duración y, en ocasiones, el orden de cada fase está determinado por el tráfico que circula por la intersección. Esta demanda se detecta a través de dispositivos como neumáticos, lazos de inducción o infrarrojos. Todos los accesos a la intersección cuentan con medios para ser activados.
- **Semáforos semiaccionados por el tránsito:** Estos semáforos tienen la capacidad de ser activados en uno o varios accesos y son adecuados para intersecciones de

carreteras con alto volumen y velocidad, donde las calles secundarias tienen un tránsito relativamente ligero. En estos casos, la luz verde suele ser para la calle principal y solo cambia a la calle secundaria cuando se detecta la presencia de vehículos o peatones en ella.

2. Aplicación de los colores del semáforo

Las aplicaciones y las señales fundamentales que se emplean en el funcionamiento de los semáforos son las siguientes (Valencia, 2000):

- **Rojo fijo:** Se utilizará cuando se necesite prohibir el tránsito, excepto para los peatones que sean guiados por una señal destinada para tal fin, ya sea en la intersección o en otra zona bajo control.
- **Amarillo fijo:** Debe encenderse justo después de que se apague la luz verde en la misma cara del semáforo, a menos que dicha cara controle un carril exclusivo para giros a la izquierda, donde la luz verde se muestra junto a una flecha verde.
- **Verde fijo:** Se utilizará exclusivamente para permitir el avance del tránsito en cualquier dirección.

3. Tiempos del semáforo

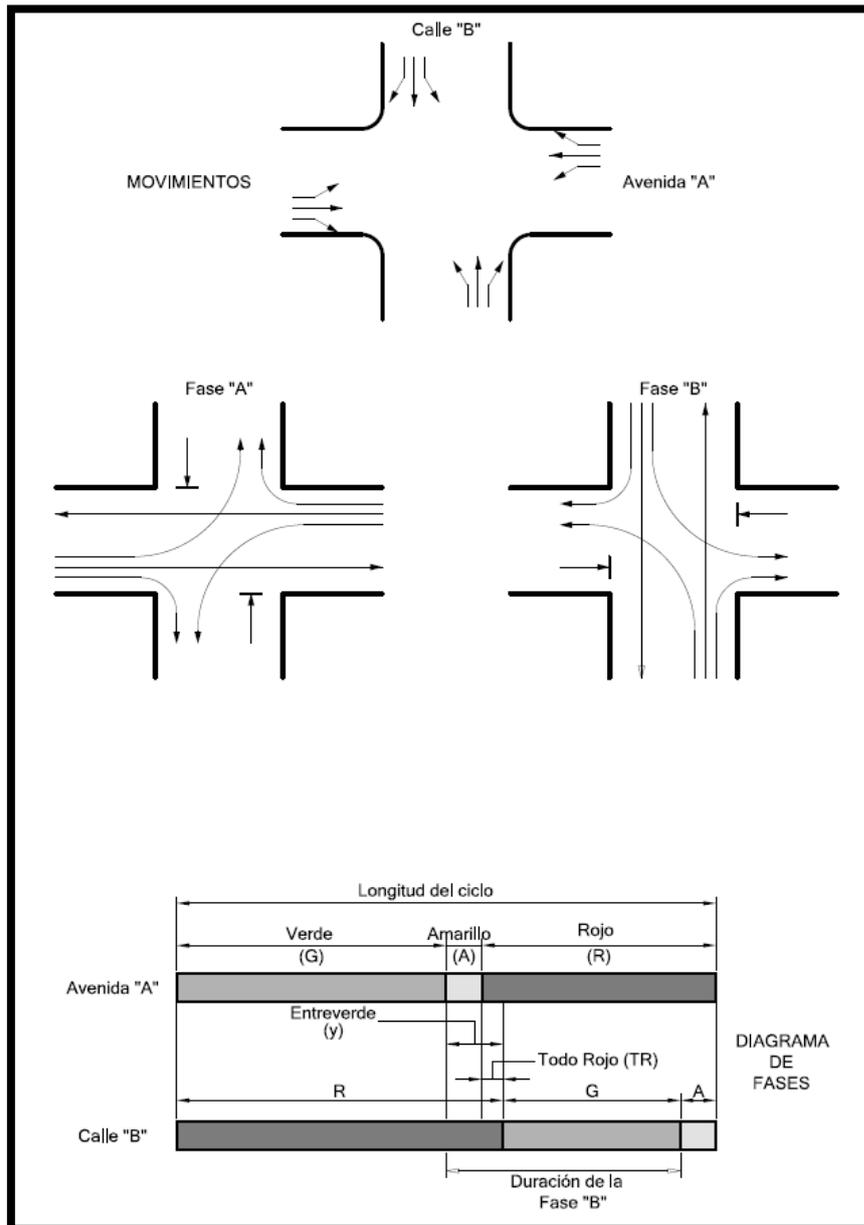
Con el fin de reducir al mínimo las demoras, cada fase deberá incluir la mayor cantidad de movimientos simultáneos posibles. De esta manera, se podrá permitir la circulación de un mayor volumen de vehículos en la intersección (Carrasco & Wazhima, 2012).

La fase se inicia con la luz amarilla que detiene los movimientos que han perdido el derecho de paso, y finaliza cuando la luz verde de los movimientos que tienen el derecho de paso se apaga. Por lo tanto, cada fase se compone de un intervalo de luz amarilla, seguido de una fase de luz roja total y una fase de luz verde. A continuación, se presenta un diagrama

esquemático de una intersección de cuatro accesos controlada por un semáforo de dos fases, que ilustra los conceptos de longitud de ciclo, intervalos y fases (Carrasco & Wazhima, 2012).

Figura 1

Fases y diagrama en una intersección con semáforos.



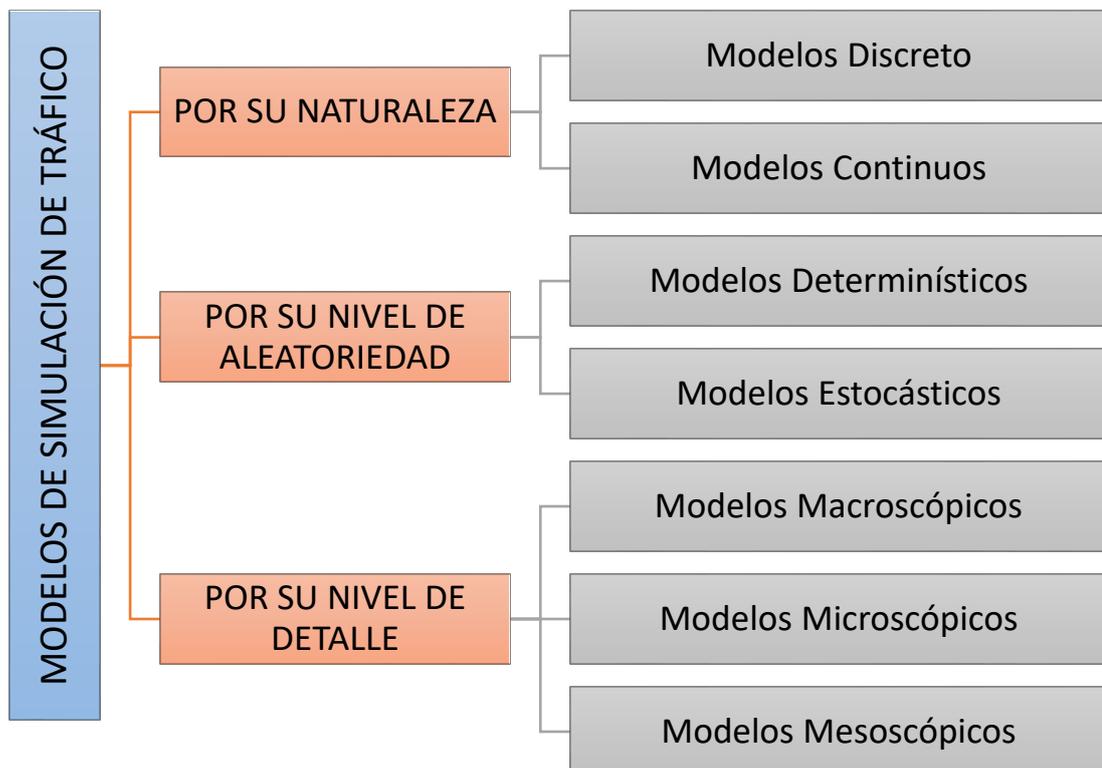
Nota. La distribución de los tiempos en cada fase debe estar en relación directa con los volúmenes de tránsito de los movimientos correspondientes. Fuente: Cal y Mayor & Cárdenas (2018).

2.2.3. Modelos de simulación de tráfico

Los modelos de simulación de tránsito son cualquier tipo de representación que describe la circulación de vehículos y personas dentro de un sistema, lo que permite adquirir conocimientos, comprender y evaluar su funcionamiento (Huertas & Montenegro, 2022). Se puede clasificar los modelos de simulación de tráfico según el tipo de proyecto que se va a realizar y/o según su objetivo, teniendo en cuenta su naturaleza, nivel de detalle y nivel de aleatoriedad.

Figura 2

Modelos de simulación de tráfico.



1. Modelos Discretos

Se refiere a modelos que muestran cambios en sus parámetros de estudio de manera instantánea en cada intervalo de tiempo, como por ejemplo, el número de vehículos en una hora específica del día (Poma, 2021). Además, este modelo considera la conducta de los conductores que experimenta cambios en intervalos de tiempo. Estos

conductores toman decisiones sobre qué acción tomar en respuesta a cada situación en la que se encuentran (Fontalvo, 2013).

2. Modelos Continuos

Estos modelos se fundamentan en la variación continua de los parámetros a lo largo del tiempo de análisis, los cuales cambian constantemente en relación al tiempo. Por ejemplo, los vehículos durante su circulación dentro del tráfico experimentan cambios en su velocidad, posición, entre otros parámetros (Sanchez, 2019).

3. Modelos Determinísticos

Se trata de modelos que se basan en un estudio analítico y se rigen por ecuaciones matemáticas fijas, las cuales no cambian en relación al tiempo y no dependen de la incertidumbre. Por lo tanto, para un mismo conjunto de datos de entrada, se obtienen los mismos resultados en el análisis del proyecto (Alcalá, 2016). Se puede tomar como ejemplo el comportamiento constante de un vehículo en cualquier momento del tiempo. El software Synchro es una herramienta común utilizada para realizar este tipo de análisis basados en ecuaciones matemáticas fijas.

4. Modelos Estocásticos

En contraste con el modelo determinístico, el modelo estocástico es capaz de producir respuestas variables en función de los datos de entrada y el tiempo de análisis del proyecto. Uno de los software que cumple con esta característica es Vissim (Taylor & Karlin, 1998). Los softwares que se basan en configuraciones matemáticas se asocian a los modelos estocásticos, ya que permiten obtener resultados más cercanos a la realidad con un cierto nivel de aleatoriedad según los datos de ingreso. Por otro lado, los modelos determinísticos brindan una única

respuesta en base a ecuaciones matemáticas y, por lo tanto, pueden no reflejar la complejidad de la realidad (Alcalá, 2016).

5. Modelos Macroscópicos

Se trata de una simulación que estudia el tráfico del sistema como un todo, sin tener en cuenta sus componentes individuales, es decir, con un nivel de detalle reducido. Los valores de entrada para esta simulación son en su mayoría valores promedio. Este tipo de simulación es aconsejable en casos donde el área de estudio es grande y cuando la eficiencia es la principal preocupación, ya que se puede realizar en un menor tiempo (Huertas & Montenegro, 2022).

6. Modelos Microscópicos

Este modelo se caracteriza por representar la realidad a través de una interacción vehicular detallada, asignando individualmente acciones a los vehículos y peatones. De esta manera, se analizan los elementos y sus interacciones de manera individual. Para ello, utiliza modelos de seguimiento vehicular, cambio de carril y maniobras de adelantamiento. Es una simulación que permite obtener resultados más precisos, pero requiere un mayor tiempo de análisis y recursos computacionales en comparación con los modelos de nivel macroscópico (Huertas & Montenegro, 2022).

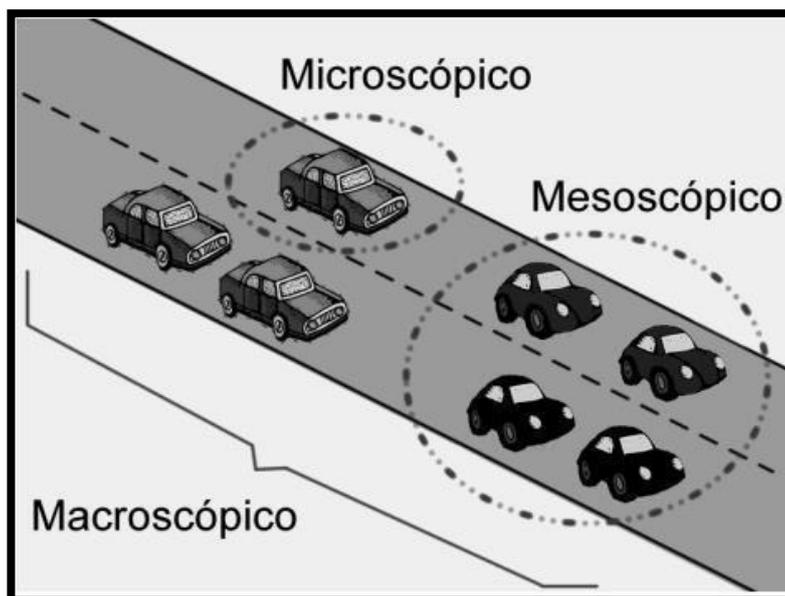
7. Modelos Mesoscópicos

Este modelo combina algunas características de los modelos macroscópicos y microscópicos. En términos generales, se considera a los grupos de vehículos como una unidad, pero los movimientos individuales de cada vehículo, como giros y tiempos de entrada y salida, se determinan de forma singular dentro del mecanismo de simulación (Fontalvo, 2013).

A continuación, se muestra un gráfico según el nivel de detalle de la simulación.

Figura 3

Niveles de detalle de simulación del tráfico



Nota. Fuente: Alcalá (2016).

2.2.4. Microsimulación de tráfico

La microsimulación de tráfico es el proceso que modela el movimiento de vehículos individuales durante su trayecto, considerando sus características específicas. Los comportamientos y las interacciones entre los diferentes elementos del tráfico, como los vehículos, la red vial y los dispositivos de control, se representan mediante patrones de seguimiento, cambios de carril y aceptación de espacios (Kim, 2006).

Los modelos microscópicos han ganado popularidad en los últimos años como herramienta para analizar el rendimiento del tráfico debido a su seguridad, bajo costo y tiempo de análisis más corto en comparación con las pruebas in situ (Park & Schneeberger, 2003). El software Vissim se basa en el modelo microscópico y se utiliza ampliamente para el análisis de tráfico, lo que permite identificar posibles problemas en el proyecto en estudio. Si bien este modelo tiene muchos parámetros de eficiencia, es importante centrarse en los más relevantes para el proyecto. Es importante destacar que, cuando se habla de un modelo

microscópico, no se hace referencia a la cobertura geográfica de la zona de estudio, sino a un análisis detallado del funcionamiento del tráfico (Alcalá, 2016).

2.2.4.1. Construcción del modelo

Según Infante y Amador (2011), indican que existen muchos programas de microsimulación de tráfico que compiten por ser líderes en el mercado mundial, pero todos comparten características esenciales similares. Por lo tanto, el proceso de microsimulación se divide principalmente en tres etapas:

1. La elección de redes.

La finalidad de los modelos de microsimulación es representar el tránsito vehicular en una infraestructura vial, permitiendo evaluar su dinámica en dos situaciones: el aumento del flujo vehicular y la modificación de la geometría de la vía. Por lo general, se modelan cuatro escenarios que implican la alteración de una o dos de las condiciones mencionadas:

- Flujos vehiculares actuales con la geometría actual.
- Flujos vehiculares futuros sin cambios en la geometría.
- Flujos vehiculares actuales con cambios en la geometría.
- Flujos vehiculares futuros con cambios en la geometría

Mediante esta técnica, será posible examinar y contrastar los resultados conseguidos basándose en indicadores que reflejen la mejora del tráfico de vehículos, como resultado del aumento del flujo de automóviles y/o la variación en la geometría de la vía.

2. La construcción y posterior calibración de la red.

La construcción consiste en representar en un software simulador las características físicas y operativas de la red vial, mientras que la calibración implica ajustar los componentes modelados para que se correspondan con las condiciones reales de tráfico, a

través de datos obtenidos en campo. Por lo tanto, la precisión de los resultados obtenidos dependerá de la cantidad y calidad de información suministrada.

3. Indicadores de desempeño o parámetros de eficiencia y resultados de la red analizada.

Los programas de microsimulación de tráfico vehicular ofrecen la posibilidad de examinar el estado actual de las infraestructuras viales y medir la eficacia de las soluciones propuestas utilizando indicadores de rendimiento tales como niveles de servicio, demoras, longitud de las colas, tiempos de viaje y velocidades de operación. De esta manera, se puede determinar la configuración de la red vial más conveniente para asegurar condiciones de movilidad eficaces y apropiadas para los usuarios, como conductores y peatones.

2.2.4.2. Fundamentos de la Microsimulación

1. Nivel de aleatoriedad en el flujo del tráfico

Este nivel de simulación está estrechamente relacionado con el comportamiento de los conductores y se representa tanto de manera determinista como estocástica en los programas de microsimulación. En el modelo determinista, no hay variaciones en las características del conductor ni del vehículo, mientras que en el modelo estocástico sí se presentan variaciones, que se determinan principalmente en distribuciones estadísticas (Poma, 2021).

2. Número de semilla

El software de microsimulación genera un valor numérico aleatorio que se asigna a las características de los conductores y los tipos de vehículos. Estas características influyen en la secuencia de decisiones que toman en situaciones específicas. Por ejemplo, en cuanto al estilo de conducción, los conductores pueden ser agresivos, tranquilos, etc., mientras que los tipos de vehículos pueden ser camionetas, minivans, automóviles, etc. Estas

características se utilizan para establecer un orden jerárquico en la red vial (Dowling et al., 2004).

3. Número de corridas

La validez de los resultados obtenidos mediante el modelo microscópico dependerá de la cantidad de veces que se ejecute el análisis, ya que cada evaluación se realizará a partir de un número de semilla diferente. Aunque los resultados de cada corrida tenderán a ser similares a la media total de las ejecuciones, cada análisis presentará diferencias entre sí. Por lo tanto, para garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos, se deberá determinar la cantidad de corridas necesarias para el estudio en cuestión (Fellendorf & Vortisch, 2010).

Se requerirá un análisis estadístico, ya que no es posible evaluar todos los elementos de la población. En cambio, se seleccionará una muestra que sea representativa y lo más heterogénea posible, de modo que pueda reflejar con precisión a la población en su conjunto. No se debe dar preferencia a ninguna parte en particular de la muestra. El objetivo es obtener resultados que puedan ser extrapolados a la población en su totalidad (Alcalá, 2016).

En vista de lo anterior, se persigue la realización de un número ampliado de iteraciones a fin de conseguir resultados más fiables, por consiguiente, es preciso ejecutar una serie de corridas preliminares para después calcular la desviación estándar. Las fórmulas destinadas a efectuar esta evaluación estadística son las siguiente (Alcalá, 2016):

Desviación estándar de muestra

$$S^2 = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1} \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

S = desviación estándar

x = resultado del parámetro de eficiencia de una corrida específica



\bar{x} = media del parámetro en todas las corridas

N = número de corridas

Según la Federal Highway Administration (2004), la recomendación es utilizar la distribución T de Student para determinar el número mínimo de corridas necesarias.

Entonces, intervalo de confianza

$$CI_{(1-\alpha\%)} = 2 * t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right), N-1} * \frac{S}{\sqrt{N}} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

CI = intervalo de confianza

$t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$ = t-student con $N-1$ grados de libertad.

N = número de corridas

S = desviación estándar

Según las investigaciones realizadas por la Federal Highway Administration (2004) la ecuación que permite establecer el número mínimo de corridas a realizar es la siguiente:

$$N = \left(t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)} * \frac{S}{e} \right)^2 \dots\dots\dots (5)$$

Donde:

N = número mínimo de corridas

$t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$ = t-student con $N-1$ grados de libertad

S = desviación estándar

e = margen de error

La Federal Highway Administration (2004) sugiere seguir el siguiente procedimiento para determinar el número mínimo de corridas: en primer lugar, se debe ejecutar el modelo al menos 4 veces para evaluar su comportamiento. Posteriormente, se deben calcular los

parámetros estadísticos como la media y la desviación estándar de los resultados obtenidos. Además, se debe definir el nivel de confianza y el margen de error que se desea alcanzar. Con esta información, se puede utilizar la ecuación 3 para obtener el número mínimo de repeticiones necesario.

Finalmente, se debe comparar el número mínimo de repeticiones obtenido mediante la ecuación 5 con el número de corridas ya realizadas en el modelo. Si la cantidad de corridas es mayor al mínimo establecido, entonces la evaluación será suficiente. En caso contrario, se deberá trabajar con una cantidad diferente de corridas y volver a medir los parámetros estadísticos de la nueva muestra. Este proceso se debe repetir hasta que el número de corridas sea mayor o igual al mínimo requerido para garantizar la fiabilidad de los resultados.

4. Warm up (tiempo de estabilidad)

Cuando se alcanza esta estabilidad, se puede empezar a recopilar información estadística. Se examinan los resultados de los parámetros de eficiencia, como el volumen de tráfico, la longitud de las colas, el tiempo de viaje, entre otros (Dowling et al., 2004). Según investigaciones realizadas por la Federal Highway Administration, se determinó que el tiempo de estabilización mínimo necesario para los modelos es de 10 minutos.

5. Interacción de vehículos

Los modelos microscópicos se basan en la interacción de los vehículos en la red de flujo vehicular, y para ello se utilizan los modelos de seguimiento vehicular y cambio de carril (Fellendorf & Vortisch, 2010). En el modelo de seguimiento vehicular, los conductores toman decisiones basadas en variables como velocidad, aceleración, desaceleración y distancia segura, mientras que en el modelo de cambio de carril, se considera la necesidad de cambio de carril del vehículo, ya sea por el comportamiento del conductor o por la presencia de un vehículo más rápido detrás de otro más lento (PTV GROUP, 2018).

6. Calibración del modelo

Este es un proceso iterativo que busca garantizar que el modelo creado refleje de manera precisa la situación real, considerando sus condiciones locales. Esto se logra mediante la comparación entre los parámetros de eficiencia obtenidos a través del software y los datos obtenidos en el campo (Alcalá, 2016). Se utilizan parámetros como la longitud de colas, velocidad de viaje, tiempo de viaje y otros (Dowling et al., 2004).

7. Validación del modelo

Se trata de la fase de validación, en la cual se comprueba si el modelo desarrollado es apto para la evaluación de resultados. Para lograr esto, se introducen nuevos datos de entrada de la zona seleccionada en el software PTV Vissim. El objetivo es obtener valores similares entre el software y los resultados del campo, tomando como base los parámetros modificados en el proceso de calibración, como la longitud de colas, velocidad de viaje, tiempo de viaje, entre otros. Es esencial que el modelo cumpla con las condiciones necesarias para ser considerado válido. Este proceso es iterativo y puede requerir ajustes en el modelo hasta lograr una validación satisfactoria (Benekohal, 1991).

2.2.4.3. Modelos de seguimiento vehicular (car following)

Modelo de la General Motors

En este contexto, se hace referencia a la relación entre el estímulo que se produce y la acción del conductor. Esta relación se utiliza para generar un tipo de seguimiento en el que un vehículo sigue a otro, y para ello se utiliza el modelo General Motors. Ambos vehículos tienen comportamientos similares, pero la única diferencia es la respuesta del vehículo que sigue, que se basa en su sensibilidad y el estímulo recibido (Meza, 2018).

Modelo de Gipps (Distancia Segura)

El modelo propuesto tiene como objetivo establecer una relación entre la velocidad requerida durante la interacción entre dos vehículos y la distancia mínima de seguridad que debe mantenerse entre ellos. El enfoque principal del modelo es garantizar la seguridad y prevenir colisiones entre el vehículo líder y el vehículo seguidor (Poma, 2021).

Modelo de Wiedemann

El modelo de Wiedemann es utilizado por el software PTV Vissim. Asimismo, Lacerda & Castro Neto (2014) se enfocan en los parámetros psicofísicos, poniendo especial atención en la percepción y reacción humanas en diversas situaciones del tráfico vehicular.

La percepción y reacción humanas se ven reflejadas por las influencias de sus propios movimientos, tales como el tipo de manejo y la máxima aceleración, además de la distancia y diferencia de velocidades entre vehículos.

El modelo se basa en la idea de que cuando un conductor se acerca a un vehículo que se mueve más lentamente, comenzará a desacelerarse cuando alcance su propio umbral de percepción. Dado que no puede determinar con precisión la velocidad del vehículo más lento, su velocidad disminuirá por debajo de la velocidad del vehículo en cuestión hasta que alcance otro umbral de percepción y comience a acelerar de nuevo. Esto resulta en una aceleración y desaceleración suaves y constantes. El modelo también tiene en cuenta diferentes comportamientos de los conductores mediante la utilización de funciones de distribución de la velocidad y la distancia (PTV GROUP, 2018).

Según Fellendorf & Vortisch (2010) este modelo contempla cuatro situaciones o áreas posibles que los conductores pueden experimentar dentro del tráfico.

La primera situación se caracteriza por el desplazamiento sin obstáculos del vehículo, sin ser influenciado por otros vehículos en su entorno (área de conducción libre).

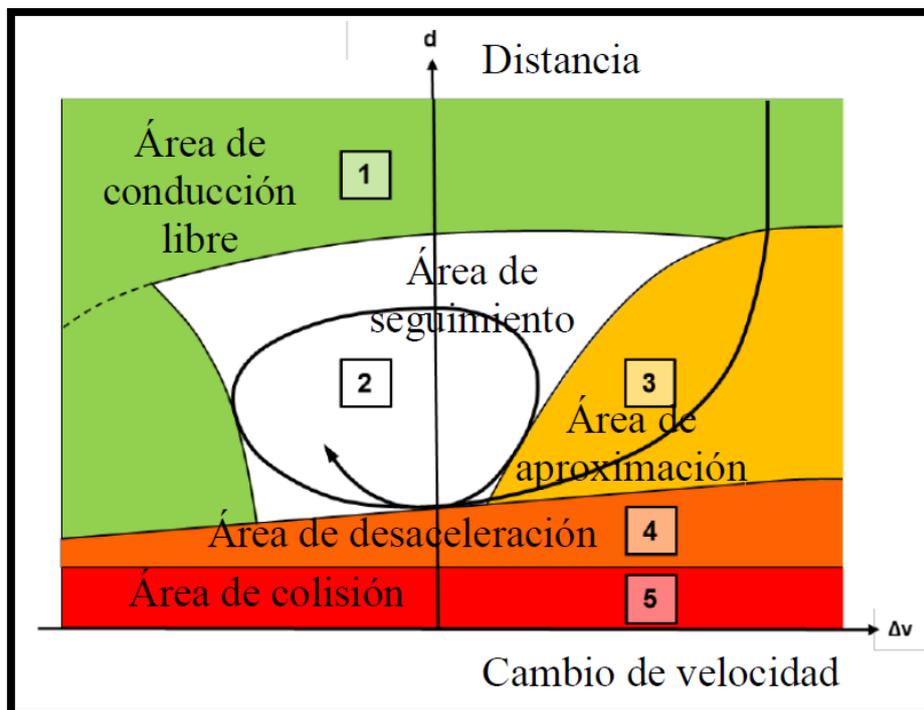
La segunda situación ocurre cuando el conductor percibe la presencia de un vehículo que se mueve a una velocidad más baja, pero no es afectado por el vehículo que está delante de él (área de aproximación).

La tercera situación implica que el conductor se involucra en un seguimiento inconsciente del vehículo que viaja más lento, lo que significa que su velocidad es totalmente influenciada por dicho vehículo (área de seguimiento).

La última situación del modelo corresponde a un escenario de desaceleración, en el cual el conductor debe frenar debido a que no mantiene una distancia segura con respecto al vehículo que se encuentra adelante (área de desaceleración o frenado).

Figura 4

Fases del modelo de Wiedemann.



Nota. Fuente: PTV Group (2018).

2.2.4.4. Modelos de cambio de carril

Cambio de carril necesario

El modelo se aplica cuando el conductor debe seguir una ruta específica, y el software incluye los parámetros necesarios para simular esta acción. Por ejemplo, se considera la desaceleración aceptable para un vehículo que quiere cambiar de carril, y se toma en cuenta el vehículo que está siendo adelantado y que debe detenerse (Suárez, 2007).

Cambio de carril libre

Este modelo describe una situación en la que un vehículo adelanta a otro que se mueve más lento. Para ello, el vehículo cambia de carril de forma segura ya que su velocidad deseada es mayor que la del vehículo que está adelantando. En este modelo se toman medidas para asegurar que el vehículo que está siendo adelantado no se vea afectado negativamente por esta maniobra (PTV GROUP, 2018).

2.2.5. Software PTV Vissim

El software PTV Vissim utiliza un modelo de microsimulación para simular el tráfico urbano y las operaciones del transporte público. Entre las características que se tienen en cuenta en su análisis se encuentran la configuración de carriles, la composición del tráfico, la semaforización y las reglas de prioridad. Por lo tanto, es una herramienta útil para la evaluación de diferentes opciones en el diseño y planificación del transporte y el tráfico (Fontalvo, 2013).

Vissim es un programa informático que se enfoca en la micro simulación minuciosa y multimodal del tráfico. Este software es completo y permite representar de manera más precisa las condiciones de diversas situaciones viales, como intersecciones, rotondas y cruces, además de capturar el comportamiento vehicular y peatonal en conjunto (Poma, 2021).

2.2.5.1. Antecedentes de Vissim

La expresión “Verkehr in Städten – Simulation” es el origen del término Vissim, el cual se refiere a la simulación del tránsito en las ciudades. Fue desarrollado por primera vez en la década de 1980 en la Universidad de Karlsruhe en Alemania y su versión comercial debutó en 1992 con la versión 2.03 que se ejecutaba en el sistema operativo Windows (PTV GROUP, 2018).

2.2.5.2. Mecanismo de funcionamiento

El parámetro psicofísico del seguimiento vehicular del profesor Wiedemann es la base de Vissim. Este software es utilizado para modelar el tránsito urbano y operaciones del transporte público, y para analizar aspectos como la configuración de carriles, composición del tráfico y semaforización, entre otros. Como resultado, se ha convertido en una herramienta esencial para evaluar diferentes alternativas de diseño y planificación del tránsito y transporte (Gao, 2008).

El modelo de seguimiento vehicular es de gran importancia dentro del funcionamiento de Vissim, aunque no se puede ignorar el modelo de cambio de carril, ya que ambos están integrados en el desarrollo del modelo del tráfico. En el modelo de seguimiento vehicular, cuando un vehículo con mayor velocidad se acerca a uno con menor velocidad, se ajustará a su separación. Esto se debe a la reacción del conductor que depende de la diferencia de velocidad, distancia y comportamiento (Ahmed, 1999).

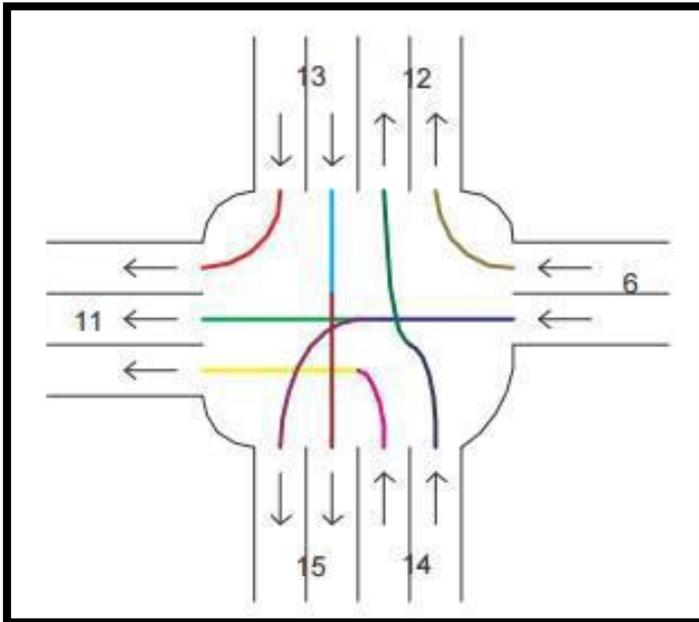
2.2.5.3. Componentes

Componente estático

Los elementos se evidencian a lo largo del recorrido de los vehículos en el sistema simulado. En el caso de una intersección, se llevan a cabo maniobras y cambios de dirección para las diferentes circulaciones realizadas (Alcalá, 2016).

Figura 5

Giros y movimientos en una intersección.



Nota. Fuente: Fontalvo (2013).

Componente dinámico

Los modelos dinámicos presentan cambios temporales en la circulación del tráfico, como los semáforos que influyen significativamente en el comportamiento del conductor y, por lo tanto, en el sistema en general. La precisión de estos componentes dinámicos es crucial para el nivel de detalle del proyecto, ya que tienen un impacto significativo en la determinación de las interrelaciones entre los diferentes parámetros dentro del modelo microscópico (Alcalá, 2016).

2.2.5.4. Infraestructura del modelo

Para construir un modelo de microsimulación en Vissim es necesario tener en cuenta el objetivo del análisis que se quiere realizar. Para una evaluación simple de una señal lógica en una intersección, un modelo básico es suficiente. Sin embargo, si se busca realizar un análisis detallado del comportamiento del tráfico en un área específica, es necesario construir un modelo a escala y seguir una metodología establecida. La complejidad del modelo

dependerá de la precisión y el nivel de detalle requerido para el análisis (Fellendorf & Vortisch, 2010).

1. Link y conectores

En el modelo de microsimulación, los links y conectores son los elementos que conforman la red vial y que representan los carriles. Son fundamentales para el desarrollo del modelo y se ubican en secciones interconectadas que forman el diseño vial. Los nodos se encuentran en estos puntos interconectados mientras que los links se distribuyen a lo largo de los tramos viales (Fellendorf & Vortisch, 2010).

