

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y
CIVIL**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**Evaluación y micro simulación del tráfico vehicular de la
intersección de vía a Mollepata, av. Pérez de Cuellar, av. La
cantuta y vía Evitamiento en la ciudad de Ayacucho - 2023**

Para optar el título profesional de:

INGENIERA CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. Joshyro Wendi SULCA AVALOS

ASESOR:

Msc. Ing. Hemerson LIZARBE ALARCÓN

AYACUCHO - PERÚ

2024

*A Dios y a mi familia, por su incondicional
compañía.*

Agradecimientos

Al asesor, por su orientación y guía en un periodo que fue necesario para llevar adelante el presente trabajo de investigación.

A mis compañeros y amigos por el apoyo en los trabajos de levantamiento topográfico, recolección de datos, gracias por compartir información para el modelamiento y evaluación del presente proyecto.

Agradecer a todos aquellos que no menciono, pero que contribuyeron a lo largo de la investigación.

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
Ayacucho, 18 de agosto de 2024

SULCA AVALOS Joshyro Wendi

Resumen

El presente proyecto de investigación evalúa el flujo vehicular existente por medio de la micro simulación en las intersecciones de vía a Mollepata, av. Pérez de Cuellar, av. La Cantuta y vía Evitamiento en la ciudad de Ayacucho. En la intersección antes mencionada se observa afluencia vehicular desordenada con existencia de ruido, se observa el mal uso de las vías como paraderos improvisados de motos, moto taxis, autos y couster que generan aglomeración de los mismos y congestión de las vías, por ende, los conductores y peatones están expuesto a sufrir accidentes vehiculares, se observa también gran presencia de peatones que cruzan las calles de la intersección de forma intempestiva, exponiéndose así a sufrir accidentes como atropello u otros. A partir del análisis de la situación actual, y el aforo diurno realizado se identifica como horarios de mayor demanda vehicular por la mañana entre las 07:00 a 10:00 a.m. y por la tarde entre las 06:00 a 09:00 p.m., por ende, se realiza el modelo de la situación actual, utilizando los datos de filmación entre las 08:00 a 09:00 a.m. En el presente estudio se propone la implementación de un paso a desnivel que conecta la avenida Pérez de Cuellar y la Vía a Mollepata, como otra alternativa se propone implementar señales de control semafórico, dichas propuestas de mejora son evaluadas por micro simulación, identificándose variación en las características del flujo vehicular con respecto a la situación actual. Finalmente se evalúa la influencia de las propuestas de mejora en las características del flujo vehicular a través de los parámetros denominados: velocidad promedio, tiempo de viaje, demora promedio y longitud de cola. Evidenciándose que, en relación a la velocidad promedio, esta aumenta en un 19.90 % al implementar el paso a desnivel y se evidencia un aumento en un 13.43 % al implementar las señales de control semafórico.

Palabras clave: Microsimulación, congestión, evaluación, aforo vehicular, aforo peatonal.

Abstract

This research project evaluates the existing vehicular flow through micro simulation at the intersections of the road to Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, av. La Cantuta and Evitamiento road in the city of Ayacucho. At the aforementioned intersection, a disorderly traffic flow with noise is observed, the misuse of the roads is observed as improvised stops for motorcycles, motorcycle taxis, cars and cousters that generate crowding and congestion of the roads, therefore, Drivers and pedestrians are exposed to vehicular accidents; there is also a large presence of pedestrians who cross the streets at the intersection unexpectedly, thus exposing themselves to accidents such as being run over or others. Based on the analysis of the current situation, and the daytime capacity carried out, the hours of greatest vehicle demand in the morning between 07:00 and 10:00 a.m. are identified. and in the afternoon between 06:00 to 09:00 p.m., therefore, the model of the current situation is made, using the filming data between 08:00 to 09:00 a.m. In the present study, the implementation of an overpass that connects Pérez de Cuellar Avenue and the Vía a Mollepata is proposed. As another alternative, it is proposed to implement traffic light control signals. These improvement proposals are evaluated by micro simulation, identifying variation in the characteristics of the vehicular flow with respect to the current situation. Finally, the influence of the improvement proposals on the characteristics of the vehicle flow is evaluated through the parameters called: average speed, travel time, average delay and queue length. It is evident that, in relation to the average speed, it increases by 19.90 % when implementing the overpass and an increase of 13.43 % is evident when implementing the traffic light control signals.

Keywords: Microsimulation, congestion, evaluation, vehicle capacity, pedestrian capacity.

CONTENIDO

Agradecimientos	ii
Resumen	iii
Índice de Figuras	ix
Índice de Tablas	xii
Siglas	xv
Glosario	xvi
Introducción	1
I Planteamiento del Problema	4
1.1 Descripción del problema (mundial, país, región)	4
1.1.1 Mundial	4
1.1.2 País	5
1.1.3 Región	7
1.2 Delimitación del problema	9
1.2.1 Espacial (geográfica)	9
1.2.2 temporal	9
1.2.3 Temática y unidad de análisis	9
1.3 Formulación del problema	9
1.3.1 Problema general	9
1.3.2 Problemas específicos	9
1.4 Justificación e importancia	10
1.5 Limitaciones de la investigación	10
1.6 Objetivos.	11
1.6.1 Objetivo general	11
1.6.2 Objetivos específicos	11
II Marco teórico conceptual	12
2.1 Antecedentes	12
2.1.1 Investigaciones internacionales	12
2.1.2 Investigaciones nacionales	13

2.2	Bases teóricas	14
2.3	Marco conceptual	16
2.3.1	Transporte urbano	16
2.3.2	Micro simulación del tráfico	16
2.3.3	Vissim	17
2.3.4	Modelo de Wiedemann	18
2.3.5	Longitud de cola	18
2.3.6	Demora promedio	19
2.3.7	Velocidad promedio	19
2.3.8	Tiempo de viaje Promedio	20
2.3.9	Intersecciones a desnivel	20
2.3.10	Capacidad	21
2.3.11	Demanda	21
2.3.12	Calidad y nivel de servicio	22
2.3.13	Congestión	22
2.3.14	Conflictos de tráfico	23
2.3.14.1	Conflictos concurrenciales	23
2.3.14.2	Conflictos direccionales	23
2.3.14.3	Conflictos funcionales	23
2.3.15	Intersecciones	24
2.3.15.1	Tipos de intersecciones	25
2.3.16	Semáforos	29
2.3.16.1	Tipos de semáforos	30
2.3.16.2	Ciclo del semáforo	31
2.3.17	Calibración del modelo	32
2.3.18	Validación del modelo	32
2.3.19	Número de corridas	33
III	MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN	34
3.1	Enfoque	34
3.2	Alcance	34
3.3	Diseño de investigación	34
3.4	Población y muestra	34
3.4.1	Población.	34
3.4.2	Muestra.	35
3.5	Hipótesis	35
3.5.1	Hipótesis general	35

3.5.2	Hipótesis específicas	35
3.6	Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional . .	36
3.6.1	Variable	37
3.7	Técnicas e instrumentos	37
3.7.1	Técnica	37
3.7.2	Instrumentos	37
3.8	Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información	37
3.9	Desarrollo del trabajo de tesis	38
3.9.1	Delimitación del espacio de trabajo	38
3.9.1.1	Zona de estudio	39
3.9.2	Procesamiento de datos de campo	39
3.9.2.1	Geometría de la intersección	40
3.9.2.2	Composición vehicular	40
3.9.2.3	Flujogramas vehiculares	43
3.9.2.4	Flujogramas peatonales	46
3.9.3	Recolección de datos de campo	47
3.9.3.1	Geometría de la intersección	47
3.9.3.2	Flujo vehicular	48
3.9.3.3	Flujos peatonales	52
3.9.3.4	Datos para calibración del modelo	53
3.9.3.5	Datos para la validación del modelo	60
3.9.4	Desarrollo del modelo, calibración y validación con VISSIM - VISWALK	64
3.9.4.1	Modelo del estado actual	64
3.9.4.2	Imagen de fondo	64
3.9.4.3	Link y conectores	65
3.9.4.4	Creación de flujos vehiculares y peatonales	66
3.9.4.5	Asignación de rutas estáticas	66
3.9.4.6	Reglas de prioridad y áreas de conflicto	67
3.9.5	Calibración del modelo	68
3.9.5.1	Calibración vehicular	68
3.9.5.2	Calibración peatonal	71
3.9.6	Validación del modelo	73
3.9.6.1	Validación vehicular	73
3.9.6.2	Validación peatonal	75
3.9.7	Análisis de resultados	77

3.9.7.1	Velocidad de viaje promedio	77
3.9.7.2	Tiempo de viaje vehicular	78
3.9.7.3	Demora promedio en la intersección	79
3.9.7.4	Longitudes de cola	80
3.9.8	Propuestas de mejora y micro simulación del escenario propuesto	81
3.9.8.1	Implementación de un paso a desnivel	82
3.9.8.2	Implementación de señales de control	86
IV	Resultados	91
4.1	Análisis y comparación de resultados de la micro simulación al implementar el paso a desnivel	91
4.1.1	Velocidad de viaje promedio	92
4.1.2	Tiempo de viaje vehicular	93
4.1.3	Demora promedio en la intersección	94
4.1.4	Longitudes de cola	95
4.2	Análisis y comparación de resultados de la micro simulación al implementar señales de control optimizados	95
4.2.1	Velocidad de viaje promedio	96
4.2.2	Tiempo de viaje vehicular	97
4.2.3	Demora promedio en la intersección	98
4.2.4	Longitudes de cola	99
4.3	Contrastación de hipótesis	99
4.4	Análisis e interpretación de los resultados	106
	Conclusiones	110
	Conclusiones	110
	Recomendaciones	113
	Trabajos futuros	114
A	Anexo	123
A.1	Matriz de consistencia	123
A.2	Operacionalización de variable	124
A.3	Aforo vehicular	125
A.4	Evaluación estadística de resultados	127
A.5	Fotografías del proceso	129

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Clasificación de los conflictos de tráfico	24
Figura 2	Intersecciones en "T"	26
Figura 3	Intersecciones en "Y"	27
Figura 4	Intersecciones en cruz	28
Figura 5	Rotondas y min rotondas	29
Figura 6	Fases en una intersección con semáforo	31
Figura 7	Tendencias de modelado	33
Figura 8	Zona de estudio, intersección frente al terminal terrestre Wari	39
Figura 9	Descripción de la geometría de la intersección de estudio	40
Figura 10	Tipo de vehículo (moto)	41
Figura 11	Tipo de vehículo (mototaxi)	41
Figura 12	Tipo de vehículo (Tipo de vehículo (camioneta)	42
Figura 13	Tipo de vehículo (Tipo de vehículo (auto)	42
Figura 14	Tipo de vehículo (Tipo de vehículo (microbús)	42
Figura 15	Tipo de vehículo (bus interprovincial)	43
Figura 16	Tipo de vehículo (semi tráiler)	43
Figura 17	Descripción gráfica del flujo vehicular (A)	44
Figura 18	Descripción gráfica del flujo vehicular (B)	45
Figura 19	Descripción gráfica del flujo vehicular (C)	45
Figura 20	Descripción gráfica del flujo vehicular (D)	46
Figura 21	Descripción grafica del flujograma peatonal	47
Figura 22	Aforo por tipo de vehículo	48
Figura 23	Aforo vehicular por hora, contabilizado en la intersección de estudio	49
Figura 24	Distancias para toma de tiempos de demora vehicular y peatonal	55
Figura 25	Procedimiento para desarrollar la micro simulación	64
Figura 26	Importación del plano de la intersección al software VISSIM	65

Figura 27	Geometría de la intersección, creación de link y conectores	65
Figura 28	Ingreso de flujo vehicular	66
Figura 29	Asignación de rutas estáticas	67
Figura 30	Áreas de conflicto en la intersección	68
Figura 31	Medidas de tiempo de viaje	68
Figura 32	Prueba de hipótesis nula, Randomization test – Calibración	71
Figura 33	Parámetros de la fuerza social de VISWALK	71
Figura 34	Prueba de hipótesis nula, Randomization test Calibración peatonal	73
Figura 35	Prueba de hipótesis nula, Randomization test Validación vehicular	75
Figura 36	Prueba de hipótesis nula, Randomization test Validación peatonal	76
Figura 37	Modelo en VISSIM de la situación actual	77
Figura 38	Situación actual de la intersección de estudio	82
Figura 39	Modelo propuesto del paso a desnivel en Vissim	83
Figura 40	Modelo propuesto del paso a desnivel	83
Figura 41	Modelo propuesto del paso a desnivel	84
Figura 42	Modelado y ubicación de los semáforos propuestos	87
Figura 43	Ciclo de los semáforos propuestos	87
Figura 44	Diagrama de fases propuesto	88
Figura 45	Porcentaje por tipo de vehiculo en HMD	100
Figura 46	Prueba bilateral o de dos colas para la calibración vehicular	101
Figura 47	Prueba bilateral o de dos colas para la validación vehicular	102
Figura 48	evaluación estadística de velocidad promedio con implementación de paso a desnivel	103
Figura 49	Evaluación estadística de velocidad promedio con implementación de semáforos	104
Figura 50	Evaluación estadística de longitud de cola con implementación de paso a desnivel	105
Figura 51	Evaluación estadística de longitud de cola con implementación de semáforos	105
Figura 52	Gráfica de resultados para cada escenario modelado	108

Figura A.53	Evaluación estadística de tiempo de viaje con implementación de paso a desnivel	127
Figura A.54	Evaluación estadística de tiempo de viaje con implementación de semáforos	127
Figura A.55	Evaluación estadística de demora promedio con implementación de paso a desnivel	128
Figura A.56	Evaluación estadística de demora promedio con implementación de semáforos	128
Figura A.57	Toma de datos de campo	129
Figura A.58	Toma de datos de campo	129
Figura A.59	Toma de datos de campo	130
Figura A.60	Toma de datos de campo	130
Figura A.61	Toma de datos de campo	131
Figura A.62	Uso de paraderos informales en la intersección de estudio	131
Figura A.63	Peatones que cruzan las calles por falta de señales	132
Figura A.64	Vehículos que circulan por la noche en la intersección de estudio . . .	132