2. Otros elementos del modelado

Se pueden utilizar otros comandos en Vissim para incrementar la precisión de la simulación. Uno de ellos es el comando de límite de velocidad, el cual indica la velocidad que debe mantener el vehículo desde su punto de partida. Otro comando es la prioridad de los usuarios, el cual establece qué vehículos tienen prioridad sobre otros; como, por ejemplo, los vehículos que circulan por una vía principal sobre los que transitan por una vía secundaria. Además, se puede incluir semáforos en el modelo mediante el comando “signal head” en el programa Vissim (Alvarez, 2017).

3. Control de tráfico

Intersecciones no semaforizadas

La simulación de este tipo de intersección en Vissim se basa en reglas que establecen la prioridad entre los diferentes tipos de vías y conectores por los que los vehículos circulan. Estas reglas permiten que los vehículos se reconozcan entre sí y se desenvuelvan adecuadamente. Para lograr esto, se utilizan normas de diseño vial y gestión de tráfico que definen los detalles específicos de la interacción entre los vehículos (Alcalá, 2016).

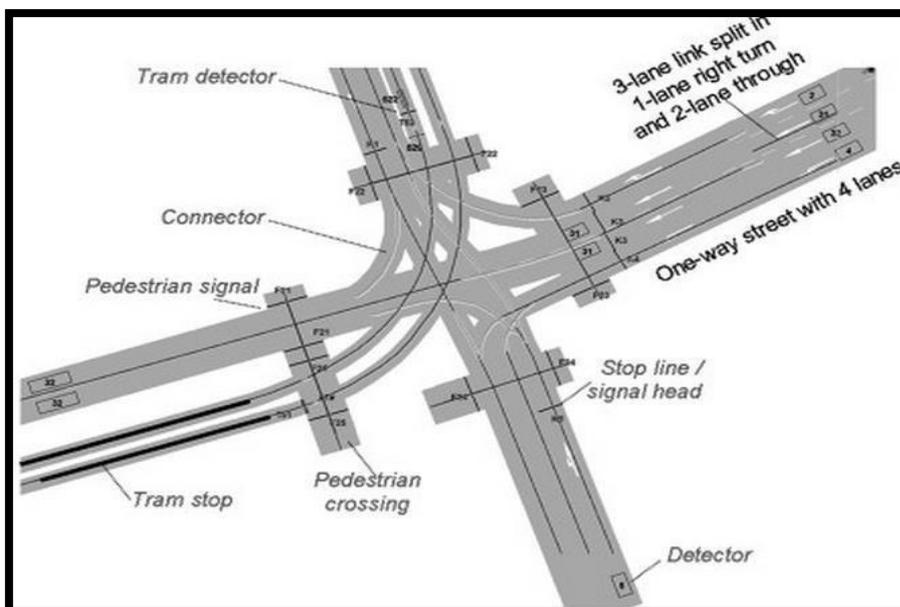
Intersecciones semaforizadas

La simulación de intersecciones con semáforos se distingue por el uso de controladores de señales (signal group) que se emplean para regular el flujo vehicular en la intersección semaforizada (Alcalá, 2016).

En el modelo, los semáforos se representan como un conjunto de señales (signal head) que definen su característica, y usan las fases de tiempo rojo, verde y ámbar en su forma tradicional (Fellendorf & Vortisch, 2010); no obstante, en intersecciones más complejas se pueden agregar fases de tiempo adicionales como la fase de “todo rojo”. A continuación, se presenta un ejemplo de un modelo de intersección que utiliza semáforos para el control del tráfico.

Figura 6

Intersecciones señalizadas.



Nota. Fuente: Fellendorf & Vortisch (2010).

4. Otros Elementos del modelado

El software Vissim se basa en los parámetros psicofísicos de Wiedemann 74 para su funcionamiento, los cuales tienen en cuenta los umbrales de percepción y reacción de los

conductores de cada vehículo a lo largo de su ruta. Además, el software considera los submodelos de seguimiento vehicular, como el cambio de carril, el comportamiento lateral y el control semafórico, que tienen una gran influencia en el mismo. Se puede expresar la distancia necesaria para la interacción entre dos vehículos mediante la siguiente ecuación (Alcalá, 2016):

$$d = a_x + (b_{x_add} + b_{x_mul} * z) * \sqrt{v} \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

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 entre 0 y 1, obtenido de una distribución normal ($x = 0.5$ y $s = 0.15$)

v = Velocidad (m/s).

Tabla 1

Definición de los parámetros del modelo Wiedemann 74.

Parámetros	Descripción
Distancia media de parada (a_x)	La distancia promedio preferida entre dos vehículos es definida por este parámetro. La tolerancia de distancia varía de -1.0 m a +1.0 m, y típicamente se distribuye alrededor de 0.0 m con una desviación estándar de 0.3 m. Su valor predeterminado es 2.
Parte aditiva de la distancia de seguridad (b_{x_add})	Este valor se emplea en el cálculo de la distancia deseada de seguridad d. Permite ajustar los requisitos de tiempo según sea necesario. Por lo general, su valor predeterminado es 2.
Parte multiplicativa de la distancia de seguridad (b_{x_mul})	Se utiliza este valor para calcular la distancia de seguridad deseada d. Permite ajustar los valores de los requisitos de tiempo. Mayor valor = mayor distribución (desviación estándar) de la distancia de seguridad. Por defecto, este valor es de 3.

Nota. Fuente: PTV GROUP (2018).



2.2.6. Intersecciones

Una intersección es una zona común a dos o más carreteras cuya finalidad es permitir el cambio de dirección del recorrido. La complejidad de una intersección varía, desde un simple cruce en ángulo recto de dos carreteras, hasta intersecciones más elaboradas que pueden tener forma de T, Y, X o estrella.

1. Clasificación:

Desnivel sin rampas

Las intersecciones a desnivel están compuestas por estructuras que permiten el cruce del tráfico en diferentes niveles sin interrupciones, gracias a la presencia de distancias verticales (Díaz, 2009).

Desnivel con rampas

Estas estructuras se llaman distribuidores viales y son ampliamente conocidas con este nombre. La construcción de intersecciones a desnivel reduce significativamente el riesgo de accidentes, ya que elimina muchos de los conflictos que pueden surgir entre los flujos de tráfico que se cruzan (Díaz, 2009).

Intersecciones a nivel

Las intersecciones a nivel no incluyen estructuras que distribuyan el flujo vehicular en diferentes niveles, lo que resulta en conflictos entre los vehículos que se cruzan (Díaz, 2009).

2. Tipos de intersecciones:

Intersecciones de tres ramales

Se utilizan este tipo de intersecciones para conectar carreteras principales con secundarias, de modo que las últimas se integran en las primeras. Se pueden distinguir dos tipos según su disposición geométrica en planta: las intersecciones en T, donde los ramales

se encuentran formando ángulos mayores a 60° , y las intersecciones en Y, donde al menos uno de los ángulos entre los ramales es menor a 60° (Bañón & Beviá, 2000).

Intersecciones de cuatro ramales

Estas intersecciones implican el cruce de dos vías, con un total de cuatro ramales que tienen un rango similar. En ambos casos, intersecciones en cruz y en X, se forman ángulos menores de 60° entre los ramales (Bañón & Beviá, 2000).

Intersecciones de cuatro o más ramales

Este tipo de intersección presenta un reto en su gestión, por lo que se recomienda evitarlas en la medida de lo posible. En algunos casos, la solución más adecuada es eliminar uno de los ramales, conectándolo fuera de la intersección. En otras ocasiones, esto no es viable y se requieren soluciones complejas como las rotondas. En zonas urbanas, se puede simplificar el funcionamiento de la intersección mediante la implementación de sentido único en algunos ramales (Bañón & Beviá, 2000).

2.2.6.1. Intersecciones semaforizadas

Los semáforos se utilizan para minimizar los conflictos en una intersección, ya que permiten asignar el uso de la misma a distintos flujos vehiculares en momentos diferentes. Sin embargo, su uso puede ocasionar demoras en el tráfico, por lo que es importante utilizarlos solo cuando sea necesario. El volumen de tráfico en el acceso a la intersección es el factor más importante para determinar si se requiere la instalación de semáforos, aunque otros factores, como el volumen de peatones y la frecuencia de accidentes, también pueden ser relevantes (Díaz, 2009).

2.3. Definición de términos

Intersección: Se refiere al área física en la que varias líneas de tráfico comparten espacio y en la que se producen conflictos de movimiento entre ellas (Rondoño, 2018).

Carril: Un carril es una sección de la calzada que se puede dividir longitudinalmente y que tiene el ancho suficiente para que un solo vehículo circule. Se identifican visualmente en la carretera mediante marcas en el pavimento (Bañón & Beviá, 2000).

Calzada: La calzada es la zona de la carretera destinada a la circulación de los vehículos, que puede estar diseñada para permitir el tráfico en un solo sentido o en ambos sentidos. Esta área está subdividida en un número determinado de carriles, que se pueden distinguir a través de las marcas viales en el pavimento (Bañón & Beviá, 2000).

Ciclo: La duración de un ciclo de semáforo se refiere al tiempo que tarda el disco indicador en completar una revolución completa, lo que significa que todas las señales de luz del semáforo se muestran en una secuencia completa (Carrasco & Wazhima, 2012).

Simulación: La simulación consiste en seleccionar y llevar a cabo diferentes situaciones de prueba que se asemejen a la realidad del proyecto, con el objetivo de determinar la solución más efectiva (Limas, 2019).

Modelo: Una entidad abstracta que se usa como modelo para comprender y analizar una parte de la realidad de manera clara y sencilla (Ríos, 1995).

Fase: Se define como una porción del ciclo en la que se permite el paso de uno o más movimientos simultáneos en una combinación específica y ordenada. Una fase puede ser asignada a un solo movimiento vehicular, peatonal o una combinación de ambos, y comienza cuando los movimientos que tienen derecho de paso ganan prioridad sobre aquellos que entran en conflicto con ellos. La fase termina cuando aparece la indicación ámbar y los movimientos que perdieron el derecho de paso deben detenerse (Carrasco & Wazhima, 2012).

2.4. Hipótesis

2.4.1. *Hipótesis general*

El modelo de microsimulación de tráfico reduce la congestión vehicular en la intersección de la Av. Centenario con el Jr. Víctor Vélez y el Jr. Sebastián de Aliste, distrito de Independencia, provincia de Huaraz-2023, empleando el software PTV Vissim 2024.

2.4.2. *Hipótesis específicas*

1. La situación actual con la construcción, calibración y validación del modelo de microsimulación de tráfico de la intersección, permite establecer condiciones para la reducción de la congestión vehicular.
2. Los parámetros de eficiencia más significativos que intervienen en el modelo de microsimulación de tráfico, para reducir la congestión vehicular en la intersección son la longitud de cola, demora promedio de viaje y velocidad promedio de viaje.
3. Las propuestas de solución más convenientes planteadas en el modelo de microsimulación de tráfico, reducen la congestión vehicular en la intersección.

2.5. Variables

Variable Independiente:

Microsimulación de Tráfico

Variable Dependiente:

Congestión Vehicular

2.5.1. Operacionalización de Variables

Tabla 2

Matriz de operacionalización de variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índice de medición	Unidad de medida	Instrumentos	Herramientas
Independiente: Microsimulación de Tráfico	La microsimulación de tráfico es el proceso que modela el movimiento de vehículos individuales durante su trayecto, considerando sus características específicas. Los comportamientos y las interacciones entre los diferentes elementos del tráfico, como los vehículos, la red vial y los dispositivos de control, se representan mediante patrones de seguimiento, cambios de carril y aceptación de espacios (Kim, 2006).	Proceso para realizar la construcción del modelo de la vía, para que posteriormente se efectúe la calibración y finalmente la validación del modelo, bajo la evaluación del estudio de tráfico	Construcción del modelo	Geometría de la intersección	Dimensiones de la sección vial de los accesos a la intersección	metros	Ficha de registro	Software PTV Vissim
				Flujograma vehicular	Aforo vehicular	veh/h		
				Composición vehicular	Aforo vehicular por tipo de vehículo	veh/h		
				Ciclo del semáforo	Longitud de ciclo Fases del semáforo	segundos		
Dependiente: Congestión Vehicular	La congestión vehicular se refiere a una situación o período de tiempo en la que una cantidad mayor de vehículos circula por las vías urbanas de lo que se había proyectado, lo que provoca una reducción en la velocidad de los vehículos y un aumento en su tiempo de circulación y desplazamiento (Bull, 2003).	Se determinará las características básicas que producen la congestión vehicular, los cuales son la longitud de cola, demora de viaje y velocidad promedio de viaje.	Parámetros de eficiencia	Longitud de cola	Medida de longitud lineal	metros	Data del modelo de simulación	Software PTV Vissim
				Demora promedio de viaje	Medida del tiempo	segundos		
				Velocidad promedio de viaje	Medida de la velocidad	km/h		
			Calibración y validación del modelo	Parámetros de Wiedemann	Distancia media de parada Parte aditiva de a distancia de seguridad Parte multiplicativa de la distancia de seguridad	metros	Registro de iteraciones	Software PTV Vissim

III. Metodología

3.1. Tipo de investigación

3.1.1. Método

El método de la investigación es Deductivo, ya que permite verificar si una hipótesis puede ser corroborada en diferentes situaciones o escenarios.

3.1.2. Orientación

La orientación es Aplicada, la finalidad es detectar la situación problemática y seleccionar entre diversas opciones de solución, aquella que resulte más apropiada, haciendo uso de herramientas innovadoras aplicadas en el ámbito de la ingeniería de tránsito.

3.1.3. Por el enfoque

Por enfoque es Cuantitativo, la razón por la que se realiza la microsimulación de tráfico es para obtener mediciones precisas de los resultados, como la longitud de cola en metros, las demoras de viaje en segundos y la velocidad promedio de viaje en kilómetros por hora, lo que permitirá evaluar la congestión vehicular antes y después de implementar las posibles soluciones. Además, se plantean hipótesis para medir el impacto de las alternativas de solución a través de la realización de la microsimulación de tráfico.

3.1.4. Por el nivel

El nivel de investigación es de carácter Descriptivo, porque su finalidad es detallar las propiedades, características y perfiles de cualquier fenómeno que sea objeto de estudio, recopilando información cuantificable para realizar inferencias a partir del análisis de datos.

3.1.5. Diseño de investigación

El diseño de investigación es No Experimental de corte Transversal, lo que significa que no hay condiciones o estímulos que afecten a la muestra de estudio y las variables no son manipuladas ni controladas. Los datos se recolectan directamente y se analizan

posteriormente, permitiendo estudiar el comportamiento de las variables en un mismo momento.

3.2. Población y muestra

Población

La población considerada para la investigación constituye el tránsito vehicular de todas las intersecciones de la Avenida Centenario, Independencia-Huaraz.

Muestra

La muestra es no probabilística elegida por inclusión y exclusión, representada por el tránsito vehicular de la intersección de la Av. Centenario con el Jr. Víctor Vélez y el Jr. Sebastián de Aliste, por su importancia y grado de congestión vehicular.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica es la observación directa, la cual se realiza mediante la filmación o grabación de la congestión vehicular en la intersección de estudio, y de esta manera, se recopila la información necesaria para realizar el modelo de microsimulación empleando el software PTV Vissim 2024.

Tabla 3

Técnica e instrumentos de investigación.

Técnica	Instrumentos
Observación Directa	<ul style="list-style-type: none">• Ficha de registro de la geometría de la intersección• Ficha de registro de aforo vehicular y dirección del flujo vehicular• Ficha de registro de longitudes de colas

3.3.1. Recolección de datos de campo

Se llevó a cabo la recolección de datos de campo siguiendo la metodología detallada en el presente proyecto de investigación. En virtud de las indicaciones pertinentes, se presentarán a continuación los aspectos considerados durante el proceso de obtención de datos de campo.

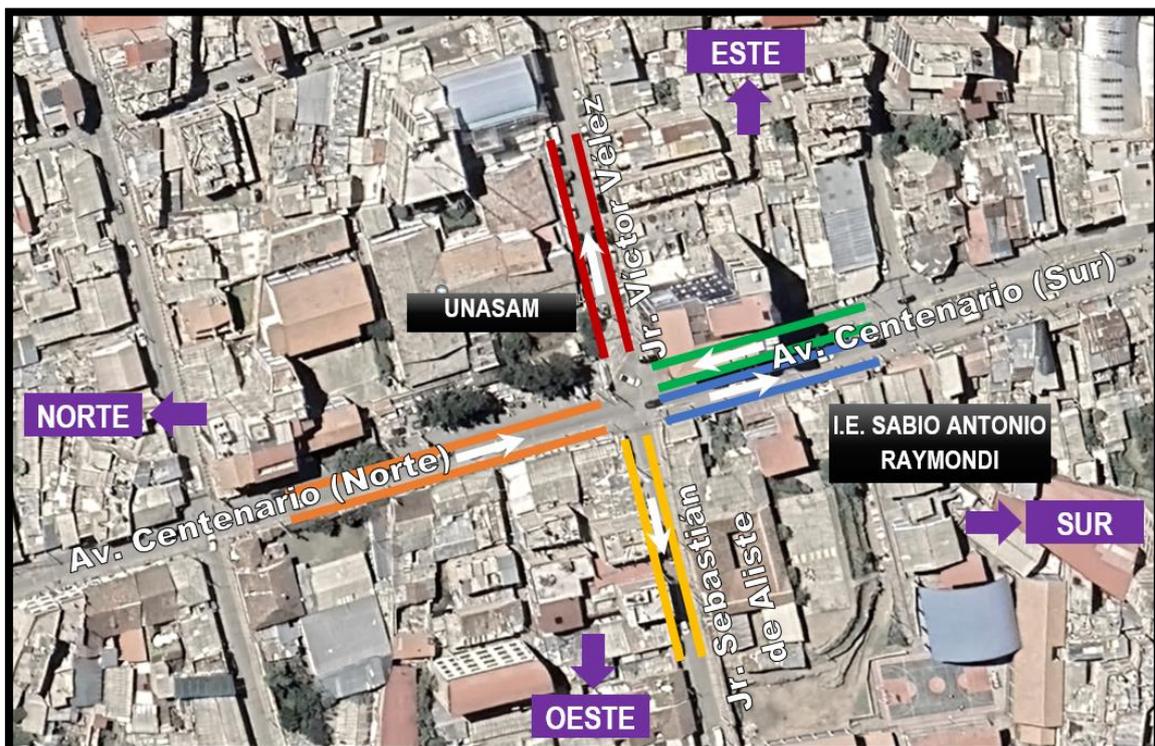
3.3.1.1. Elección del Área de Estudio: Intersección de Análisis

El área de estudio se sitúa en una zona concurrida dentro del distrito de Independencia. El análisis de tráfico contemplado en esta investigación abarca la intersección de la Avenida Centenario con el Jr. Víctor Vález y el Jr. Sebastián de Aliste, las cuales forman parte de las vías principales de acceso hacia el centro de la ciudad de Huaraz. Por ende, experimentan un alto flujo vehicular, tanto de transporte público como privado. Cabe destacar que esta intersección está regulada por semáforos de tiempo fijo. Además, en esta área se encuentran ubicados la I.E. Sabio Antonio Raymondi y la sede Central de la Unasam, factores que contribuyen a la congestión vehicular durante las horas punta.

A continuación, se muestra una vista satelital de donde se encuentra la intersección que será objeto de análisis en los capítulos siguientes.

Figura 7

Vista satelital de la intersección en estudio.

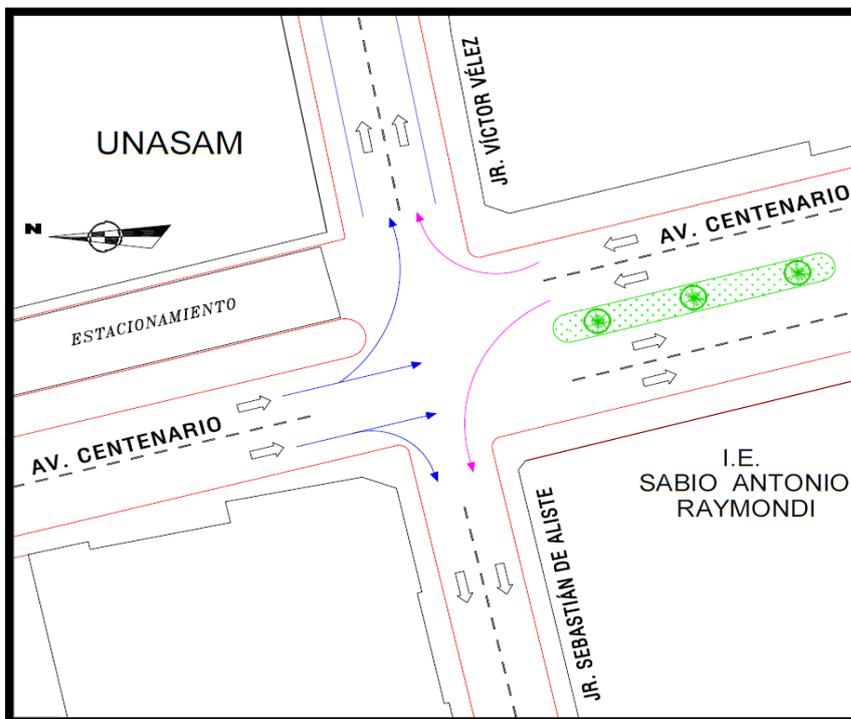


3.3.1.2. Movimientos y giros de vehículos en la intersección

En la intersección, se analiza los flujos de tráfico en cada acceso, observando las maniobras y cambios de dirección asociados con las distintas circulaciones realizadas en la zona. En la Figura 8 se muestra los giros y movimientos permitidos en la Av. Centenario en el acceso Norte (flechas azules) y de la Av. Centenario del acceso Sur (flechas moradas).

Figura 8

Fases de movimiento de los vehículos en la intersección.



3.3.1.3. Estado de la infraestructura vial

En la intersección, se evidencia un deterioro en las vías, que repercute negativamente en su rendimiento. Este deterioro incluye agrietamientos transversales y longitudinales, como se muestra en la Figura 9. Además, se observan grietas en bloque, fracturas en juntas y esquinas, como se aprecia en la Figura 10. Asimismo, se nota un desgaste en el pavimento, con cavidades expuestas que han contribuido al funcionamiento deficiente de la intersección, según se ilustra en la Figura 11. Es importante destacar que algunas secciones de las aceras en la zona también muestran daños.

Figura 9

Agrietamientos transversales, longitudinales y en esquinas.



Figura 10

Fracturas en juntas y esquinas.



Figura 11

Desgaste del pavimento en la intersección.



3.3.1.4. Señalización horizontal y vertical

La Tabla 4 proporciona detalles sobre el estado en el que se encuentran las señalizaciones horizontales en las vías de la intersección analizada. En lo que respecta a la señalización vertical, no se identificaron, a pesar de que la intersección se encuentra ubicada en una zona escolar.

Tabla 4

Registro de señalización horizontal.

Señales	Ubicación	Observaciones
Líneas de carril	En los accesos de la Av. Centenario (Sur y Norte), el Jr. Sebastián de Aliste (Oeste) y el Jr. Víctor Vélez (Este)	Las señales se encuentran borrosas, y apenas se perciben rastros de ellas, lo que dificulta su visibilidad (Ver Figura 12).
Cruce peatonal	Situado en las entradas de la Av. Centenario (Sur y Norte), y el Jr. Sebastián de Aliste y el Jr. Víctor Vélez	
Símbolos (flechas)	Ubicada en accesos de la Av. Centenario (Sur y Norte).	Las flechas direccionales, las flechas de giro y las flechas direccionales con giro, se encuentran desgastadas y borrosas, siendo difícil su visualización (ver Figura 13).
Restricción de estacionamiento	Situado en los bordes de las veredas o aceras	Presentan deterioro a consecuencia de la falta de mantenimiento de las veredas, las cuales muestran un estado deficiente (ver Figura 14).

Figura 12

Deterioro de líneas de carril y cruce peatonal.



Figura 13

Desgaste de flechas direccionales y de giro.



Figura 14

Deterioro de pintura de restricción de estacionamiento y de veredas.



3.3.1.5. Dispositivos de señales de control de tráfico

En la intersección, se encuentran dos semáforos para el control del tráfico, pero carecen de la función de cuenta regresiva, que proporciona un aviso anticipado del cambio de luces. Dado que esta es una vía de alta circulación en la ciudad, la implementación de semáforos con cuenta regresiva podría regular de manera efectiva el flujo vehicular al indicar a peatones y conductores el tiempo restante antes del cambio de señal luminosa, reduciendo así la probabilidad de accidentes en la zona. Además, se verifica la ausencia de semáforos peatonales en esta área de estudio, los cuales podrían contribuir significativamente al ordenamiento de los transeúntes. La Figura 15 ilustra el estado actual de los semáforos en la intersección.

Figura 15

Semáforos de la intersección.



3.3.1.6. Selección del equipo de trabajo y registro de datos de campo

Después de definir la zona de estudio, se eligió el equipo de trabajo y las herramientas necesarias, que incluía elementos como flexómetros, cámaras filmadoras, tableros para apuntes, cronómetros, entre otros. Posteriormente, se organizó al equipo en distintos grupos

en función de la magnitud de la tarea asignada para la recopilación de datos en campo. Las actividades abarcaban la videograbación, medición de longitudes de colas, aforo de vehículos y peatones, registro del tiempo de viaje, así como el tiempo de semáforos y la geometría de la intersección. A continuación, se describirá con más detalle la ejecución de estas actividades.

3.3.1.7.Recolección de las condiciones de tráfico en la intersección

En la zona en estudio se registra una acumulación significativa de tráfico en horas punta, tanto por la mañana, la tarde como por la noche. La recolección de datos tuvo lugar el miércoles 15 de noviembre de 2023, durante el lapso de una hora, comprendido entre las 12:30 y las 13:30 horas (hora punta). Durante este período, se observó un considerable flujo de vehículos que ocasionan congestión en la intersección. Posterior y anterior a esta hora de toma de datos, el flujo vehicular muestra una disminución gradual. Durante este periodo, se llevaron a cabo las actividades necesarias con el equipo de trabajo, las cuales se detallan a continuación:

1. Videograbación

La ejecución de esta actividad resulta crucial para el proyecto en desarrollo, ya que documenta el desempeño del sistema. La calidad de la toma de datos incidirá directamente en la representación más precisa o menos precisa que el modelo final mostrará de la situación actual en la zona de estudio. Esto, a su vez, influirá en los análisis y resultados subsiguientes. La grabación proporciona detalles esenciales, como el tiempo de viaje de los vehículos, así como el aforo vehicular y peatonal, entre otros aspectos importantes para la construcción del modelo.

Esta actividad se llevó a cabo en dos instancias, específicamente los días miércoles 15 y viernes 17 de noviembre de 2023. En la primera ocasión, se realizaron la recopilación de datos destinada para la construcción y calibración del modelo, y posteriormente, se repitió

la actividad para llevar a cabo la validación del mismo. Cada día, la actividad se extendió por un período de una hora. Para la actividad se emplearon dos cámaras Go Pro y un dron para la filmación con el objetivo de capturar detalles más precisos. En la Figura 16 se presenta el equipo utilizado.

Figura 16

Equipos para la recolección de datos de campo.



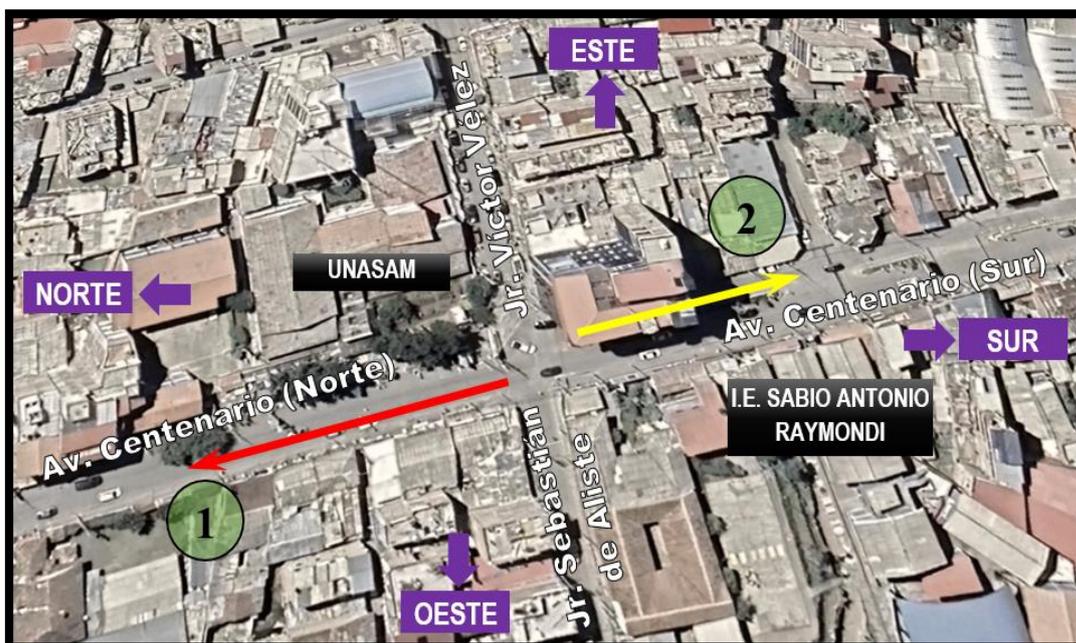
2. Longitud de cola

Dado las ubicaciones para la recopilación de datos sobre este parámetro, se numeraron las longitudes de las colas en las vías respectivas. El equipo designado para esta tarea llevó a cabo marcaciones previas en las veredas apoyándose de flexómetros y otros materiales necesarios la actividad, estas marcaciones se utilizaron como puntos de referencia para la medición, con el propósito de agilizar el proceso.

En la figura 17 se presenta la secuencia establecida para las vías en la medición del parámetro mencionado.

Figura 17

Distribución de las longitudes de cola.



3. Aforo vehicular

Para medir el aforo vehicular, se llevó a cabo el conteo directo a partir de la grabación de la intersección en estudio en hora punta. Para registrar los vehículos, se fragmentó la hora en intervalos de 15 minutos por la hora de filmación. La recopilación de datos se efectuó con la siguiente tabla que se muestra a continuación.

Tabla 5

Registro de datos para el aforo vehicular.

RESUMEN DEL AFORO VEHICULAR CLASIFICADO																					
INTERSECCIÓN																		DISTRITO			
SENTIDO																		PROVINCIA			
DÍA																		REGIÓN			
TIPO DE VEHÍCULO	MOTOS			AUTOS			CAM. RURAL			CAMIONETA			BUS			CAMIÓN			TOTAL POR 1/4 HR	TOTAL HORA	
DIRECCIÓN	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI			
12:30 - 12:45																					
12:45 - 13:00																					
13:00 - 13:15																					
13:15 - 13:30																					
TOTAL																					

4. Aforo peatonal

Siguiendo el mismo concepto utilizado para medir el aforo vehicular, se recolectaron los datos relacionadas con los desplazamientos de peatones en el sistema. Para el registro de esta información, se utiliza el formato que se presenta a continuación.

Tabla 6

Registro de datos para el aforo peatonal.

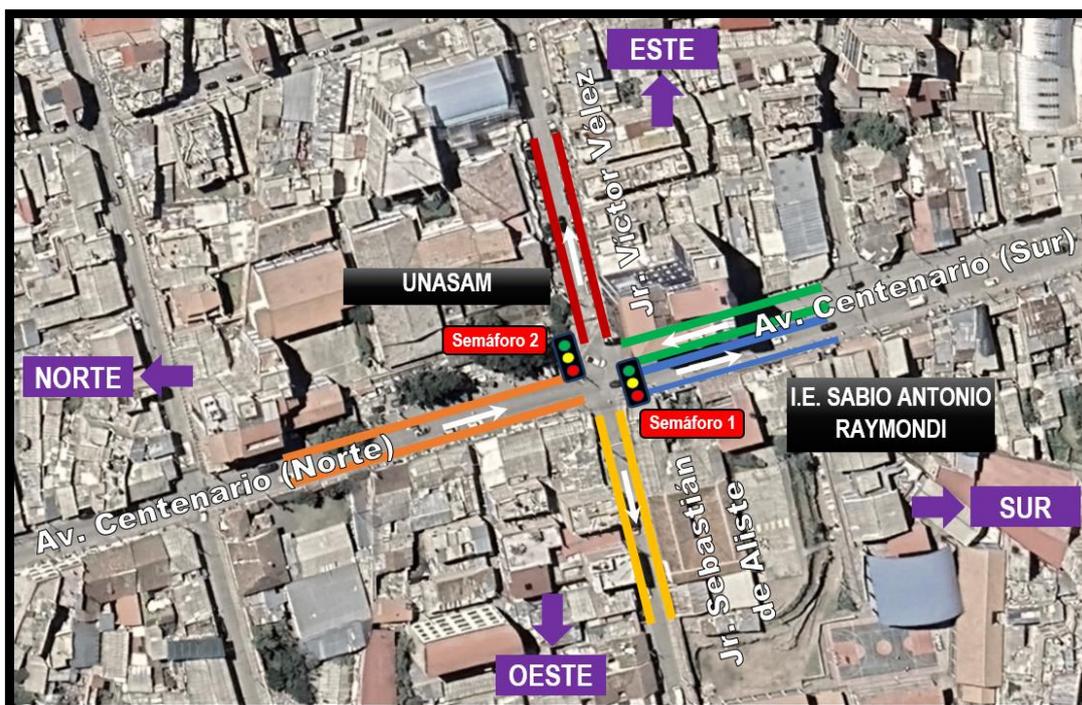
RESUMEN DEL AFORO PEATONAL								
INTERSECCIÓN								
DÍA								
DISTRITO								
PROVINCIA								
REGIÓN								
HORA	ACCESO PEATONAL							
	1 → 2	2 → 1	2 → 3	3 → 2	3 → 4	4 → 3	4 → 5	5 → 4
12:30 - 12:45								
12:45 - 13:00								
13:00 - 13:15								
13:15 - 13:30								
TOTAL								

5. Tiempo de semáforos

Se llevó a cabo esta tarea con el equipo de trabajo para lo cual se utilizó un cronómetro, dado que los semáforos en la intersección analizada no disponen de un contador de cuenta regresiva. Se identificó las fases de los movimientos permitidos en la intersección y se registró la duración de cada una. La ubicación del semáforo 1 (Fase 1 para el acceso Norte la Avenida Centenario) y el semáforo 2 (Fase 2 para el acceso Sur de la Avenida Centenario), se presenta en la siguiente figura.