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2	Índice de tráfico vehicular en sudamérica en el 2021	6
Tabla 3	Índice de tráfico vehicular en sudamérica en el 2023	6
Tabla 1	Operacionalización de variables	36
Tabla 2	Datos tomados en campo de las características de la geometría de la intersección	48
Tabla 3	Distribución del volumen por tipo de vehículo que ingresan por Vía Evitamiento (acceso A)	50
Tabla 4	Volumen vehicular con acceso por Vía evitamiento (acceso A)	50
Tabla 5	Distribución del volumen por tipo de vehículo que ingresan por Vía Mollepata (acceso B)	50
Tabla 6	Volumen vehicular con acceso por Vía Mollepata (acceso B)	51
Tabla 7	Distribución del volumen por tipo de vehículo que ingresan por Av. La Cantuta (acceso C)	51
Tabla 8	Volumen vehicular con acceso por Av. La Cantuta (acceso C)	51
Tabla 9	Distribución del volumen por tipo de vehículo que ingresan por Av. Perez de Cuellar (acceso D)	52
Tabla 10	volumen vehicular con acceso por Av. Perez de Cuellar (acceso D)	52
Tabla 11	Conteo del flujo peatonal en la intersección	52
Tabla 12	Aforo peatonal en los puntos de control	53
Tabla 13	Constantes correspondientes al nivel de confianza	54
Tabla 14	Tiempos de viaje de autos en la Av. Pérez de Cuellar	56
Tabla 15	Tiempos de viaje de couster en la Av. Pérez de Cuellar	57
Tabla 16	Tiempos de viaje de Bus interprovincial en la Av. Pérez de Cuellar	57
Tabla 17	Tiempos de viaje de camiones en la Av. Pérez de Cuellar	58
Tabla 18	Tiempos de viaje de motos en la Av. Pérez de Cuellar	58
Tabla 19	Tiempos de viaje de mototaxis en la Av. Pérez de Cuellar	59
Tabla 20	Tiempo de viaje peatonal	60

Tabla 21	Tiempos de viaje de autos en la Av. Pérez de Cuellar	61
Tabla 22	Tiempos de viaje de couster en la Av. Pérez de Cuellar	61
Tabla 23	Tiempos de viaje de Bus interprovincial en la Av. Pérez de Cuellar . . .	62
Tabla 24	Tiempos de viaje de camiones en la Av. Pérez de Cuellar	62
Tabla 25	Tiempos de viaje de motos en la Av. Pérez de Cuellar	62
Tabla 26	Tiempos de viaje de mototaxis en la Av. Pérez de Cuellar	63
Tabla 27	Tiempo de viaje peatonal	63
Tabla 28	Parámetros de seguimiento vehicular adoptados en el modelo	69
Tabla 29	Tiempos de viaje para calibrar, obtenidos de la simulación en VISSIM	70
Tabla 30	Tiempos de viaje peatonal para calibrar, obtenidos de la simulación en VISWALK	72
Tabla 31	Tiempos de viaje para validar, obtenidos de la simulación en VISSIM .	74
Tabla 32	Tiempos de viaje peatonal para validar, obtenidos de la simulación en VISWALK	76
Tabla 33	Velocidad promedio de viaje en la situación actual	78
Tabla 34	Tiempo de viaje vehicular en segundos	79
Tabla 35	Demora promedio en la intersección	80
Tabla 36	Longitud de cola promedio en la intersección	81
Tabla 37	Presupuesto aproximado de la ejecución de trabajos al implementar el paso a desnivel	85
Tabla 38	Presupuesto aproximado de la ejecución de trabajos al implementar el paso a desnivel	86
Tabla 39	Presupuesto aproximado de la ejecución de trabajos al implementar semáforos	89
Tabla 40	Presupuesto aproximado de la ejecución de trabajos al implementar semáforos	90
Tabla 41	velocidad promedio de la situación propuesta con paso a desnivel . . .	92
Tabla 42	tiempo de viaje vehicular de la situación propuesta con paso a desnivel	93
Tabla 43	Demora promedio de la situación propuesta con paso a desnivel	94
Tabla 44	Longitud de cola promedio en la intersección con paso a desnivel . . .	95

Tabla 45	velocidad promedio de la situación propuesta con semáforos	96
Tabla 46	tiempo de viaje vehicular de la situación propuesta con semáforos . . .	97
Tabla 47	demora promedio de la situación propuesta con implementación de se- máforos	98
Tabla 48	longitud de cola promedio en la intersección con implementación de semáforos	99
Tabla 49	comparación de resultados en las diferentes situaciones modeladas . .	107
Tabla A.50	Matriz de consistencia	123
Tabla A.51	Operacionalización de variable	124
Tabla A.52	Conteo de vehículos provenientes de la Av. Pérez de Cuellar y vía evitamiento	125
Tabla A.53	Conteo de vehículos provenientes de la vía a Mollepata	125
Tabla A.54	Conteo de vehículos provenientes de la Av. la cantuta	126
Tabla A.55	Conteo de vehículos que ingresan a la intersección de estudio	126

SIGLAS

FHWA	—	Federal Highway Administration
MTC	—	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
INEI	—	Instituto Nacional de estadística e Informática
ANFIS	—	Sistema de Inferencia Difusa Basado en Redes Adaptativas
ATMS	—	Advanced Traffic Management Systems (Sistemas Avanzados de Gestión del Tráfico)
FFS	—	Free Flow Speed (Velocidad de Flujo Libre)
HMD	—	Hora de Máxima Demanda u Hora Pico
VHMD	0=1	Volumen Horario de Máxima Demanda

GLOSARIO

Calibración del modelo: Proceso que consiste en ajustar los parámetros que caracterizan el flujo vehicular con el objetivo de generar un modelo adecuado, capaz de representar las condiciones observadas en campo.

Congestión vehicular: Aglomeración de vehículos circulando que obstruye o entorpece el paso o circulación de los vehículos.

Demanda de transporte urbano: Surge a partir de la necesidad o el deseo de trasladar personas o carga de un lugar a otro.

Demora: Tiempo adicional invertido por los vehículos al trasladarse, producto de la congestión, paradas u otros.

Flujo vehicular: Tránsito vehicular que se divide en flujo continuo y flujo discontinuo o interrumpido.

Hora pico u hora punta: Periodo donde observa gran número de vehículos que interactúan y por lo general producen congestiones.

Intersecciones: Se define como el área donde se cruzan dos o más vías que muchas veces definen la capacidad de las vías.

Longitud de cola: Indicador de eficiencia que está en función a la capacidad de movimiento y volumen de tráfico, mide la longitud de vehículos detenidos.

Micro simulación de tráfico: Modelo a nivel de intersección, considerado como un modelo a nivel celular donde cada vehículo es considerado como objeto independiente.

Peatones: Individuos que sin ser conductores transitan a pie por diversos espacios públicos.

Semáforos: Dispositivo electromecánico que imparte ordenes por medio de luces cuya función principal es eliminar los conflictos vehiculares y peatonales en intersecciones.

Sistema de control de tráfico: Facilitan la gestión y organización de vehículos permitiendo que los peatones y vehículos puedan circular de forma ordenada.

Tiempo de viaje vehicular: Tiempo que invierte un vehículo en recorrer una determinada distancia.

Transporte: Servicio que permite el traslado de personas, materiales, objetos u otros de un punto a otro.

Validación del modelo: Proceso mediante el cual se evalúa el modelo calibrado, dicha evaluación se realiza con un conjunto de nuevos datos de campo que son comparados con las predicciones del modelo.

Vehículo: Medio de locomoción es decir permite el traslado de un lugar a otro.

Velocidad promedio: Se define como el resultado obtenido de la razón entre el recorrido del vehículo y el tiempo que toma en hacerlo.

Wiedemann 74: Modelo utilizado para transito urbano.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional ha generado una mayor necesidad de transporte urbano y de carga, resultando en un aumento en el número de vehículos en el país y en la ciudad de Ayacucho. Todos los días se registran vehículos nuevos que llegan a formar parte del parque automotor. Este aumento provoca el colapso de la red vial, superando la capacidad de las vías y provocando así largas colas, contaminación, estrés, ruidos, muchas veces impulsados por microbuses, automóviles particulares y motocicletas acompañados de vehículos de gran tamaño, provocando embotellamientos en la ciudad de Ayacucho (Acosta, 2019).

Debido a la necesidad de movilizar personas y transportar mercancías, el número de vehículos a estado aumentando, en consecuencia, ha aumentado la contaminación, presencia de incremento en los tiempos de viaje, perjudicando no sólo a los conductores sino también a todos los que utilizan diferentes medios de transporte, por lo que es necesario el Desarrollo o implementación de un sistema de señales de tráfico más robusto que coincida con las características del flujo de tráfico para garantizar el paso fluido de los vehículos (Pedraza et al. 2013).

En el presente estudio se evalúa, las características actuales del flujo vehicular a través de una micro simulación, de la intersección conformada por la vía a Mollepata, av. Pérez de Cuellar, av. La cantuta y vía evitamiento en la ciudad de Ayacucho. A partir del análisis de la situación actual se puede observar desorden y desorganización de los vehículos que llegan a la intersección a través de las vías mencionadas, generando congestión en la intersección.

Se observa que, a diferencia de otras intersecciones de la ciudad, la presente cuenta con presencia de vehículos de tipo bus interprovincial y camiones, esto debido a que la intersección es la que se encuentra frente al Terrapuerto de la ciudad, por ende, se observa buses interprovinciales que llegan principalmente de las ciudades de Lima, Ica, Huancayo, cusco y Andahuaylas. La presencia de camiones es producto de que estos vehículos toman esta intersección como punto de inicio del recorrido por la Vía Evitamiento o punto final del mismo. Se observa presencia de vehículos tipo couster que transportan personas quienes van a viajar a otras ciudades o quienes están llegando de la mismas.

Se ha notado que existe una gran confluencia de peatones, esto debido a que la intersección de análisis se encuentra frente al terminal que comunica a la ciudad de Ayacucho

con otras ciudades, por ende, las personas que desean viajar, llegan al lugar y buscan entrar a dicho terminal. Se observó que no existe un paradero determinado que ayude a delimitar el espacio adecuado para que los microbuses tomen o dejen pasajeros, por ello se puede observar que los peatones cruzan las calles de manera intempestiva por diferentes espacios, exponiéndose así a sufrir accidentes o ser atropellados en su intención de cruzar la vía, la situación expuesta, contribuye al incremento de la congestión vehicular.

El desarrollo de la presente investigación está organizado de la siguiente manera:

- **Capítulo 1 – Planteamiento del problema:** Contiene la descripción de la realidad en referencia al tráfico existente a nivel mundial, nacional y regional, se hace énfasis al estado actual de la intersección en estudio. Se describe la delimitación del problema y los objetivos del estudio.
- **Capítulo 2 – Bases teóricas:** En este capítulo se desarrollan los antecedentes de investigaciones internacionales, nacionales, las bases teóricas y el marco conceptual de la investigación.
- **Capítulo 3 – Método de la investigación:** Se desarrolla temas relacionados al enfoque, alcance, población y muestra, técnicas y el desarrollo del trabajo de tesis propiamente dicho.

Se realiza la recolección de datos por medio de conteos vehiculares, levantamiento topográfico, video grabaciones con dron que muestre a detalle la dinámica de los vehículos que confluyen en la intersección de estudio. Se detalla la composición vehicular de la intersección, como son: motos, mototaxis, autos, couster, bus interprovincial y camiones.

Se realiza el análisis de los flujos vehiculares siendo estos compuestos por vehículos que ingresan a la intersección por la Av. Pérez de Cuellar, Av. La cantuta, vía evitamiento y vía a Mollepata.

Se detalla la micro simulación del modelo, calibración y validación del mismo. A través de las pruebas estadísticas que nos permite aceptar los datos arrojados por el modelo. Se detallan las propuestas de mejora, como son: el paso a desnivel que conecta la Av. Pérez de Cuellar y la Vía a Mollepata, la implementación de semáforos en cuatro puntos antes de la intersección.

- **Capítulo 4 – Resultados:** En este capítulo se desarrollan los resultados arrojados del modelado de la situación actual, evaluados a través de los parámetros: velocidad promedio, tiempo de viaje, demora promedio y longitud de cola.

Se evalúa la influencia de las propuestas de mejora en los parámetros antes descritos, los cuales son evaluados con la implementación del paso a desnivel y la implementación de semáforos. .

- **Referencias bibliográficas:** Se presenta información de los materiales consultados, citados durante el desarrollo de la tesis.
- **Anexos:** Contiene los resultados gráficos, tabulares documentados y los planos.



Planteamiento del Problema

1.1 Descripción del problema (mundial, país, región)

1.1.1 Mundial

Los problemas de transporte hoy en día no solo se manifiestan en una gran cantidad de ámbitos, sino también se ha tornado más severo no solo en países industrializados sino también en los países en desarrollo. La demanda de transporte y tránsito vial en los últimos años ha traído consecuencias como incrementos en la congestión, accidentes, demoras y problemas ambientales. Catalogándose como causa predominante el fácil acceso a la adquisición de automóviles por la reducción de los precios de venta y una mayor oferta de recirculación de autos usados (Thomson y Bull, 2001).

En los países en desarrollo se ha podido observar un mayor grado de variabilidad en la composición de tráfico, el comportamiento de los conductores y movimientos vehiculares que no se basan en movimientos por carril. Los conductores por falta de disciplina cambian de carril, aceleran o desaceleran abruptamente para alcanzar una mejor posición en el flujo de tráfico, lo que resulta en interacciones vehiculares conflictivas (Ali et al., 2022).

La congestión vehicular también se puede expresar en términos de pérdida de eficiencia económica aunado a consecuencias negativas para la sociedad en general. Puesto que, este fenómeno no solo afecta a los automovilistas sino también a los usuarios del transporte colectivo, ya que aumentan los tiempos de viaje y se ve un aumento en el valor de los pasajes. Los estudiantes universitarios también son parte de este problema, como menciona Chavarría et al. (2020) el bus es el medio de transporte más utilizado por ellos, representando el 74 % y que el 90 % de los mismos experimenta estrés a consecuencia del congestionamiento vehicular.

El crecimiento demográfico y el desarrollo económico han dado como consecuencia la demanda de viajes, en especial en las zonas urbanas, puesto que la expansión de la capacidad de la infraestructura de transporte está por debajo del nivel de aumento de la demanda de viaje, por ende, muchas calles operan por encima de sus capacidades en horarios pico en la mañana y tarde (Terraza, 2021).

Asociado al congestionamiento vehicular está el ruido producido por los mismos, ya que estos representan la principal fuente emisora de este contaminante en las ciudades, a los cuales las autoridades prestan poca o ninguna atención (Ramírez y Domínguez, 2011).

La congestión vehicular puede afectar en aspectos como la calidad de vida causando estrés, pérdidas de tiempo que afectan la salud física y mental, impactan a nivel económico como consecuencia del tiempo de viaje prolongado y el aumento en los costos de transporte, la congestión afecta a nivel ambiental, debido al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero proveniente de los vehículos (Gonzales-Aliste et al., 2023).

1.1.2 Pais

Según el TomTom Traffic Index (TomTom, 2021) que realiza el estudio de 404 ciudades en 58 países y 6 continentes, muestra que al 2021 Lima ocupa el lugar 19 entre las ciudades con peor tráfico a nivel mundial y el segundo lugar en Sudamérica después de Bogotá en Colombia, pues los resultados muestran un 42 % de tráfico lo que representa un aproximado de 12 minutos adicionales de viaje en lo que son usualmente solo 30 minutos de viaje en una vía sin congestión, multiplicado por 230 días laborables al año, la estadística muestra un aproximado de 96 horas perdidas al año por un individuo a causa de la congestión vehicular.

Tabla 2: Índice de tráfico vehicular en sudamérica en el 2021

Ranking por filtro	Ranking mundial	Ciudad	Tiempo perdido por año	Nivel de congestión 2021
1	4	Bogotá - Colombia	126 horas	55%
2	19	Lima - Perú	96 horas	42%
3	24	Recife - Brasil	92 horas	40%
4	26	Santiago - Chile	89 horas	39%
5	39	Rio de Janeiro - Brasil	82 horas	36%
6	67	Buenos Aires - Argentina	71 horas	31%
7	68	Sao Paulo - Brasil	71 horas	31%

fuentes: Tom Tom (2021)

Según la tabla del índice de tráfico vehicular del 2023, publicado por el Tom Tom traffic index (Tom Tom, 2023), muestra que la ciudad de Lima ocupa el lugar 5 entre las ciudades con peor tráfico y el primer lugar a nivel de Sudamérica, los resultados muestran un tráfico del 61.9% y una pérdida anual de 157 horas anuales, como se muestra en la siguiente figura.

Tabla 3: Índice de tráfico vehicular en sudamérica en el 2023

Ranking por filtro	Ranking mundial	Ciudad	Tiempo perdido por año	Nivel de congestión 2023
1	5	Lima - Perú	157 horas	61%
2	19	Bogotá - Colombia	117 horas	50%
3	23	Buenos Aires - Argentina	88 horas	39%
4	33	Sao Paulo - Brasil	105 horas	48%
5	36	Recife - Brasil	116 horas	51%
6	37	Montevideo - Uruguay	55 horas	26%
7	38	Curitiba - Brasil	94 horas	37%

fuentes: Tom Tom (2023)

En lo que respecta a la ciudad de Lima, se considera que en el 2023 una persona gastó en promedio 283 horas viajando, de los cuales 157 horas son a causa de la congestión vehicular, adicionalmente se calcula una emisión de CO₂ aproximado de 1035 kg, de los cuales 297 kg son a causa de la congestión, se considera que deberían plantarse alrededor de 103 árboles anualmente para poder absorber dicha cantidad de oxígeno (Tom Tom 2023).

Se ha podido notar que el volumen de tráfico, velocidad, porcentaje de camiones, pendiente de carretera y temperatura influyen en la cantidad de CO₂ emitidos, velocidades vehiculares entre 55 y 60 millas por hora en autopista libre reduce significativamente la emisión de CO₂ (Abou-Senna y Radwan, 2013).

Se considera que lima actualmente enfrenta uno de los principales problemas que es la congestión vehicular la cual es definida como la cantidad excesiva de vehículos como consecuencia de la necesidad de movilización de las personas que viajan con destino a su centro de labores o estudios.

1.1.3 Región

Según los censos del INEI (2017), la población estimada a nivel nacional al 22 de octubre del 2017 es de 31 millones 237 mil 385, esto muestra que la población peruana se incrementó en 3 millones 16 mil 621 habitantes respecto al año 2007, lo que representa un incremento poblacional del 10.7 % respecto al 2007. Dichos censos muestran también que la provincia de Huamanga se encuentra entre las 20 provincias más pobladas a nivel nacional.

Como consecuencia del crecimiento poblacional mostrado en los datos anteriores, se tiene una mayor demanda de transporte urbano y de carga, en consecuencia, el aumento del parque automotor en el país y en la ciudad de Ayacucho. Puesto que, se registran diariamente vehículos automotores nuevos que forman parte del flujo vehicular, este crecimiento trae como consecuencia el colapso de las redes viales sobrepasando la capacidad vial, en consecuencia, se producen largas colas, contaminación, estrés, ruido, producido generalmente por microbuses, automóviles particulares y motocicletas circulando a ambos lados de los vehículos mayores, lo que conlleva a un aumento de la congestión vehicular de la ciudad de Ayacucho (Acosta, 2019).

El aumento del parque automotor como consecuencia de la necesidad de movilización de las personas para el cumplimiento de sus labores diarias y el transporte de carga, acrecienta los problemas de contaminación y tiempos de viaje, perjudicando no solo a los conductores sino también a todo aquel que hace uso de estos sistemas de transporte, por ende, cada vez se necesita el desarrollo de sistemas de semaforización más robustos que estén acorde a las características de flujo vehicular de esa forma lograr el tránsito fluido de los vehículos (Pedraza et al. 2013).

La congestión vehicular es consecuencia del incremento de la demanda vehicular, en el presente estudio que se llevará acabo se observan claros flujos de vehículos que circulan en dirección de ida y vuelta por la vía a Mollepata, vehículos de carga pesada que

llegan y pasan a la Vía Evitamiento, Vehículos cuya ruta termina en la intersección de estudio y vuelven al centro de la ciudad por la Av. Pérez de Cuellar, vehículos que salen del terminal terrestre para realizar viajes a otras ciudades.

Se ha podido notar que la congestión es generada principalmente por vehículos de gran tamaño como son los buses, tráileres y camiones que utilizan esta intersección antes de ingresar o salir del Terrapuerto y antes de tomar la vía evitamiento, en consecuencia, se generan conflictos acompañados de ruido, contaminación, pérdidas económicas, demoras y estrés.

En referencia al conteo vehicular realizado, se observa que la congestión se agudiza en la mañana entre las 7:00 a.m. y 10:00 a.m. y por la tarde entre las 6:00 p.m. y 09:00 pm, como consecuencia de que en estos horarios salen y arriban respectivamente buses interprovinciales que ingresan al Terrapuerto de Ayacucho procedentes de las ciudades de Lima, Ica, Huancayo, Cusco y Andahuaylas, cabe mencionar que en la intersección de estudio no se tiene ningún sistema de control de tráfico como son los semáforos u otros sistemas.

1.2 Delimitación del problema

1.2.1 Espacial (geográfica)

El presente trabajo se delimita en el país Perú, departamento de Ayacucho, Provincia de huamanga. En la intersección conformada por la Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento, ubicándose esta intersección frente al Terrapuerto de Ayacucho.

1.2.2 temporal

Temporalmente está delimitado en el año 2023.

1.2.3 Temática y unidad de análisis

En esta tesis se evaluará la influencia de las propuestas de mejora sobre las características inherentes al tráfico vehicular existente en la intersección de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento que se encuentra frente al Terrapuerto de Ayacucho. La unidad de análisis estará conformada por los vehículos que constituyen el flujo vehicular en la intersección de estudio.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

¿Cómo influye la implementación de nuevas propuestas en el flujo vehicular de las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho?

1.3.2 Problemas específicos

¿Cuál es el volumen horario de máxima demanda en el cual la congestión vehicular incrementa en la intersección de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho?

¿Cuáles son las características de flujo vehicular evaluadas a través de una micro simulación en las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho?

¿Cuáles son las características de flujo vehicular con implementación de nuevas propuestas evaluadas a través de una micro simulación en las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho?

1.4 Justificación e importancia

A día de hoy no se cuenta con un registro actualizado del flujo vehicular y un análisis de los principales problemas de interacción vehicular en la intersección conformada por la vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento, en consecuencia, tampoco se tiene propuestas de mejora con evaluación de las mismas a través de micro simulación que nos permita obtener mejores alternativas de flujo de tráfico.

En horas de máxima demanda vehicular, el tráfico rodado es considerada como una de las principales fuentes de ruido en el área urbana (Acosta, 2020). Por ende, para mejorar el flujo vehicular en dicha zona se propone como alternativas, la creación de un paso a desnivel y la implementación de semáforos accionados por el tráfico, posteriormente ambas propuestas de mejora serán evaluadas por micro simulación, determinándose así la opción más óptima que logre dinamizar el flujo vehicular.

A la finalización de este estudio se tendrá un detalle del flujo vehicular en horas críticas, con la evaluación de las propuestas a implementar para mejorar el flujo, evitar conflictos, reducir el ruido, contaminación, pérdidas económicas, demoras y estrés.

1.5 Limitaciones de la investigación

La presente investigación se limita al área urbana de la ciudad de Ayacucho, a la intersección de calles denominadas Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho, en el periodo en el que se realiza el estudio puesto que los datos recolectados en el horario de mayor demanda vehicular para el procesamiento de la información pertenecen a dicho espacio, en consecuencia, si se desea aplicar un estudio por micro simulación en un área similar, deberán recolectarse nuevos datos que pertenezcan al área a evaluar. Los resultados de esta investigación, no están relacionados a eventos extraordinarios, es decir, días feriados, días no laborables, movilizaciones u otros eventos que alteren la cuantía de los datos tomados en campo. La presente investigación analiza las características del flujo vehicular a través de la velocidad promedio, tiempo de viaje vehicular, demora promedio y longitud de cola.

En lo que respecta a las restricciones, a nivel bibliográfico no se tendrá ninguna restricción puesto que se tiene material bibliográfico internacional y nacional que nos sirve de base, así mismo, guías que nos ayudan a realizar la correcta micro simulación del tráfico en el programa VISSIM.

Cabe aclarar que el programa tiene restricción con respecto al libre acceso, por ende, se tiene la posibilidad de utilizar la versión estudiante, que nos permite modelar la situación actual y las propuestas de mejora, sin embargo, para el análisis de los datos de salida es indispensable contar con la licencia.

1.6 Objetivos.

1.6.1 Objetivo general

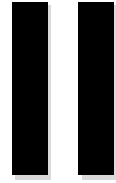
Evaluar mediante micro simulación la influencia de las propuestas en las características del flujo vehicular de las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.

1.6.2 Objetivos específicos

Identificar el volumen horario de máxima demanda en la cual se presenta congestión vehicular en la intersección de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.

Desarrollar la micro simulación del flujo vehicular actual, la calibración y validación del modelo en las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.

Desarrollar la micro simulación del flujo vehicular con implementación de las nuevas propuestas en las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.



Marco teórico conceptual

2.1 Antecedentes

2.1.1 Investigaciones internacionales

Espinoza, F., Gordillo, A., Jiménez, R. y Avilés, O. (2013). Machine vision algorithms applied to dynamic traffic light control

Este artículo presenta el desarrollo de un controlador de tráfico difuso que puede gestionar de manera autónoma, centralizada y eficiente el flujo de vehículos en un conjunto de intersecciones. El sistema utiliza un algoritmo de visión artificial para detectar la cantidad de automóviles en imágenes capturadas por cámaras ubicadas estratégicamente en cada intersección estudiada. Con esta información, el sistema selecciona una secuencia de acciones que optimizarán el flujo vehicular en la zona de control en el escenario simulado. Los resultados obtenidos muestran que el sistema reduce los tiempos de demora de cada vehículo en un 20 % y además puede adaptarse rápida y efectivamente a los cambios de flujo (Espinoza et al., 2013).

Pedraza, L., Hernández, C. y López, D. (2012). Control de tráfico vehicular usando ANFIS.

El presente artículo evalúa el tráfico vehicular que existe en una vía y diseña un modelo de tráfico vehicular proporcionando un enfoque en el manejo de una serie de semáforos en Bogotá, dicho modelo estará en concordancia a los requerimientos de tránsito en la vía. En base a este modelo se van sincronizando los tiempos de duración y desfases de los semáforos evaluados, para ese objetivo se utiliza el Sistema de Inferencia Difusa Basado en Redes Adaptativas (ANFIS). Posteriormente el modelo es simulado y se evalúan los resultados a nivel macroscópico con el modelo de tiempos fijos la cual funciona actualmente en Bogotá Colombia. Se concluye que el modelo ANFIS es el más óptimo puesto que se logra reducir la densidad vehicular permitiendo atender mayor número de vehículos en una misma distancia comparado con el sistema de tiempos fijos. También se logra aumentar la velocidad promedio de los vehículos y reducir el número

de los mismos en colas, reduciendo así la posibilidad de generar congestión a causa de los semáforos (Pedraza et al., 2012).

Moyano, C. (2017). Estimación de la contaminación del aire generada por efecto de la circulación vehicular motorizada en la Av. 10 de agosto de la ciudad de Cuenca - Ecuador, usando la herramienta de micro simulación de tránsito Aimsun 8.1.

En el presente trabajo de investigación se realiza en la ciudad de Cuenca donde se observa un aumento de la contaminación del aire, cuya causa principal se estima que es el congestionamiento vehicular de la ciudad. A consecuencia de ello la investigación desarrolla un modelo matemático para estimar las emisiones de dióxido de carbono y óxidos nitrosos, para ello, se correlacionan los flujos de vehículos y velocidades de las mismas en las principales intersecciones, como parte del desarrollo del trabajo, se realiza la micro simulación de tránsito en Aimsun 8.1. Se ejecuta este proyecto con el propósito de establecer en un mediano plazo un modelo de comportamiento generalizado para la ciudad, de esta manera poder permitir la toma de decisiones respecto a la gestión del tránsito, con el objetivo de limitar los valores permisibles respecto a la emisión de contaminantes. (Moyano, 2017).

2.1.2 Investigaciones nacionales

Vargas, C. y Serna, M. (2020). Relación del aparcamiento y la congestión vehicular en el Centro Histórico de Cusco.

En este artículo se evalúa la relación entre la oferta de estacionamiento y la congestión vehicular en el centro histórico de Cusco, desarrollado desde un enfoque cuantitativo y cualitativo. Determinando así, que la causa principal es la necesidad de viajes de los habitantes hacia el centro histórico, por motivos laborales, la cual está determinada por más de la mitad de los casos, también se observa que la mayor cantidad de flujo vehicular se encuentra entre los horarios de las 7:00 a.m. y la 1:00 p.m. también se pudo notar que el número de horas de vehículos estacionados en los espacios de aparcamiento son por más de 8 horas. Se concluye que la congestión vehicular está directamente relacionada con la congestión en dicha zona, es decir, a medida que aumenta la cantidad de vehículos estacionados en las avenidas y calles que convergen, se espera un mayor tráfico vehicular en los espacios circundantes, aunque también se observa una baja influencia de factores como la amplitud de calles, cultura de los conductores, cultura de los peatones y otros (Vargas y Serna, 2020).