Figura 18

Ubicación de semáforos.



6. Geometría del sistema

La obtención de las características geométricas de la intersección analizada es esencial en la elaboración del modelo de microsimulación. En esta actividad se utilizó un flexómetro y un tablero para apuntes, para lo cual se realizó un recorrido completo de la intersección para registrar las dimensiones, incluyendo el ancho y número de carriles, así como el ancho de veredas, bermas, jardines y otros elementos significativos de la zona de estudio.

3.4. Descripción y procedimiento de análisis

3.4.1. Descripción del desarrollo del proyecto

El propósito de este proyecto es reducir la congestión vehicular en una intersección específica del distrito de Independencia, provincia de Huaraz. Esto se llevará a cabo mediante la creación de un modelo de microsimulación de tráfico utilizando el software PTV

Vissim 2024. En consecuencia, el proceso de investigación se estructura en diversas etapas, las cuales se describen a continuación.

En principio, se identifican los alcances y limitaciones del proyecto, los cuales debían cumplir con los requisitos necesarios para alcanzar los objetivos de la investigación, la delimitación de la ubicación y el área de estudio, junto con la elección del modelo a utilizar según el nivel de detalle requerido para el análisis.

Seguidamente, se llevará a cabo la recopilación y procesamiento de los datos necesarios, que incluyen la longitud de colas, los aforos vehiculares, tiempo de viaje, el tipo de semaforización existente, entre otros aspectos. Durante esta etapa, se designará el equipo de trabajo encargado de la recopilación de datos en el campo y la fecha de estudio. Con este propósito, la recopilación de datos tuvo lugar el día miércoles 15 de noviembre de 2023, durante un intervalo de una hora (12:30 - 13:30 horas), con la colaboración del equipo encargado de la toma de datos.

Después de completar el registro de datos en el campo, se inicia la recopilación y clasificación de la información que se utilizará en la creación del modelo de microsimulación de tráfico mediante el software PTV Vissim 2024 en la intersección de estudio. Una vez finalizado la construcción el modelo, se llevará a cabo la verificación del mismo mediante la revisión de los datos de entrada como el aforo de vehículos, tiempo de viaje, tiempos de semáforo, entre otros detalles, para garantizar el funcionamiento correcto del modelo.

Posteriormente, se llevará a cabo la calibración del modelo utilizando los resultados generados por el software PTV Vissim 2024 y los datos recopilados en el campo como referencia. Para este propósito, se ha establecido un nivel de confiabilidad del 95% y un porcentaje de error del 5% respecto a la media. Además, en relación al parámetro

seleccionado para la calibración, se ha optado por el tiempo de viaje de los vehículos en un tramo específico de la Av. Centenario.

Luego de la calibración, se realizará la validación del modelo para asegurar su adecuado desempeño ante nuevas situaciones. Este proceso implica introducir un nuevo conjunto de datos de campo y verificar que el modelo creado con PTV Vissim 2024 produzca resultados similares a los obtenidos en campo, datos que fueron recolectados el día viernes 17 de noviembre de 2023 por el período de una hora (12:30 – 13:30 horas).

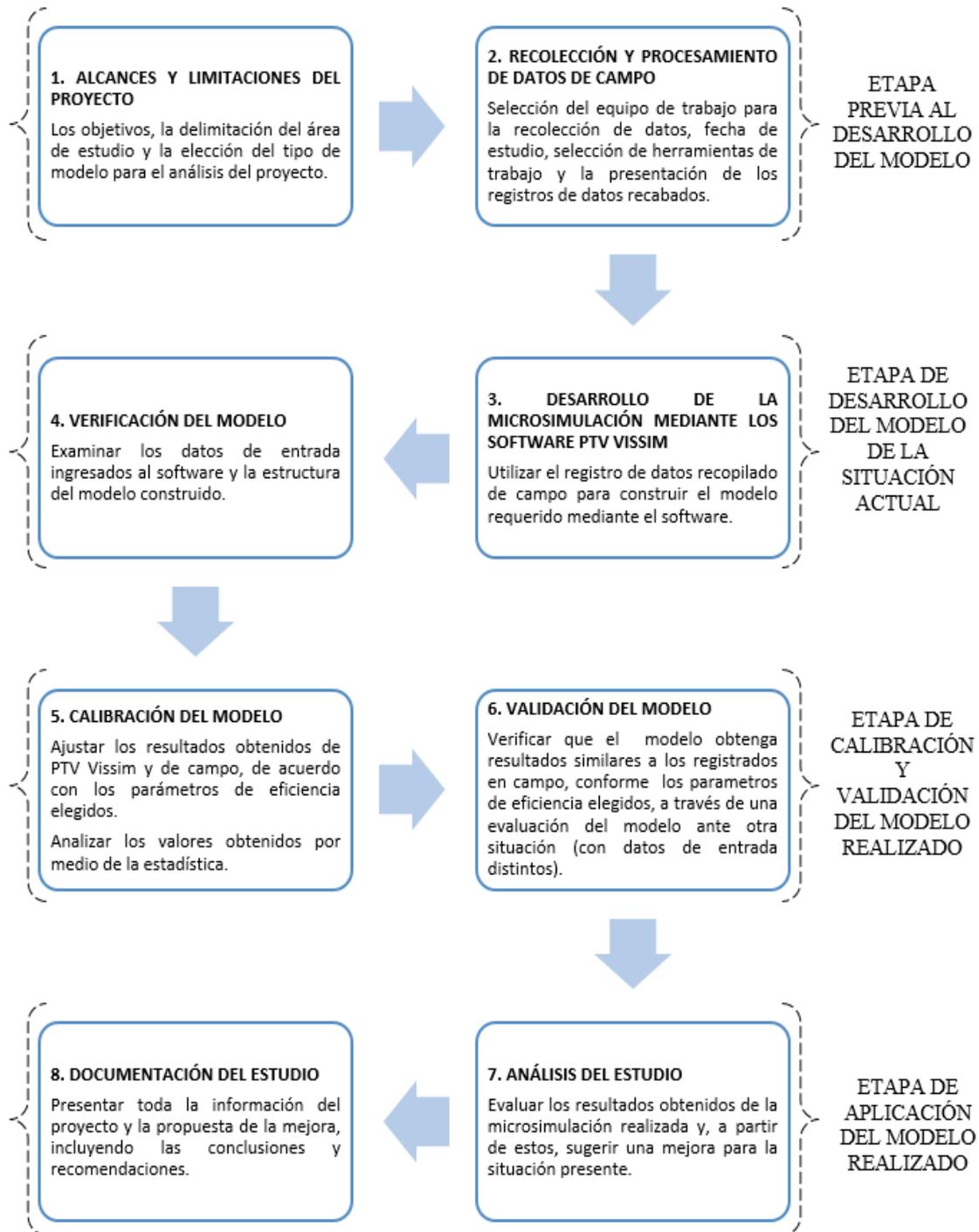
Al disponer del modelo calibrado y validado, se procederá a realizar el análisis y la documentación del proyecto. En el análisis, se evaluarán los resultados obtenidos de la microsimulación con el propósito de sugerir soluciones para la situación actual del proyecto. En lo que respecta a la documentación del trabajo, se recopilará toda la información, incluyendo la presentación de propuestas de solución y la evaluación de los parámetros de eficiencia para este nuevo escenario.

Finalmente, se presentarán de manera detallada las conclusiones y recomendaciones del proyecto, las cuales se fundamentarán en los resultados derivados de la microsimulación de tráfico llevada a cabo mediante el uso del software PTV Vissim 2024.

La Figura 19 se presenta un esquema que ilustra la secuencia de la metodología a seguir en este proyecto, la cual se basa en la recomendación proporcionada por la Federal Highway Administration (2004).

Figura 19

Metodología propuesta para el desarrollo del proyecto.



Nota. Fuente: Federal Highway Administration (2004).

3.4.2. *Procesamiento de los datos de campo*

En esta parte se presenta los resultados derivados de la información recolectada en el trabajo de campo durante la fase previamente realizada a cabo.

1. **Videgrabación**

La filmación de una cámara estuvo ubicada en el jardín del acceso Sur de la Av. Centenario y la otra cámara estuvo ubicada en la vereda del acceso Norte de la Av. Centenario. En cuanto al dron, realizo la filmación de una vista aérea de la intersección con el fin de obtener mayores detalles de la intersección y de los datos que se recopilan.

Figura 20

Ubicación de los equipos de filmación.



2. **Longitud de cola**

Se exponen los resultados derivados de la recolección de datos, donde se detallan las longitudes de las colas según su ubicación asignada. Asimismo, se indican el promedio y la desviación estándar, datos que serán de gran utilidad al momento de la calibración del modelo.

Tabla 7*Registro de las longitudes de cola.*

Nº	Longitud de Cola 1 Av. Centenario (Norte)	Longitud de Cola 2 Av. Centenario (Sur)
1	235.70	92.50
2	205.00	111.70
3	183.20	104.50
4	162.00	120.30
5	156.60	164.10
6	218.40	124.80
7	209.30	117.10
8	182.40	83.30
9	152.80	90.30
10	180.00	86.70
11	208.20	87.00
12	218.30	115.00
13	173.10	163.00
14	158.70	132.60
15	182.60	91.10
16	205.00	107.80
17	166.40	107.30
18	158.20	88.60
19	197.40	97.00
20	172.50	90.30
21	178.70	89.70
22	173.10	83.00
23	173.70	81.60
24	141.60	87.30
25	155.00	99.30
26	142.10	89.20
27	150.00	118.00
28	170.00	81.60
29	151.40	83.70
30	175.60	87.20
31	162.80	97.00
32	150.00	94.90
33	150.70	79.50
34	184.30	74.20
Promedio	176.02	100.62
Desv. Est.	24.06	21.50

3. Aforo vehicular

En esta parte, se presenta la distribución de vehículos en la intersección a través de un flujograma. A continuación, se presenta el esquema para la salida de vehículos con mayor cantidad, específicamente para el acceso Norte de la Avenida Centenario, sentido Norte-Sur; las descripciones de los demás flujogramas se encuentran en la sección de ANEXOS.

Figura 21

Flujograma para la calibración: Av. Centenario (Norte), sentido N-S.

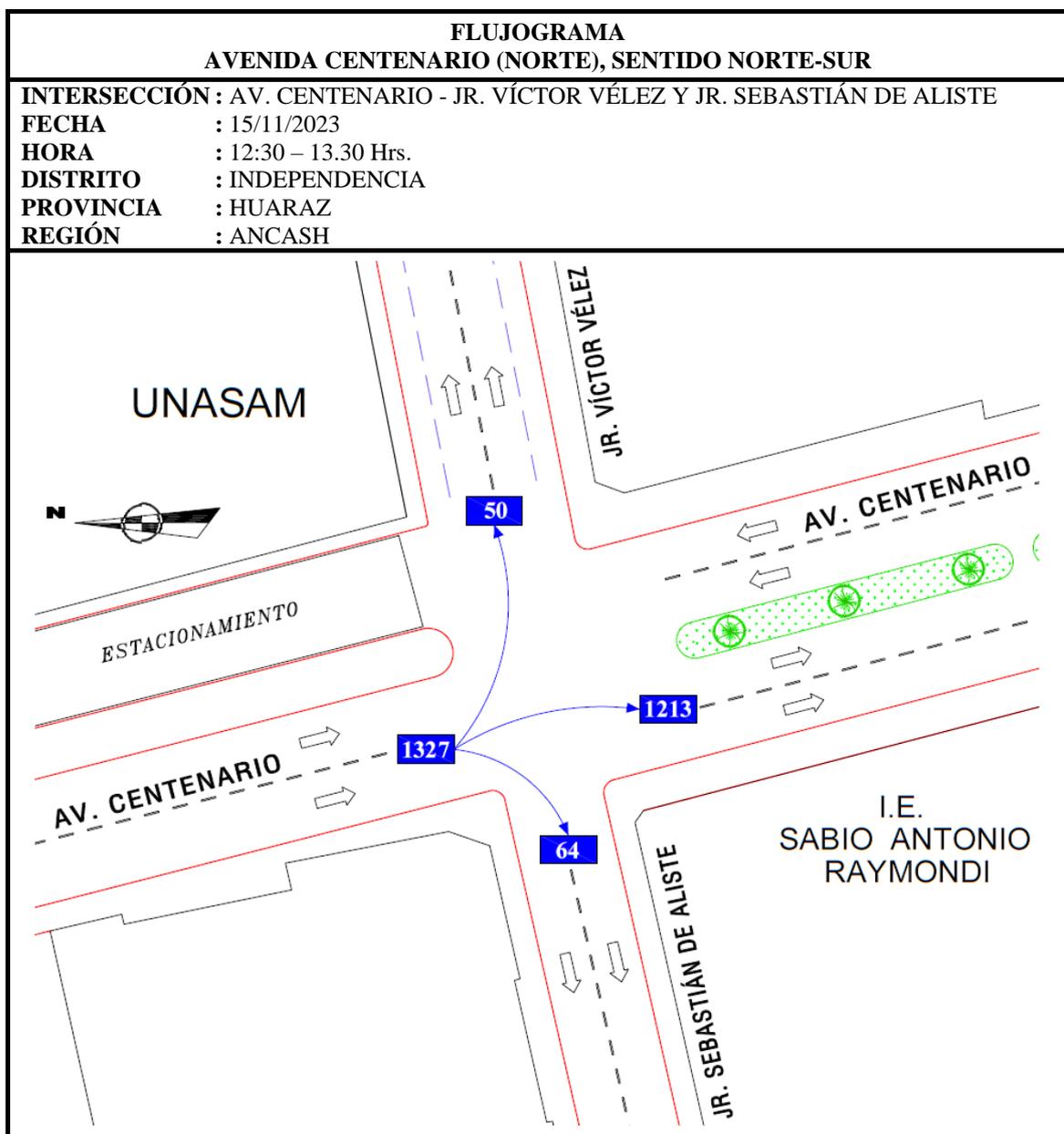


Tabla 8

Distribución de aforo vehicular de la intersección Norte-Sur.

Hora	Vehículos					
	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión
12:30 - 12:45	37	198	29	51	0	0
12:45 - 13:00	37	197	29	51	1	1
13:00 - 13:15	21	195	31	43	1	0
13:15 - 13:30	18	192	34	42	2	3
SUBTOTAL	113	782	123	187	4	4
TOTAL	1213					

Tabla 9

Distribución de aforo vehicular de la intersección Norte-Este.

Hora	Vehículos					
	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión
12:30 - 12:45	0	6	2	3	0	0
12:45 - 13:00	2	8	1	4	0	0
13:00 - 13:15	2	12	0	3	0	0
13:15 - 13:30	0	5	0	2	0	0
SUBTOTAL	4	31	3	12	0	0
TOTAL	50					

Tabla 10

Distribución de aforo vehicular de la intersección Norte-Oeste.

Hora	Vehículos					
	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión
12:30 - 12:45	4	6	4	6	0	0
12:45 - 13:00	2	6	2	1	0	1
13:00 - 13:15	1	6	4	2	0	0
13:15 - 13:30	5	8	4	2	0	0
SUBTOTAL	12	26	14	11	0	1
TOTAL	64					

4. Aforo peatonal

Al igual que en el análisis realizado para determinar el flujo vehicular, se presenta la cifra correspondiente a la cantidad de transeúntes que transitan por el área de investigación.

Figura 22

Lugares asignados para el aforo peatonal.

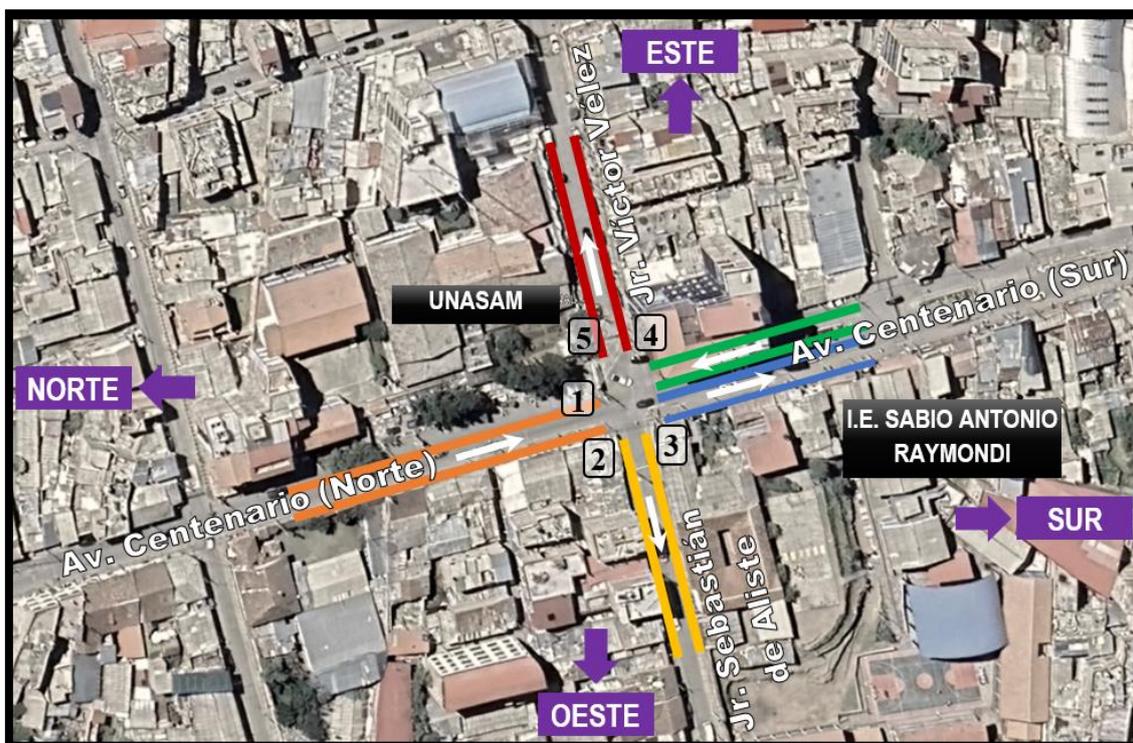


Tabla 11

Resumen de la distribución de aforo peatonal.

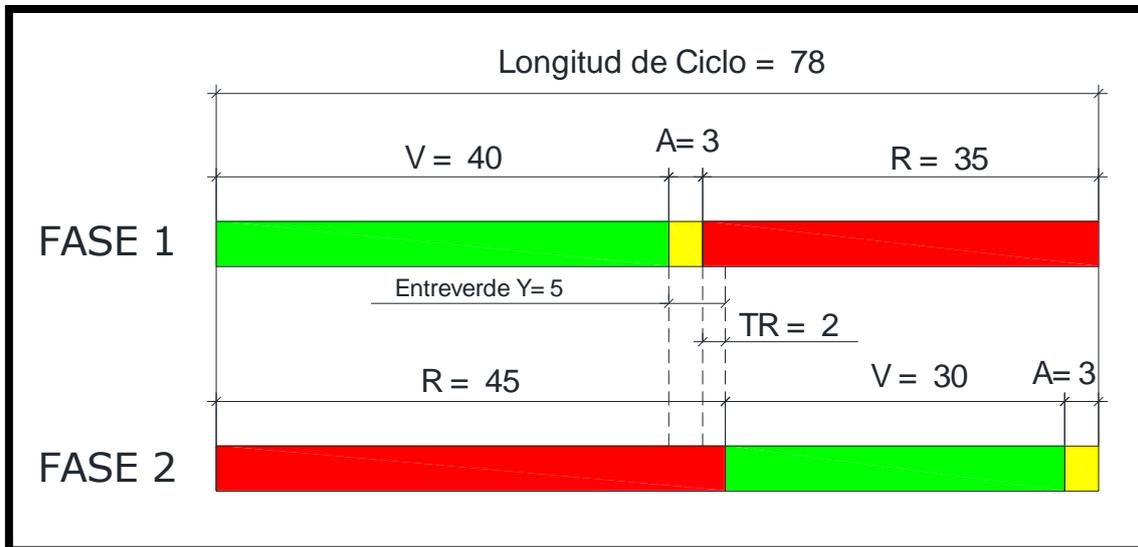
Hora	Peatones							
	1 → 2	2 → 1	2 → 3	3 → 2	3 → 4	4 → 3	4 → 5	5 → 4
12:30 - 12:45	90	39	179	87	28	51	46	94
12:45 - 13:00	78	68	221	54	47	44	59	145
13:00 - 13:15	49	42	102	68	32	31	57	70
13:15 - 13:30	33	69	83	65	20	30	47	82
TOTAL	250	218	585	274	127	156	209	391

5. Tiempo de semáforos

En la intersección de estudio existen dos semáforos vehiculares para el acceso Norte y el acceso Sur de la Avenida Centenario (semáforo 1 y semáforo 2). En la siguiente figura se presenta la duración de las fases en segundos de cada uno de ellos.

Figura 23

Tiempos de fase de los semáforos en la intersección.



6. Geometría del sistema

El detalle derivado de la evaluación de la geometría de la intersección analizada se encuentra disponible en la sección de ANEXOS para su visualización.

IV. Resultados

4.1. Resultados

4.1.1. Construcción, calibración y validación del modelo

4.1.1.1. Construcción del modelo

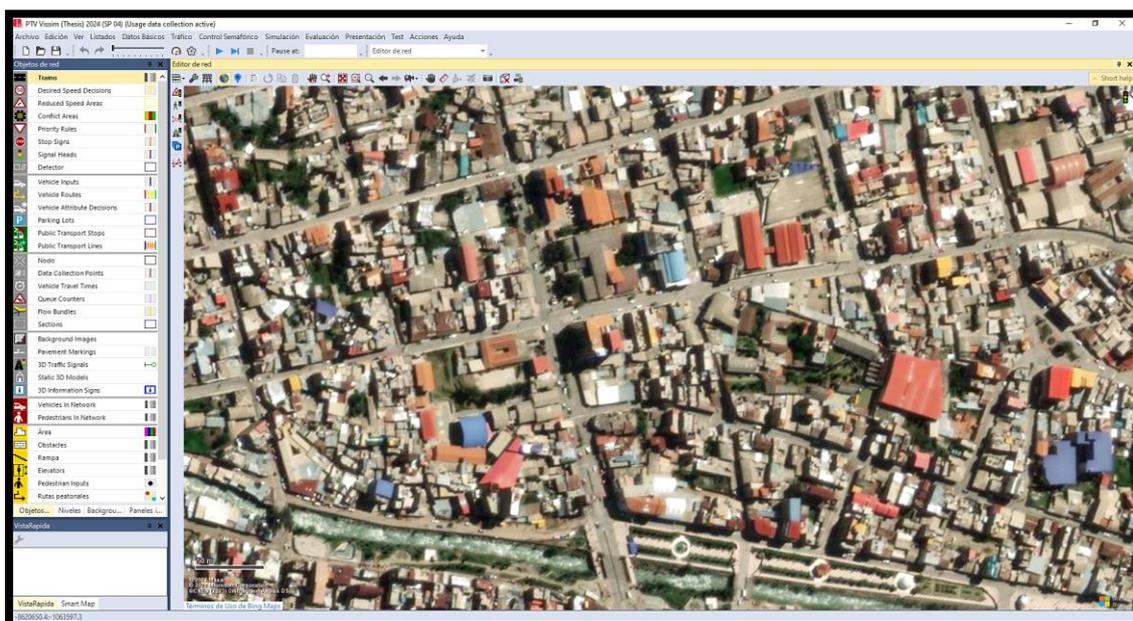
En la metodología propuesta, una vez que los datos de campo han sido procesados, se avanza a la fase de construcción del modelo utilizando el software PTV Vissim 2024. Los datos previamente registrados en el campo se utilizarán como información de entrada para la microsimulación que se llevará a cabo. A continuación, se describen los pasos más destacados para la creación del modelo en las secciones siguientes.

1. Imagen de fondo (Background)

Esta investigación se llevó a cabo empleando la versión PTV Vissim 2024, donde se usó el comando “switch background maps / grid”, ya que el software incorpora un mapa georreferenciado del mundo en forma de vista aérea. La representación visual de esto se muestra en la Figura 24.

Figura 24

Background.

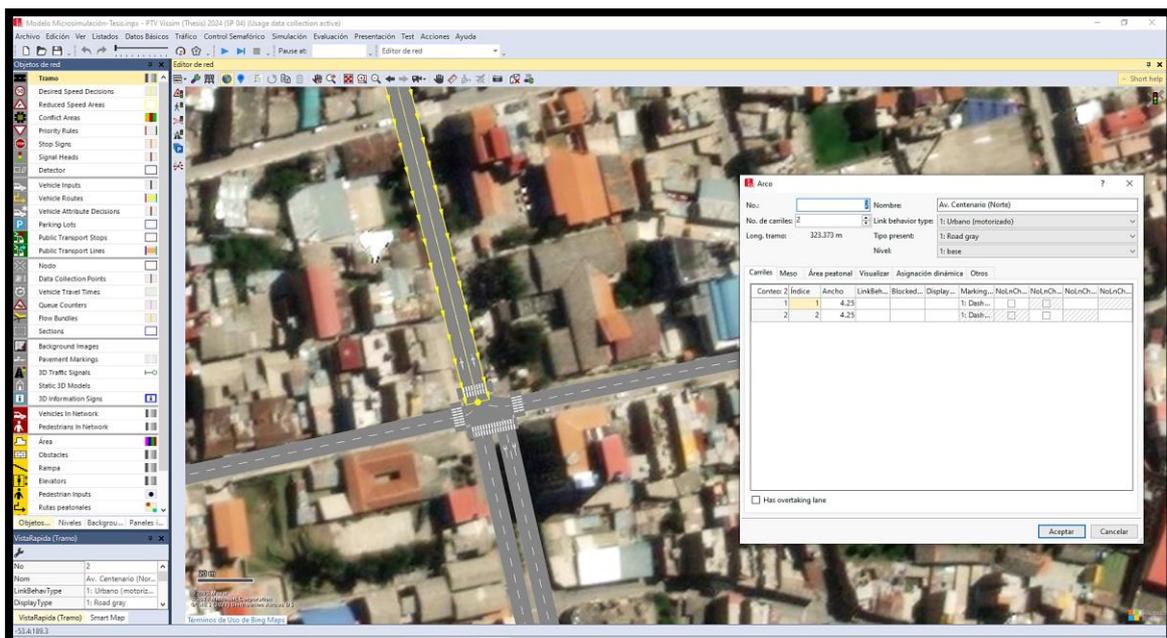


2. Links y conectores

Las redes viales son representadas mediante links y conectores, por lo cual se utilizaron en la construcción de las vías de la intersección del modelo, las vías que componen la intersección. Para utilizar estos comandos se emplearon datos de entrada como el ancho de carriles, el número de carriles, la dirección del tráfico permitido, entre otros. Por otra parte, los conectores sirven para unir los links (tramos), de tal manera que se genere una curva entre ellos y se adecue a la geometría vial del sistema; para su creación se especificó los carriles de unión y el número de puntos deseados para formar la curva. En la figura siguiente se aprecia la creación de la intersección.

Figura 25

Creación de los carriles en el modelo de la intersección.



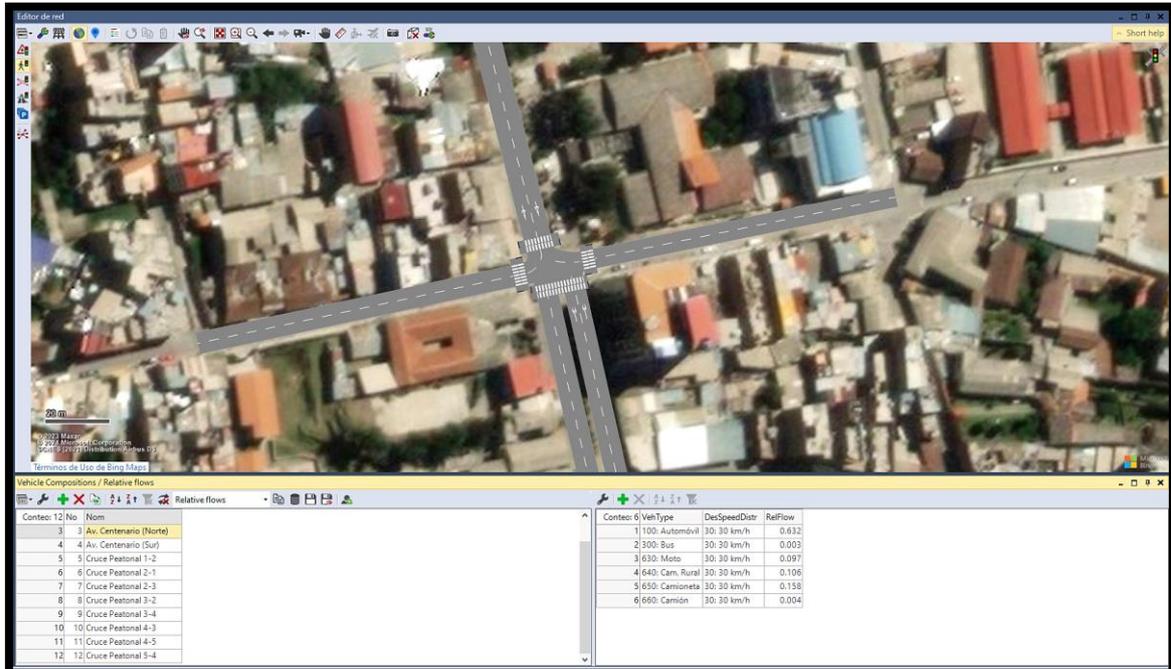
3. Composición vehicular

A través de los aforos de tráfico registrados, se identifican los tipos de vehículos o peatones que se desplazan en la vía designada, junto con la velocidad deseada y la proporción que representan en relación con el flujo total. En el caso de los vehículos, la introducción de la clase, velocidad y participación porcentual en el tráfico de cada rama de la intersección se

lleva a cabo mediante el comando “Vehicle Compositions”. La figura siguiente ilustra la entrada de datos correspondientes al acceso Norte de la Avenida Centenario.

Figura 26

Composición vehicular de la Av. Centenario (Norte).



4. Datos de entrada

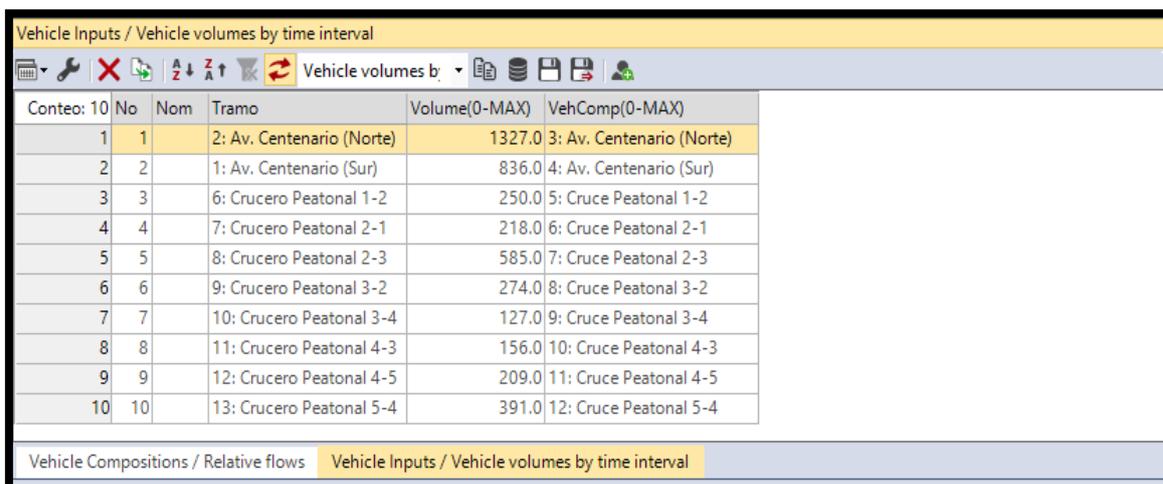
Después de establecer las vías y especificar los vehículos y peatones que se transitan en el sistema, se procede a introducir los datos registrados de campo durante la fase de recolección de información, como el aforo vehicular, aforo peatonal, la duración de los semáforos, las rutas seguidas por los vehículos, entre otros.

- **Entrada de vehículos y peatones (Vehicle Inputs)**

Durante este paso, se registra la cantidad de vehículos o peatones que transitan por una vía específica, es decir, el volumen registrado. La siguiente figura muestra la introducción de estos datos en el software.

Figura 27

Composición vehicular en la intersección.