Arce, D. (2017). Sistema autónomo de control de tráfico vehicular para intersecciones de avenidas.

La presente tesis plantea el desarrollo de un sistema autónomo de control de tránsito en intersecciones, la autonomía del sistema permite obtener los tiempos de operación óptimos de los semáforos en cada intersección a través de información recopilada en tiempo real. Otra característica de este sistema es la capacidad de transmitir la información de forma inalámbrica a otros sistemas aledaños y hacia la interfaz de monitoreo, por lo tanto, se tiene la capacidad de visualizar los estados de funcionamiento de cada sistema. La transmisión de datos se hace por medio de una base de datos compartida, donde cada uno de los sistemas es capaz de acceder y también es posible acceder a través de un software de desarrollo para funcionar como una interfaz de monitoreo. También se observan que los principales factores que generan la congestión son los vehículos detenidos en lugares no autorizados e intersecciones, uso indebido de carriles al girar, semaforización incorrecta de las principales avenidas (Arce, 2017).

Álvarez, J. (2017). Micro simulación intermodal en la ciudad del Cusco empleando los software VISSIM 8 y VISWALK 8

En el presente trabajo de investigación se desarrolló el estudio de una intersección ubicada en la ciudad del Cusco, la evaluación se realiza mediante un modelo microscópico del tráfico, para luego presentar propuestas de mejora a la situación. El comportamiento del flujo vehicular y peatonal es simulado en el programa VISSIM 8.0. y VISWALK 8.0. a partir de datos obtenidos en campo, posteriormente los modelos son calibrados y validados, para finalizar se proponen mejoras para la circulación las cuales constan principalmente por un cambio en la geometría, optimización de ciclos y fases semafóricas las cuales serán evaluadas para dar con la alternativa que represente la mejor opción al dinamizar el flujo vehicular y peatonal (Álvarez, 2017).

2.2 Bases teóricas

El crecimiento poblacional ha acelerado el desarrollo urbano ampliando así la red de calles, avenidas y ejes viales que permitan interconectar gran parte de la ciudad en crecimiento, obligando a la población a utilizar vehículos a motor para desplazarse al interior. Es indispensable crear iniciativas para reducir los actuales problemas causados por uso excesivo de vehículos a motor (Almanza et al., 2018). Como objetivos principales en la gestión y el control de tráfico es lograr la eficiencia de los viajes y la seguridad del tránsito en las intersecciones no señalizadas, por ende, la señal de alto y la señal de

seguir son las señales de tráfico mas comunes para ordenar el paso del flujo vehicular en todas las direcciones no señalizadas que compone la intersección (Yun y Ji, 2013).

Para lograr la implementación de nuevas iniciativas es importante saber el comportamiento del flujo vehicular en las diferentes arterias de nuestra ciudad, como menciona Acosta (2019), Ayacucho es considerada una ciudad de tamaño medio que al día de hoy no ha podido controlar el crecimiento desmesurado del parque automotor que aumenta cada día con la compra de diferentes medios de transporte motorizados que pronto forman parte del flujo vehicular de la ciudad de Ayacucho cuyas calles están colapsando, puesto que, dichos espacios no son suficientes ni adecuados para albergar la gran cantidad del parque automotor; trayendo en consecuencia problemas de cogestión, contaminación, accidentes, estrés que no solo afecta a las personas usuarias de estos medios de transporte sino también a las personas que viven en zonas aledañas a las principales calles congestionadas.

Como menciona Lapa (2017), actualmente en la ciudad de Ayacucho existen diferentes puntos de congestionamiento, por ende, se requiere implementar nuevas soluciones a las ya existentes, las cuales estén acorde a las necesidades de transporte de la población.

Año tras año se ha buscado alternativas de gestión de tráfico, sin embargo, se observa que este problema se acrecienta, por ello, se necesitan políticas que tengan como punto de partida el estudio de tráfico detallado a nivel microscópico, mesoscópico y macroscópico, permitiendo así proponer alternativas de solución adecuadas donde se incluyan no solo a las avenidas de mayor tráfico sino también integrar las vías arteriales y secundarias a las que están conectadas (De la cruz, 2019).

Para mejorar el control de la problemática de la congestión vehicular, es necesario trabajar en varios aspectos como son: hábitos de los conductores, infraestructura, peatones y otros. Por ende, surge la necesidad de estudiar los diferentes comportamientos del tráfico y buscar parámetros de control que de forma conjunta permitirán que la circulación de los vehículos de desarrolle de manera óptima. Por ende, en ese aspecto el uso de software simuladores permite determinar distintas condiciones de tráfico a las cuales estará sometida la intersección en estudio, permitiendo el planteamiento de propuestas de mejora que garanticen el control del volumen vehicular (Hernández, 2022).

Los problemas de congestión del tráfico vehicular requieren un seguimiento continuo del movimiento de los vehículos en la red vial. En ese sentido, el conocimiento de las características de velocidad y flujo vehicular ayuda desarrollar estrategias para una gestión eficiente del tráfico, para ello se puede optar por un modelo VISSIM que debe

ser previamente calibrado y validado con las características del vehículo, conductor y flujos vehiculares de la vía (Bandi y Varghese, 2020).

2.3 Marco conceptual

2.3.1 Transporte urbano

El transporte urbano se refiere al sistema de transporte que opera dentro de áreas urbanas, abarcando varios modos como autobuses, tranvías, metros y bicicletas, así como la infraestructura y las políticas que respaldan estos modos. Su objetivo es facilitar el movimiento de personas y bienes dentro de las ciudades para promover la accesibilidad, la actividad económica y la calidad de vida (He y Haasis, 2020).

En la literatura científica, el transporte urbano se estudia ampliamente debido a su papel fundamental en la funcionalidad de la ciudad y sus impactos en la sostenibilidad y la habitabilidad. Incluye el análisis de los flujos de tráfico, la planificación de infraestructura y la integración de diferentes modos de transporte para crear sistemas de movilidad urbana eficientes y sostenibles. Los componentes clave de los sistemas de transporte urbano son la infraestructura que pueden ser carreteras, puentes e instalaciones de transporte público; el material rodante que son los vehículos utilizados para el transporte público y los sistemas de gestión del tráfico como señales, centros de control u otros (Bastarion et al., 2023).

2.3.2 Micro simulación del tráfico

El uso de modelos microscópicos con finalidad de simulación ha ido aumentando a pasos agigantados en el último siglo. Estos modelos han sido utilizados para el estudio y análisis de tráfico. El hecho de tratar con una gran cantidad de información nos permite enfocar el problema del tráfico a nivel celular; es decir, se considera cada vehículo como un objeto independiente dentro de un sistema o flujo de tráfico por medio del cual puede interactuar con otros componentes del mismo sistema que pueden ser el resto de vehículos (Salvador y Robuste, 2000). El modelo microscópico permite representar a detalle la dinámica del vehículo y el comportamiento de los peatones, por ende, se puede calcular la dinámica del tráfico basándose en modelos de vehículos individuales basados en interacciones y movimientos de los mismos (Zhang, 2021).

La micro simulación permite la construcción de escenarios en áreas comprendidas con mayor congestión vehicular, recolectando datos de campo que muestre los datos de control semafórico existente, la simulación permite evaluar y analizar el tráfico vehicular posterior a la implementación de semáforos inteligentes (Jacome, 2019).

Una micro simulación de transporte a gran escala puede incorporar diversos modos de transporte, como automóviles, autobuses, bicicletas, scooters y peatones, y validar estos modelos durante las horas pico en ciudades. Esta técnica facilita la evaluación de nuevas tecnologías y servicios de transporte, como semáforos inteligentes y vehículos autónomos compartidos. Los datos empleados provienen de diversas fuentes, incluyendo OpenStreetMap, encuestas de tráfico, trazas GPS y conteos de tránsito, lo que permite simular y evaluar estrategias de movilidad desde el origen hasta el destino (Schweizer, 2021).

Los modelos de micro simulación de tráfico son cruciales para asegurar la sostenibilidad y accesibilidad del transporte público. Estos modelos permiten analizar el flujo de pasajeros y vehículos en nodos de tránsito específicos bajo diferentes escenarios de carga de tráfico. Los resultados obtenidos ayudan a tomar decisiones informadas sobre el diseño y la optimización de infraestructuras de transporte, garantizando un sistema eficiente y sostenible (Krivda, 2021).

2.3.3 Vissim

Vissim es una herramienta de simulación para el diseño sistemas de control de tráfico. Vissim es parte de PTV Vision Suite que incluye Visum, un software de simulación macroscópica. Vissim es una herramienta de simulación microscópica puesto que emplea el modelado de vehículos individualmente. Tiene muchas aplicaciones, pero es usado principalmente para el análisis de tráfico en diferentes diseños de calzada que incluye configuraciones urbanas (intersecciones, rotondas, etc.) y de carreteras. Adicionalmente, Vissim permite modelar diferentes tipos de vehículos como autos, buses, ferrocarriles ligeros y pesados, camiones, bicicletas y patones (Papageorgiou et al., 2006).

Las capacidades de simulación microscópica de VISSIM lo hacen particularmente efectivo para el análisis detallado de las operaciones de tráfico, incluidas intersecciones, rotondas y entornos urbanos complejos. El software puede modelar el impacto de los dispositivos de control de tráfico, como señales de tráfico y simular el comportamiento del conductor utilizando parámetros como algoritmos de seguimiento de vehículos y cambio de carril. La flexibilidad de VISSIM permite la incorporación de datos del mundo real y la personalización de escenarios para evaluar los efectos de diferentes estrategias de gestión del tráfico (Shi et al., 2023). Los procedimientos de calibración y validación de modelos en VISSIM en dos etapas mejora la bondad de ajuste entre los conflictos simulados y los conflictos del mundo real (Huang et al., 2013).

El uso de VISSIM en la investigación del tráfico ofrece varias ventajas. Permite el análisis detallado de la dinámica del tráfico y la evaluación de estrategias de gestión del tráfico en un entorno controlado y reproducible. Esto lo convierte en una herramienta valiosa para los planificadores e ingenieros de transporte que buscan optimizar el flujo de tráfico y mejorar la seguridad en áreas urbanas (Pulugurtha et al., 2002).

VISSIM es un software de simulación microscópica de tráfico que se ha utilizado ampliamente para evaluar las condiciones del tráfico. Es especialmente útil evaluar diferentes escenarios de gestión del tráfico para elegir las mejores medidas alternativas y de optimización antes de su implementación (Lin et al., 2013).

2.3.4 Modelo de Wiedemann

Modelo Psicofísico de seguimiento vehicular, utilizado ampliamente en modelos de simulación de tráfico microscópica especialmente en el software VISSIM, este modelo fue desarrollado por Rainer Wiedemann en 1974 y posteriormente actualizado en 1999. Este modelo permite simular la aceleración longitudinal en función de la velocidad y posición de un vehículo líder que se encuentra en el mismo carril (Heather, 2021).

El modelo se basa en la idea de que los conductores perciben y reaccionan de forma diferente a la velocidad y a la distancia con respecto al vehículo que circula delante. Como resultado, se introducen cuatro modos diferentes de comportamiento del conductor, lo que permite una simulación más realista del tráfico de la ciudad y las interacciones de los vehículos. Estos modos son: conducción libre, no afectada por el vehículo de delante; aproximación, reducir la velocidad para evitar una colisión; seguir, mantener una distancia segura y frenar, cuando el vehículo de delante reduce significativamente la velocidad (Zhang, 2023).

2.3.5 Longitud de cola

Se define la longitud de cola como la distancia medida desde la línea de parada hasta el último vehículo en la cola durante un ciclo, incluido aquellos vehículos que se unen a cola después de la salida verde (Wang, 2015). En las intersecciones con control semafórico, la espera en las longitudes de cola se refleja en la espera causada por el tiempo en las señales, mientras que, en las intersecciones no señalizadas, las colas son causadas por la aglomeración de vehículos que tienen trayectorias en diferentes direcciones (Gao et al., 2021). La longitud de cola se puede definir como la distancia desde la línea de alto hasta la cola del último vehículo detenido en un solo carril durante el semáforo en

rojo dentro de un ciclo semafórico. En la práctica, se puede sustituir por el número de vehículos detenidos en una cola por conveniencia (Li et al., 2017).

La longitud de la cola es un parámetro importante en las intersecciones sin semáforos. Por esta razón su importancia en la evaluación de la adecuación del diseño geométrico de las intersecciones. Los estudios teóricos y las observaciones experimentales muestran que la distribución probabilística de la longitud de cola está en función de la capacidad de movimiento y el volumen del tráfico atendido durante el periodo de análisis (Romero-Rojas, 2019).

La existencia de una capacidad hace que flujos vehiculares las superen por cientos momentos, en consecuencia, los usuarios deberán detenerse y esperar en cola un tiempo adicional al consumido en movimiento. Por tanto la cantidad de detención, la longitud de cola, la demora promedio serán indicadores de eficiencia, cuanto menor sea, mejor será el funcionamiento del dispositivo vial (Fernández, 2011).

2.3.6 Demora promedio

Definiendo desde una perspectiva de brechas, se entiende que la demora en una intersección no semaforizada será estudiada a través de los denominados clientes que están conformados por vehículos o peatones que esperan por una brecha de tamaño adecuado en un flujo de vehículos para poder cruzar (Fernández, 2011).

Se considera que la demora es un parámetro muy importante para medir la eficiencia, puesto que, representa la efectividad de la intersección para movilizar vehículos desde un punto inicial hasta otro. Esta demora podrá representar una mayor o menor aglomeración de vehículos en la zona de estudio (Álvarez, 2017).

2.3.7 Velocidad promedio

La velocidad se ha convertido en el indicador principal para poder medir la calidad de operación de un sistema de transporte. Definiéndose esta como la relación entre el espacio recorrido y un determinado tiempo de marcha empleado por los vehículos para recorrer dicho espacio. El tiempo en marcha excluye todas las paradas y las demoras (Tapia y Veizaga, 2006).

Por lo general en estudios de transporte, el parámetro de la velocidad promedio puede ser empleado con diferentes propósitos, como son: planificación urbana, señales de control de tráfico y gestión del transporte para reducir retrasos. A ejemplo, una de los principales objetivos de los métodos de control de señales de tráfico es maximizar la

velocidad promedio de los vehículos y mejorar la eficiencia del sistema de transporte (Qadri et al., 2020).

La velocidad promedio es un indicador esencial en los estudios de simulación de tráfico que modelan el comportamiento del mismo y permite predecir que con ciertos cambios como la implementación de nuevas políticas o infraestructura, repercute en la velocidad promedio y eficiencia del sistema de transporte (Hansson et al., 2019).

2.3.8 Tiempo de viaje Promedio

Se define como tiempo de viaje vehicular al periodo total que tarda un vehículo en recorrer determinada distancia contabilizado desde el punto de origen hasta el punto de destino (Yan et al, 2014).

El tiempo de viaje vehicular se puede ver afectado por diversos factores, entre ellos, la densidad de tráfico o incidentes. Para su predicción y gestión se pueden utilizar diversas técnicas o métodos basados en GPS, redes neuronales, o modelos estadísticos de optimización. Los diversos métodos ayudan a mejorar las predicciones y evaluar estrategias que permitan reducir los tiempos de viaje para mejorar la fluidez del tráfico (Sharma et al., 2023).

2.3.9 Intersecciones a desnivel

Se entiende por intersección a desnivel a aquella solución de diseño geométrico que permite el cruzamiento de dos o más carreteras o vías férreas en diferentes niveles con la finalidad de que los vehículos puedan realizar movimientos de cambio de trayectoria de una carretera a otra con la menor cantidad de puntos de conflicto (Ministerio de transportes y comunicaciones [MTC DG], 2018)

Este objetivo será logrado con infraestructura que segrega en diferentes niveles los flujos en conflicto, las intersecciones a desnivel serán interconectadas por medio de rampas que permitirán el intercambio (Romero-Rojas, 2019).

En el ámbito del transporte, un paso a desnivel es una infraestructura diseñada para desviar el tráfico vehicular de áreas congestionadas, como centros urbanos o tramos de carretera con alta densidad de vehículos. Esto no solo facilita un tránsito más fluido, sino que también contribuye a la reducción de accidentes y la mejora de la eficiencia del transporte urbano y rural. La implementación de intersecciones a desnivel puede ser crucial en la planificación urbana para mitigar los problemas de tráfico y mejorar la movilidad (Sha et al., 2024).

2.3.10 Capacidad

Se define a la capacidad como la cantidad de personas o vehículos que pueden pasar razonablemente por un punto o una sección durante un periodo de tiempo determinado bajo determinadas condiciones predominantes de la vía. Cualquier cambio en las condiciones imperantes o prevalecientes cambia la capacidad, por ende, la capacidad puede cambiar en muchos casos dependiendo a las características de los conductores, características de la vía, entre otros (National Academy of Sciences, 2000).

Se define como condiciones prevalecientes a las características físicas de la vía (trazado, pavimento); características del conductor (edad, personalidad, condición física); características del vehículo (potencia, aceleración, maniobrabilidad); y, composición del tráfico (longitud promedio de vehículos). Por lo tanto, la capacidad no es un valor absoluto así se tome en cuenta una misma vía (Fernández, 2011).

2.3.11 Demanda

La demanda es definida como la medida principal de la cantidad de tráfico empleando las facilidades dadas. La demanda está relacionada con los vehículos que llegan y el volumen está relacionado con la descarga de vehículos. Si no existe tráfico vehicular, la demanda es equivalente al volumen de tráfico en un determinado punto (National Academy of Sciences, 2000).

Se entiende también que la demanda de transporte surge a partir de la necesidad o deseo de trasladar personas o carga de un lugar a otro. Dicha demanda muchas veces se da en horas de la mañana, medio día y tarde, dichas concentraciones de viajes a causa de la demanda generan el aumento de volúmenes de tránsito (Bull, 2003). Como menciona Chen et al. (2024) se observaron variaciones significativas en la demanda vehicular causadas por la pandemia del COVID-19 que impactaron directamente en la congestión del tráfico.

La demanda no solo debería tener en consideración los vehículos que circulan por una línea de detención en un ciclo de semaforización, si no también debería tenerse en consideración aquellos vehículos que se acumulan y ralentizan su recorrido a consecuencia de la congestión existente, la definición previa permite considerar una mejor gestión y optimización en el control de señales de tráfico con énfasis en intersecciones sobresaturadas (Chen et al., 2011).

2.3.12 Calidad y nivel de servicio

La calidad requiere de medidas cuantitativas para caracterizar condiciones dentro de un flujo de tráfico. Los niveles de servicio son una medida de calidad que describe condiciones operativas dentro de un flujo de tráfico, generalmente en términos de velocidad, tiempo de viaje, libertad de maniobra, interrupciones de tráfico y comodidad. Se definen seis niveles de servicio clasificados de la A hasta la F, siendo A la clasificación con la mejor operación de condiciones y F las peores. La seguridad no está incluida en las medidas que establecen los niveles de servicio (National Academy of Sciences, 2000).

2.3.13 Congestión

La Real Academia Española (RAE, 2014) define la congestión como acción y efecto de congestionar, en tanto que congestionar significa Obstruir o entorpecer el paso, la circulación o el movimiento de algo. Habitualmente se entiende como congestión a la condición donde existen muchos vehículos circulando y que cada uno de ellos se desplaza de manera lenta e irregular (Bull, 2003).

Ortúzar y Willumse (como se citó en Thomson y Bull, 2001) sostienen que la congestión surge en condiciones donde la demanda se acerca a la capacidad de la infraestructura transitada y el tiempo de tránsito aumenta en valores muy superiores al que rige en condiciones de baja demanda.

Thomson y Bull (2001), sostienen que se declara una vía congestionada en donde más de la mitad de su extensión, sin ser estas consecutivas, la velocidad media espacial del flujo fuese inferior al 40 % de la velocidad en régimen libre de tránsito en dicha vía.

La congestión del tráfico se define generalmente como una condición en las redes viales que ocurre cuando la demanda de tráfico excede la capacidad vial disponible. Esta situación se caracteriza por velocidades más lentas de los vehículos, tiempos de viaje más largos y mayores colas de vehículos. El fenómeno es generalizado en las zonas urbanas y tiene importantes impactos negativos, incluidas pérdidas económicas, contaminación ambiental y disminución de la calidad de vida (Afrin y Yodo, 2020).

Los estudios enfatizan la importancia de identificar y cuantificar con precisión la congestión para desarrollar estrategias de mitigación efectivas. La recopilación de datos de múltiples fuentes, como sensores y cámaras de tráfico, es esencial para comprender los patrones de tráfico y gestionar la congestión de forma eficaz (Cvetek et al., 2021).

2.3.14 Conflictos de tráfico

Un conflicto de tránsito se define como un evento observable que resultará en un accidente si una de las partes involucradas no toma medidas para evitarlo, como reducir la velocidad, cambiar de carril o aumentar la velocidad. Estos conflictos se caracterizan por parámetros como el tiempo hasta la colisión, el tiempo desde la intrusión y el ángulo de conflicto, todos los cuales describen la posición del vehículo en el tiempo y el espacio. Los conflictos de tránsito se utilizan a menudo como indicador de los accidentes reales en las investigaciones sobre seguridad vial, suponiendo que los factores que afectan las tasas de accidentes también afectarán las tasas de conflicto en relación con la gravedad del conflicto (Riser, 1985).

Como menciona Fernández (2011), como consecuencia de la circulación de las personas o vehículos por el espacio público, se generan interacciones entre ellos donde en algún momento se encontrarán dos personas o vehículos que están circulando, estas interacciones darán origen a los conflictos. Como se menciona se producirán conflictos de tráfico cuando dos o más personas y/o vehículos pretenden usar simultáneamente un mismo recurso del sistema de transporte, entendiéndose como recurso del sistema de transporte a una porción de vía, área de intersección, terminal. Se clasifica los conflictos en tres tipos los cuales son: concurrenciales, direccionales y funcionales.

2.3.14.1 Conflictos concurrenciales

Los conflictos concurrenciales se dan en una misma porción de vía donde los vehículos circulan en la misma dirección, pero con diferentes velocidades. Al encontrarse dos vehículos en un punto las posibles soluciones son: el vehículo 1 adelante al vehículo 2, que el vehículo 1 ajuste su velocidad al vehículo 2 o el accidente, donde el vehículo 1 colisiona con el vehículo 2 (Fernández, 2011).

2.3.14.2 Conflictos direccionales

Este tipo de conflicto se dan en un área de intersección, como consecuencia de las diferentes maniobras realizadas por los vehículos. En estos casos se tienen las soluciones son: que el vehículo 2 le ceda el paso al vehículo 1, el derecho al paso se alterna en el tiempo gracias a los semáforos y el accidente (Fernández, 2011).

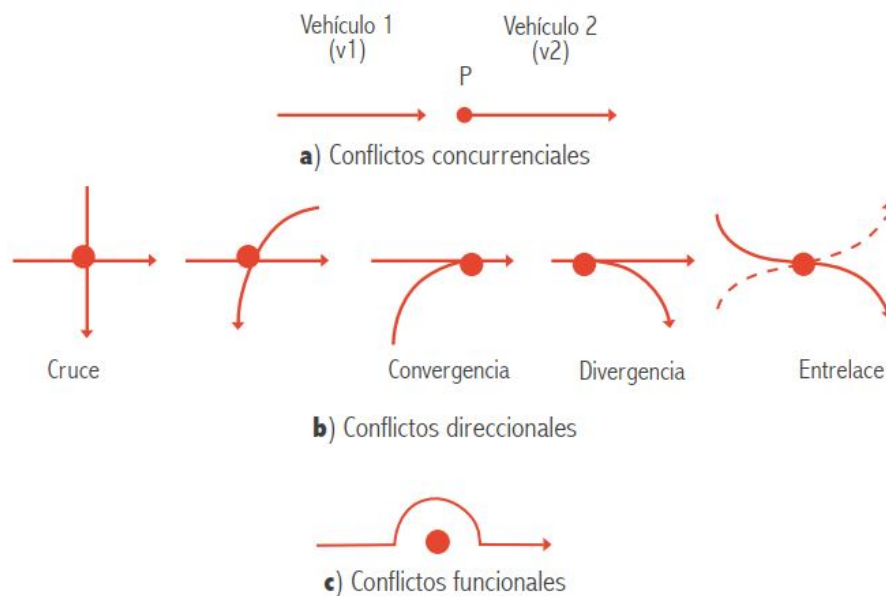
2.3.14.3 Conflictos funcionales

Estos conflictos son aquellos que se presentan en un mismo lugar de un terminal ya sea formal o informal, como se aprecia en la figura donde el vehículo 1 desea circular sin

embargo el vehículo 2 desea detenerse. Las soluciones a estos casos son parecidas a los conflictos concurrenciales (Fernández,2011).

De todas a soluciones que se han podido observar la peor es el accidente puesto que conlleva efectos trágicos. Las otras soluciones traen consigo efectos como demoras, detenciones y colas, sin llegar a ser catastróficos. Estos conflictos requieren una buena regulación eficiente y segura como consecuencia del desarrollo de un profundo estudio de conflictos determinándose las causas.

Figura 1: Clasificación de los conflictos de tráfico



fuentes: Fernández (2011)

2.3.15 Intersecciones

Se define a las intersecciones a aquellas áreas donde se cruzan dos o mas vías, normalmente las intersecciones son aquellas áreas que definen la capacidad de las vías puesto en ellas se deben dar pasos alternados a movimientos conflictivos con la finalidad de dar fluidez al movimiento vehicular, lo que significa que se tiene una menor disponibilidad de tiempo que en tramos rectos o en arco (Bull, 2003).

Para dar solución a los conflictos en esta área común, unos vehículos deben dar paso de forma permanente o de forma alternada a través de semáforos; por ello, una intersección es el lugar la circulación en total o parcialmente interrumpida (Fernández, 2011). Por ello es que las intersecciones son las que se congestionan primero, llegando a ser consideradas cuellos de botella, ahí radica la importancia de las intervenciones

sobre las intersecciones, puesto que estas tienen una gran relevancia por el potencial de beneficios que brindan para garantizar la fluidez del tránsito (Bull, 2003).

2.3.15.1 Tipos de intersecciones

Dentro de la innumerable cantidad de intersecciones que supone dicho conjunto, es posible definir una tipología que nos permitirá clasificar la mayor cantidad de los casos reales existentes, (Ministerio de planificación y cooperación [MIDEPLAN], 1998). Las cuales son:

Intersecciones en T o Y

Está conformada por ramas de diversa importancia, que por lo general lo conforman en un numero de tres.

Intersecciones en cruz o cruces

Se caracterizan por tener una geometría de cruz y está conformado por cuatro ramas.

Intersecciones múltiples

Son aquellas compuestas por más de cuatro ramas, por lo general este tipo de intersecciones constituyen el caso más complicado de tratar.

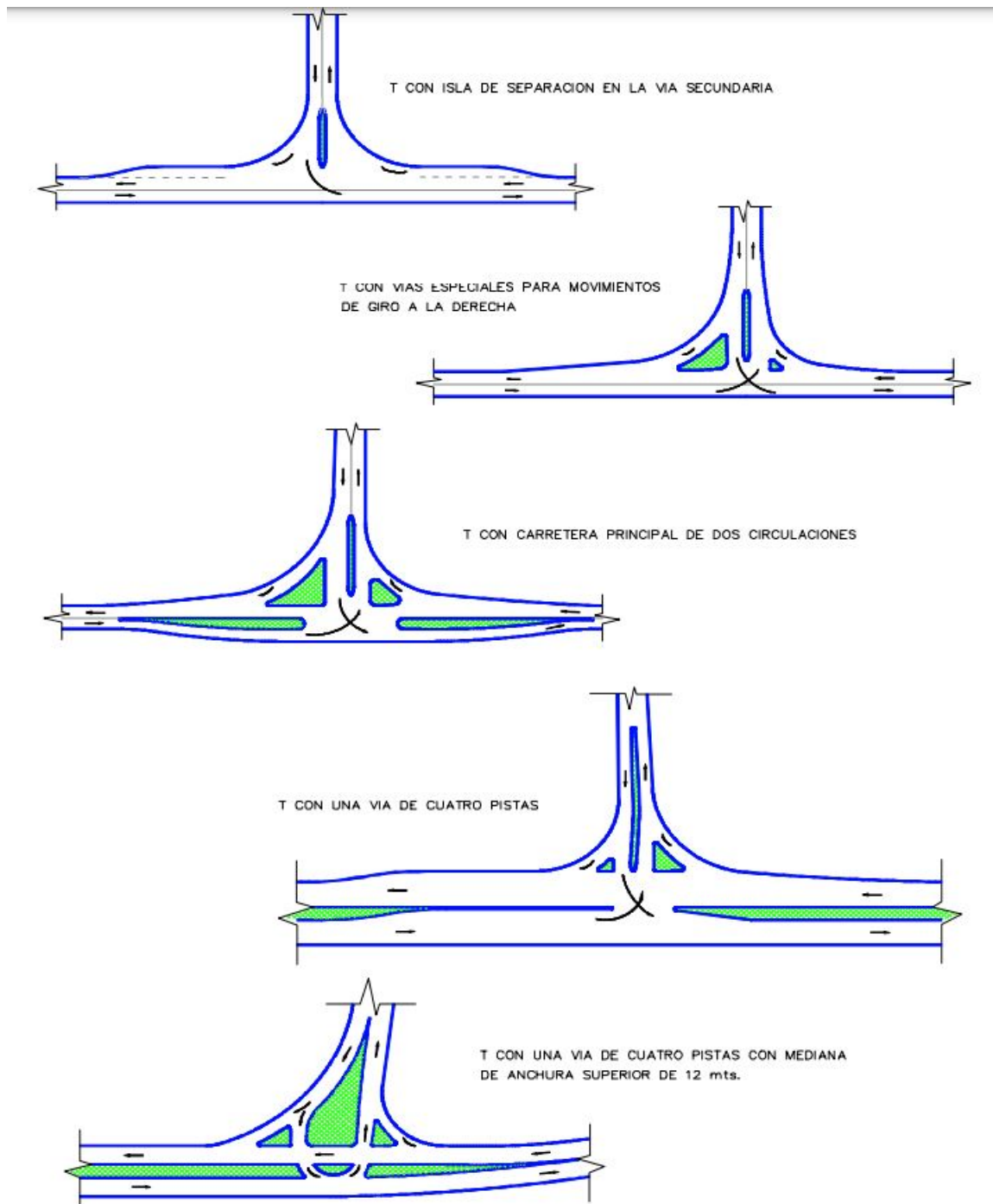
Rotondas

Estas soluciones contemplan el hecho de empalmar todas las ramas que intersecan por medio de un anillo circular, elíptico o similar por donde los vehículos giran hasta llegar a la rama de salida. Casos particulares son las mini rotondas, donde la isla central es reducida hasta llegar a medir menos de cinco metros. En el grafico correspondiente se muestra una experiencia donde una mini rotonda aumenta su capacidad al reducir la isla y demarcar sus accesos(Bull, 2003).