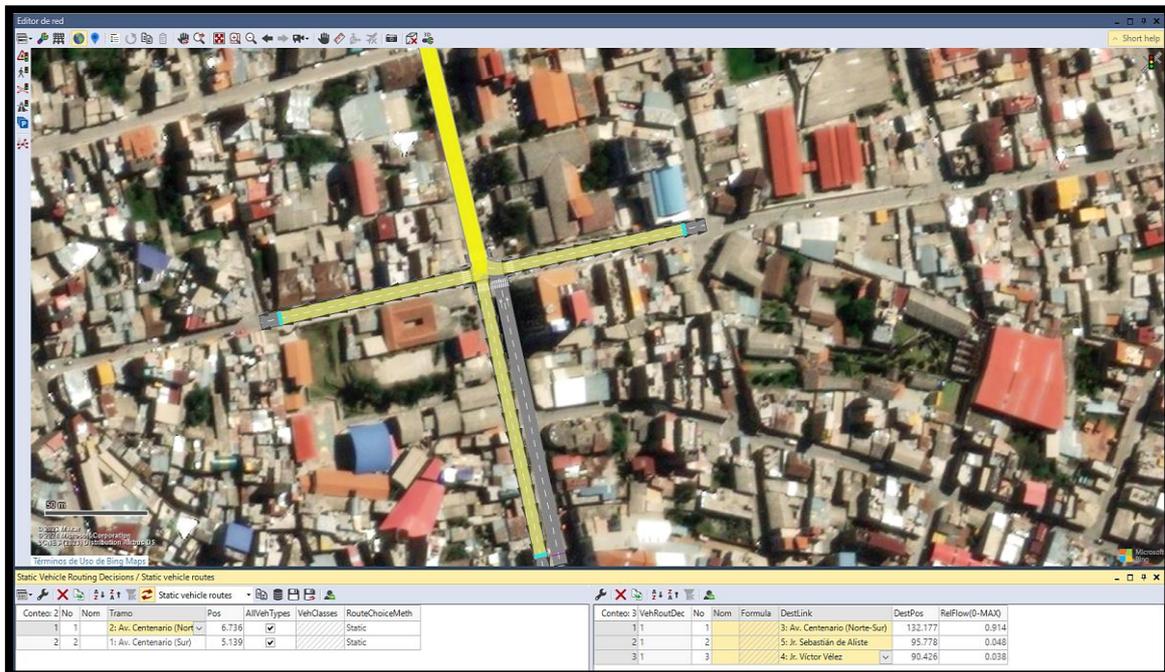
Conteo: 10	No	Nom	Tramo	Volume(0-MAX)	VehComp(0-MAX)
1	1	2: Av. Centenario (Norte)		1327.0	3: Av. Centenario (Norte)
2	2	1: Av. Centenario (Sur)		836.0	4: Av. Centenario (Sur)
3	3	6: Crucero Peatonal 1-2		250.0	5: Cruce Peatonal 1-2
4	4	7: Crucero Peatonal 2-1		218.0	6: Cruce Peatonal 2-1
5	5	8: Crucero Peatonal 2-3		585.0	7: Cruce Peatonal 2-3
6	6	9: Crucero Peatonal 3-2		274.0	8: Cruce Peatonal 3-2
7	7	10: Crucero Peatonal 3-4		127.0	9: Cruce Peatonal 3-4
8	8	11: Crucero Peatonal 4-3		156.0	10: Cruce Peatonal 4-3
9	9	12: Crucero Peatonal 4-5		209.0	11: Cruce Peatonal 4-5
10	10	13: Crucero Peatonal 5-4		391.0	12: Cruce Peatonal 5-4

- **Asignación de rutas (vehicles routes-static)**

En esta sección, se realiza la asignación del tráfico total en función de la cantidad de vehículos o peatones que circulan por una vía específica (ruta) en la intersección en análisis, los cuales se derivan del flujograma. Tomando como ejemplo el acceso Norte de la Avenida Centenario, los vehículos se dirigen hacia el acceso Sur de la Avenida Centenario, el Jirón Víctor Vález y el Jirón Sebastián de Aliste con porcentajes específicos para cada una, los cuales se detallan en la tabla siguiente y se presentan visualmente en la Figura 28.

Figura 28

Asignación de rutas de decisión para la Av. Centenario (Norte).

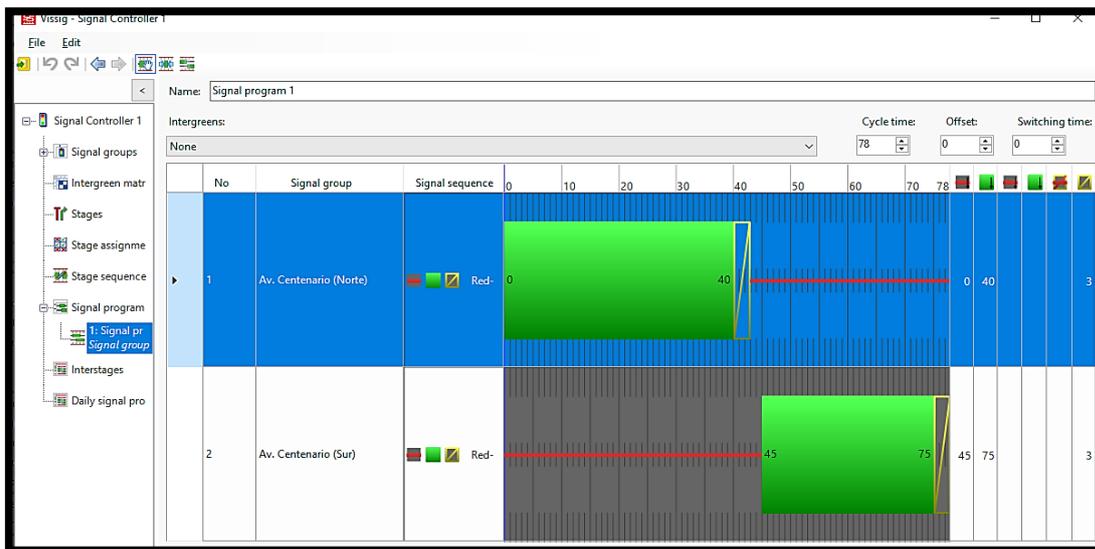


5. Señales de Control

Para incorporar controles semafóricos al modelo de microsimulación, es necesario posicionar los “signal heads” en las ubicaciones de las vías donde se encuentran los semáforos. Previamente a la disposición de los “signal heads”, se deben programar las fases de los semáforos existentes en el comando de “signal control” para la zona de estudio. En el caso de la intersección analizada, se dispone de dos semáforos vehiculares. La programación empleada para el modelo se muestra en la Figura 29.

Figura 29

Programación de los tiempos de los semáforos.



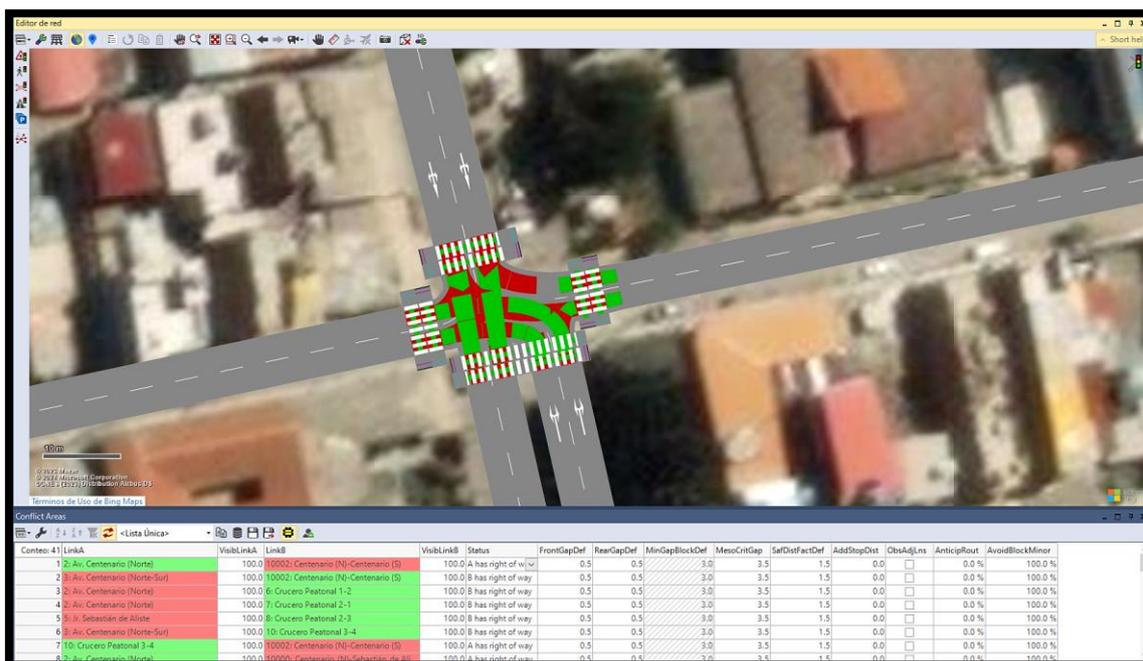
6. Reglas de prioridad

Para el uso de las reglas de prioridad en el sistema, existe la herramienta “conflict areas”, Estas son los cruces que se generan entre los links y conectores que componen el modelo. Las mismas que se crean automáticamente en los traslapes de conector con link. Mientras que, el comando de “priority rules” representa teóricamente a las señales de pare. Es así que, el uso de “conflic areas” resulta más sencillo en la organización del tránsito, por lo que se recomienda agotar en primer lugar, este recurso para controlar el tráfico a modelar. Normalmente, se necesitan de las reglas de prioridad como ayuda o complemento a las áreas de conflicto.

En la figura que sigue, se exhiben las áreas de conflicto presentes en el modelo elaborado. Las áreas resaltadas en verde indican aquellas que cuentan con prioridad de paso sobre las áreas resaltadas en rojo. Las reglas de prioridad deben favorecer al peatón cuando se encuentra en el medio de la vía y el semáforo cambia de rojo a verde; en este caso, los vehículos deben aguardar a que la persona cruce completamente el carril.

Figura 30

Áreas de conflicto mitigadas en la intersección.



7. Verificación del modelo

La ejecución de este procedimiento tiene como objetivo identificar posibles errores en la introducción de los datos de entrada en el modelo, los cuales fueron recabados en campo, como por ejemplo las fases de los semáforos, aforo vehicular, entre otros.

Durante el proceso de revisión, se observó una variación abrupta en las longitudes de las colas registradas en campo, ocasionada por la parada de combis y taxis para recoger pasajeros en esta intersección, la cual carece de un paradero designado. Estas paradas interrumpen el flujo de tráfico en momentos variables. Por esta razón, se optó por considerar otro parámetro de eficiencia para llevar a cabo la calibración del modelo. En este caso, se eligió el tiempo de viaje en un tramo específico de la Avenida Centenario, ya que se pudo capturar de manera adecuada el comportamiento del tráfico en esta vía con la ayuda del dron.

4.1.1.2. Calibración del modelo

Como actividad siguiente a la verificación, se realiza la calibración del modelo, cuyo objetivo es replicar las condiciones actuales de la zona de estudio. En este caso, al ser una intersección ubicada en una zona urbana, se utilizó el modelo de Wiedemann 74. La calibración se basa en conseguir que el modelo refleje la realidad mediante la modificación de los parámetros de Wiedemann hasta conseguir que los resultados obtenidos mediante el software representen a los de campo, con un cierto nivel de confiabilidad y margen de error. En este estudio se empleó como parámetro de eficiencia el tiempo de viaje en un tramo de 20.00 metros de la Av. Centenario y se midió el tiempo que los vehículos emplean en recorrer dicho tramo utilizando un cronómetro. Estos datos se obtuvieron con mayor detalle a partir de la grabación realizada con el dron. El tiempo promedio que se registró fue de 4.02 segundos con una desviación estándar de 0.28 segundos.

Figura 31

Tramo seleccionado para el registro del tiempo de viaje.



Los datos para la calibración se obtuvieron de la grabación realizada el miércoles 15 de noviembre del 2023 por el período de una hora (12:30 horas - 13:30 horas). Los resultados de los datos tomados en campo se presentan a continuación en la Tabla 12, los detalles completos de los 100 vehículos se pueden visualizar en la sección de Anexos.

Tabla 12

Registro de tiempo de viaje de vehículos para la calibración.

Nº Vehículo	Distancia (m)	Tiempo (seg)
1	20.00	3.95
2	20.00	4.15
3	20.00	4.35
4	20.00	3.94
.	.	.
.	.	.
.	.	.
97	20.00	4.52
98	20.00	4.14
99	20.00	4.11
100	20.00	3.92
Promedio		4.02
Desv. Estándar		0.28

Para iniciar la calibración, se utilizó en la primera prueba los valores predeterminados de Wiedemann 74 (2, 3 y 3) proporcionados por el software. Basándonos en los resultados obtenidos, se procedió a ajustar estos parámetros de forma iterativa. Respecto al número de corridas de la microsimulación en cada iteración, se llevaron a cabo 15 veces; este número supera el mínimo recomendado por Federal Highway Administration (2004). Asimismo, en un lapso total de 4500 segundos, se realizó la microsimulación. Es importante mencionar que los primeros 900 segundos se emplearon como período de precalentamiento para asegurar condiciones similares a las reales de campo, mientras que el análisis efectivo se llevó a cabo en los 3600 segundos subsiguientes. En la Tabla 13 se detallan las pruebas efectuadas, los parámetros empleados y los resultados obtenidos para cada escenario.

Tabla 13

Iteración de parámetros de Wiedemann 74 y resultados para la calibración.

Nº Prueba	Parámetros de Wiedemann 74			VISSIM		CAMPO	
	a_x	b_{x_add}	b_{x_mult}	Media	Desv. Est.	Media	Desv. Est.
1	2	3	3	4.17	0.08	4.02	0.28
2	0.5	3	3	4.07	0.08	4.02	0.28
3	0.5	2	2	4.10	0.06	4.02	0.28
4	0.5	3	2	4.07	0.05	4.02	0.28
5	0.5	3	1	4.08	0.08	4.02	0.28
6	0.5	2	3	4.12	0.08	4.02	0.28
7	0.5	2	4.25	4.10	0.06	4.02	0.28
8	0.5	3	4.25	4.09	0.07	4.02	0.28
9	0.5	3.25	4.25	4.08	0.06	4.02	0.28
10	0.5	3.5	4.25	4.05	0.06	4.02	0.28
11	0.5	3.75	4.25	4.04	0.07	4.02	0.28
12	0.5	4	4.25	4.05	0.07	4.02	0.28
13	0.5	4.25	4.25	4.03	0.07	4.02	0.28
14	0.5	4.25	5	4.06	0.07	4.02	0.28
15	0.5	3	4.5	4.08	0.06	4.02	0.28
16	0.5	3	4.75	4.07	0.05	4.02	0.28
17	0.5	3.25	4.5	4.08	0.08	4.02	0.28
18	0.5	3.5	4.5	4.06	0.09	4.02	0.28
19	0.5	4	4.5	4.05	0.06	4.02	0.28
20	0.5	5	4.5	4.02	0.07	4.02	0.28
21	0.5	5	5	4.05	0.05	4.02	0.28

Para la primera prueba, se emplearon valores predeterminados en Vissim de los parámetros a_x (distancia promedio deseada entre vehículos detenidos), b_{x_add} (parte aditiva de la distancia deseada por seguridad) y b_{x_mult} (parte multiplicativa de la distancia deseada por seguridad), que son establecidos en 2, 3 y 3 respectivamente. Con estos valores, se registró un tiempo medio de viaje para los vehículos de 4.17 segundos y una desviación estándar de 0.08 segundos. En contraste, los datos reales del campo mostraron un promedio de 4.02 segundos y una desviación estándar de 0.28 segundos. Los parámetros iniciales por defecto de Vissim no resultaron válidos, especialmente porque una distancia de 2 metros entre vehículos detenidos no es considerada aceptable dada la conducta típica del conductor peruano.

Para mejorar la precisión y acercarse más a los valores observados en campo, se ajustaron los parámetros del modelo Wideman 74. Se experimentó con 21 combinaciones diferentes de estos parámetros hasta lograr un promedio de tiempo de viaje que coincidiera con el observado en el estudio de campo.

Basándonos en los resultados, se resaltaron los intentos 13 y 20, como se muestra en la Tabla 13. Especialmente, la prueba N° 20, con valores de parámetros establecidos en 0.5, 5 y 4.5, registró un tiempo promedio de viaje de vehículos de 4.02 segundos, alineándose con los datos observados en el campo. Además, la distancia entre vehículos detenidos en este ensayo se asemejaba más a las condiciones reales de tráfico en Perú. No obstante, se verifica si el número mínimo de corridas fue adecuado para el intento o prueba seleccionada según la ecuación 5.

- **Prueba N° 20: $a_x = 0.5$, $b_{x_add} = 5$, $b_{x_mult} = 4.5$**

$$X_2 = 4.02; S_2 = 0.07; N_2 = 15$$

$$Gdl = 14$$

$$t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = 2.145; \text{ nivel de confianza: } 95\%$$

$$\text{Número mínimo de corridas: } N = \left(\frac{2.145 \times 0.07}{0.20}\right)^2 < 15; \text{ por lo tanto } 15 \text{ corridas son}$$

suficientes.

Asimismo, aunque estos parámetros inicialmente parezcan apropiados, es crucial verificar el nivel de confianza entre los valores observados y los valores generados por el modelo.

Además, para asegurar la calibración del modelo, se llevó a cabo esta prueba utilizando la herramienta StatKey. Esta herramienta permite llevar a cabo un análisis estadístico de dos conjuntos de muestras mediante el “Randomization Test for a Difference

in Means” que efectúa una prueba de hipótesis nula de diferencia de medias con un nivel de confianza del 95%, el cual consta de cuatro etapas. La primera etapa se enfoca en determinar la diferencia entre las medias de ambas muestras. Posteriormente, se calcula la cantidad de maneras en que se puede dividir el conjunto total de datos en grupos, según la cantidad de datos en cada muestra. Para esta etapa, se emplea la ecuación siguiente.

$$W = \frac{N!}{n_1! n_2!}$$

Donde:

W : Número de formas de agrupación de datos

N : Número total de datos

n_1 : Número total de datos del grupo 1

n_2 : Número total de datos del grupo 2

La tercera etapa implica identificar de todos los nuevos arreglos creados, cuántos grupos tienen una media igual o superior a la de los conjuntos de datos originales. Finalmente, se determina la probabilidad de que estos conjuntos representativos (aquellos con medias iguales o superiores a los grupos iniciales) coincidan con el valor medio obtenido en el software en comparación con los datos recolectados en campo con un nivel de confianza del 95%. Este método facilita la formulación de la hipótesis de prueba.

En el estudio, se compararon 100 muestras recolectadas en el campo con 15 obtenidas del PTV Vissim 2024. Los datos registrados por el software se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14

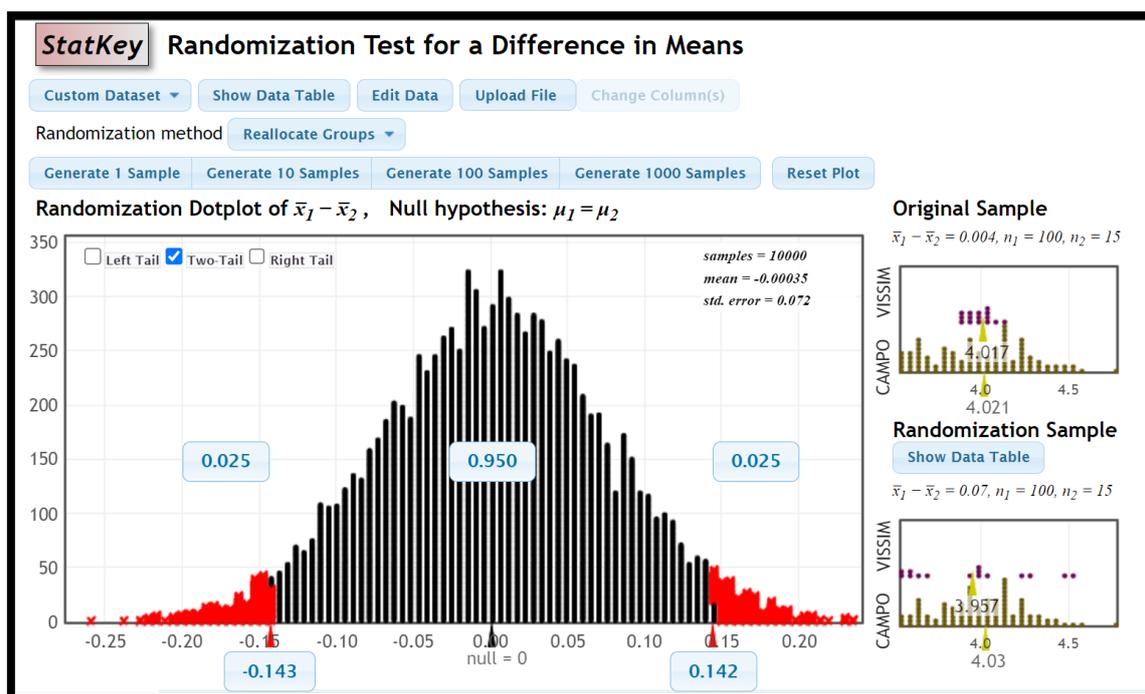
Registro de tiempo de viaje del software PTV Vissim para la calibración.

Número de Semilla	Tiempo de Viaje (seg)
1	3.98
2	3.96
3	4.14
4	4.05
5	3.90
6	4.03
7	3.92
8	4.03
9	4.07
10	4.02
11	4.08
12	3.93
13	4.13
14	3.98
15	4.04
Promedio	4.02
Desv. Est.	0.07

Asimismo, en la Figura 32 se muestra los resultados de la prueba de mejor ajuste de calibración, con parámetros $a_x = 0.5$, $b_{x_add} = 5$ y $b_{x_mult} = 4.5$. Se puede observar la diferencia entre las medias de las muestras igual a 0.004, el cual se encuentra dentro del intervalo del 95% de confianza, zona sombreada en negro, y está oscilando entre los rangos -0.143 y 0.142. Esto confirma que la hipótesis nula ($u_1 = u_2$) se acepta, validando así la precisión de la calibración.

Figura 32

Prueba de hipótesis nula para la calibración del modelo.



4.1.1.3. Validación del modelo

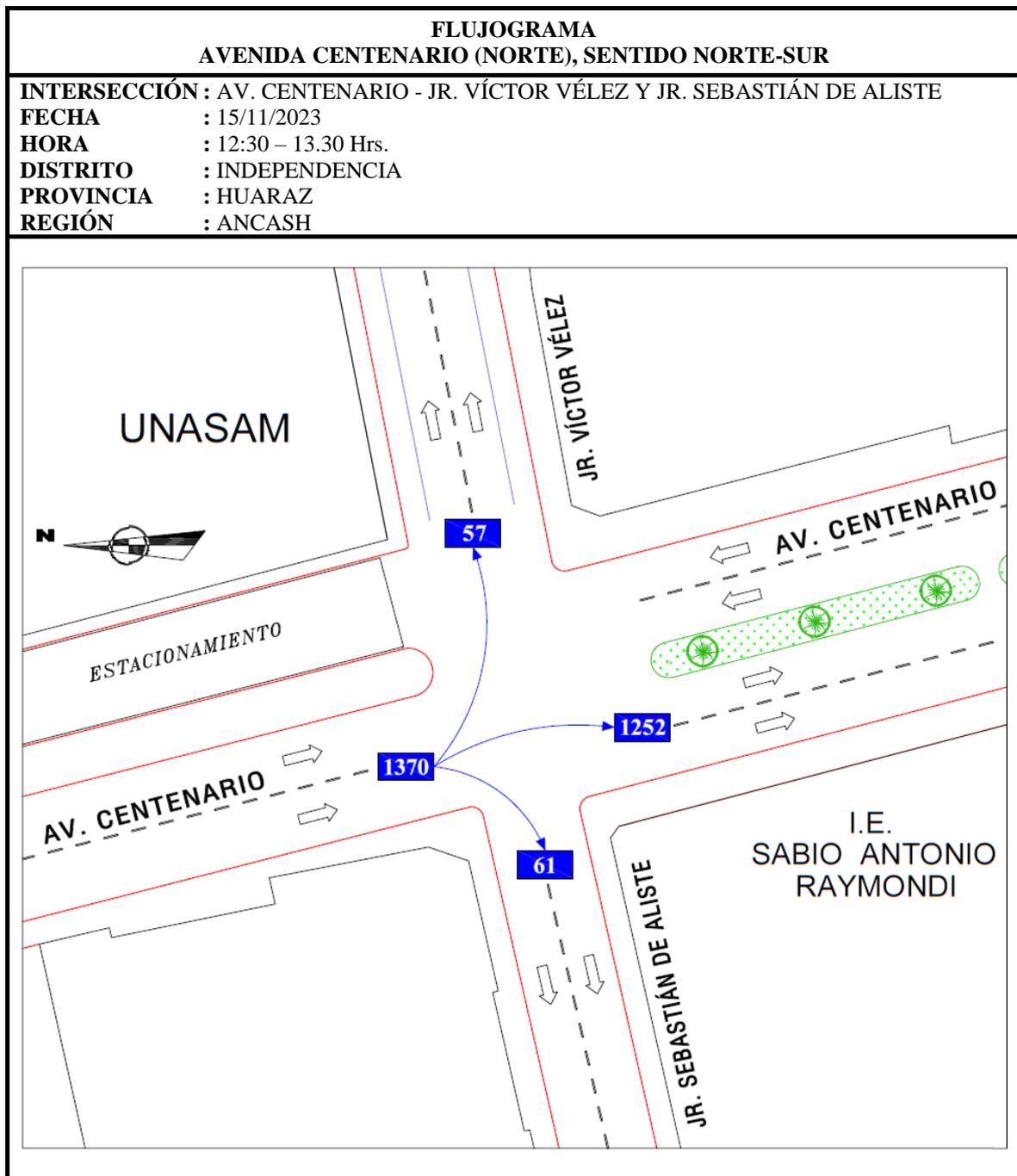
Para concluir la creación del modelo, es necesario validar lo desarrollado mediante una simulación del proyecto usando un registro nuevo de datos de entrada de campo. Estos datos se obtuvieron de una grabación efectuada el viernes 17 de noviembre de 2023 durante una hora, desde las 12:30 hasta las 13:30 horas.

En la evaluación siguiente del modelo, se incorporan estos datos nuevos de campo y se verifica si los resultados para el parámetro de eficiencia elegido (tiempo de viaje) son similares entre lo observado en el campo y lo obtenido por el modelo.

En la Figura 33 se muestra el flujograma de la Av. Centenario (acceso Norte), resultante de la nueva recolección de datos para la etapa de validación. Los otros aforos y flujogramas están disponibles en la sección de Anexos. Además, en la Tablas 15, 16 y 17 se detalla la distribución de vehículos correspondiente a esta nueva recolección de información.

Figura 33

Flujograma para la validación: Av. Centenario (Norte), sentido N-S.



Nota. Los flujogramas restantes se encuentran en la sección de Anexos.

Tabla 15

Distribución de aforo vehicular de la intersección Norte-Sur (validación).

Hora	Vehículos					
	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión
12:30 - 12:45	25	196	30	46	0	1
12:45 - 13:00	29	178	29	62	1	1
13:00 - 13:15	48	199	31	62	0	4
13:15 - 13:30	35	198	34	41	1	1
SUBTOTAL	137	771	124	211	2	7
TOTAL	1252					

Tabla 16

Distribución de aforo vehicular de la intersección Norte-Este (validación).

Hora	Vehículos					
	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión
12:30 - 12:45	0	10	0	5	0	0
12:45 - 13:00	0	1	1	4	0	0
13:00 - 13:15	3	8	0	5	0	0
13:15 - 13:30	1	18	0	1	0	0
SUBTOTAL	4	37	1	15	0	0
TOTAL	57					

Tabla 17

Distribución de aforo vehicular de la intersección Norte-Oeste (validación).

Hora	Vehículos					
	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión
12:30 - 12:45	1	10	3	4	0	0
12:45 - 13:00	0	3	4	0	0	0
13:00 - 13:15	4	6	5	0	0	0
13:15 - 13:30	1	13	3	4	0	0
SUBTOTAL	6	32	15	8	0	0
TOTAL	61					

En la Tabla 18 se muestran los resultados generados por el software PTV Vissim 2024 para el tiempo de viaje, basados en el nuevo registro de datos recolectados en campo. Es importante destacar que se utilizaron los mismos números de semillas (del 1 al 15) y parámetros de Wiedemann (0.5, 5 y 4.5) empleados previamente para la calibración,

asegurando así las mismas condiciones. Tras la recolección de datos de campo, se registró un promedio de 3.98 segundos con una desviación estándar de 0.30, los registros de estos datos se pueden visualizar en la sección de Anexos.

Tabla 18

Registro de tiempo de viaje del software PTV Vissim para validación.

Número de Semilla	Tiempo de Viaje (seg)
1	4.05
2	4.10
3	4.20
4	3.98
5	3.90
6	3.84
7	3.95
8	3.89
9	3.97
10	4.09
11	4.11
12	4.09
13	3.87
14	4.03
15	4.08
Promedio	4.01
Desv. Est.	0.10

De la ecuación 5, se comprueba:

$$\text{Número mínimo de corridas: } N = \left(\frac{2.145 \times 0.10}{0.20} \right)^2 < 15; \text{ por lo tanto 15 corridas son}$$

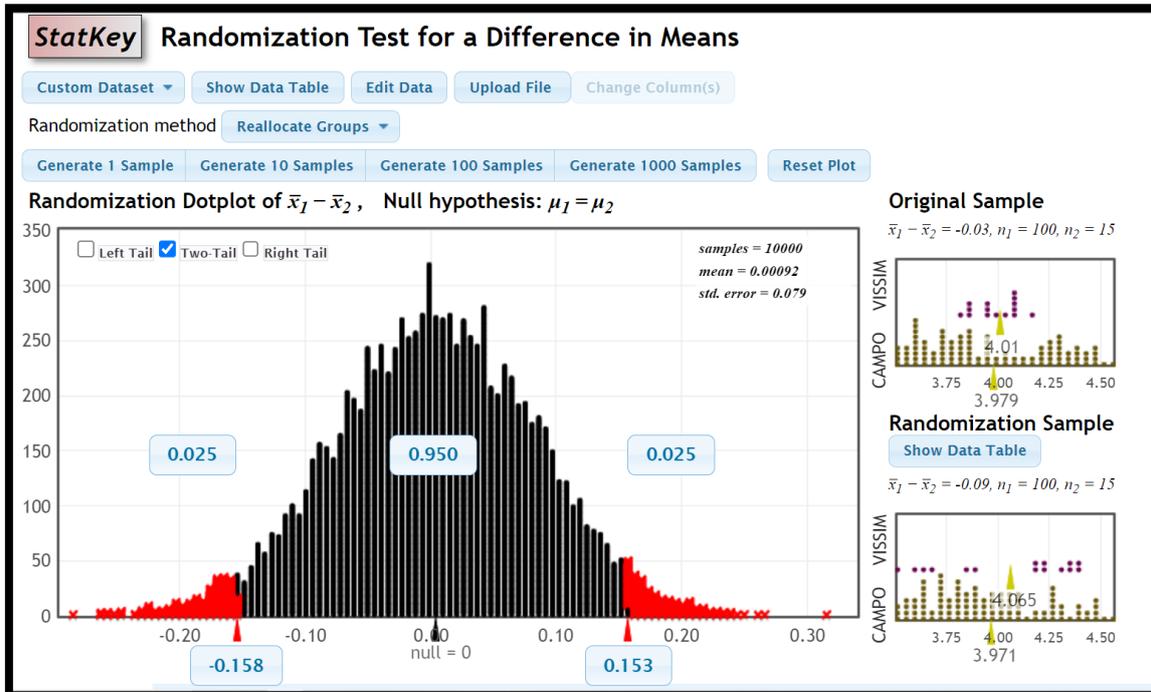
suficientes.

En la Figura 34 se observa los resultados obtenidos mediante el “Randomization Test for a Difference in Means”. Se aprecia que la diferencia de medias de las muestras comparadas es igual a -0.03, y se encuentra en la zona de aceptación con el 95% de confiabilidad, el cual varía entre los rangos -0.158 y 0.153. Esto corrobora que se acepta la

hipótesis nula ($\mu_1 = \mu_2$). Por lo que, la validación es correcta y que el modelo puede ser usado para el estudio de diferentes casos.

Figura 34

Prueba de hipótesis nula para la validación del modelo.



4.1.2. Parámetros de eficiencia en el modelo

En el estudio de esta investigación, se emplearán tres parámetros de eficiencia relevantes en un modelo de microsimulación desarrollado con el software PTV Vissim 2024. Es importante señalar que los resultados que se mostrarán a continuación surgieron de la evaluación de quince simulaciones utilizando el software.

1. Longitud de colas

Se consideraron las fases de los semáforos al medir las longitudes de las colas. Cada vez que un semáforo cambiaba a luz roja, se evalúa la longitud de vehículos en los accesos de la intersección. A continuación, se presentan los resultados para cada acceso medido.

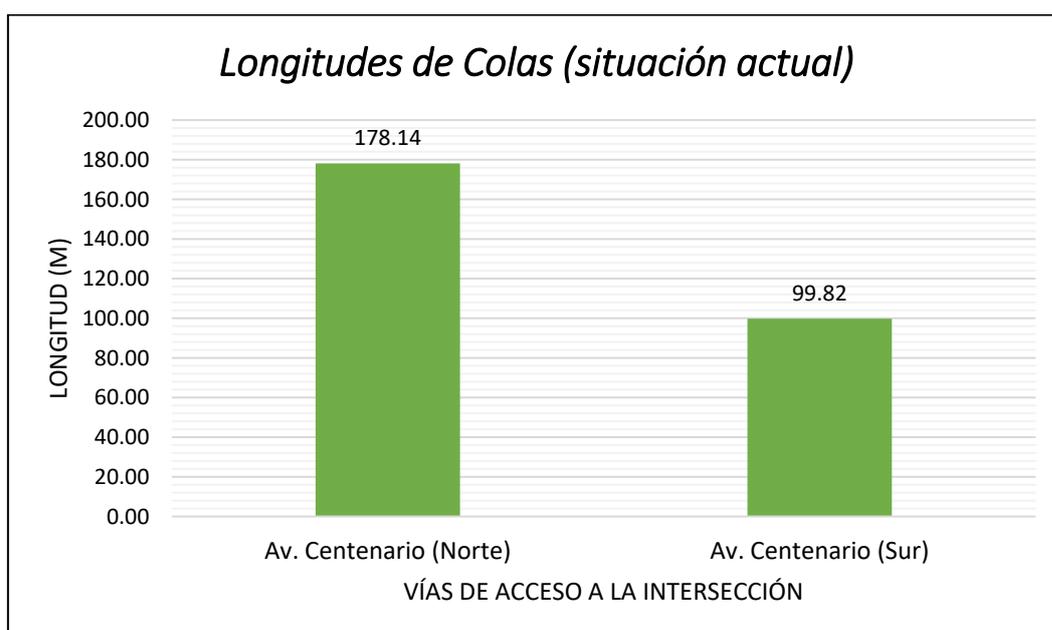
Tabla 19

Resultados de longitudes de colas (situación actual).

Número de Corridas	Longitud de Cola 1 (m) (Av. Centenario-Norte)	Longitud de Cola 2 (m) (Av. Centenario-Sur)
1	178.33	99.67
2	177.97	99.43
3	177.67	99.87
4	178.55	99.97
5	178.32	99.60
6	178.34	99.73
7	178.41	99.88
8	178.47	99.85
9	178.30	99.98
10	177.68	99.74
11	178.42	99.87
12	177.89	100.09
13	178.21	100.10
14	177.51	99.86
15	177.99	99.63
Promedio	178.14	99.82
Desv. Est.	0.33	0.19
Mínimo	177.51	99.43
Máximo	178.55	100.10

Figura 35

Gráfico de las longitudes de cola inicial en la intersección.