La solución ofrece algunas ventajas si se dan simultáneamente las siguientes condiciones (MIDEPLAN, 1998):

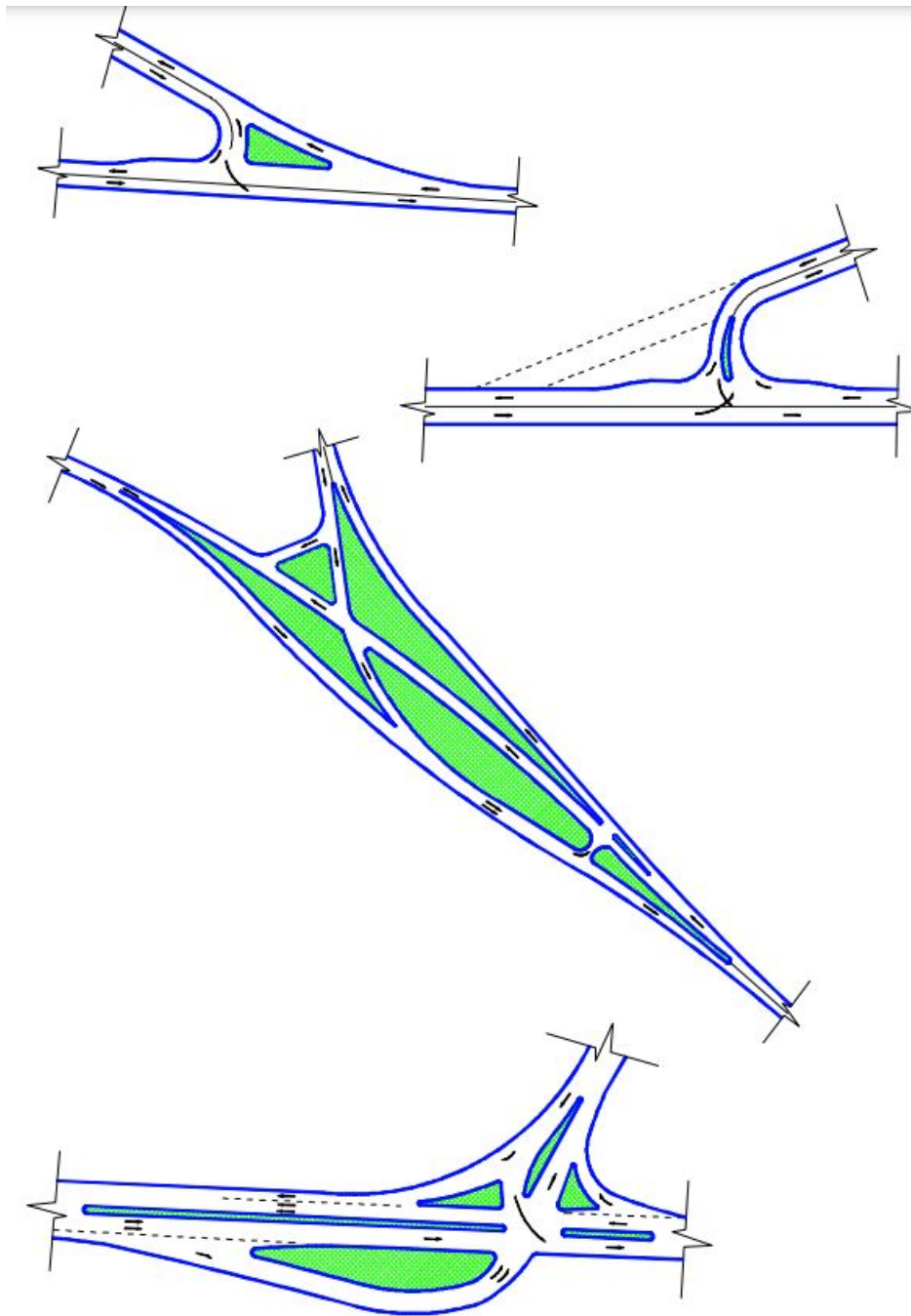
- Intersecciones con cinco o mas ramales con un volumen similar.
- Giros importantes, que llegan a superar los movimientos de continúan recto.
- Áreas disponibles extensas.
- Poco movimiento peatonal.
- Distancias entre ramas consecutivas con longitud suficiente que permita el trenzado.

Figura 2: Intersecciones en "T"



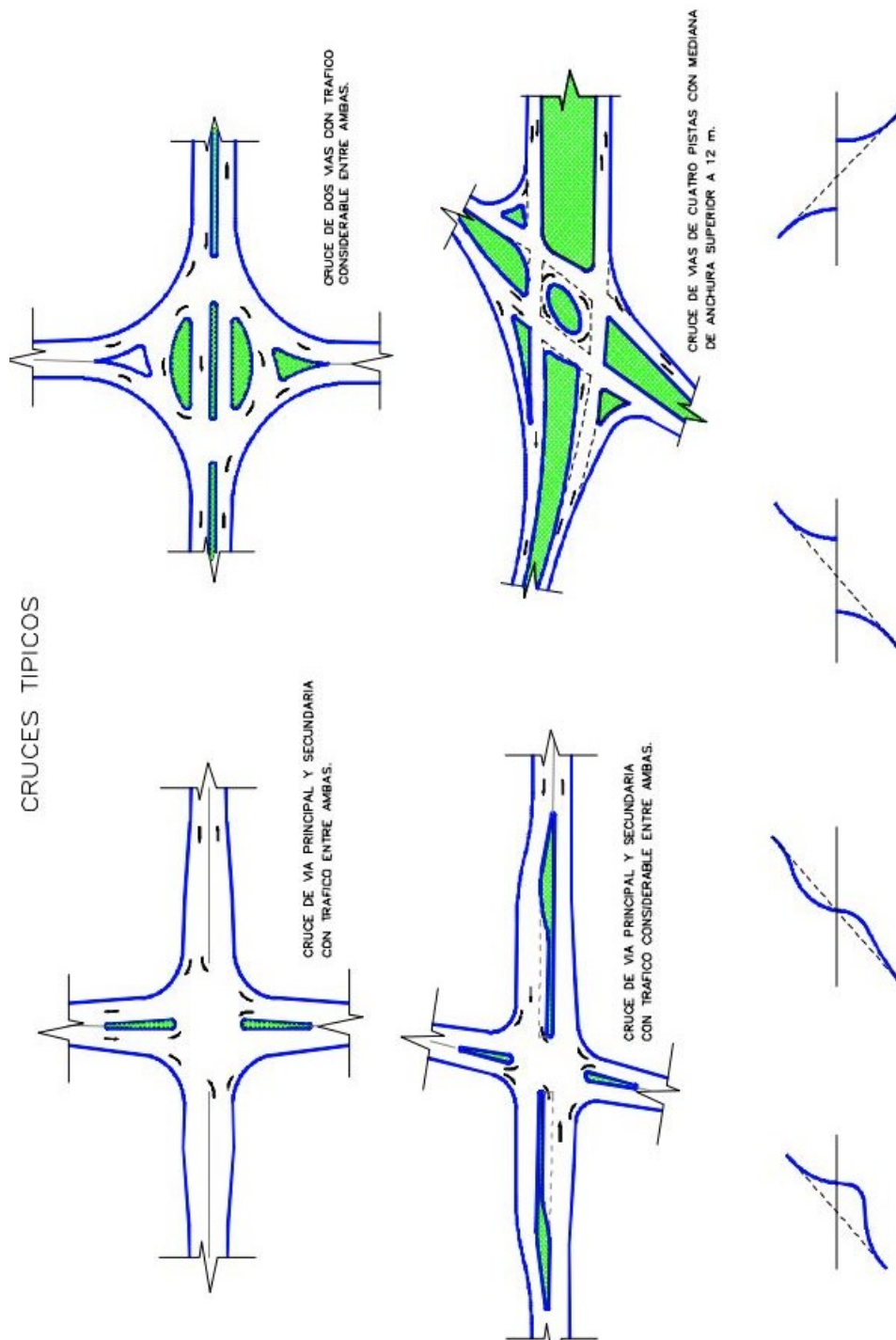
fuentes: MIDEPLAN (1998)

Figura 3: Intersecciones en "Y"



fuentes: MIDEPLAN (1998)

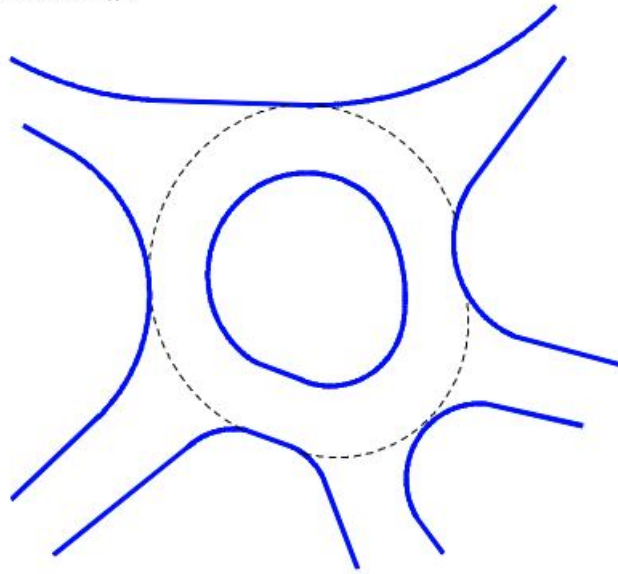
Figura 4: Intersecciones en cruz



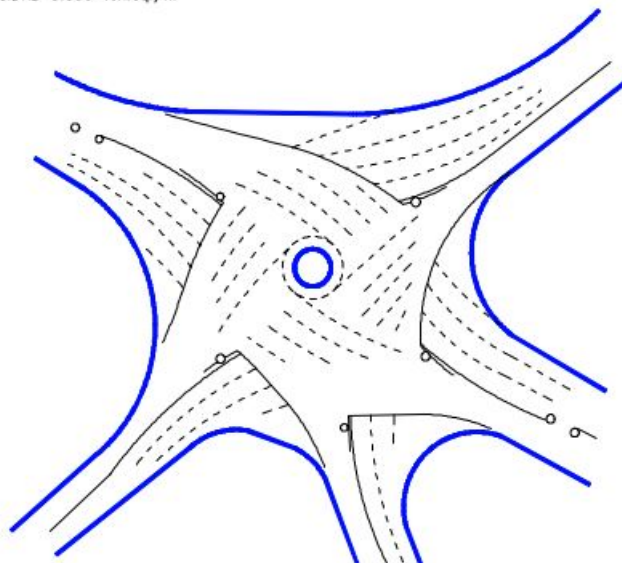
fuentes: MIDEPLAN (1998)

Figura 5: Rotondas y min rotondas

ANTES: CAPACIDAD 4.300 veh.eq./h.



DESPUES: CAPACIDAD 5.300 veh.eq./h.



fuentes: MIDEPLAN (1998)

2.3.16 Semáforos

La luz es considerada el medio más eficaz para transmitir señales, por el fuerte impacto que genera en el ojo humano y por su visibilidad en condiciones oscuras. Por ello es una de las señales de mayor predominancia en los núcleos urbanos. Por ende, la señal luminosa por excelencia es el semáforo, definido como el dispositivo electromecánico

de funcionamiento automático que opera en secuencia continúa impartiendo órdenes a los usuarios mediante un código de luces de diversos colores. La función principal de los semáforos es eliminar en lo posible los conflictos en las intersecciones (Dextre y Tabasso, 2010). Permitiendo el paso alternadamente a las corrientes de tránsito que cruzan una intersección permitiendo su uso ordenado y seguro (Tapia y Veizaga, 2006).

Cabe aclarar también que los semáforos son utilizados para ordenar la circulación peatonal, con inclusión de fases especiales para estos usuarios, en algunos casos la tecnología permite al peatón accionar el semáforo y en ciudades como Londres permite el que los botones más altos sean accionados por los jinetes (Dextre y Tabasso, 2010).

Cuando hay muchos vehículos en las vías, la congestión del tráfico se convierte en un problema grave. A medida que aumenta el tráfico rodado, los semáforos tradicionales no pueden manejar la cola de vehículos que esperan ser atendidos en las intersecciones. En los mecanismos tradicionales se utilizan mecanismos de iluminación semafórica que cambian de acuerdo a un intervalo preestablecido, sin embargo, la existencia de semáforos inteligentes detecta la presencia, estiman el nivel de tráfico y dan una respuesta, los sistemas de tráfico inteligente están diseñados para evitar que los vehículos esperen el cambio de señal cuando la intersección está libre para su desplazamiento (Wided, 2023).