En el acceso Norte de la Avenida Centenario, se registra una larga fila de vehículos que alcanza los 178.14 metros, este valor podría representar aproximadamente 45 vehículos. Esta congestión se debe a la alta cantidad de automóviles que circulan hacia el centro de Huaraz por esta vía principal. Además, la ausencia de paradas específicas provoca que los pasajeros detengan los vehículos en diversos puntos de la vía para abordarlos. Por otro lado, en el acceso Sur de la Avenida Centenario, se observa una cola de 99.82 metros, lo que equivaldría aproximadamente a unos 25 vehículos en fila. Esta acumulación se debe, en parte, a las posibilidades de giro hacia el Jirón Víctor Vález y el Jirón Sebastián de Aliste. Además, esta zona es de actividad comercial y alberga un centro educativo y la sede central de la Unasam, convirtiéndola en una de las zonas muy concurridas durante las horas punta.

2. Velocidad promedio de viaje

Para la velocidad de viaje, se llevó a cabo un estudio de la intersección en su conjunto para evaluar cómo opera la red vial bajo este parámetro. Se registró una velocidad de viaje promedio de 9.28 km/h por cada vehículo. De este modo, se manifiesta que el desempeño de la intersección en cuestión no es óptimo según este parámetro de eficiencia, debido a la baja velocidad a la que se desplazan los vehículos, siendo en su mayoría vehículos particulares los que transitan por ella. En la tabla siguiente se muestran los resultados de las velocidades obtenidas en cada prueba realizada para la intersección.

Tabla 20

Resultados de la velocidad promedio de viaje (situación actual).

Número de Corridas	Velocidad (km/h)
1	9.46
2	9.33
3	9.57
4	9.08
5	9.16
6	9.12
7	9.37
8	9.02
9	9.21
10	9.45
11	9.16
12	9.39
13	9.09
14	9.28
15	9.47
Promedio	9.28
Desv. Est.	0.17
Mínimo	9.02
Máximo	9.57

3. Demora promedio de viaje

La demora de viaje se convierte en un parámetro de eficiencia crucial, dado que el tiempo que representa evidencia la efectividad de la intersección. Su importancia radica en evaluar el tiempo perdido que un vehículo requiere para desplazarse entre dos puntos debido a la congestión del tráfico, lo que permite analizar el desempeño de la red vial. En relación con la intersección analizada, se identificó una demora promedio por vehículo de 101.82 segundos. Este dato indica un rendimiento deficiente en el área estudiada. En la siguiente tabla se muestran los resultados de la demora registrados para la intersección.

Tabla 21*Resultados de demora promedio de viaje (situación actual).*

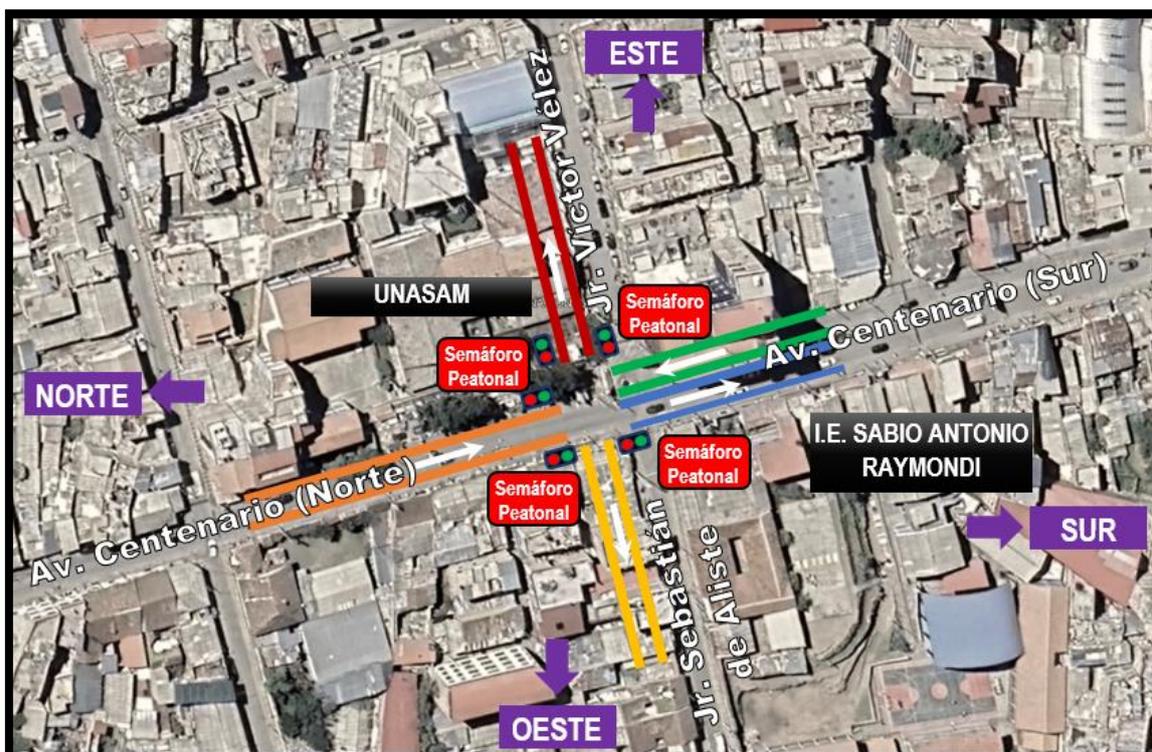
Número de Corridas	Demora (seg/veh)
1	101.42
2	100.29
3	98.46
4	103.86
5	99.89
6	101.97
7	102.71
8	106.48
9	101.08
10	102.17
11	103.46
12	103.04
13	102.93
14	99.49
15	100.13
Promedio	101.82
Desv. Est.	2.05
Mínimo	98.46
Máximo	106.48

4.1.3. Propuestas de solución

Las propuestas de solución abarcan también la mejora integral de la señalización, que incluye elementos como flechas, demarcación de carriles, cruces peatonales, entre otros. En la actualidad, en la zona de estudio, estos elementos no son visibles para los usuarios, ya sean conductores o peatones, debido al desgaste de la señalización. Estas opciones pueden ser consideradas según las preferencias y conveniencias. Además, se plantea la instalación de semáforos peatonales con el objetivo de mejorar la circulación vehicular sin afectar el desplazamiento de los peatones, las ubicaciones de estos semáforos propuestos se detallan en la Figura 36.

Figura 36

Ubicación de semáforos peatonales sugeridos en la intersección.



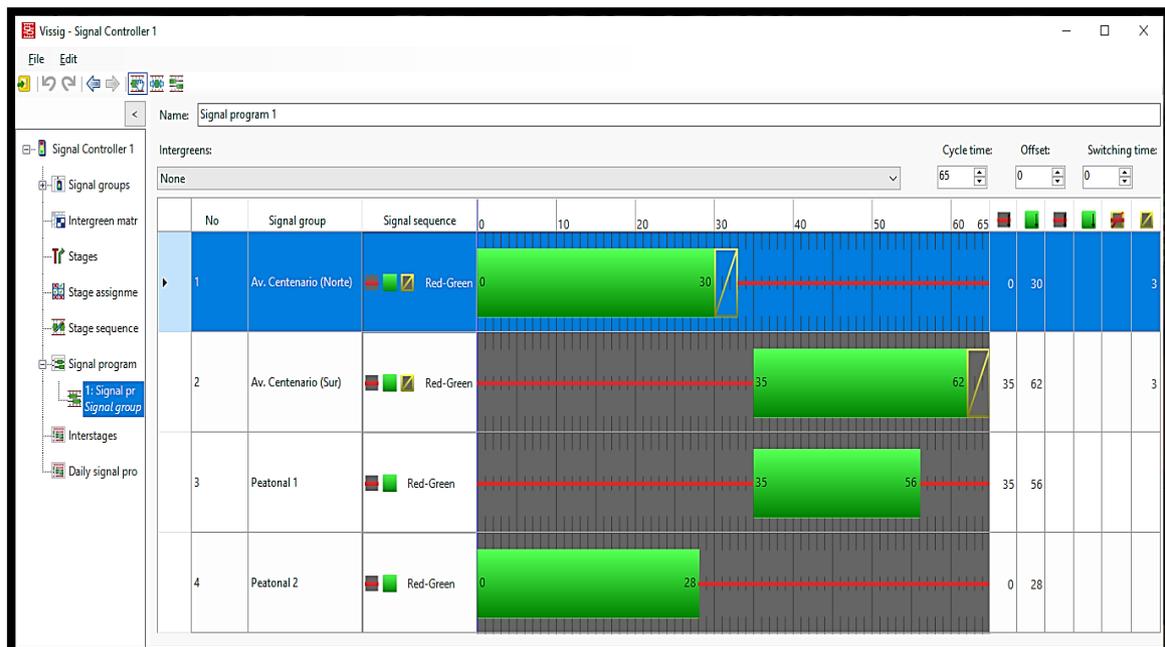
4.1.3.1. Propuesta de solución N° 01

Como primera propuesta, se sugiere modificar el ciclo actual del semáforo, el cual se optimizó la duración actual de 78 segundos a un ciclo de 65 segundos, asimismo, se mantienen las fases de tiempo (verde, ámbar, rojo). Al analizar esta combinación de propuestas, se obtuvieron resultados mejorados en la evaluación de la intersección en cuestión.

El diseño del nuevo ciclo del semáforo propuesto se presenta en la Figura 37, el cual fue optimizado mediante el uso del software Synchro 11. Con este ciclo optimizado, se observaron mejoras en los parámetros de eficiencia de la intersección bajo investigación.

Figura 37

Ciclo y fase de los semáforos (propuesta 01).



Tras realizar todas las modificaciones en el modelo de microsimulación validado con el objetivo de mejorar la intersección en estudio, los resultados que se obtuvieron de los parámetros de eficiencia seleccionados para esta primera propuesta se detallan a continuación.

1. Longitud de colas

Los resultados optimizados de la longitud de colas con el software PTV Vissim 2024, se aprecian a continuación.

Tabla 22

Resultados de longitudes de cola (propuesta 01).

Número de Corridas	Longitud de Cola 1 (m)	Longitud de Cola 2 (m)
1	167.28	76.57
2	167.06	95.30
3	161.14	94.76
4	158.27	94.58
5	161.71	94.62
6	163.46	90.31
7	165.16	95.06
8	160.01	92.13
9	158.72	94.85
10	130.61	91.65
11	159.12	94.91
12	125.11	93.03
13	165.81	95.19
14	166.29	88.52
15	166.48	94.77
Promedio	158.42	92.42

2. Velocidad promedio de viaje

Después de realizar las corridas en el software PTV Vissim 2024, se presenta en la siguiente tabla la velocidad promedio de viaje optimizada de los vehículos.

Tabla 23

Registro de velocidades promedio de viaje (propuesta 01).

Número de Corridas	Velocidad promedio de viaje (km/h)
1	16.20
2	16.21
3	16.25
4	15.87
5	16.55
6	16.09
7	16.08
8	16.09
9	16.06
10	16.36
11	16.34
12	16.26
13	16.02
14	16.30
15	16.09
Promedio	16.18

3. Demora promedio de viaje

En la siguiente tabla se presenta los valores registrados de la demora promedio por vehículo en la intersección, después de realizar las corridas en el software PTV Vissim 2024.

Tabla 24

Registro de demoras promedio de viaje (propuesta 01).

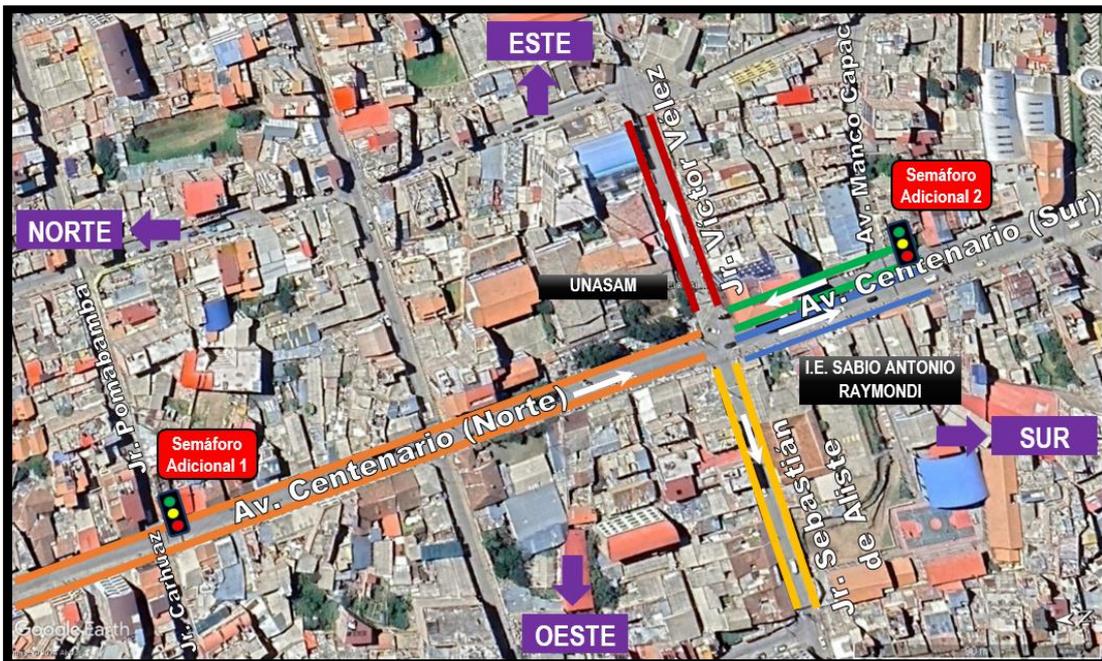
Número de Corridas	Demora de Viaje (seg/veh)
1	66.73
2	71.86
3	70.10
4	70.59
5	68.52
6	71.32
7	72.47
8	70.41
9	70.37
10	62.57
11	70.18
12	62.29
13	71.15
14	70.02
15	71.58
Promedio	69.34

4.1.3.2.Propuesta de solución N° 02

Para la segunda propuesta de mejora, se plantea colocar dos semáforos adicionales en cada vía de acceso dentro de la zona de estudio (Norte y Sur). Además, se contempla un nuevo ciclo de semáforo diferente al actual, con el objetivo de mejorar la fluidez del tráfico en la intersección. También se incluyen semáforos peatonales en las mismas ubicaciones proyectadas (ver Figura 36). Finalmente, las ubicaciones sugeridas de los semáforos adicionales se muestran en la Figura 38, colocados en la intersección de la Avenida Centenario con la Avenida Manco Capac, así como en la Avenida Centenario con el cruce de los Jirones Pomabamba y Carhuaz.

Figura 38

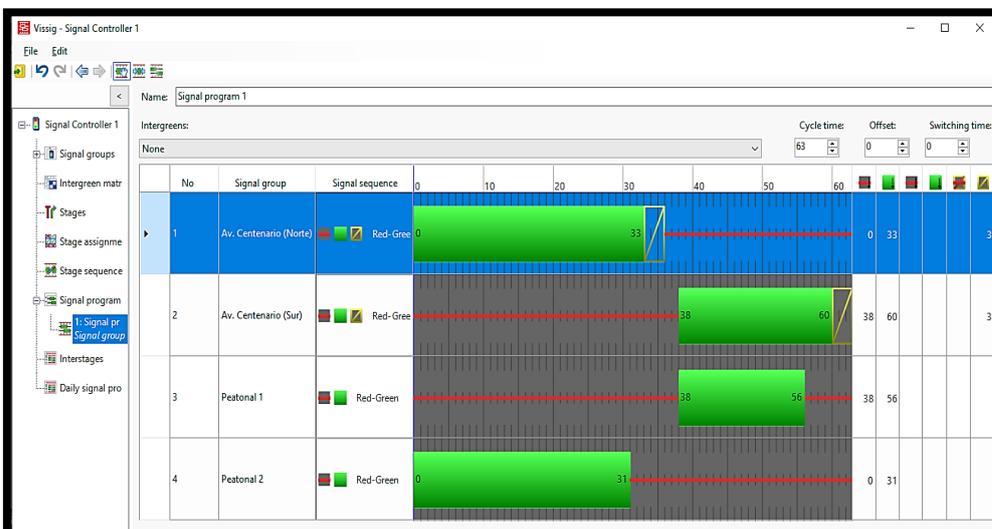
Ubicación de semáforos adicionales (propuesta 02).



Además, se busca que la intersección opere con la eficiencia óptima del ciclo del semáforo, manteniéndose las fases de tiempo inicial, esto se logra mediante el programa Synchro 11, obteniéndose un valor de 63 segundos para el nuevo ciclo en esta propuesta de mejora. La presentación de este nuevo ciclo se muestra a continuación en la Figura 39.

Figura 39

Ciclo y fase de los semáforos (propuesta 02).



Luego de realizar las modificaciones con las sugerencias planteadas en el modelo de microsimulación validado, los resultados que se obtuvieron de los parámetros de eficiencia seleccionados en esta segunda propuesta mostraron una mejoría dentro de la intersección.

1. Longitud de colas

Las longitudes de colas registradas en el software PTV Vissim 2024 se pueden verificar en la siguiente tabla.

Tabla 25

Resultados de longitudes de cola (propuesta 02).

Número de Corridas	Longitud de Cola 1 (m)	Longitud de Cola 2 (m)
1	74.86	64.17
2	65.75	64.89
3	78.00	65.37
4	90.74	64.72
5	67.11	65.15
6	65.88	64.72
7	67.56	63.63
8	109.61	64.92
9	108.66	64.34
10	60.07	65.86
11	43.78	62.86
12	108.05	64.83
13	56.46	64.99
14	44.70	62.82
15	62.28	65.09
Promedio	73.57	64.56

2. Velocidad promedio de viaje

Los valores resultantes de la velocidad promedio de viaje para la propuesta de solución N° 2 se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 26

Registro de velocidades promedio de viaje (propuesta 02).

Número de Corridas	Velocidad promedio de viaje (km/h)
1	17.12
2	17.09
3	17.09
4	16.98
5	17.03
6	16.76
7	16.93
8	17.14
9	17.23
10	17.21
11	16.98
12	16.83
13	17.01
14	17.17
15	17.44
Promedio	17.07

3. Demora promedio de viaje

El registro de la demora de promedio de viaje, después de las simulaciones en el software PTV Vissim 2024 se verifica en la siguiente tabla.

Tabla 27

Registro de demoras promedio de viaje (propuesta 02).

Número de Corridas	Demora de Viaje (seg/veh)
1	55.78
2	53.50
3	56.16
4	61.49
5	54.15
6	53.98
7	53.86
8	68.74
9	65.62
10	53.62
11	51.10
12	66.01
13	51.78
14	49.88
15	53.03
Promedio	56.58

4.1.3.3. Evaluación estadística de las propuestas de solución

En esta fase del análisis, es necesario determinar si los resultados recientes, basados en las propuestas planteadas, poseen una importancia significativa. En otras palabras, se busca determinar si los valores obtenidos indican una mejora con respecto a los valores iniciales considerados, en lo que respecta a los parámetros de eficiencia. Con este propósito, se utilizará la prueba de hipótesis, la cual tiene una utilidad análoga a la empleada en las fases de calibración y validación llevadas a cabo previamente. A continuación, se proporcionan los fundamentos para llevar a cabo este análisis.

1. Establecer la hipótesis nula y la alternativa:

$u_1 = \text{Media de la propuesta de mejora}$

$u_2 = \text{Media del modelo inicial}$

Hipótesis nula (H_0) : $u_1 = u_2$

Hipótesis alternativa (H_1) : $u_1 > u_2$ o $u_1 < u_2$

2. Definir significancia:

La significancia que se usará es del 5% con un nivel de confianza de 95%.

3. Gráfica de aceptación o rechazo de H_0

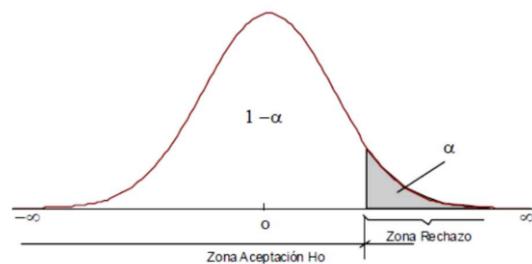
Se generará el gráfico utilizando StatKey cómo se realizó para la calibración y validación, luego se decidirá, dependiendo de los resultados obtenidos, si se acepta o rechaza la hipótesis nula (H_0).

a. Verificación del extremo positivo

$H_0: u_1 = u_2$

$H_1: u_1 > u_2$

Prueba de hipótesis del extremo positivo.



b. Verificación del extremo negativo

$H_0: u = u_0$

$H_1: u_1 < u_2$

Prueba de hipótesis del extremo negativo.



Estos fundamentos de la prueba de hipótesis serán aplicados a continuación en cada uno de los parámetros de eficiencia para cada propuesta de mejora.

Análisis estadístico de la propuesta de solución N° 01

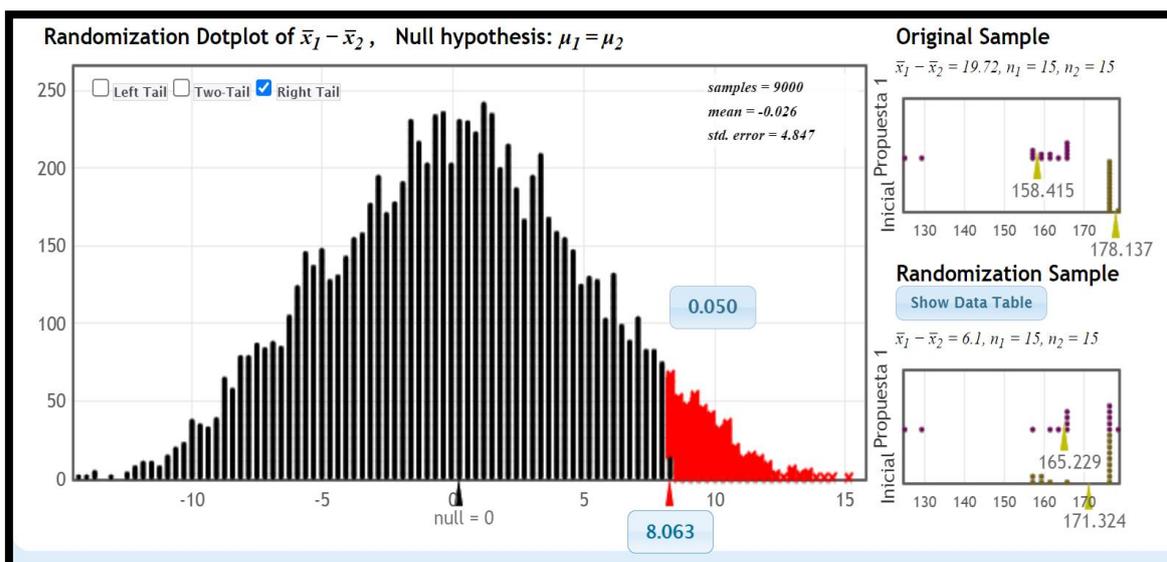
1. Análisis de las longitudes de colas

Avenida Centenario (acceso Norte):

En la Figura 40 se observa que la diferencia de medias, que es igual a 19.72, se ubica en la región de rechazo (parte sombreada en rojo) de la hipótesis nula. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0). Por lo tanto, se concluye que la longitud de cola implica una mejora importante en el acceso Norte de la Avenida Centenario.

Figura 40

Gráfico de evaluación de longitud de cola – Av. Centenario (Norte) (propuesta 01).

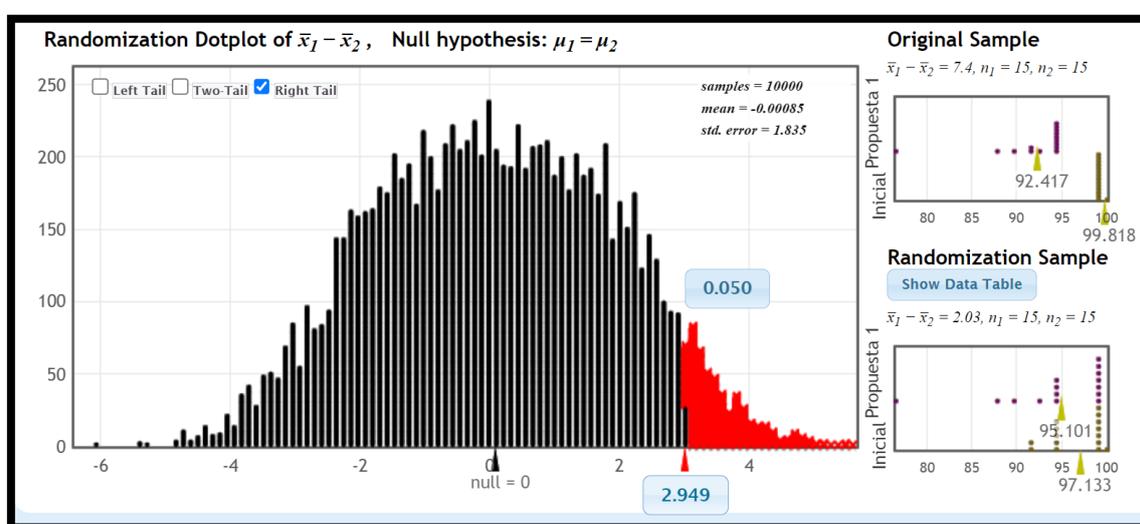


Avenida Centenario (Sur):

En la Figura 41 se observa que la diferencia de medias, que es igual a 7.40, se ubica en la región de rechazo (parte sombreada en rojo) de la hipótesis nula. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula (H_0). Por lo tanto, se concluye que la longitud de cola implica una mejora importante en el acceso Sur de la Avenida Centenario.

Figura 41

Gráfico de evaluación de longitud de cola – Av. Centenario (Sur) (propuesta 01).

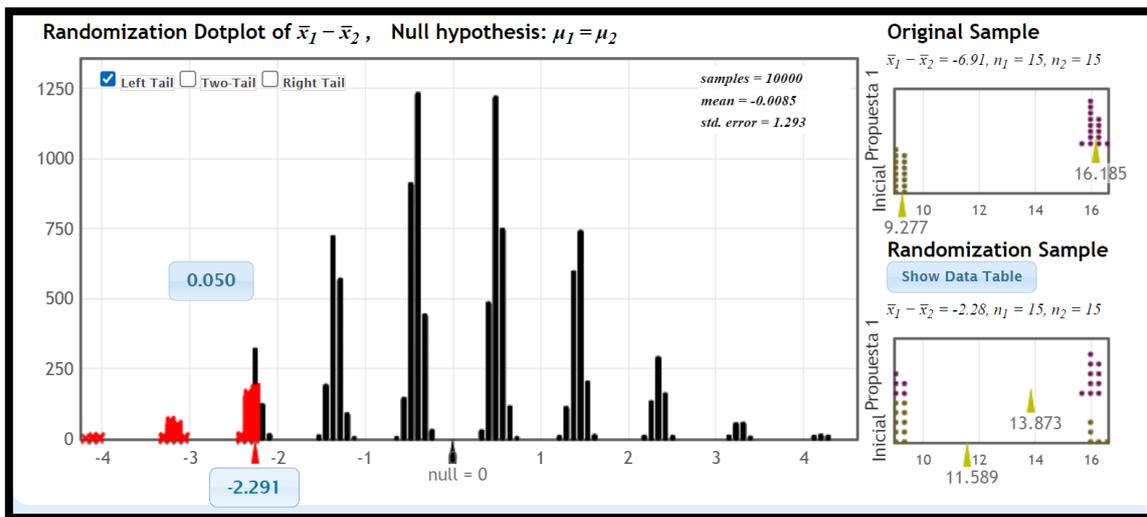


2. Análisis de la velocidad promedio de viaje

Se verifica que, la diferencia de medias es de -6.91, el cual se ubica en la zona de rechazo de la hipótesis nula (H_0). Entonces, la hipótesis nula es rechazada. Por consiguiente, la velocidad de viaje promedio tiene una mejora significativa en la intersección.

Figura 42

Gráfico de evaluación de la velocidad promedio de viaje (propuesta 01).

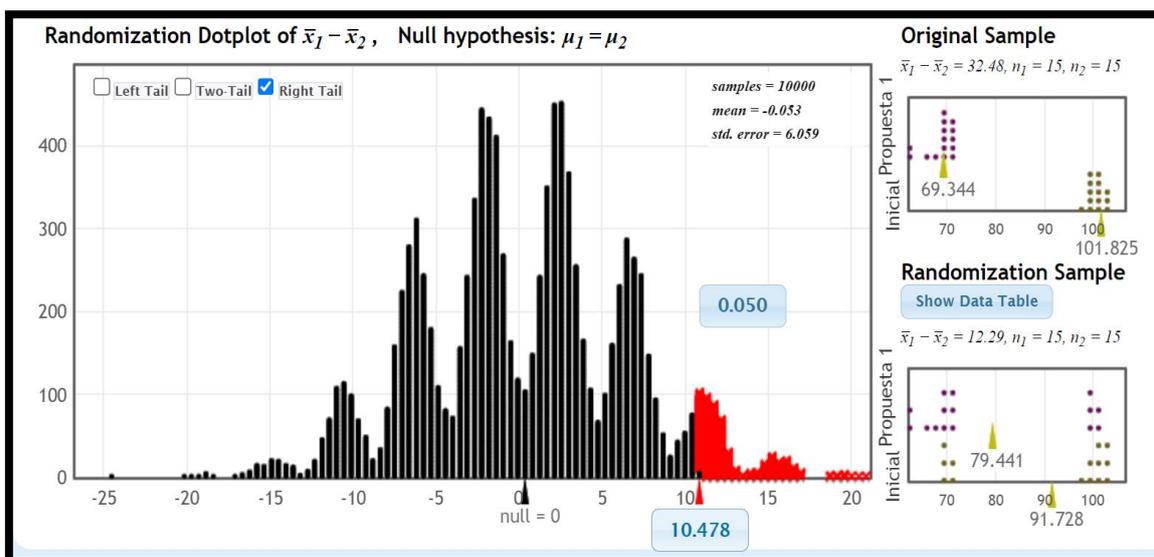


3. Análisis de la demora promedio de viaje

Se corrobora que, la diferencia de medias igual 32.48, se sitúa en la zona de rechazo de la hipótesis nula (H_0). Por tanto, se rechaza la hipótesis nula. Concluyendo que, la demora de viaje promedio experimenta una mejora significativa en el funcionamiento de la intersección.

Figura 43

Gráfico de evaluación de la demora promedio de viaje (propuesta 01).



Análisis estadístico de la propuesta de solución N° 02

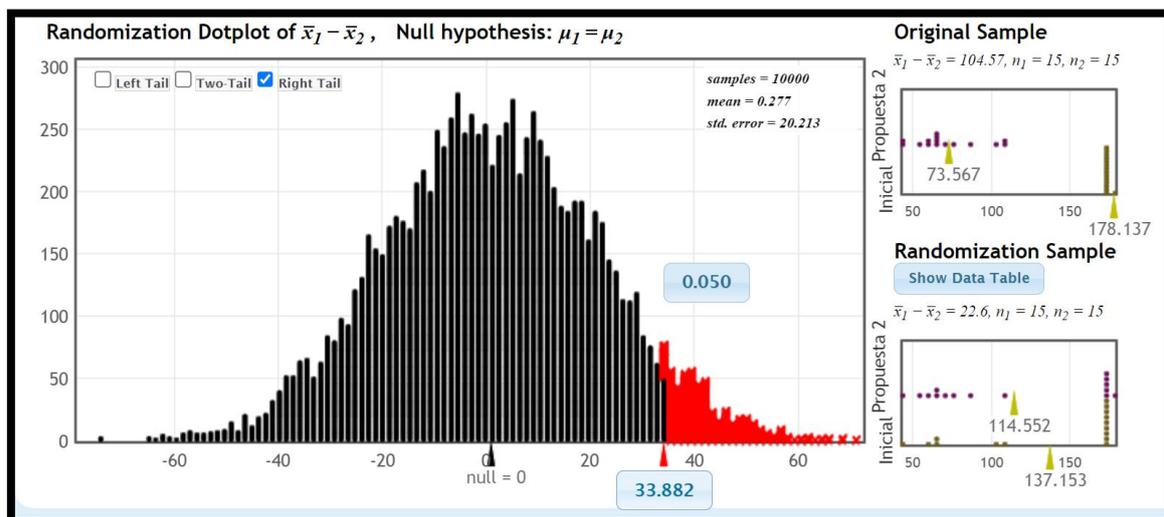
1. Análisis de las longitudes de cola

Avenida Centenario (Norte):

Se puede visualizar en la Figura 44 que, la diferencia de medias, con un valor de 104.57, se encuentra en la zona de rechazo de la hipótesis nula (H_0). Por consiguiente, la hipótesis nula es rechazada, indicando así que la longitud de cola experimenta una mejora significativa en el acceso Norte de la Avenida Centenario.

Figura 44

Gráfico de evaluación de longitud de cola – Av. Centenario (Norte) (propuesta 02).

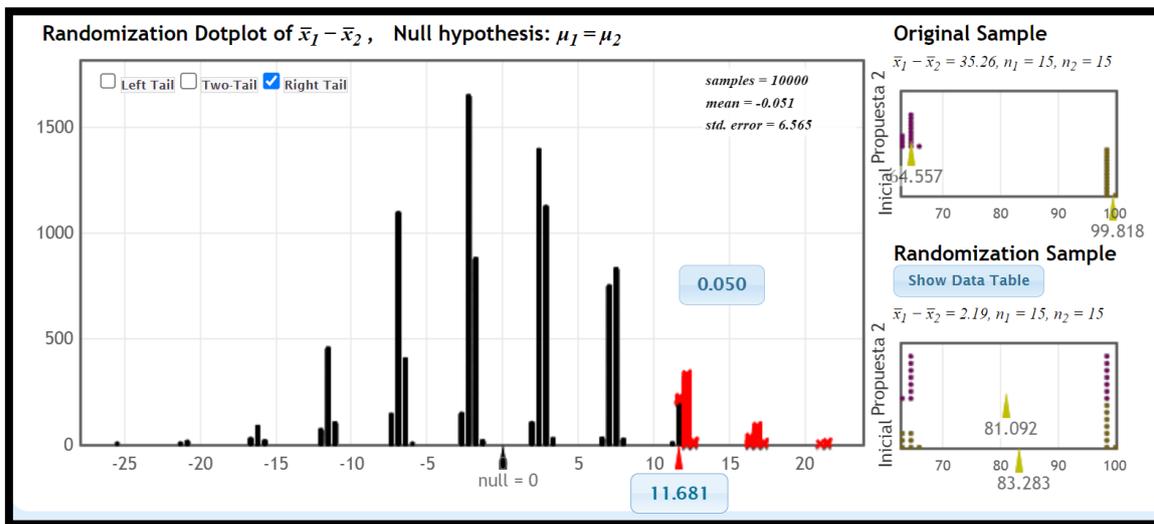


Avenida Centenario (Sur):

Se puede verificar en la Figura 45 que, la diferencia de medias, tiene un valor de 35.26, el cual se encuentra en la zona de rechazo de la hipótesis nula (H_0). Por consiguiente, la hipótesis nula es rechazada, indicando así que la longitud de cola experimenta una mejora significativa en el acceso Sur de la Avenida Centenario.

Figura 45

Gráfico de evaluación de longitud de cola – Av. Centenario (Sur) (propuesta 02).

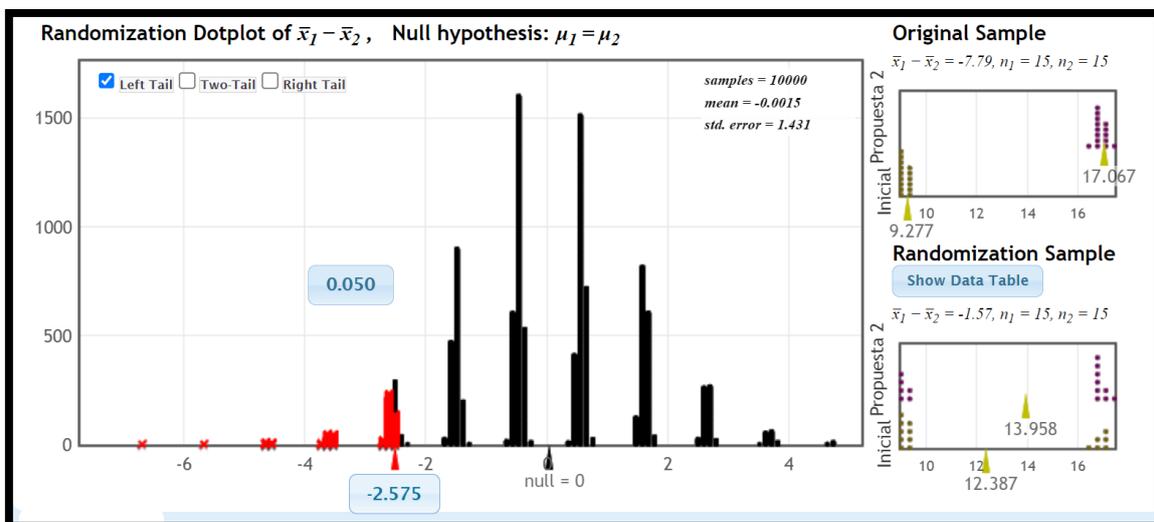


2. Análisis de la velocidad promedio de viaje

Se confirma que la diferencia de medias, que es de -7.79 , está en la región de rechazo de la hipótesis nula (H_0). En consecuencia, la hipótesis nula es rechazada, concluyendo así que la velocidad de viaje promedio experimenta una mejora importante en el funcionamiento de la intersección.

Figura 46

Gráfico de evaluación de la velocidad promedio de viaje (propuesta 02).

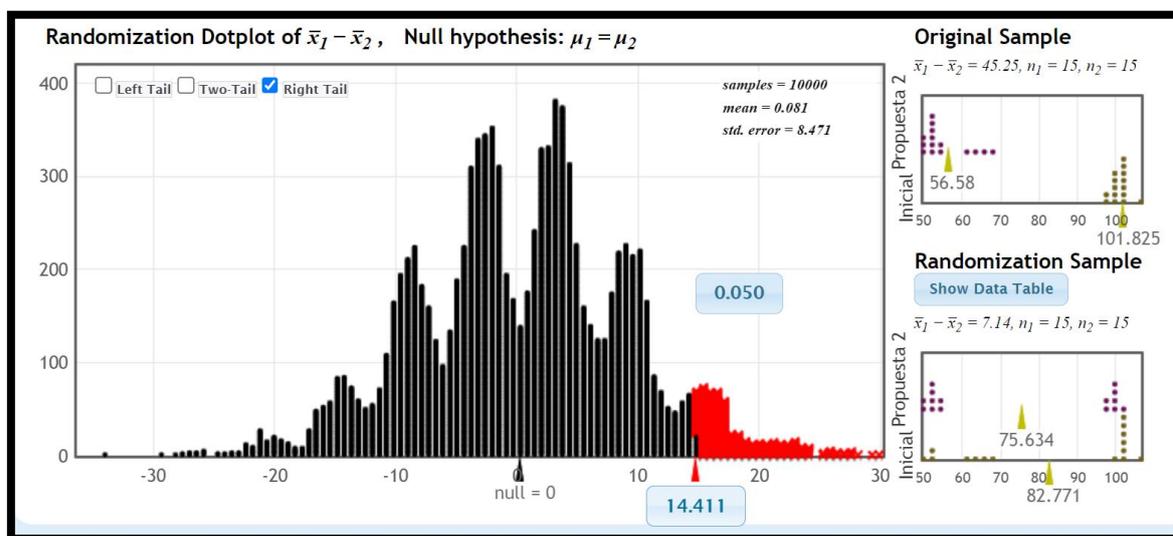


3. Análisis de la demora promedio de viaje

Se observa que, la diferencia de medias, con un valor de 45.25, está dentro de la zona de rechazo de la hipótesis nula (H_0). Por lo tanto, la hipótesis nula es rechazada. En consecuencia, la demora de viaje promedio experimenta una mejora significativa en el rendimiento de la intersección.

Figura 47

Gráfico de evaluación de la demora promedio de viaje (propuesta 02).



4.2. Análisis de resultados

4.2.1. Análisis de la construcción, calibración y validación del modelo

Para analizar la situación actual en el modelo de microsimulación utilizando el software PTV Vissim 2024, se obtuvieron datos de campo en dos momentos distintos, con registros de una hora. Estos datos fueron empleados en la construcción, calibración y validación del modelo en el software, logrando reflejar con precisión la realidad de la intersección. Una vez que el modelo fue validado, se considera el aforo vehicular con mayor demanda en la intersección para su análisis. Es importante resaltar que, durante la fase de validación, el flujo vehicular es mayor que en la etapa de calibración. Por lo tanto, nos

enfocaremos en el escenario más crítico identificado. La Tabla 28 exhibe los datos de aforo vehicular tanto de la calibración como de la validación.

Tabla 28

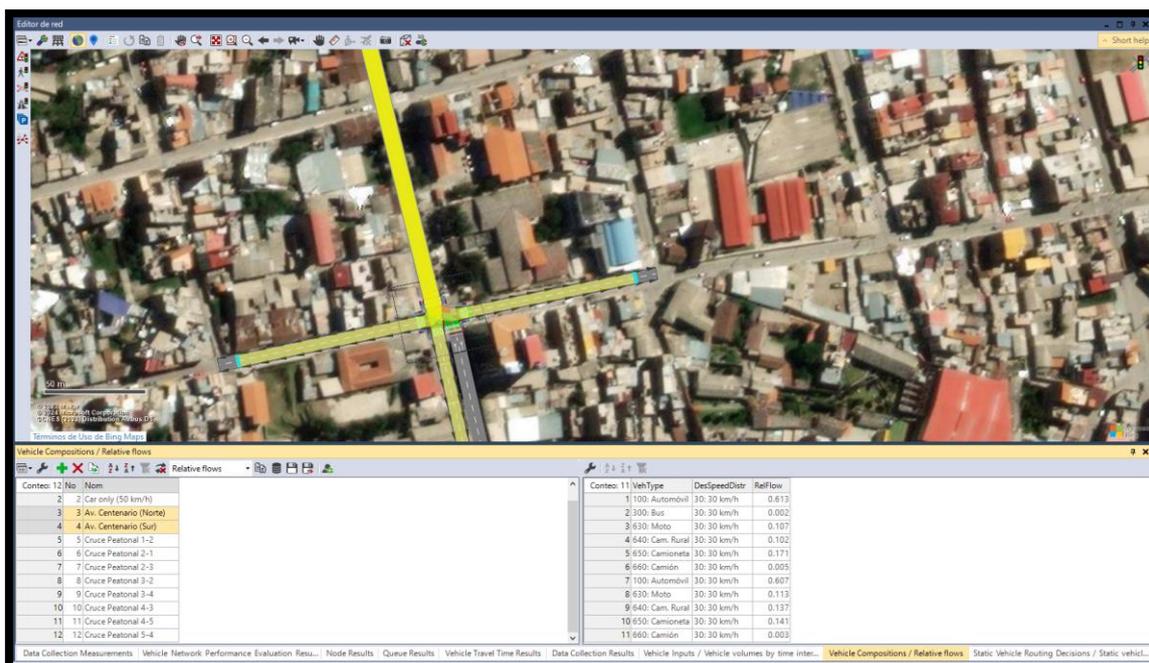
Demanda vehicular para la calibración y validación.

Vía de la Intersección	Registro de Datos	
	Calibración (Veh/hora)	Validación (Veh/hora)
Av. Centenario (acceso Norte)	1327	1370
Av. Centenario (acceso Sur)	836	974
TOTAL	2163	2344

En la situación actual de la intersección, se han identificado los tipos de vehículos que transitan por la zona, así como la proporción que representan en comparación con el flujo vehicular total. La composición de vehículos en el acceso Norte de la Avenida Centenario se muestra en la siguiente figura.

Figura 48

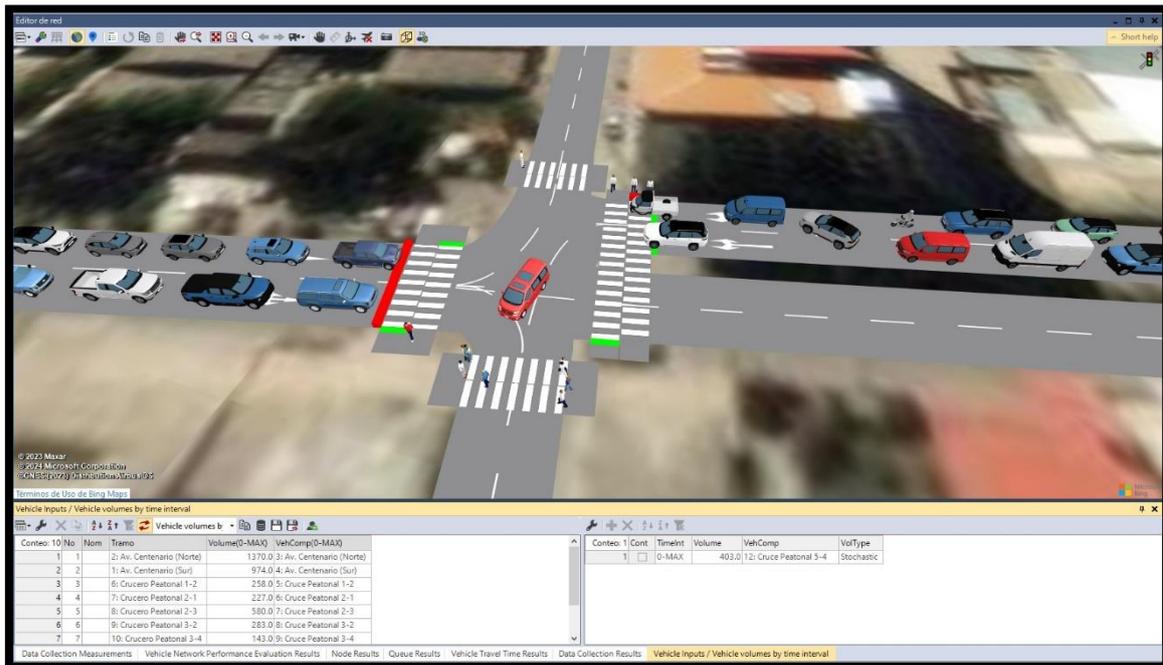
Composición vehicular de la situación actual de la intersección en el modelo.



Además, en el modelo de microsimulación realizado con el software PTV Vissim 2024, se registra tanto el número total de vehículos como de peatones que circulan por la intersección, siendo esta información visualizada en la figura que sigue.

Figura 49

Volumen de vehículos de la situación actual de la intersección en el modelo.



4.2.2. Análisis de los parámetros de eficiencia en el modelo

Los resultados de los tres parámetros de eficiencia que se analizan en el modelo de microsimulación desarrollado en esta investigación fueron proporcionados por el software PTV Vissim 2024 con simulaciones realizadas en quince corridas. Estos parámetros representan datos de la situación actual del modelo de la intersección, el cual ya ha sido calibrado y validado en el software utilizando los tiempos de viaje registrados en campo. Por lo tanto, estos datos registrados por el software son una representación precisa de la realidad. Además, se llevó a cabo la recolección de datos sobre la longitud de cola (parámetro de eficiencia relevante) en campo, tanto para los accesos Norte y Sur de la intersección. Esto

se hizo para realizar un análisis comparativo con las longitudes de cola de la situación actual proporcionadas por el software.

Tabla 29

Cuadro comparativo de longitudes de colas.

	Longitud de cola 1 (m) (Av. Centenario-Norte)		Longitud de cola 2 (m) (Av. Centenario-Sur)	
	Situación actual (dato campo)	Situación actual (PTV Vissim)	Situación actual (dato campo)	Situación actual (PTV Vissim)
Promedio	176.02	178.14	100.62	99.82
Desv. Est.	24.06	0.33	21.50	0.19
Mínimo	141.60	177.51	74.20	99.43
Máximo	235.70	178.55	164.10	100.10

En la Tabla 29, se observa una variación mínima en los promedios entre los datos de la situación actual proporcionados por el software PTV Vissim y los datos recopilados en campo. Para la longitud de cola 1 (acceso Norte de la intersección) se registra una diferencia porcentual de 1.20% en comparación con los datos de campo de la situación actual. De manera similar, para la longitud de cola 2 (acceso Sur de la intersección), se presenta una diferencia porcentual de 0.80% en relación con los datos de campo. Por lo tanto, las diferencias porcentuales entre los valores observados y los simulados en el software son muy bajas, sugiriendo que el modelo de microsimulación logra representar de manera precisa la realidad de la intersección. Esto indica que los datos del software son fiables para la situación actual de la intersección y para plantear las propuestas de solución.

4.2.3. Análisis de las propuestas de solución

Después de analizar la intersección y con el objetivo de mejorar su funcionamiento, se han formuló dos propuestas. La primera implicó modificar el ciclo actual del semáforo con el objetivo de optimizarlo. La segunda propuesta contempló en colocar semáforos

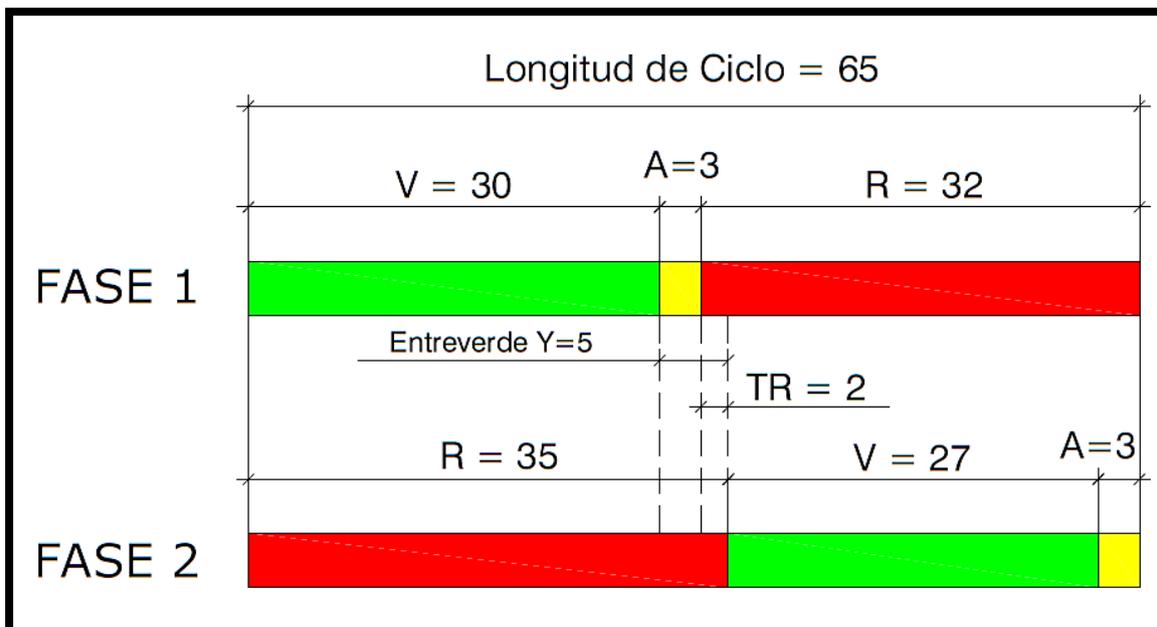
adicionales en cada vía de acceso a la intersección, con fases y ciclos diferentes a los de la situación actual.

4.2.3.1. Propuesta de solución N° 01

En el desarrollo de la propuesta de solución se realizó la optimización del ciclo del semáforo, que contaba con un ciclo prolongado, el cual producía un desequilibrio en el flujo de los vehículos en la intersección. A continuación, se detalla el diagrama de fases del semáforo recomendado para la intersección en esta primera propuesta.

Figura 50

Diagrama de fases del semáforo (propuesta 01).



Luego de realizar el cambio de ciclo del semáforo en el modelo de microsimulación se obtuvo los resultados optimizados de los parámetros de eficiencia. A continuación, se muestra el análisis de todos los resultados obtenidos en el software PTV Vissim 2024.

1. Longitud de colas

Las longitudes de colas registradas en el acceso Norte de la Avenida Centenario, asociada a la longitud de cola 1, y del acceso Sur de la Avenida Centenario, correspondiente

a la longitud de cola 2, donde se muestra una reducción en ambas, destacando una mejora como se muestra a continuación.

Tabla 30

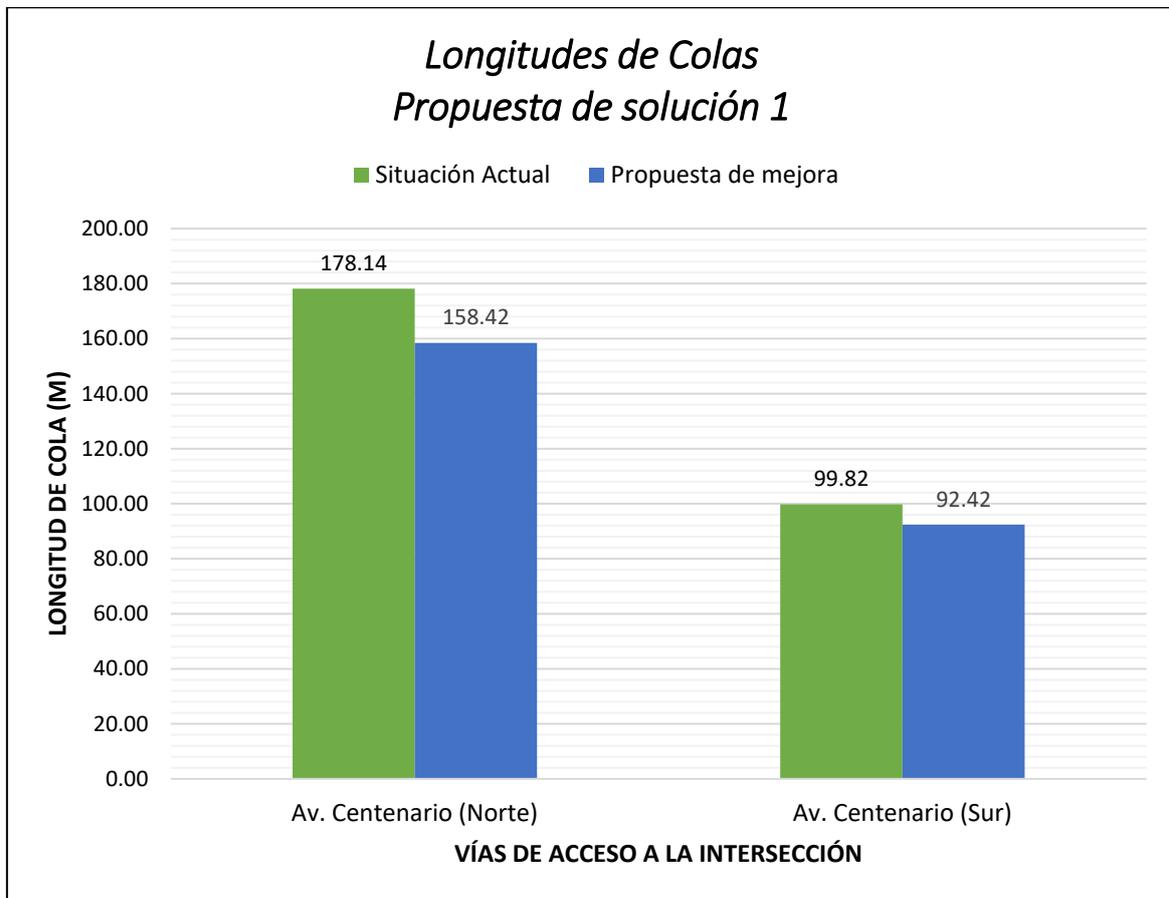
Comparación de resultados de longitudes de colas (propuesta 01).

Número de Corridas	Situación actual		Propuesta de solución	
	Longitud de Cola 1 (m)	Longitud de Cola 2 (m)	Longitud de Cola 1 (m)	Longitud de Cola 2 (m)
1	178.33	99.67	167.28	76.57
2	177.97	99.43	167.06	95.30
3	177.67	99.87	161.14	94.76
4	178.55	99.97	158.27	94.58
5	178.32	99.60	161.71	94.62
6	178.34	99.73	163.46	90.31
7	178.41	99.88	165.16	95.06
8	178.47	99.85	160.01	92.13
9	178.30	99.98	158.72	94.85
10	177.68	99.74	130.61	91.65
11	178.42	99.87	159.12	94.91
12	177.89	100.09	125.11	93.03
13	178.21	100.10	165.81	95.19
14	177.51	99.86	166.29	88.52
15	177.99	99.63	166.48	94.77
Promedio	178.14	99.82	158.42	92.42

La mayor disminución en la longitud de cola se observa en el acceso Norte de la Avenida Centenario, como se aprecia en la Figura 51. Esta reducción es beneficiosa, dado que esta vía experimentaba una mayor congestión de vehículos. Estos datos indican un cambio notable en lo que respecta a este parámetro y, en general, señalan una mejora en el rendimiento de la intersección. En el acceso Norte de la Av. Centenario se tiene una reducción de 11.07% y en el acceso Sur de la Av. Centenario una disminución de 7.42% respecto a la situación actual.

Figura 51

Comparación de longitudes de colas (propuesta 01).



2. Velocidad promedio de viaje

En cuanto a la velocidad promedio de los vehículos en la intersección, se obtiene una cifra de 16.18 km/h, lo que representa un incremento del 74.35% respecto al valor inicial.

En la Tabla 31 se muestra el registro de las velocidades.

Tabla 31*Comparación de registros de velocidades promedio de viaje (propuesta 01).*

Velocidad promedio de viaje (km/h)		
Número de Corridas	Situación actual	Propuesta de solución
1	9.46	16.20
2	9.33	16.21
3	9.57	16.25
4	9.08	15.87
5	9.16	16.55
6	9.12	16.09
7	9.37	16.08
8	9.02	16.09
9	9.21	16.06
10	9.45	16.36
11	9.16	16.34
12	9.39	16.26
13	9.09	16.02
14	9.28	16.30
15	9.47	16.09
Promedio	9.28	16.18

3. Demora promedio de viaje

Para la demora promedio por vehículo en la intersección, se registra un valor promedio de 69.34 segundos por vehículo, indicando un progreso evidente en comparación con la demora inicial de 101.82 segundos por vehículo. Este resultado representa una reducción del 31.90% respecto al valor inicial. Los valores obtenidos de las demoras se presentan a continuación en la Tabla 32.

Tabla 32*Comparación de registros de demoras promedio de viaje (propuesta 01).*

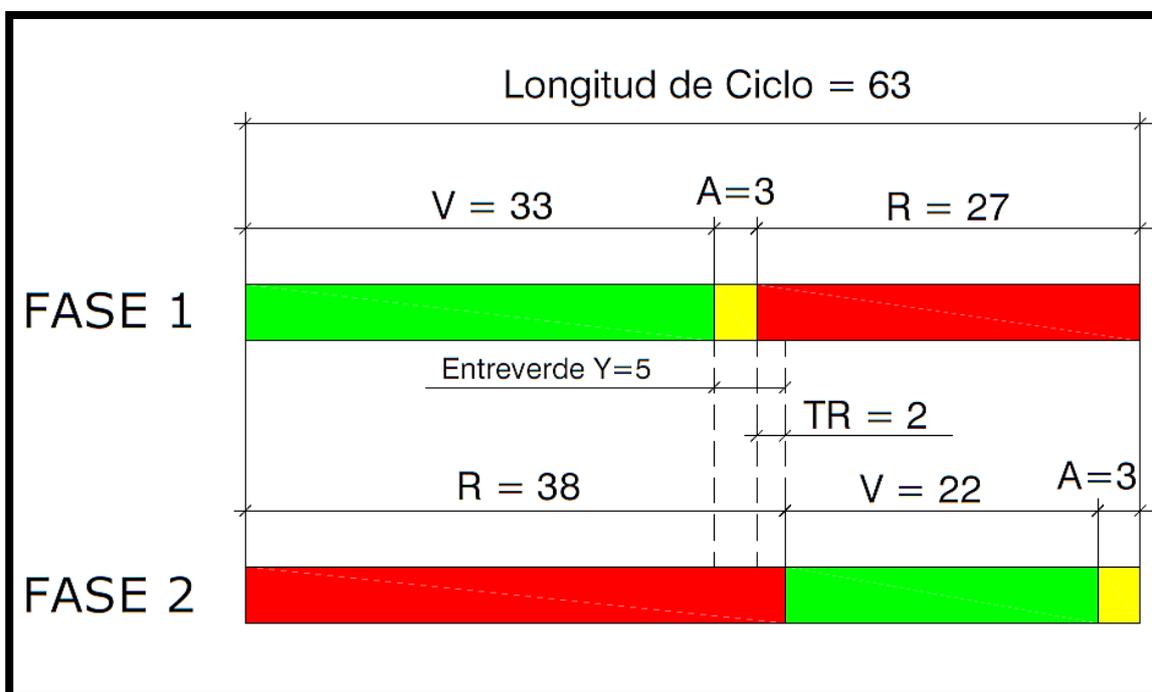
Demora de Viaje (seg/veh)		
Número de Corridas	Situación actual	Propuesta de solución
1	101.42	66.73
2	100.29	71.86
3	98.46	70.10
4	103.86	70.59
5	99.89	68.52
6	101.97	71.32
7	102.71	72.47
8	106.48	70.41
9	101.08	70.37
10	102.17	62.57
11	103.46	70.18
12	103.04	62.29
13	102.93	71.15
14	99.49	70.02
15	100.13	71.58
Promedio	101.82	69.34

4.2.3.2.Propuesta de solución N° 02

En la propuesta de solución N° 2, se sugirió colocar dos semáforos adicionales en cada vía de acceso de la intersección, asimismo, de la misma manera que en la propuesta de solución N° 1 se realizó la optimización del ciclo del semáforo, para mejorar la fluidez de los vehículos en la intersección. En la siguiente figura se presenta el diagrama de fases del semáforo para la intersección en esta segunda propuesta.

Figura 52

Diagrama de fases del semáforo (propuesta 02).



Culminado con los cambios sugeridos en el modelo de microsimulación, los resultados optimizados de los parámetros de eficiencia en el software PTV Vissim 2024 se presentan a continuación.

1. Longitud de colas

Las longitudes de colas con esta nueva propuesta de mejora tienen una significativa reducción en la intersección en estudio, apreciándose una mejoría la cual se muestra en la Tabla 33.

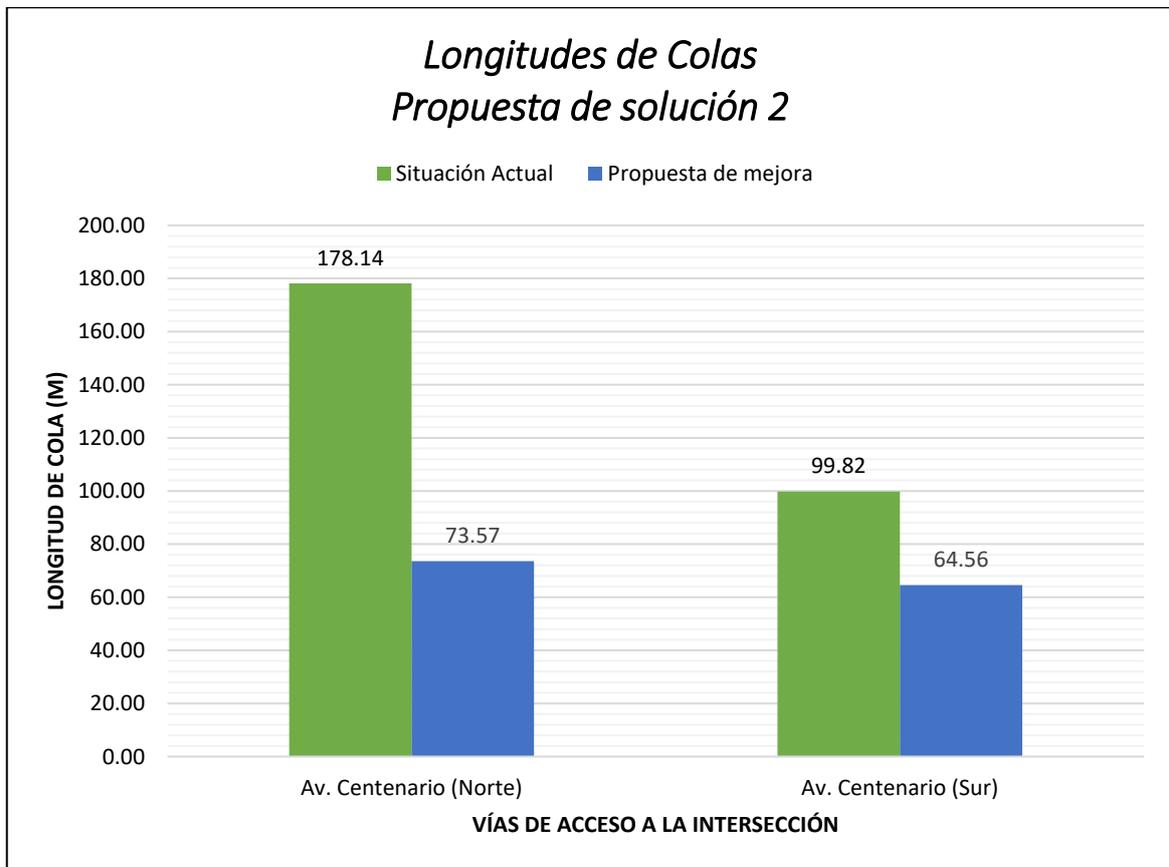
Tabla 33*Comparación de resultados de longitudes de cola (propuesta 02).*

Número de Corridas	Situación actual		Propuesta de solución	
	Longitud de Cola 1 (m)	Longitud de Cola 2 (m)	Longitud de Cola 1 (m)	Longitud de Cola 2 (m)
1	178.33	99.67	74.86	64.17
2	177.97	99.43	65.75	64.89
3	177.67	99.87	78.00	65.37
4	178.55	99.97	90.74	64.72
5	178.32	99.60	67.11	65.15
6	178.34	99.73	65.88	64.72
7	178.41	99.88	67.56	63.63
8	178.47	99.85	109.61	64.92
9	178.30	99.98	108.66	64.34
10	177.68	99.74	60.07	65.86
11	178.42	99.87	43.78	62.86
12	177.89	100.09	108.05	64.83
13	178.21	100.10	56.46	64.99
14	177.51	99.86	44.70	62.82
15	177.99	99.63	62.28	65.09
Promedio	178.14	99.82	73.57	64.56

En la Figura 53, se puede notar que hay una reducción en la longitud de las colas tanto en el acceso Norte de la Avenida Centenario como en el acceso Sur de la Avenida Centenario. Esta disminución en el parámetro de eficiencia representa un cambio significativo para la intersección, ya que reduce considerablemente la congestión vehicular, indicando una mejora en el rendimiento de la intersección. Esto se debe a la colocación de los semáforos adicionales teniendo como resultado la regulación del flujo de vehículos y peatones en las vías, proporcionando orden y seguridad a los usuarios. Se puede verificar que en el acceso Norte de la Av. Centenario existe una disminución de 58.70% y en el acceso Sur de la Av. Centenario una reducción de 35.32% respecto a la situación actual.

Figura 53

Comparación de longitudes de colas (propuesta 02).



2. Velocidad promedio de viaje

En lo que respecta a la velocidad promedio de los vehículos en la intersección, se registró un valor de 17.07 km/h, lo que refleja un aumento del 83.94% en comparación con el valor inicial. La Tabla 34 presenta el registro detallado de las velocidades.

Tabla 34

Comparación de registros de velocidades promedio de viaje (propuesta 02).