2.3.16.1 Tipos de semáforos

Se menciona tres tipos de semáforos (Tapia y Veizaga, 2006):

- Semáforos de tiempo fijo

Este tipo de semáforos son utilizados en aquellas intersecciones donde el flujo vehicular es relativamente estable, mencionar también que este tipo de semáforo es el más utilizado en el área urbana (Tapia y Veizaga, 2006).

Este tipo de semáforos son utilizados mayormente en vías donde es necesario la coordinación y lo desarrollan por más precisión a comparación con los semáforos accionados por el tránsito, además sus costos son inferiores a equipos accionados por el tránsito (Tapia y Veizaga, 2006).

- Semáforos accionados por el tráfico

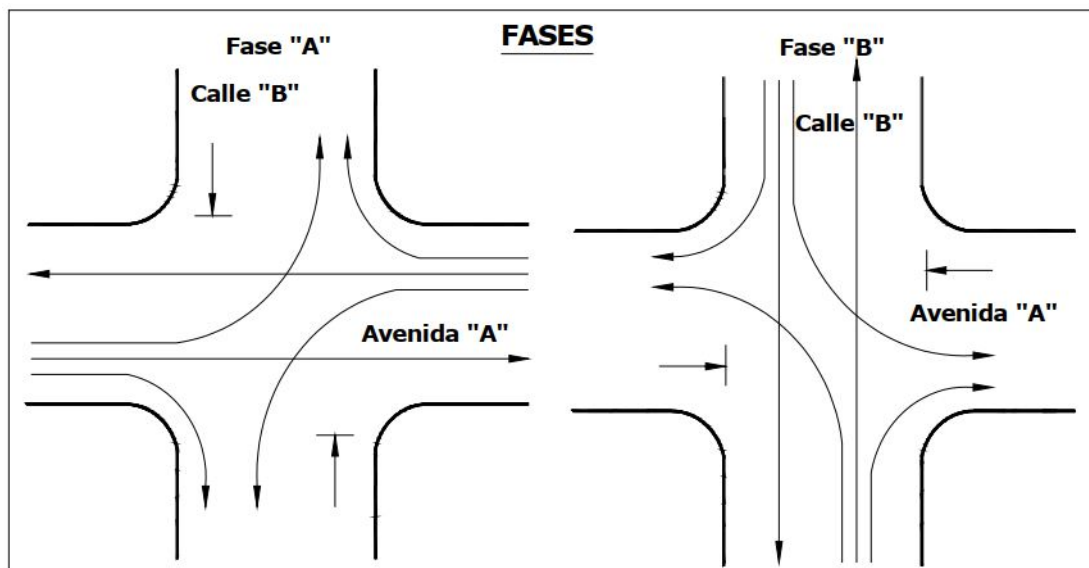
Este tipo de semáforo reciben información del flujo vehicular que llegan por los accesos por medio de detectores instalados en los accesos, el semáforo puede regularse y evaluar el cambio de fase. Se programan límites máximos y mínimos de cada fase para evitar

generar mayor espera, estas se adaptan automáticamente obedeciendo a las variantes de tráfico detectado (Tapia y Veizaga, 2006).

- Semáforos con control centralizado

Ese tipo de semáforos recibe órdenes de un ordenador central, que se encarga de controlar los semáforos. La central recibe información del tráfico a través de detectores colocados en zonas estratégicas, estos semáforos son generalmente utilizados en grandes zonas urbanas (Tapia y Veizaga, 2006).

Figura 6: Fases en una intersección con semáforo



fuentes: Tapia y Veizaga (2006)

2.3.16.2 Ciclo del semáforo

El ciclo del semáforo es el tiempo requerido para que el semáforo realice una secuencia completa de las señales que debe indicar, es decir, desde que inicia una fase hasta que vuelve a empezar. Los tiempos en que se indican los siguientes colores: verde, ámbar y rojo (Delgadillo, 2020).

$$c = \sum A_i + \sum V_i + \sum TR_i$$

Donde:

c : Ciclo de semáforo

A_i : tiempo de ámbar de la fase i

V_i : Tiempo de verde de la fase i

TR_i : Periodo todo rojo i

2.3.17 Calibración del modelo

Se conoce como calibración a todo proceso mediante el cual los parámetros que caracterizan el flujo vehicular del modelo simulado y que afectan el comportamiento del flujo creado son ajustados de tal manera que se logre una representación adecuada de las condiciones reales del flujo vehicular (Siddharth y Gitakrishnan 2013). Teniendo, así como objetivo mejorar la capacidad del modelo con el fin de reproducir con mayor exactitud la densidad del tráfico (FHWA, 2004).

A pesar de la versatilidad de la micro simulación, un aspecto fundamental es la calibración del modelo, que consiste en ajustar los valores en parámetros de eficiencia para generar un modelo valido que sea capaz de replicar las condiciones observadas a partir de datos de campo (Montenegro y Lozano, 2013).

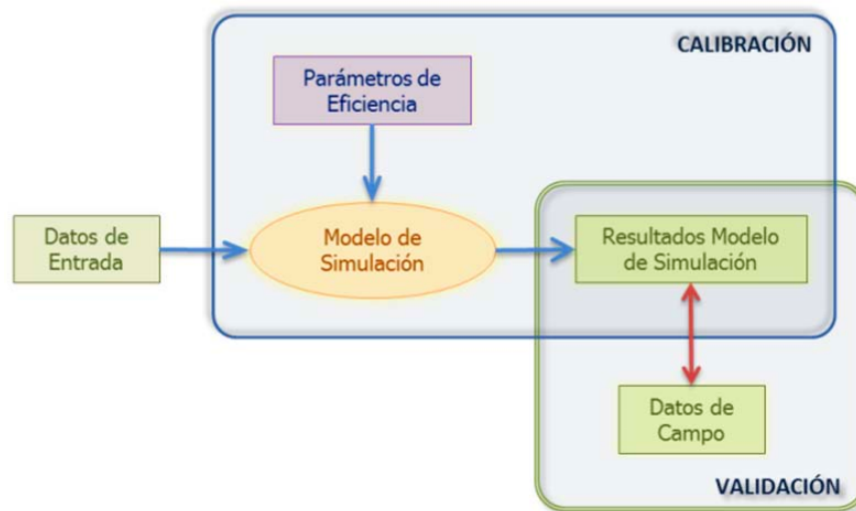
Los modelos de simulación microscópica deben calibrarse para representar condiciones de tráfico locales realistas. Los métodos de calibración tradicionales se llevan a cabo buscando el conjunto de parámetros del modelo que minimice las discrepancias de ciertas métricas macroscópicas entre los resultados de la simulación y las observaciones de campo (Lu et al., 2016).

2.3.18 Validación del modelo

La validación el proceso donde el modelo calibrado se evalúa con un conjunto de nuevos datos de campo, incluyéndose entre ellos los volúmenes de entrada, la composición del tráfico y otros datos que caracterizan el flujo vehicular, se considera que el modelo esta validado si se obtienen valores similares entre el software Vissim y los resultados que se extraen de campo (Siddharth y Gitakrishnan 2013).

La validación de los resultados consiste en comprobar las predicciones del modelo, posterior a que los parámetros hayan sido fijados y que las condiciones que reflejan sean cercanas a la realidad observada. Se debe tener en cuenta que los datos usados para la calibración y validación del modelo no deben ser los mismos. Roca (como se citó en Montenegro y Lozano, 2013).

Figura 7: tendencias de modelado



fuentes: Roca (como se citó en Montenegro y Lozano, 2013)

2.3.19 Número de corridas

El número de corridas necesarias se debe realizar a partir de un proceso iterativo. Será necesario un número preliminar de corridas para realizar la primera estimación de la desviación estándar en los resultados. Se recomienda ejecutar al menos 15 corridas con diferente número de semilla (Cabrera, 2015).

Cuando se ha completado todas las corridas, calcula nuevamente la desviación estándar y el número de corridas necesario que debe tener el modelo. Si este número de corridas calculado es menor o igual al número de corridas efectuado, se da por completado el análisis, de lo contrario, se llevan a cabo corridas adicionales hasta cumplir con el número de corridas necesario (FHWA, 2004). Para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$N = \left(t_{0,025,N-1} * \frac{S}{e} \right)^2$$

Donde:

e : Margen de error

$t_{0,025,N-1}$: t de student para un error de 2.5 % por cara, con $n - 1$ grados de libertad

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

N : Número necesario de corridas



MÉTODO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Enfoque

La presente investigación está basada en un enfoque cuantitativo porque utiliza la recolección de datos de manera numérica. Asimismo, se realiza el modelado obteniendo como resultado una base de datos, los cuales son medibles en las unidades que le corresponden.

3.2 Alcance

El alcance es descriptivo puesto que antes de iniciar el análisis se describen las condiciones iniciales de tráfico en la zona de estudio proponiendo así nuevos sistemas de transporte que son evaluados en relación a la variabilidad que producen en los siguientes parámetros: longitudes de cola, velocidad promedio y demora.

3.3 Diseño de investigación

El diseño de investigación es no experimental de tipo transversal, puesto que se toman los datos de campo en un instante de tiempo, los cuales son simulados, calibrados y validados, cuya influencia de las propuestas de mejora en las características del flujo vehicular se evalúan en la simulación y es medida a través de diversos parámetros.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población.

La población está compuesta por los flujos vehiculares que confluyen en la intersección de estudio conformado por los diferentes vehículos que interactúan en cualquier horario.

3.4.2 Muestra.

Se realiza la evaluación de las unidades vehiculares que conforman los flujos de tránsito que interactúan en la intersección de estudio, se evalúa microscópicamente el comportamiento de cada unidad vehicular para verificar su interacción y comportamiento para después ser llevado a una simulación; en esta investigación se realiza dicho análisis entre los horarios de mayor congestión vehicular en la zona, considerando así el periodo comprendido entre las 8:00 a.m. y 9:00 a.m. como intervalo horario en el que se observa mayor flujo vehicular en la intersección, por ende la cantidad de vehículos que en dicho horario son simulados y evaluados con las propuestas de mejora.

3.5 Hipótesis

3.5.1 Hipótesis general

Si se realiza la micro simulación entonces se podrá evaluar la influencia de las propuestas en las características del flujo vehicular de las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.

3.5.2 Hipótesis específicas

El aforo vehicular en campo nos permitirá evaluar y determinar el volumen horario de máxima demanda donde se presenta mayor congestión vehicular en la intersección de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.

La micro simulación por medio de la calibración y validación nos permitirá tener un modelo adecuado que refleje las principales características que definen el flujo vehicular en las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.

La micro simulación de las propuestas de mejora nos permitirá identificar las características del flujo vehicular en dicha situación en la intersección de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.

3.6 Operacionalización de variables, definición conceptual y operacional

Tabla 1: Operacionalización de variables

Tipo de variable	Variable de Caracterización	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Variable	Flujo vehicular en las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento	Longitud de cola (m)	-Longitud de vehículos en espera antes de cruzar la intersección medida en metros.	Fichas de registros de campo, video grabación y microsimulación.
		Demora promedio (s)	- Tiempo que pasa un vehículo entre el final de la cola y cruzar la intersección medido en segundos.	
		Velocidad promedio (m/s)	- Velocidad en m/s con la que se deslizan los vehículos desde el final de cola hasta cruzar la intersección	

fuentes: propia

3.6.1 Variable

Es aquella variable que es estudiada antes y después de la aplicación de las propuestas de mejora las cuales están conformadas por: la longitud de cola, demora promedio y velocidad promedio.

3.7 Técnicas e instrumentos

3.7.1 Técnica

La técnica de recolección de datos es directa mediante un análisis cuantitativo, basado en registrar los datos preliminares de la situación actual con la cantidad de vehículos que interactúan en la intersección, las cuales serán simuladas con la ayuda del programa VISSIM donde se evaluará su comportamiento en base a las diferentes propuestas de mejora. Para la calibración y validación del modelo se ha utilizado el programa *statkey*.

3.7.2 Instrumentos

Los datos observados en campo son registrados a través de video grabaciones y fichas de registros de campo para determinar el número de vehículos que interactúan y la característica de las mismas para ser posteriormente simuladas en el programa. En cuanto a la medición de las velocidades promedio evaluadas, estas se encuentran bajo el decreto supremo N° 025-2021-MTC, donde establece los límites máximos de velocidad en zonas comerciales, escolares y hospitales de 30km/h y zonas residenciales de 50km/h.

3.8 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información

Se utiliza la técnica estadística de T de Student en concordancia con la sugerencia de la Federal Highway Administration (FHWA) con el fin de obtener el mínimo número de corridas en el programa de simulación.

El proceso de calibración y validación del modelo se realiza a través de la prueba no paramétrica de hipótesis nula de diferencia de medias, con el programa de Statkey-Randomization Test.

El desarrollo del modelo con la implementación de las propuestas de mejora y la comparación de resultados en referencia al estado actual se realiza a través de la prueba no paramétrica de hipótesis alternativa Right Tail, para realizar la verificación de la variación de los resultados obtenidos.

3.9 Desarrollo del trabajo de tesis

3.9.1 Delimitación del espacio de trabajo

La intersección de estudio compuesto por la vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La cantuta y Vía evitamiento presenta un conglomerado de vehículos, compuestos en las horas pico por vehículos tipo buses interprovinciales y microbuses que en la mayoría de casos hacen uso de paraderos informales para dejar los pasajeros, puesto que esta intersección de estudio se encuentra frente al Terrapuerto de Ayacucho.

Se ha escogido como espacio de estudio el área de intersección de calles frente al terminal terrestre Los Libertadores de América, por las siguientes razones:

- La importancia de la zona; en la actualidad se puede considerar esta intersección como área principal de ingreso y salida de vehículos y/o peatones al Terrapuerto.
- La vía Mollepata es el principal ingreso al lugar del mismo nombre, por ello, se considera este espacio como la vía principal de ingreso y salida de vehículos menores y mayores que se dirigen hacia y/o desde Mollepata.
- Es la intersección principal de ingreso y salida de la vía evitamiento, donde se observa que principalmente transitan vehículos mayores y son los que generan las interferencias en el flujo vehicular.
- Se observó que existe gran presencia de peatones que cruzan las calles de la intersección en dirección hacia y desde el Terrapuerto, en muchos casos exponiendo su integridad física y siendo expuestos a sufrir accidentes.
- Al ser esta intersección el espacio de ingreso principal hacia el Terrapuerto, se observa la gran cantidad de peatones cruzando las diferentes calles adyacentes al Terrapuerto, observándose también la inexistencia de sistemas que permitan mejorar la seguridad peatonal, puesto que actualmente los peatones caminan entre los vehículos estacionados o en circulación, poniendo en peligro su integridad.