Velocidad promedio de viaje (km/h)		
Número de Corridas	Situación actual	Propuesta de solución
1	9.46	17.12
2	9.33	17.09
3	9.57	17.09
4	9.08	16.98
5	9.16	17.03
6	9.12	16.76
7	9.37	16.93
8	9.02	17.14
9	9.21	17.23
10	9.45	17.21
11	9.16	16.98
12	9.39	16.83
13	9.09	17.01
14	9.28	17.17
15	9.47	17.44
Promedio	9.28	17.07

3. Demora promedio de viaje

En lo que concierne a la demora promedio por vehículo en la intersección, se registró un valor promedio de 56.58 segundos por vehículo, indicando una reducción del 44.43% con respecto a la demora inicial. Los valores específicos de las demoras se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 35*Comparación de registro de demoras promedio de viaje (propuesta 02).*

Demora de Viaje (seg/veh)		
Número de Corridas	Situación actual	Propuesta de Mejora
1	101.42	55.78
2	100.29	53.50
3	98.46	56.16
4	103.86	61.49
5	99.89	54.15
6	101.97	53.98
7	102.71	53.86
8	106.48	68.74
9	101.08	65.62
10	102.17	53.62
11	103.46	51.10
12	103.04	66.01
13	102.93	51.78
14	99.49	49.88
15	100.13	53.03
Promedio	101.82	56.58

4.3. Contrastación de la hipótesis

1. Se comprobó que el modelo de microsimulación de tráfico reduce la congestión la congestión vehicular en la intersección de la Av. Centenario con el Jr. Víctor Vélaz y el Jr. Sebastián de Aliste, distrito de Independencia, provincia de Huaraz-2023, empleando el software PTV Vissim 2024. Esto se logró a través de la formulación de dos propuestas de solución. En la primera propuesta, se mejoró el ciclo del semáforo, resultando en una optimización de los parámetros de eficiencia. En la segunda propuesta, se propuso la instalación de dos semáforos en los accesos Norte y Sur de la intersección, con la sincronización de los ciclos de los semáforos existentes, generando asimismo una mejora significativa en los parámetros de eficiencia.

2. Se comprobó que la situación actual con la construcción, calibración y validación del modelo de microsimulación de tráfico de la intersección, permite establecer condiciones para la reducción de la congestión vehicular. Al realizar la calibración y validación del modelo se confirmó que los datos proporcionados por el software PTV Vissim representan fielmente la realidad de la intersección. Posteriormente, en el modelo, se incorporó el flujo vehicular de mayor demanda en la intersección. Esto permitió que el modelo fuera utilizado como una representación de la situación actual en la intersección.
3. Se comprobó que los parámetros de eficiencia más significativos que intervienen en el modelo de microsimulación de tráfico, para reducir la congestión vehicular en la intersección son la longitud de cola, demora promedio de viaje y velocidad promedio de viaje. Se identificaron los parámetros de eficiencia relevantes en el modelo de microsimulación, tales como la longitud de cola, la velocidad promedio de viaje y la demora promedio de viaje, los cuales, según los resultados indican la presencia de congestión vehicular en la intersección. Además, se analizó la longitud de cola registrada en campo en comparación con la proporcionada por el software. Los resultados señalan una diferencia porcentual mínima y sugiere que el modelo refleja de manera precisa la realidad de la intersección.
4. Se comprobó que las propuestas de solución más convenientes planteadas en el modelo de microsimulación de tráfico, reducen significativamente la congestión vehicular. Esto se logró mediante la presentación de dos propuestas de solución en el modelo. En ambas propuestas, se observó una disminución en las longitudes de las colas tanto en el acceso Norte como en el Sur, acompañada de un aumento en la velocidad promedio de viaje y una reducción en la demora del viaje. Estos resultados reflejan una reducción significativa en la congestión vehicular de la intersección.

V. Conclusiones – Recomendaciones

5.1. Conclusiones

1. En el modelo de microsimulación de tráfico se redujo la congestión vehicular en la intersección con el planteamiento de dos propuestas de solución. En la primera propuesta se optimizó el ciclo del semáforo, con lo que se obtuvo que las longitudes de colas al Norte y Sur lograron una reducción en un 11.07% y 7.42% respectivamente; la velocidad promedio de viaje aumentó en 74.35%, y la demora de viaje disminuyó en 31.90%. En la segunda propuesta se planteó implementar dos semáforos en los accesos Norte y Sur de la intersección, sincronizados con los semáforos existentes y con un ciclo de 63 segundos, con lo cual la longitud de colas al norte y sur se redujeron en un 58.70% y 35.32% respectivamente; la velocidad promedio de viaje aumentó en 83.94%, y la demora de viaje disminuyó en 44.43%. Ambas propuestas incluyen mejoras integrales en la señalización vial, junto con la implementación de semáforos peatonales, buscando optimizar el flujo vehicular sin afectar la movilidad de los peatones.
2. La situación actual en la intersección, se determinó con el estudio del aforo vehicular en dos momentos distintos de horas punta, para la construcción, calibración y validación del modelo de microsimulación de tráfico, que permitieron establecer condiciones que redujeron la congestión vehicular. Después de validar el modelo, se consideró el aforo vehicular con mayor demanda en la intersección, alcanzando un valor de 2344 vehículos por hora. Este registro se realizó el día viernes 17 de noviembre del 2023, entre las 12:30 y las 13:30 horas. Además, se estableció la geometría de la intersección para la realización de la construcción, su posterior calibración y la validación del modelo de microsimulación, asegurándose de que el modelo refleje fielmente la realidad observada en campo.

3. Los parámetros de eficiencia que intervinieron en el modelo de microsimulación de tráfico para la reducción de la congestión vehicular fueron, la longitud de cola de 178.14 metros hacia el norte y 99.82 metros hacia el sur, estos valores son considerablemente elevados, ya que la fila de vehículos se extiende por más de dos cuadras, generando congestión. La velocidad promedio de viaje se registró en 9.28 km/h, lo cual no supera los 30 km/h establecidos por la normatividad para zonas escolares, dada la presencia de una institución educativa próxima a la intersección, esta baja velocidad contribuye a que la fila de vehículos no fluya adecuadamente. El promedio de la demora de viaje por vehículo fue de 101.82 segundos, valores no adecuados que generan una congestión vehicular en la intersección. Estos parámetros se ven afectados por el estacionamiento de vehículos para recoger pasajeros en las vías de acceso a la intersección, dado que no existe un paradero de transporte en la zona, esto provoca cambios de carril de los vehículos viéndose obligados a realizar maniobras. Además, se realizó el análisis de la longitud de cola observada en campo y la proporcionada por el software revelando para el acceso Norte una diferencia porcentual de 1.20% y 0.80% para el Sur. Este análisis reafirma que el modelo representa de manera precisa la realidad de la intersección.
4. Se plantearon dos propuestas de solución que redujeron significativamente la congestión vehicular en la intersección, empleando el software PTV Vissim 2024. En la primera propuesta, se optimizó el ciclo del semáforo, reduciéndolo de 78 segundos a 65 segundos, manteniendo las fases iniciales. Los resultados en comparación con los valores de la situación actual mostraron una disminución en la longitud de cola, alcanzando en el acceso Norte 158.42 metros y 92.42 metros en el Sur, equivalentes a una reducción del 11.07% y 7.42% respectivamente. La velocidad promedio de viaje aumentó a 16.18 km/h, representando un incremento del 74.35%,

y la demora de viaje se redujo a 69.34 segundos por vehículo, indicando una disminución del 31.90%. En la segunda propuesta, se planteó colocar dos semáforos adicionales en las vías de acceso a la intersección (uno en la intersección de la Av. Centenario con el Jr. Pomabamba y el otro en la intersección de la Av. Centenario con la Av. Manco Capac). Se optimizó el ciclo de los cuatro semáforos a 63 segundos. Los resultados revelaron reducciones en las longitudes de colas, logrando para el acceso Norte 73.57 metros en y 64.56 metros para el Sur, representando el 58.70% y el 35.32% de disminución respectivamente. La velocidad promedio de viaje aumentó a 17.07 km/h, representando un incremento del 83.94%, y la demora de viaje se redujo a 56.58 segundos por vehículo, indicando un 44.43% de reducción.

5.2. Recomendaciones

1. El software empleado para el análisis del funcionamiento de la intersección estudiada puede servir como referencia para investigaciones de otros tipos de redes viales que requieran evaluar su nivel de funcionamiento bajo control semafórico. Por otro lado, el software también puede aplicarse a intersecciones no semaforizadas.
2. Se resalta la importancia fundamental de la recopilación de datos de campo, cualquier error o mala interpretación en la obtención de estos datos podría conducir a una evaluación de la zona de estudio que difiera significativamente de la situación real.
3. Las autoridades competentes deberían implementar la señalización vial adecuada en la intersección y realizar el mantenimiento de las existentes, con el objetivo de ordenar la movilidad vehicular y peatonal. Asimismo, la conservación de la calzada de acceso a la intersección, ya que, se evidencia su deterioro.
4. Se recomienda propiciar otras investigaciones para desarrollar planes semafóricos específicos para las horas punta, con el objetivo de mejorar el sistema de semáforos en la ciudad.

VI. Referencias bibliográficas

- Ahmed, K. (1999). *Modeling Drivers' Acceleration and Lane Changing Behavior* [Massachusetts Institute of Technology]. <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/9662>
- Alcalá, M. (2016). *Micro simulación del Tráfico de la intersección de las Avenidas Bolivar, Córdova y Calle Andalucía empleando el Software Vissim 6* [Pontificia Universidad Católica del Perú].
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6685>
- Alegre, M. (2016, August). Transporte Urbano: ¿Cómo resolver la movilidad en Lima y Callao? *Consortio de Investigación Económica y Social*, 38.
<https://cies.org.pe/investigacion/transporte-urbano-como-resolver-la-movilidad-en-lima-y-callao/>
- Alvarez, D., & Quiñones, M. (2020). *Análisis Micro-simulación de Tránsito de la Calle 80, entre Avenida Boyacá y Puente de Guadua. Vial de conexión entre la Ciudad de Bogotá y el nuevo aeropuerto "El Dorado II"* [Universidad Santo Tomás].
<https://repository.usta.edu.co/handle/11634/29564?show=full>
- Alvarez, J. (2017). *Micro-simulación Intermodal en la ciudad del Cusco empleando los software Vissim 8 y Viswalk 8* [Pontificia Universidad Católica del Perú].
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/8642>
- Arteaga, J. (2018). *Microsimulación del Tráfico en la Ciudad de Cerro de Pasco con el Programa PTV Vissim 9* [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/274>
- Bañón, L., & Beviá, J. (2000). *Manual de Carreteras. Volumen I: Elementos y Proyecto*. Ortiz e Hijos, Contrastista de Obras, S.A.

- Benekohal, R. (1991). Procedure for Validation of Microscopic Traffic Flow Simulation Models. *Transportation Research Record*, 1320, 190–202.
<https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1991/1320/1320-023.pdf>
- Bull, A. (2003). *Congestión de Tránsito: El problema y cómo enfrentarlo*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
<https://repositorio.cepal.org/handle/11362/27813>
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones* (Novena Edi). Alfaomega Grupo Editor.
- Carrasco, J., & Wazhima, G. (2012). *Diseño de la Red Semafórica de la Calle Mariscal Lamar desde la Calle Manuel Vega hasta la Calle Tarqui* [Universidad de Cuenca].
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/778>
- Cusicuna, F., & Dextre, J. (2023, February). Flujo Vehicular por Unidades de Peaje - Informe Técnico N° 02. *Instituto Nacional de Estadística e Informática*, 19.
<https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/02-informe-tecnico-flujo-vehicular-dic-2022.pdf>
- Díaz, L. (2009). *Análisis Vial de dos intersecciones sin Semáforo en zona aledaña a nuevo Terrapuerto de Piura* [Universidad de Piura].
<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/1349>
- Dowling, R., Skabardonis, A., Halkias, J., McHale, G., & Zammit, G. (2004). Guidelines for Calibration of Microsimulation Models: Framework and Applications. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1876(1), 1–9. <https://doi.org/10.3141/1876-01>

- Federal Highway Administration. (2004). *Traffic Analysis Toolbox Volume III : Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software: Vol. III*. FHWA-HRT-04-040. https://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysistools/tat_vol3/vol3_guidelines.pdf
- Fellendorf, M., & Vortisch, P. (2010). Microscopic Traffic Flow Simulator VISSIM. In J. Barceló (Ed.), *Fundamentals of Traffic Simulation. International Series in Operations Research & Management Science* (pp. 63–93). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6142-6_2
- Fontalvo, K. (2013). *Modelación del Tráfico Vehicular con el software PTV Vissim - Tramo Bomba El gallo - Bomba El Amparo* [Universidad de Cartagena]. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/532>
- Gao, Y. (2008). *Calibration and Comparison of the Vissim and Integration Microscopic Traffic Simulation Model* [Virginia Polytechnic Institute and State University]. https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/35005/Yu_Gao_Thesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gross, D., Shortle, J., Thompson, J., & Harris, C. (2008). *Fundamentals of Queueing Theory* (4th Ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Hernandez, L., & Leon, O. (2021). *Microsimulación de Tráfico y Congestionamiento Vehicular del Óvalo Larco, Trujillo, 2021* [Universidad Privada del Norte]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/29533>
- Huanca, S., & Rojas, Á. (2019). *Propuesta de mejora del diseño vial del Óvalo La Curva de Chorrillos validado con el Software Vissim 9.0* [Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPC_89f322830c3174fe981e999d817d3541/Details

Huertas, J., & Montenegro, A. (2022). *Análisis operacional y propuesta de solución vial al Óvalo Cáceres, utilizando el software Vissim* [Universidad de Piura].

<https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/5762>

Infante, G., & Amador, I. (2011). Los Modelos de Microsimulación, una herramienta clave en la Planificación Vial. *Vías Terrestres: Modelos de Microsimulación En Estudios de Tránsito*, 1(9), 20–21.

https://www.academia.edu/43689649/Vías_Terrestres_Modelos_de_microsimulación_en_estudios_de_tránsito_09

Kim, S.-J. (2006). *Simultaneous Calibration of a Microscopic Traffic Simulation Model and OD Matrix* [Texas A&M University].

<https://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/4409>

Lacerda, V. M., & Castro Neto, M. M. de. (2014). Considerações sobre a Calibração do Modelo de Car-following do Vissim para Vias Arteriais Urbanas. *Congresso de Pesquisa e Ensino Em Transportes*, 28, 1–12.

<https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/69485>

Lema, C. (2012). *Modelos y algoritmos solución para un problema de control óptimo de semáforos: aplicación a cruces con 2, 3, 4 o 6 fases en la ciudad de A Coruña* [Universidade Da Coruña].

https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/10090/LemaFernandez_CarmenSocorro_TD_2012.pdf

Limas, D. (2019). *Metodología BIM aplicada a la fase de prefactibilidad de un proyecto vial de tercer orden en Colombia* [Universidad Santo Tomás].

<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/21185/2020davidlimas.pdf?sequence=7&isAllowed=y>

- Martínez, J. (2021). *Análisis de Movilidad en la Transversal 54, desde el Sector Bomba El Amparo hasta el Sector C.A.I. de Ceballos* [Universidad de Cartagena].
<https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/13531>
- Meza, F. (2018). *Micro simulación Intermodal en la Intersección de la Av. General Vivanco con la Calle Manuel Ugarteche con el Software Vissim 8* [Pontificia Universidad Católica del Perú].
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13146>
- Mozo, J. (2011). *Análisis de Nivel de Servicio y Capacidad de Segmentos Básicos de Autopistas, Segmentos Trenzados y Rampas de acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras HCM2000 aplicando MathCad* [Universidad Nacional Autónoma de México]. http://132.248.9.195/ptb2011/junio/0670331/0670331_A1.pdf
- Muñoz, C. (2018). *Micro Simulación del Tráfico Actual y Alternativas de Solución de la Intersección en la Av. Simón Bolívar & Juan Bautista Aguirre Aplicando el Software PTV Vissim* [Universidad de las Fuerzas Armadas].
<https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13920>
- Oficina de Estadística del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2021). *Anuario Estadístico 2021*. [https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4114952/Anuario Estadístico 2021.pdf?v=1676303349](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4114952/Anuario%20Estadístico%202021.pdf?v=1676303349)
- Park, B., & Schneeberger, J. (2003). Microscopic Simulation Model Calibration and Validation: Case study of Vissim Simulation Model for a Coordinated Actuated Signal System. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1856, 185–192. <https://doi.org/10.3141/1856-20>

- Poma, L. (2021). *Mejora de Niveles de Servicio de la Av. Ferrocarril entre la Av. San Carlos y el Jr. Cajamarca empleando Vissim 9, Cercado de Huancayo, Junín, 2021* [Universidad San Ignacio de Loyola].
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USIL_86dd4010275dee35bc5715435eabce48
- PTV GROUP. (2018). *PTV Vissim 11 User Manual*. PTV AVG.
- Quintero, J. R. (2017). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. *Ambiente y Desarrollo*, XXI(40), 57–72.
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd21-40.citm>
- Quispe, D., & Soto, W. (2019). *Rediseño vial y Microsimulación de la avenida Eduardo de Habich entre las Calles Michael Fort y Charles Sutton* [Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15366>
- Ríos, S. (1995). *Modelización*. Alianza Editorial.
- Rodríguez, S., & Cano, A. (2018). *Influencia de los Vehículos de Carga Pesada en la Congestión Vial de la Ciudad de Bogotá D.C - Colombia* [Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/items/56a9e27d-5e06-4acd-938e-606be33e5369>
- Rodriguez, Z. (2019). *Análisis del Tráfico y propuesta de mejora en la intersección de la Av. Arnaldo Márquez y la Calle Nazca en la Ciudad de Lima* [Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/16522>

Rondoño, D. (2018). *Análisis Vial en las intersecciones de la Av. Luzuriaga y San Martín con la Av. Raymondi - Huaraz aplicando el software Synchro 8.0, para mejorar el Flujo Vehicular* [Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo].

<https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2324>

Sanchez, L. (2019). *Evaluación y Mejora de tres intersecciones de la Avenida Cánada utilizando Herramienta de Microsimulación de Tráfico* [Universidad San Ignacio de Loyola].

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USIL_9b44356b0ceaad98cd51fbb5b2766b9b/Details

Sierra, N. P. (2021). *Análisis Funcional de la Glorieta de la Calle 63 con Carrera 60 con el Software PTV Vissim* [Universidad Católica de Colombia].

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/24d79535-e8c8-4e10-abc7-3105100d70ae/content>

Suárez, L. (2007). *Análisis y Evaluación Operacional de intersecciones urbanas mediante la Microsimulación* [Universidad Nacional de Colombia].

https://www.researchgate.net/profile/Alma_Valladares/post/What_does_the_perception_threshold_mean_in_Wiedemann_model/attachment/59d6246079197b8077982b5d/AS%3A312534945468416%401451525545091/download/ANALISIS+Y+EVALUACION+OPERACIONAL+DE+INTERSECCIONES+URBAN

Taylor, H., & Karlin, S. (1998). *An Introduction to Stochastic Modeling* (3rd Ed.).

Academic Press Limited.

https://appliedmath.arizona.edu/sites/default/files/0f04d86a836182cbf608dfc86c7a70f5e5f6_0.pdf

Transportation Research Board. (2010). *HCM 2010 Highway Capacity Manual*.

Valencia, V. (2000). *Principios sobre Semáforos* [Universidad Nacional de Colombia].

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21291>

Vargas, A. (2019). *Mejoramiento de las condiciones de circulación de la intersección ubicada en Avenida La Marina y las Calles Juan Valer Sandoval y Miguel de Unamuno* [Pontificia Universidad Católica del Perú].

<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15531>

ANEXOS



Anexo A

(Matriz de consistencia)

Anexo B

(Flujogramas, aforo vehicular, aforo peatonal – etapa de calibración)

Anexo B-1: Aforo vehicular – Calibración – Av. Centenario (Norte) – Sentido Norte-Sur

RESUMEN DEL AFORO VEHICULAR CLASIFICADO																					
INTERSECCIÓN : AV. CENTENARIO - JR. VÍCTOR VÉLEZ Y JR. SEBASTIÁN DE ALISTE											DISTRITO : Independencia										
SENTIDO : NORTE-SUR (Av. Centenario (Norte))											PROVINCIA : Huaraz										
DÍA : 15/11/2023											REGIÓN : Ancash										
TIPO DE VEHÍCULO	MOTOS			AUTOS			CAM. RURAL			CAMIONETA			BUS			CAMIÓN			TOTAL POR 1/4 HR	TOTAL HORA	
	DIRECCIÓN	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF			GI
HORA	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI			
12:30 - 12:45	4	37		6	198	6	4	29	2	6	51	3								346	346
12:45 - 13:00	2	37	2	6	197	8	2	29	1	1	51	4		1		1	1			343	689
13:00 - 13:15	1	21	2	6	195	12	4	31		2	43	3		1						321	1010
13:15 - 13:30	5	18		8	192	5	4	34		2	42	2		2			3			317	1327
TOTAL	12	113	4	26	782	31	14	123	3	11	187	12	-	4	-	1	4	-			



Anexo B-2: Aforo vehicular – Calibración – Av. Centenario (Sur) – Sentido Sur-Norte

RESUMEN DEL AFORO VEHICULAR CLASIFICADO																						
INTERSECCIÓN : AV. CENTENARIO - JR. VÍCTOR VÉLEZ Y JR. SEBASTIÁN DE ALISTE										DISTRITO : Independencia												
SENTIDO : SUR-NORTE (Av. Centenario (Sur))										PROVINCIA : Huaraz												
DÍA : 15/11/2023										REGIÓN : Ancash												
TIPO DE VEHÍCULO	MOTOS			AUTOS			CAM. RURAL			CAMIONETA			BUS			CAMIÓN			TOTAL POR 1/4 HR	TOTAL HORA		
	DIRECCIÓN	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF			GI	
HORA	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	
12:30 - 12:45	5		15	33		88	21		10	3		19								1	195	195
12:45 - 13:00	8		16	43		96	23		12	10		21									229	424
13:00 - 13:15	9		12	64		77	24		8	9		16								1	220	644
13:15 - 13:30	8		17	60		59	19		13	6		10									192	836
TOTAL	30	-	60	200	-	320	87	-	43	28	-	66	-	2								

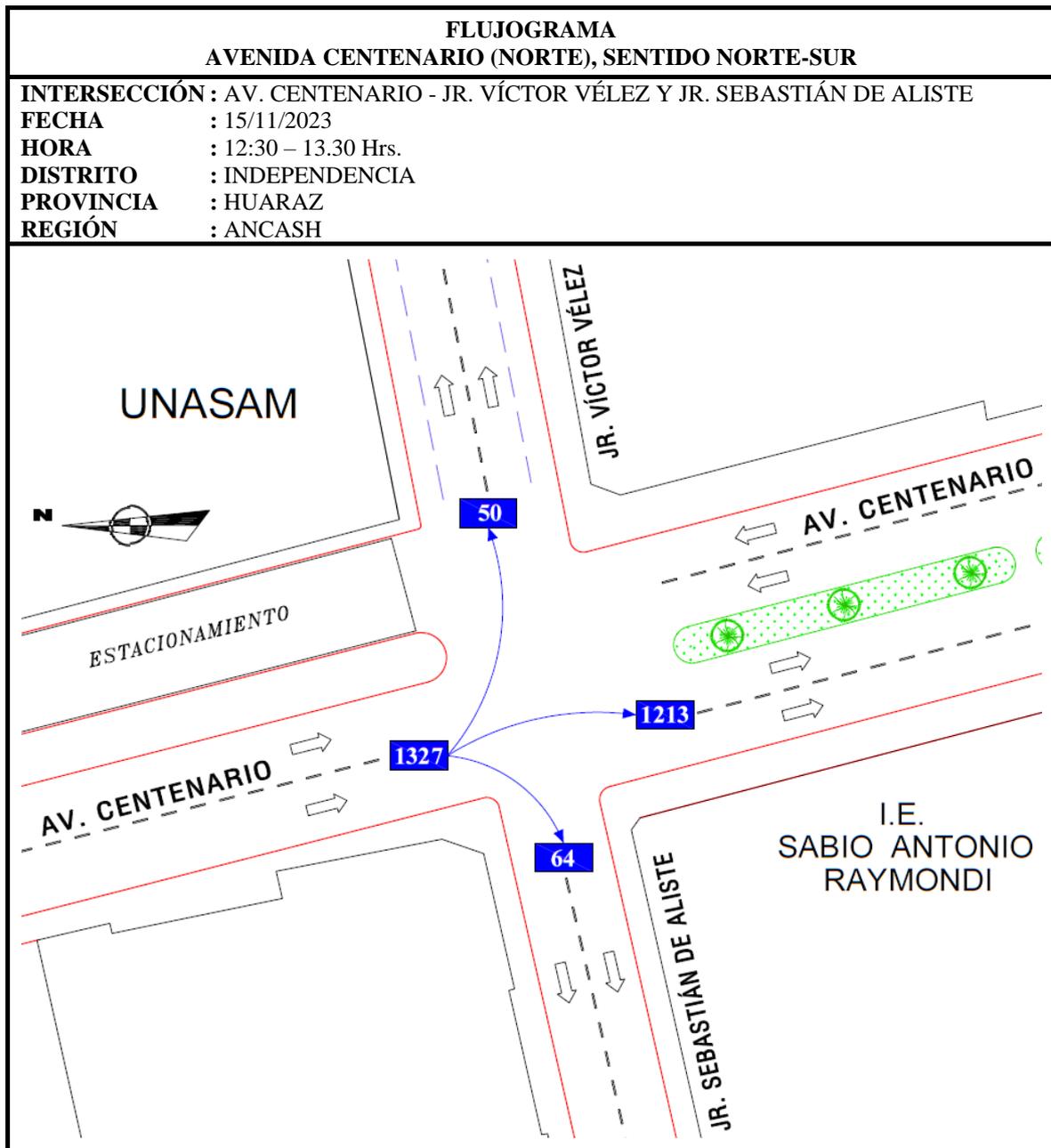


Anexo B-3: Resumen del aforo vehicular mixto por acceso – Calibración

RESUMEN DEL AFORO VEHICULAR MIXTO POR ACCESOS								
INTERSECCIÓN : AV. CENTENARIO - JR. VÍCTOR VÉLEZ Y JR. SEBASTIÁN DE ALISTE			DISTRITO : Independencia					
ESTAPA : CALIBRACIÓN			PROVINCIA : Huaraz					
DÍA : 15/11/2023			REGIÓN : Ancash					
ACCESOS	NORTE-SUR Av. Centenario (Norte)			SUR-NORTE Av. Centenario (Sur)			TOTAL POR 1/4 HR	TOTAL HORA
	DIRECCIÓN	GD	DF	GI	GD	DF		
HORA	GD	DF	GI	GD	DF	GI		
12:30 - 12:45	20	315	11	62	-	133	541	541
12:45 - 13:00	12	316	15	84	-	145	572	1113
13:00 - 13:15	13	291	17	106	-	114	541	1654
13:15 - 13:30	19	291	7	93	-	99	509	2163
TOTAL	64	1213	50	345	-	491		
4*Qmax	80	1264	68	424	-	580		
F.H.P.	0.80	0.96	0.74	0.81	-	0.85		



Anexo B-4: Flujograma – Calibración – Av. Centenario (Norte) – Sentido Norte-Sur



Anexo B-5: Distribución de aforo vehicular – Calibración – Av. Centenario (Norte) – Sentido Norte-Sur

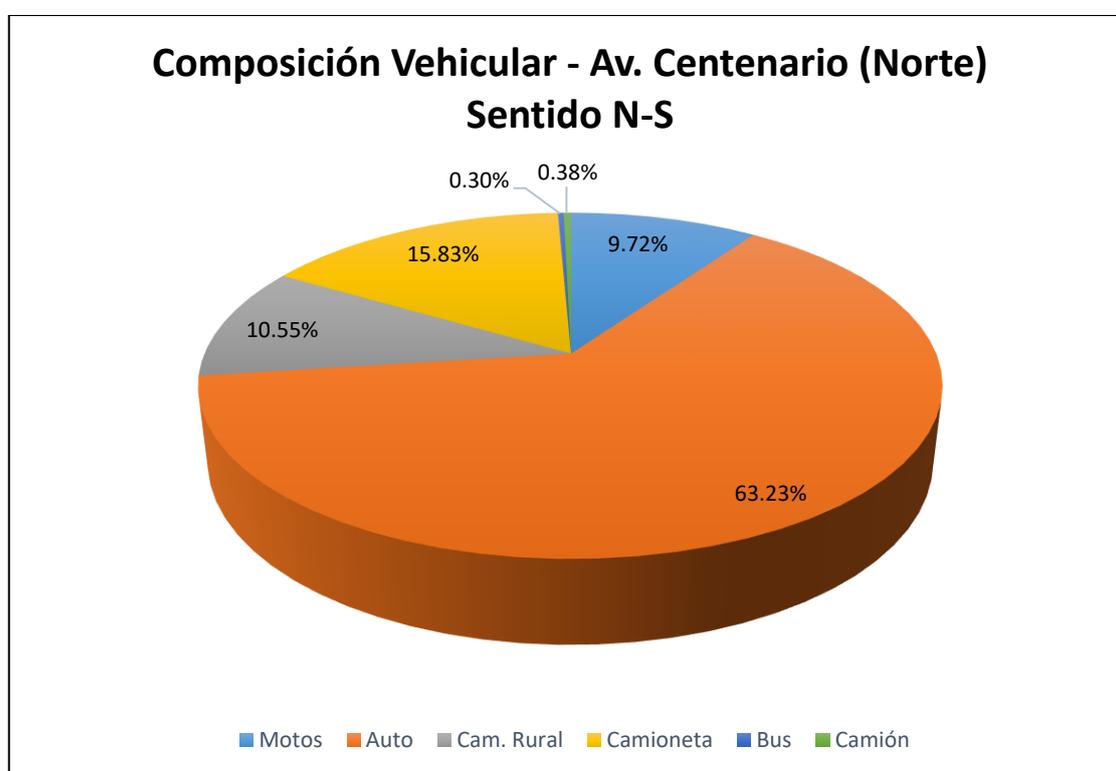
HACÍA A LA AV. CENTENARIO (SUR)						
Hora	Vehículos					
	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión
12:30 - 12:45	37	198	29	51	0	0
12:45 - 13:00	37	197	29	51	1	1
13:00 - 13:15	21	195	31	43	1	0
13:15 - 13:30	18	192	34	42	2	3
SUBTOTAL	113	782	123	187	4	4
TOTAL	1213					

HACÍA EL JR. VÍCTOR VÉLEZ						
Hora	Vehículos					
	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bu s	Camión
12:30 - 12:45	0	6	2	3	0	0
12:45 - 13:00	2	8	1	4	0	0
13:00 - 13:15	2	12	0	3	0	0
13:15 - 13:30	0	5	0	2	0	0
SUBTOTAL	4	31	3	12	0	0
TOTAL	50					

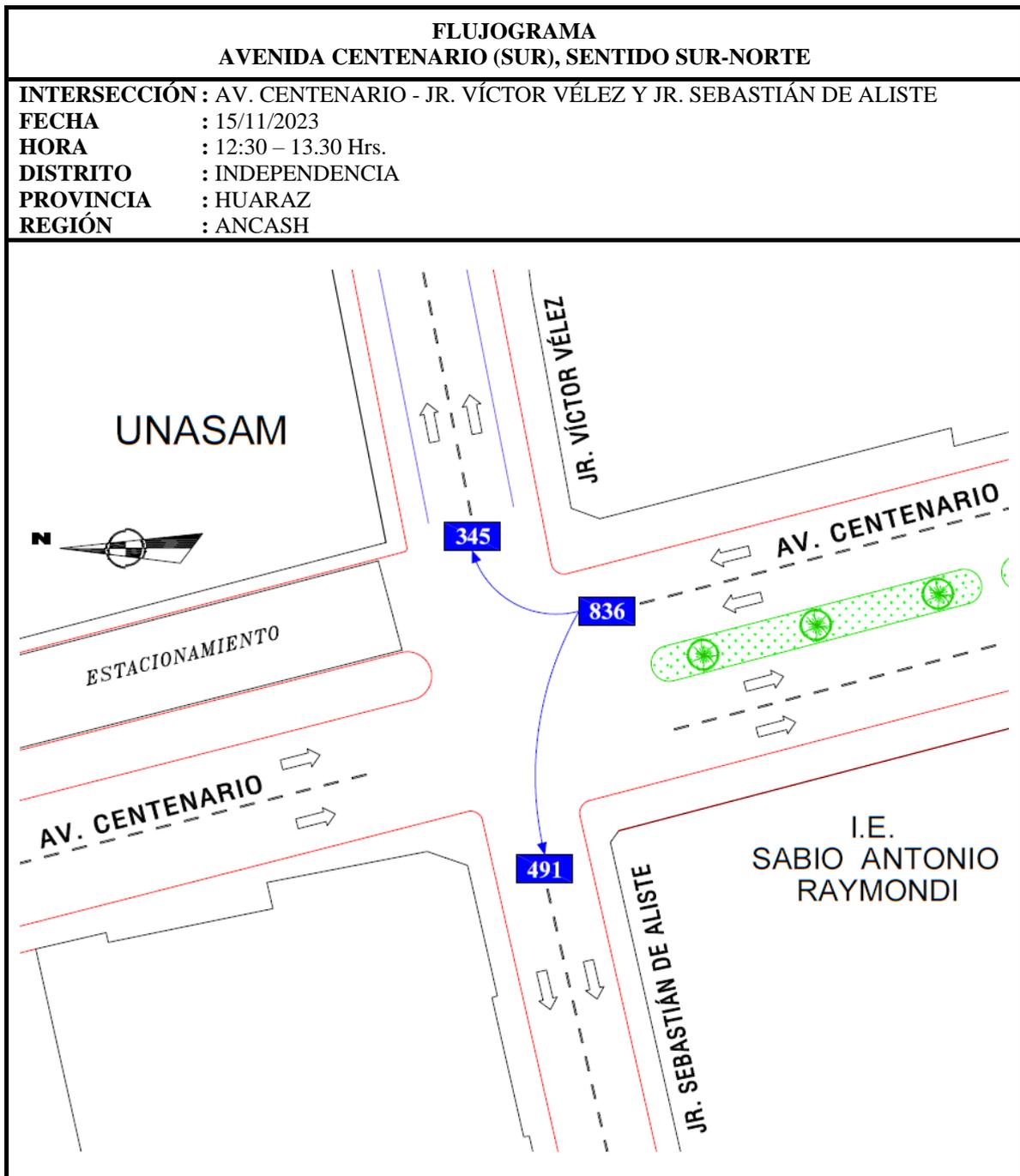
HACÍA EL JR. SEBASTIÁN DE ALISTE						
Hora	Vehículos					
	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bu s	Camión
12:30 - 12:45	4	6	4	6	0	0
12:45 - 13:00	2	6	2	1	0	1
13:00 - 13:15	1	6	4	2	0	0
13:15 - 13:30	5	8	4	2	0	0
SUBTOTAL	12	26	14	11	0	1
TOTAL	64					

Anexo B-6: Composición vehicular – Calibración – Av. Centenario (Norte) – Sentido Norte-Sur

Composición Vehicular - Av. Centenario (Norte)							TOTAL
Tipo de vehículo	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión	
Proporción	129	839	140	210	4	5	1327
Porcentaje	9.72%	63.23%	10.55%	15.83%	0.30%	0.38%	100.00%



Anexo B-7: Flujograma – Calibración – Av. Centenario (Sur) – Sentido Sur-Norte



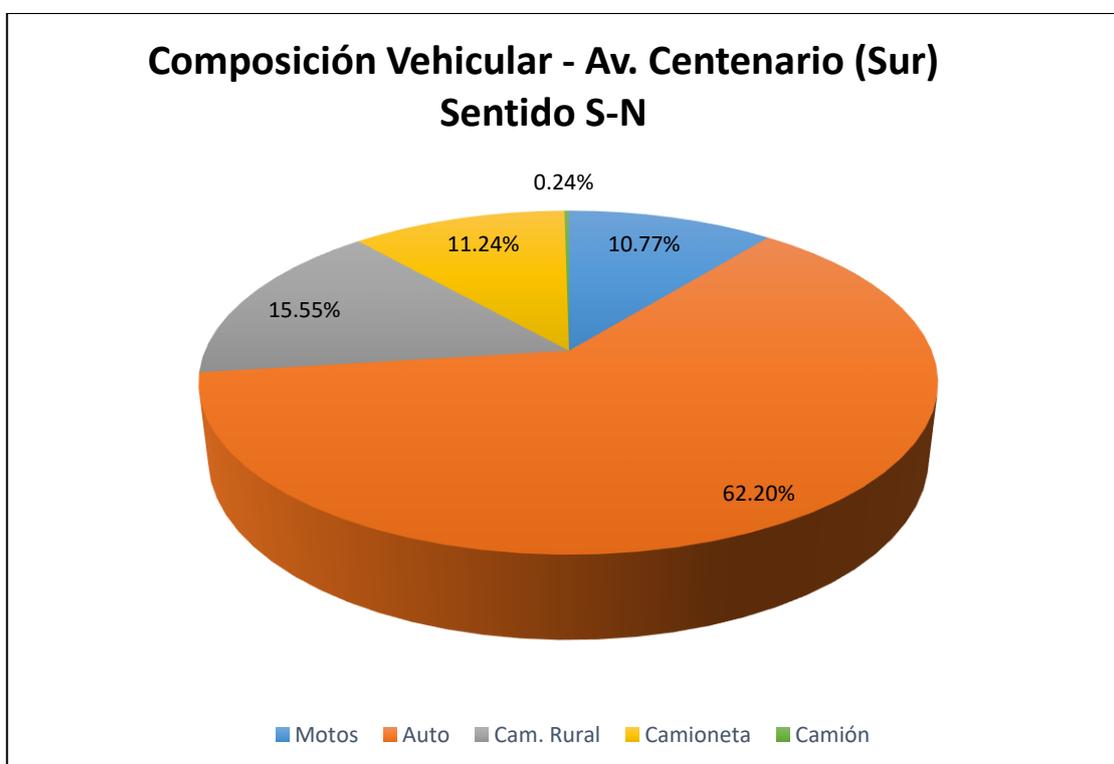
Anexo B-8: Distribución de aforo vehicular – Calibración – Av. Centenario (Sur) – Sentido Sur-Norte

HACÍA EL JR. VÍCTOR VÉLEZ						
Hora	Vehículos					
	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión
12:30 - 12:45	5	33	21	3	0	0
12:45 - 13:00	8	43	23	10	0	0
13:00 - 13:15	9	64	24	9	0	0
13:15 - 13:30	8	60	19	6	0	0
SUBTOTAL	30	200	87	28	0	0
TOTAL	345					

HACÍA EL JR. SEBASTIÁN DE ALISTE						
Hora	Vehículos					
	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión
12:30 - 12:45	15	88	10	19	0	1
12:45 - 13:00	16	96	12	21	0	0
13:00 - 13:15	12	77	8	16	0	1
13:15 - 13:30	17	59	13	10	0	0
SUBTOTAL	60	320	43	66	0	2
TOTAL	491					

Anexo B-9: Composición vehicular – Calibración – Av. Centenario (Sur) – Sentido Sur-Norte

Composición Vehicular - Av. Centenario (Sur)							TOTAL
Tipo de vehículo	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión	
Proporción	90	520	130	94	0	2	836
Porcentaje	10.77%	62.20%	15.55%	11.24%	0.00%	0.24%	100.00%



Anexo B-10: Aforo peatonal – Calibración

RESUMEN DEL AFORO PEATONAL								
INTERSECCIÓN	: AV. CENTENARIO - JR. VÍCTOR VÉLEZ Y JR. SEBASTIÁN DE ALISTE							
DÍA	: 15/11/2023							
DISTRITO	: Independencia							
PROVINCIA	: Huaraz							
REGIÓN	: Ancash							
HORA	ACCESO PEATONAL							
	1 → 2	2 → 1	2 → 3	3 → 2	3 → 4	4 → 3	4 → 5	5 → 4
12:30 - 12:45	90	39	179	87	28	51	46	94
12:45 - 13:00	78	68	221	54	47	44	59	145
13:00 - 13:15	49	42	102	68	32	31	57	70
13:15 - 13:30	33	69	83	65	20	30	47	82
TOTAL	250	218	585	274	127	156	209	391

Anexo B-11: Distribución de aforo peatonal – Calibración

Hora	Peatones			
	Varones	Mujeres	Varones	Mujeres
	1 → 2		2 → 1	
12:30 - 12:45	38	52	24	15
12:45 - 13:00	36	42	45	23
13:00 - 13:15	19	30	20	22
13:15 - 13:30	16	17	36	33
SUBTOTAL	109	141	125	93
TOTAL	250		218	

Hora	Peatones			
	Varones	Mujeres	Varones	Mujeres
	2 → 3		3 → 2	
12:30 - 12:45	81	98	47	40
12:45 - 13:00	126	95	28	26
13:00 - 13:15	50	52	39	29
13:15 - 13:30	42	41	27	38
SUBTOTAL	299	286	141	133
TOTAL	585		274	

Hora	Peatones			
	Varones	Mujeres	Varones	Mujeres
	3 → 4		4 → 3	
12:30 - 12:45	12	16	26	25
12:45 - 13:00	18	29	21	23
13:00 - 13:15	15	17	15	16
13:15 - 13:30	11	9	14	16
SUBTOTAL	56	71	76	80
TOTAL	127		156	

Hora	Peatones			
	Varones	Mujeres	Varones	Mujeres
	4 → 5		5 → 4	
12:30 - 12:45	22	24	45	49
12:45 - 13:00	30	29	68	77
13:00 - 13:15	34	23	34	36
13:15 - 13:30	29	18	37	45
SUBTOTAL	115	94	184	207
TOTAL	209		391	

Anexo C

(Flujogramas, aforo vehicular, aforo peatonal – etapa de validación)

Anexo C-1: Aforo vehicular – Validación – Av. Centenario (Norte) – Sentido Norte-Sur

RESUMEN DEL AFORO VEHICULAR CLASIFICADO																					
INTERSECCIÓN : AV. CENTENARIO - JR. VÍCTOR VÉLEZ Y JR. SEBASTIÁN DE ALISTE										DISTRITO : Independencia											
SENTIDO : NORTE-SUR (Av. Centenario (Norte))										PROVINCIA : Huaraz											
DÍA : 17/11/2023										REGIÓN : Ancash											
TIPO DE VEHÍCULO	MOTOS			AUTOS			CAM. RURAL			CAMIONETA			BUS			CAMIÓN			TOTAL POR 1/4 HR	TOTAL HORA	
	DIRECCIÓN	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF			GI
HORA	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI
12:30 - 12:45	1	25		10	196	10	3	30		4	46	5					1			331	331
12:45 - 13:00		29		3	178	1	4	29	1		62	4		1			1			313	644
13:00 - 13:15	4	48	3	6	199	8	5	31			62	5					4			375	1019
13:15 - 13:30	1	35	1	13	198	18	3	34		4	41	1		1			1			351	1370
TOTAL	6	137	4	32	771	37	15	124	1	8	211	15	-	2	-	-	7	-			

Anexo C-2: Aforo vehicular – Validación – Av. Centenario (Sur) – Sentido Sur-Norte

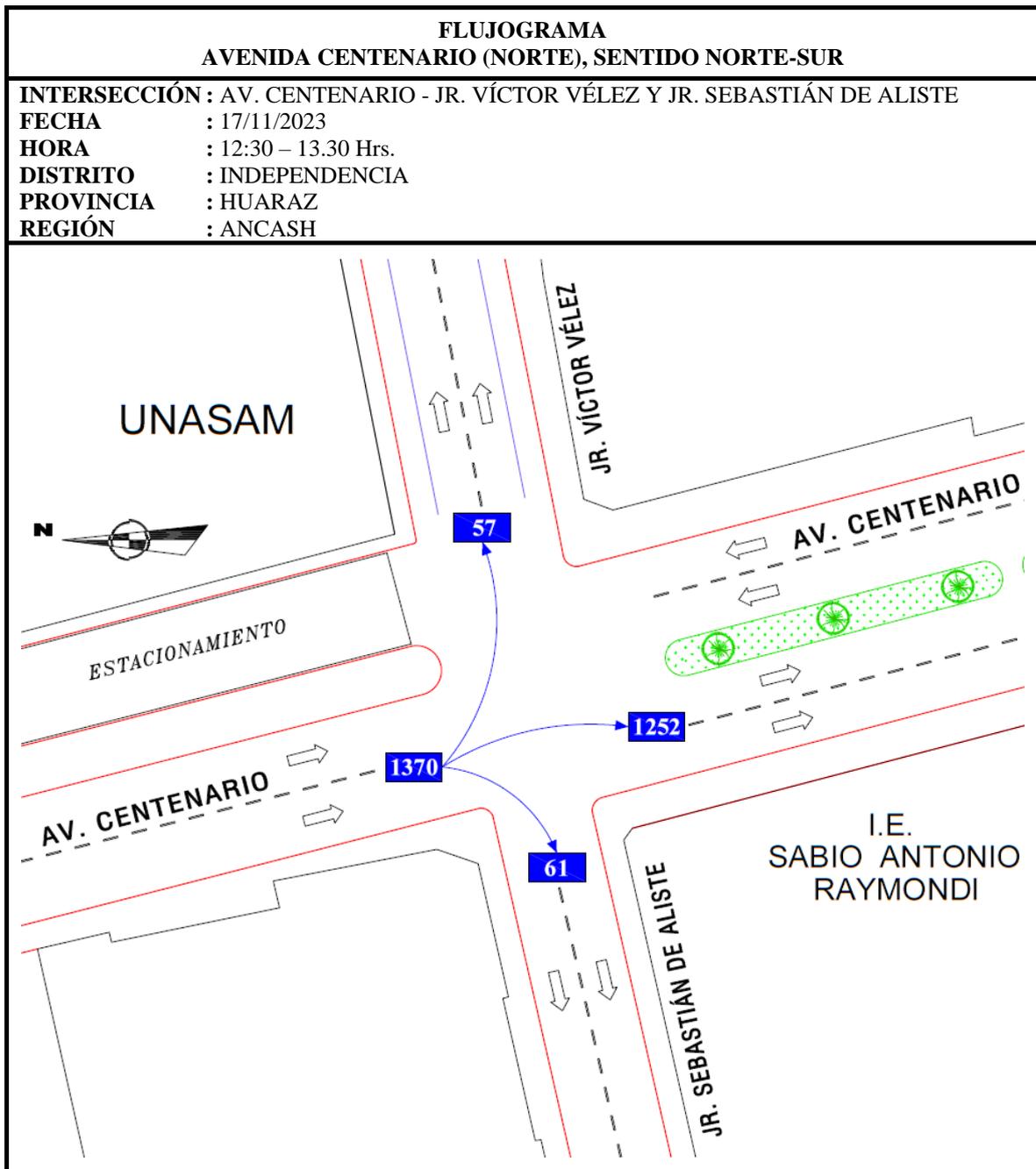
RESUMEN DEL AFORO VEHICULAR CLASIFICADO																				
INTERSECCIÓN : AV. CENTENARIO - JR. VÍCTOR VÉLEZ Y JR. SEBASTIÁN DE ALISTE												DISTRITO : Independencia								
SENTIDO : SUR-NORTE (Av. Centenario (Sur))												PROVINCIA : Huaraz								
DÍA : 17/11/2023												REGIÓN : Ancash								
TIPO DE VEHÍCULO	MOTOS			AUTOS			CAM. RURAL			CAMIONETA			BUS			CAMIÓN			TOTAL POR 1/4 HR	TOTAL HORA
	DIRECCIÓN	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF		
HORA	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI	GD	DF	GI		
12:30 - 12:45	11		16	58		108	21		9	6		22							251	251
12:45 - 13:00	6		12	42		100	22		13	9		23							227	478
13:00 - 13:15	9		20	56		91	22		14	10		29					1		252	730
13:15 - 13:30	20		16	45		91	21		11	13		25					2		244	974
TOTAL	46	-	64	201	-	390	86	-	47	38	-	99	-	-	-	-	-	3		



Anexo C-3: Resumen del aforo vehicular mixto por acceso – Validación

RESUMEN DEL AFORO VEHICULAR MIXTO POR ACCESOS								
INTERSECCIÓN : AV. CENTENARIO - JR. VÍCTOR VÉLEZ Y JR. SEBASTIÁN DE ALISTE				DISTRITO : Independencia				
ESTAPA : VALIDACIÓN				PROVINCIA : Huaraz				
DÍA : 17/11/2023				REGIÓN : Ancash				
ACCESOS	NORTE-SUR Av. Centenario (Norte)			SUR-NORTE Av. Centenario (Sur)			TOTAL POR 1/4 HR	TOTAL HORA
	DIRECCIÓN	GD	DF	GI	GD	DF		
12:30 - 12:45	18	298	15	96	-	155	582	582
12:45 - 13:00	7	300	6	79	-	148	540	1122
13:00 - 13:15	15	344	16	97	-	155	627	1749
13:15 - 13:30	21	310	20	99	-	145	595	2344
TOTAL	61	1252	57	371	-	603		
4*Qmax	84	1376	80	396	-	620		
F.H.P.	0.73	0.91	0.71	0.94	-	0.97		

Anexo C-4: Flujograma – Validación – Av. Centenario (Norte) – Sentido Norte-Sur



Anexo C-5: Distribución de aforo vehicular – Validación – Av. Centenario (Norte) – Sentido Norte-Sur

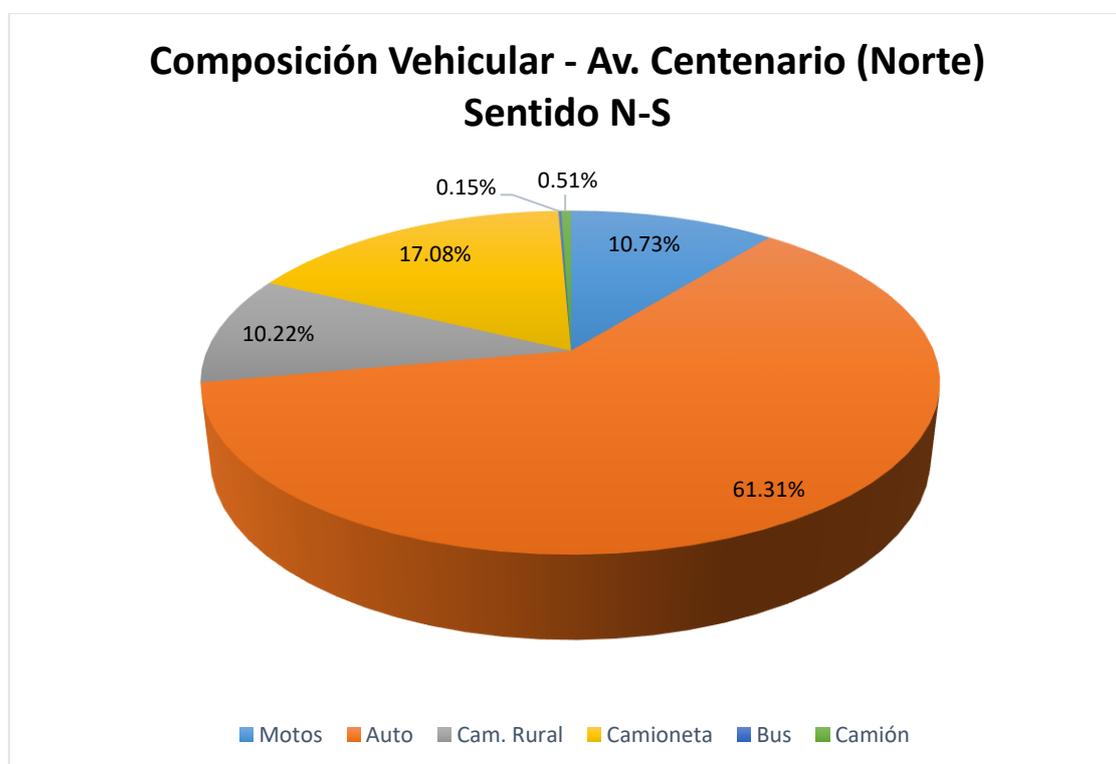
HACÍA A LA AV. CENTENARIO (SUR)						
Hora	Vehículos					
	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión
12:30 - 12:45	25	196	30	46	0	1
12:45 - 13:00	29	178	29	62	1	1
13:00 - 13:15	48	199	31	62	0	4
13:15 - 13:30	35	198	34	41	1	1
SUBTOTAL	137	771	124	211	2	7
TOTAL	1252					

HACÍA EL JR. VÍCTOR VÉLEZ						
Hora	Vehículos					
	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión
12:30 - 12:45	0	10	0	5	0	0
12:45 - 13:00	0	1	1	4	0	0
13:00 - 13:15	3	8	0	5	0	0
13:15 - 13:30	1	18	0	1	0	0
SUBTOTAL	4	37	1	15	0	0
TOTAL	57					

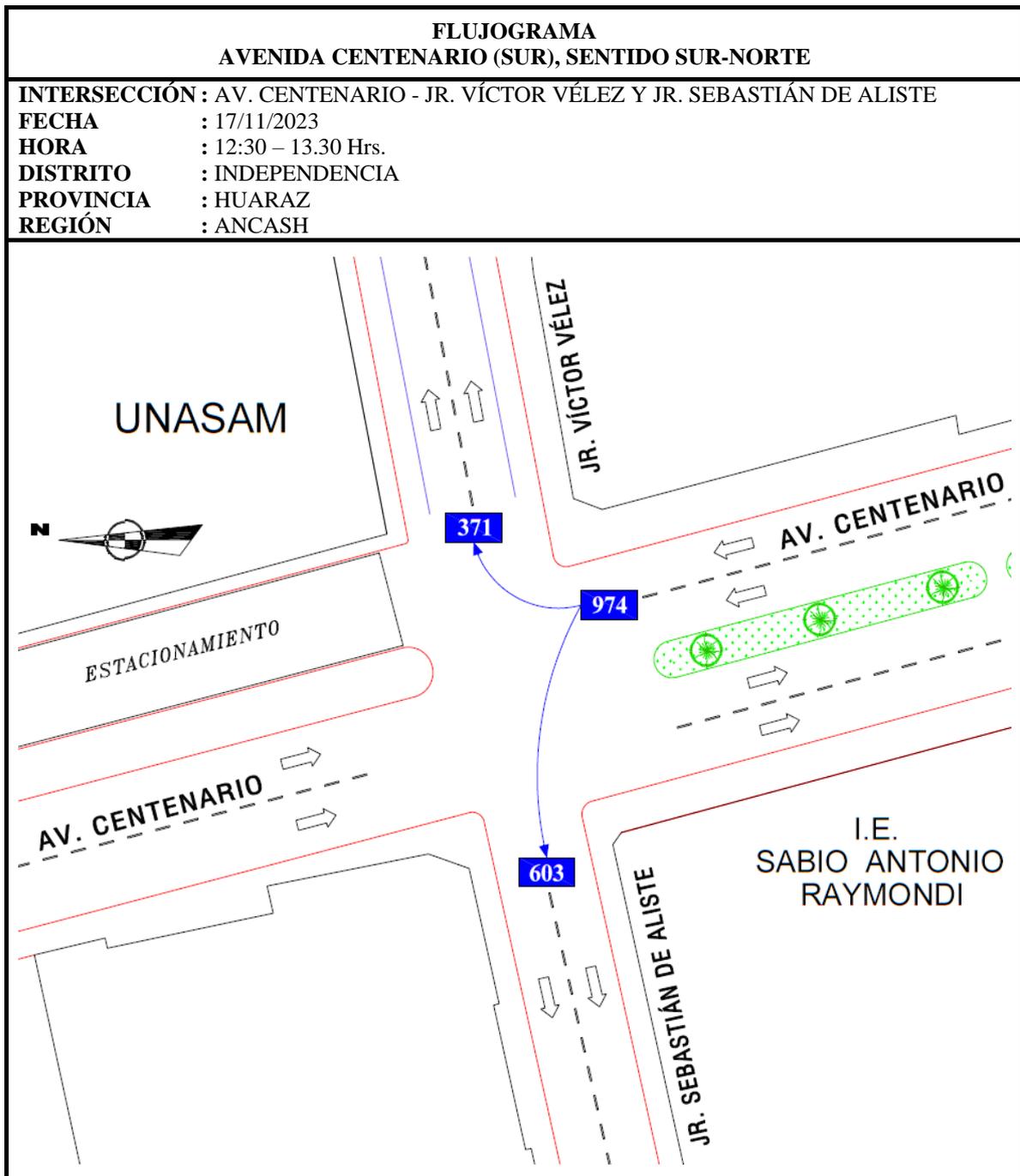
HACÍA EL JR. SEBASTIÁN DE ALISTE						
Hora	Vehículos					
	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión
12:30 - 12:45	1	10	3	4	0	0
12:45 - 13:00	0	3	4	0	0	0
13:00 - 13:15	4	6	5	0	0	0
13:15 - 13:30	1	13	3	4	0	0
SUBTOTAL	6	32	15	8	0	0
TOTAL	61					

Anexo C-6: Composición vehicular – Validación – Av. Centenario (Norte) – Sentido Norte-Sur

Composición Vehicular - Av. Centenario (Norte)							TOTAL
Tipo de vehículo	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión	
Proporción	147	840	140	234	2	7	1370
Porcentaje	10.73%	61.31%	10.22%	17.08%	0.15%	0.51%	100%



Anexo C-7: Flujograma – Validación – Av. Centenario (Sur) – Sentido Sur-Norte



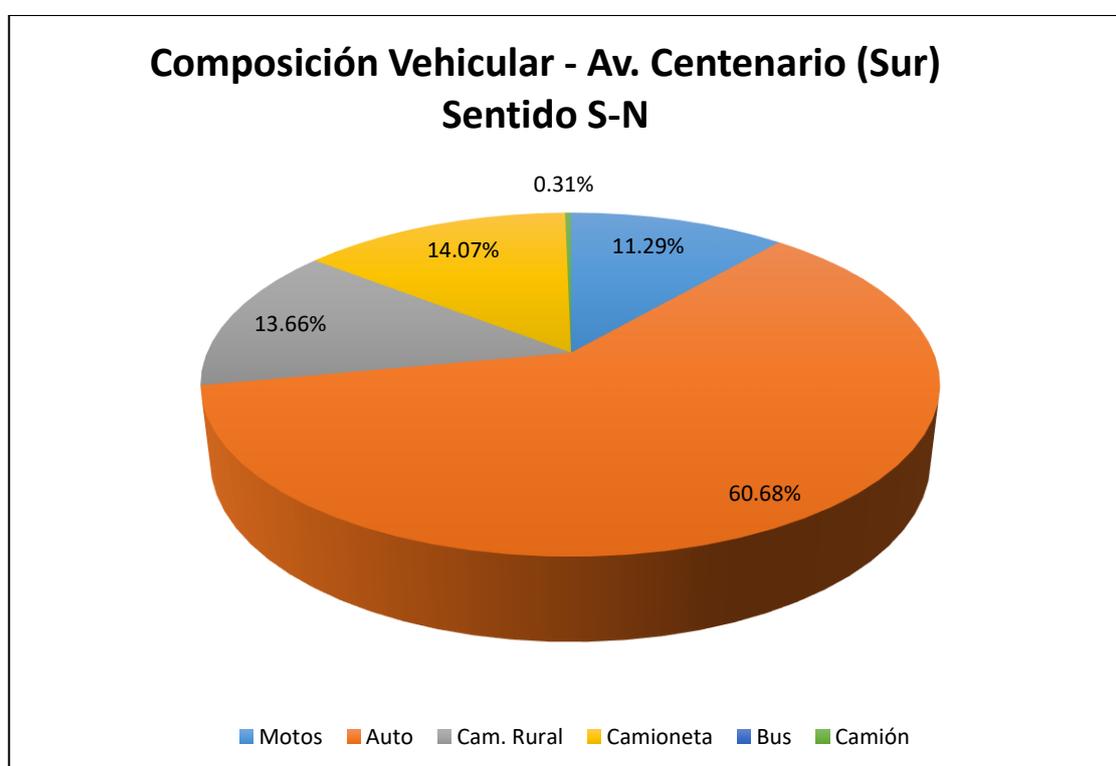
Anexo C-8: Distribución de aforo vehicular – Validación – Av. Centenario (Sur) – Sentido Sur-Norte

HACÍA EL JR. VÍCTOR VÉLEZ						
Hora	Vehículos					
	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión
12:30 - 12:45	11	58	21	6	0	0
12:45 - 13:00	6	42	22	9	0	0
13:00 - 13:15	9	56	22	10	0	0
13:15 - 13:30	20	45	21	13	0	0
SUBTOTAL	46	201	86	38	0	0
TOTAL	371					

HACÍA EL JR. SEBASTIÁN DE ALISTE						
Hora	Vehículos					
	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión
12:00 - 12:15	16	108	9	22	0	0
12:15 - 12:30	12	100	13	23	0	0
12:30 - 12:45	20	91	14	29	0	1
12:45 - 13:00	16	91	11	25	0	2
SUBTOTAL	64	390	47	99	0	3
TOTAL	603					

Anexo C-9: Composición vehicular – Calibración – Av. Centenario (Sur) – Sentido Sur-Norte

Composición Vehicular - Av. Centenario (Sur)							TOTAL
Tipo de vehículo	Motos	Auto	Cam. Rural	Camioneta	Bus	Camión	
Proporción	110	591	133	137	0	3	974
Porcentaje	11.29%	60.68%	13.66%	14.07%	0.00%	0.31%	100%



Anexo C-10: Aforo peatonal – Validación

RESUMEN DEL AFORO PEATONAL								
INTERSECCIÓN	: AV. CENTENARIO - JR. VÍCTOR VÉLEZ Y JR. SEBASTIÁN DE ALISTE							
DÍA	: 17/11/2023							
DISTRITO	: Independencia							
PROVINCIA	: Huaraz							
REGIÓN	: Ancash							
HORA	ACCESO PEATONAL							
	1 → 2	2 → 1	2 → 3	3 → 2	3 → 4	4 → 3	4 → 5	5 → 4
12:30 - 12:45	81	57	126	83	49	51	72	90
12:45 - 13:00	69	58	173	63	38	44	46	89
13:00 - 13:15	71	57	185	70	38	36	45	111
13:15 - 13:30	37	55	96	67	18	31	53	113
TOTAL	258	227	580	283	143	162	216	403

Anexo C-11: Distribución de aforo peatonal – Validación

Hora	Peatones			
	Varones	Mujeres	Varones	Mujeres
	1 → 2		2 → 1	
12:30 - 12:45	33	48	28	29
12:45 - 13:00	40	29	21	37
13:00 - 13:15	35	36	27	30
13:15 - 13:30	15	22	27	28
SUBTOTAL	123	135	103	124
TOTAL	258		227	

Hora	Peatones			
	Varones	Mujeres	Varones	Mujeres
	2 → 3		3 → 2	
12:30 - 12:45	57	69	33	50
12:45 - 13:00	95	78	42	21
13:00 - 13:15	114	71	40	30
13:15 - 13:30	54	42	32	35
SUBTOTAL	320	260	147	136
TOTAL	580		283	

Hora	Peatones			
	Varones	Mujeres	Varones	Mujeres
	3 → 4		4 → 3	
12:30 - 12:45	19	30	30	21
12:45 - 13:00	18	20	30	14
13:00 - 13:15	21	17	17	19
13:15 - 13:30	6	12	13	18
SUBTOTAL	64	79	90	72
TOTAL	143		162	

Hora	Peatones			
	Varones	Mujeres	Varones	Mujeres
	4 → 5		5 → 4	
12:30 - 12:45	35	37	59	31
12:45 - 13:00	22	24	42	47
13:00 - 13:15	18	27	38	73
13:15 - 13:30	37	16	49	64
SUBTOTAL	112	104	188	215
TOTAL	216		403	

Anexo D

(Tiempo de viaje – Calibración y Validación)

Anexo D-1: Tiempo de viaje – Calibración

Nº	Distancia (m)	Tiempo (seg)
1	20.00	3.95
2	20.00	4.15
3	20.00	4.35
4	20.00	3.94
5	20.00	4.38
6	20.00	3.80
7	20.00	3.69
8	20.00	3.59
9	20.00	3.62
10	20.00	3.67
11	20.00	4.15
12	20.00	3.98
13	20.00	4.54
14	20.00	4.50
15	20.00	4.08
16	20.00	3.80
17	20.00	4.08
18	20.00	3.55
19	20.00	3.97
20	20.00	3.76
21	20.00	4.16
22	20.00	4.10
23	20.00	4.55
24	20.00	4.24
25	20.00	3.65
26	20.00	3.80
27	20.00	4.26
28	20.00	3.96
29	20.00	3.57
30	20.00	3.73
31	20.00	3.99
32	20.00	4.20
33	20.00	4.10
34	20.00	3.65
35	20.00	4.38
36	20.00	4.03
37	20.00	3.62
38	20.00	4.25
39	20.00	4.24
40	20.00	4.17
41	20.00	4.18

N°	Distancia (m)	Tiempo (seg)
42	20.00	4.13
43	20.00	4.06
44	20.00	3.96
45	20.00	4.01
46	20.00	3.66
47	20.00	3.92
48	20.00	4.10
49	20.00	3.95
50	20.00	4.36
51	20.00	3.64
52	20.00	4.24
53	20.00	3.58
54	20.00	3.80
55	20.00	3.95
56	20.00	4.14
57	20.00	4.15
58	20.00	3.65
59	20.00	3.81
60	20.00	3.88
61	20.00	4.35
62	20.00	4.26
63	20.00	4.12
64	20.00	4.25
65	20.00	3.87
66	20.00	4.16
67	20.00	3.71
68	20.00	4.24
69	20.00	3.58
70	20.00	4.04
71	20.00	3.84
72	20.00	3.71
73	20.00	3.69
74	20.00	4.32
75	20.00	4.02
76	20.00	3.61
77	20.00	3.99
78	20.00	3.72
79	20.00	3.65
80	20.00	3.64
81	20.00	4.30
82	20.00	4.77
83	20.00	4.31
84	20.00	3.89
85	20.00	4.59

N°	Distancia (m)	Tiempo (seg)
86	20.00	3.85
87	20.00	4.30
88	20.00	4.23
89	20.00	4.47
90	20.00	3.97
91	20.00	4.15
92	20.00	3.78
93	20.00	3.87
94	20.00	4.43
95	20.00	4.21
96	20.00	4.16
97	20.00	4.52
98	20.00	4.14
99	20.00	4.11
100	20.00	3.92
Promedio		4.02
Desv. Estándar		0.28

Anexo D-2: Tiempo de viaje – Validación

Nº	Distancia (m)	Tiempo (seg)
1	20.00	4.07
2	20.00	3.98
3	20.00	4.03
4	20.00	3.87
5	20.00	4.41
6	20.00	4.02
7	20.00	4.44
8	20.00	3.82
9	20.00	3.90
10	20.00	3.55
11	20.00	3.62
12	20.00	4.32
13	20.00	4.21
14	20.00	3.92
15	20.00	3.64
16	20.00	4.14
17	20.00	3.99
18	20.00	3.97
19	20.00	4.04
20	20.00	3.75
21	20.00	3.68
22	20.00	4.56
23	20.00	4.35
24	20.00	3.64
25	20.00	4.54
26	20.00	4.36
27	20.00	3.80
28	20.00	3.58
29	20.00	3.85
30	20.00	4.43
31	20.00	3.76
32	20.00	4.26
33	20.00	4.40
34	20.00	3.58
35	20.00	4.20
36	20.00	4.40
37	20.00	3.82
38	20.00	3.84
39	20.00	4.32
40	20.00	3.54
41	20.00	3.89

N°	Distancia (m)	Tiempo (seg)
42	20.00	4.12
43	20.00	4.13
44	20.00	3.72
45	20.00	4.06
46	20.00	3.65
47	20.00	3.88
48	20.00	3.70
49	20.00	3.63
50	20.00	4.23
51	20.00	3.99
52	20.00	4.19
53	20.00	3.69
54	20.00	4.32
55	20.00	3.78
56	20.00	4.48
57	20.00	3.57
58	20.00	4.28
59	20.00	4.48
60	20.00	4.37
61	20.00	3.64
62	20.00	3.73
63	20.00	3.54
64	20.00	4.28
65	20.00	3.73
66	20.00	4.40
67	20.00	3.76
68	20.00	3.63
69	20.00	3.78
70	20.00	3.51
71	20.00	4.25
72	20.00	3.66
73	20.00	4.44
74	20.00	3.78
75	20.00	3.81
76	20.00	3.64
77	20.00	3.65
78	20.00	3.95
79	20.00	3.98
80	20.00	4.48
81	20.00	4.31
82	20.00	4.28
83	20.00	3.92
84	20.00	4.30
85	20.00	3.65

Nº	Distancia (m)	Tiempo (seg)
86	20.00	4.30
87	20.00	3.83
88	20.00	3.62
89	20.00	3.61
90	20.00	3.74
91	20.00	3.58
92	20.00	3.89
93	20.00	4.23
94	20.00	3.84
95	20.00	3.88
96	20.00	3.74
97	20.00	4.50
98	20.00	4.27
99	20.00	3.88
100	20.00	4.11
Promedio		3.98
Desv. Estándar		0.30

Anexo E

(Geometría de la intersección)

Anexo E-1: Geometría de la intersección de la Av. Centenario con el Jr. Víctor Véllez y el Jr. Sebastián de Aliste