Por lo mencionado anteriormente, se ha podido observar que los factores determinantes para la delimitación del espacio de trabajo son: la seguridad peatonal y el flujo vehicular existente, por ser esta una intersección que forma parte del ingreso principal al Terrapuerto, a la Zona de Mollepata y la Vía Evitamiento.

3.9.1.1 Zona de estudio

La zona de estudio es la intersección frente al terminal terrestre Wari de la ciudad de Ayacucho, dicha intersección está conformado por la Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento.

Figura 8: Zona de estudio, intersección frente al terminal terrestre Wari



fuentes: Elaboración Propia

Actualmente la intersección a ser estudiada es considerada un área compuesta por flujos vehiculares y peatonales importantes, puesto que, esta intersección es la zona de ingreso vehicular y peatonal al terminal terrestre, a la zona denominada Mollepata y la vía evitamiento, siendo esta ultima la vía a la cual ingresan vehículos pesados como camiones y/o tráileres.

La delimitación del área se ve en la figura anterior, donde se muestra la intersección de estudio cuya interacción vehicular y peatonal es evaluada por medio del modelamiento en el programa VISSIM.

3.9.2 Procesamiento de datos de campo

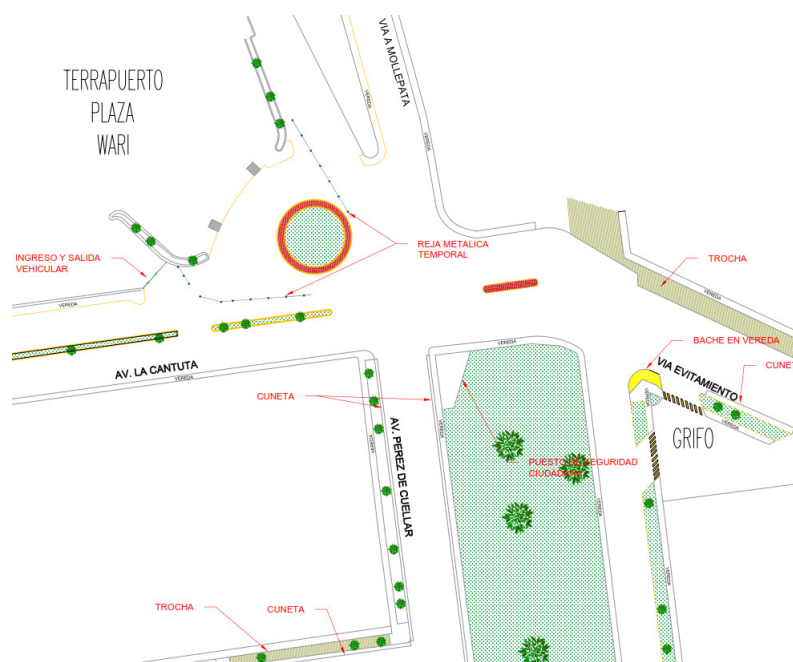
La recolección de datos se realiza por medio de video grabaciones con dron, desde una altura de 80 m sobre el nivel de la intersección en estudio.

3.9.2.1 Geometría de la intersección

Para modelar el estado actual del flujo vehicular y peatonal de la intersección de estudio, se realiza la medición geométrica de la misma, la cual esta definida por la calzada, veredas y radios de giro; dichas características se obtienen a partir de la exportación de la ortofoto rectificada al programa de Autocad, donde se dibujan las líneas que definen la sección vial y sus características, estos valores son corroborados por medio del registro y toma de datos con cinta métrica.

El plano en AutoCad es la base de exportación al programa de micro simulación Vissim Viswalk donde se dibuja el área de estudio a ser simulado.

Figura 9: Descripción de la geometría de la intersección de estudio



fuelle: Elaboración Propia

3.9.2.2 Composición vehicular

Previo al análisis de los flujos vehiculares se realiza la identificación y clasificación de vehículos que los componen, de acuerdo a su naturaleza, como se detalla a continuación:

- **Moto**

A pesar de que las motos no están consideradas en el formato de clasificación vehicular para el estudio de tráfico proporcionado por el MTC, en este estudio se cuantifica, puesto que, las motos también forman parte importante en la composición de los flujos vehiculares.

Figura 10: Tipo de vehículo (moto)

fuentes: Elaboración Propia

- **Mototaxi**

Los mototaxis también forman parte de este estudio, ya que, en numero representan un gran numero y por lo general son los vehículos que realizan una mayor cantidad de paradas en la intersección, por ende, conforman en porcentajes considerables los diferentes flujos.

Figura 11: Tipo de vehículo (mototaxi)

fuentes: Elaboración Propia

- **Autos**

En base al formato de clasificación vehicular del estudio de tráfico proporcionado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), este grupo está compuesto por autos, station wagon, y camionetas (pick up, panel, rural).

Figura 12: Tipo de vehículo (Tipo de vehículo (camioneta))



fuentes: Elaboración Propia

Figura 13: Tipo de vehículo (Tipo de vehículo (auto))



fuentes: Elaboración Propia

- **Couster**

Este grupo está compuesto por microbuses, que son vehículos que se encargan del transporte de personas al interior de la ciudad de Huamanga y alrededores.

Figura 14: Tipo de vehículo (Tipo de vehículo (microbús))



fuentes: Elaboración Propia

- **Bus interprovincial**

Este grupo está compuesto por Buses (2E y $\geq 3E$), compuestos principalmente por buses interprovinciales que se encargan del transporte de pasajeros desde diferentes ciudades con destino desde y hacia la ciudad de Ayacucho.

Figura 15: Tipo de vehículo (bus interprovincial)



fuelle: Elaboración Propia

- **Camiones**

Está compuesto por camiones (2E, 3E, 4E), semi tráiler (2S1/2S2, 2S3, 3S1/3S2, $\geq 3S3$) y tráiler (2T2, 2T3, 3T2, $\geq 3T3$).

Figura 16: Tipo de vehículo (semi tráiler)



fuelle: Elaboración Propia

3.9.2.3 Flujogramas vehiculares

Una vez definida la composición vehicular, se definen las rutas que recorren los vehículos tomando en cuenta los puntos de inicio y fin, siendo estas clasificadas como: giro hacia la derecha, de frente, giro hacia la izquierda o giro en U dependiendo de la ruta que finalmente recorre el vehículo.

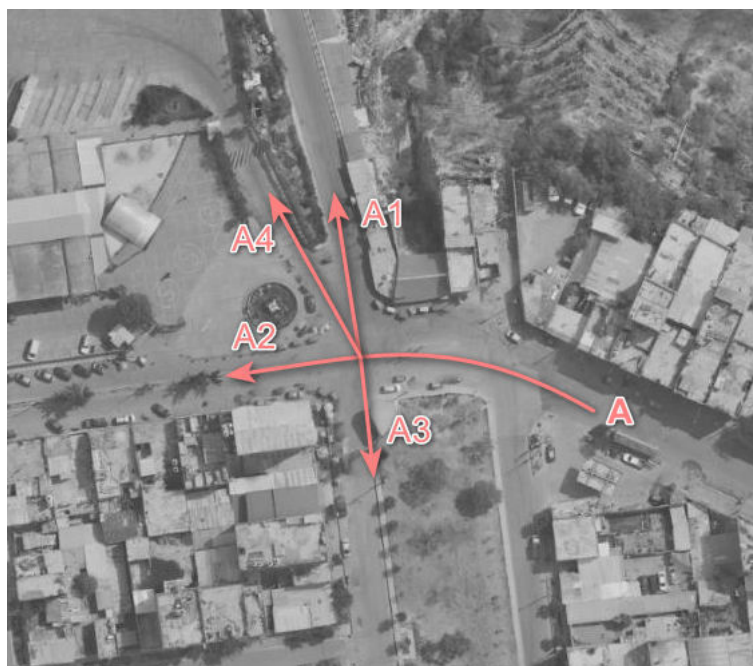
Los flujos vehiculares identificados son clasificados en función al origen de su recorrido, clasificando así a los vehículos que ingresan a la intersección de estudio por la vía

evitamiento (flujo vehicular A), vía a Mollepata (flujo vehicular B), Av. La cantuta (flujo vehicular C) y Av. Pérez de Cuellar (flujo vehicular D), los flujogramas de inicio y fin del recorrido identificado, se detallan de la siguiente manera:

• FLUJO VEHICULAR (A)

Está conformada por los vehículos que ingresan a la intersección por la vía evitamiento y terminan su recorrido con un giro a la derecha (A1), de frente (A2), giro a la izquierda (A3) o ingreso al terminal Wari (A4).

Figura 17: Descripción gráfica del flujo vehicular (A)

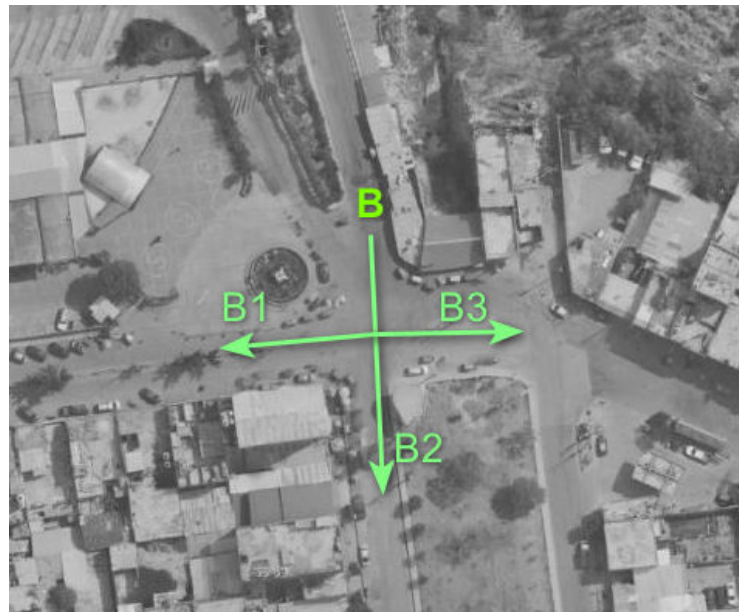


fuentes: Elaboración Propia

• FLUJO VEHICULAR (B)

Está conformada por los vehículos que ingresan a la zona de intersección por la vía a Mollepata y continúan su recorrido con un giro a la derecha (B1), de frente (B2) o giro a la izquierda (B3).

Figura 18: Descripción gráfica del flujo vehicular (B)

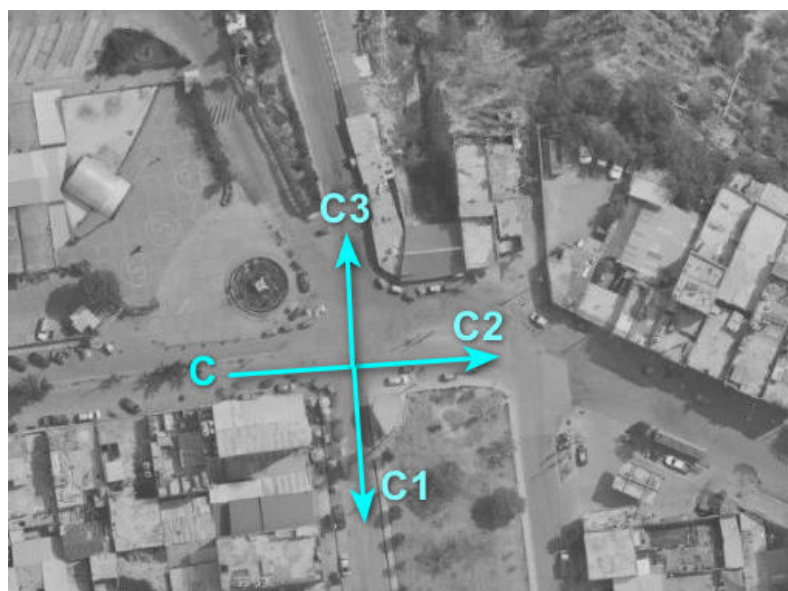


fuentes: Elaboración Propia

• FLUJO VEHICULAR (C)

Conformada por los vehículos que ingresan a la intersección de estudio por la Av. La cantuta y terminan su recorrido con un giro a la derecha (C1), de frente (C2) o un giro a la izquierda (C3).

Figura 19: Descripción gráfica del flujo vehicular (C)

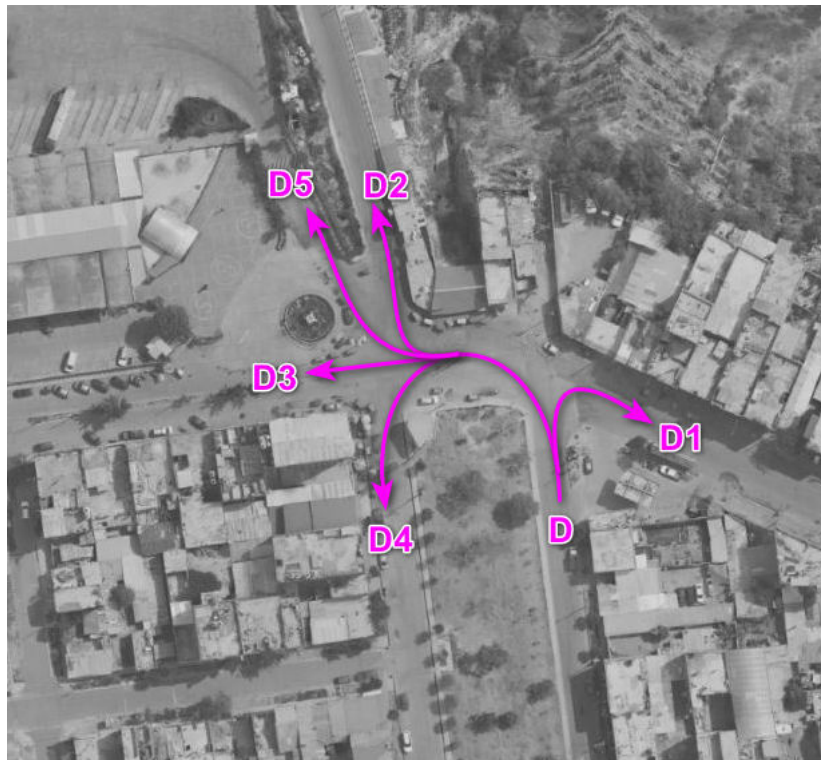


fuentes: Elaboración Propia

• FLUJO VEHICULAR (D)

Este flujo está conformado por los vehículos que ingresan a la intersección de estudio por la Av. Pérez de Cuellar y finalizan su recorrido con un giro a la derecha (D1), de frente (D2), giro a la izquierda (D3), giro en U (D4) o ingresan al terminal Wari (D5).

Figura 20: Descripción gráfica del flujo vehicular (D)



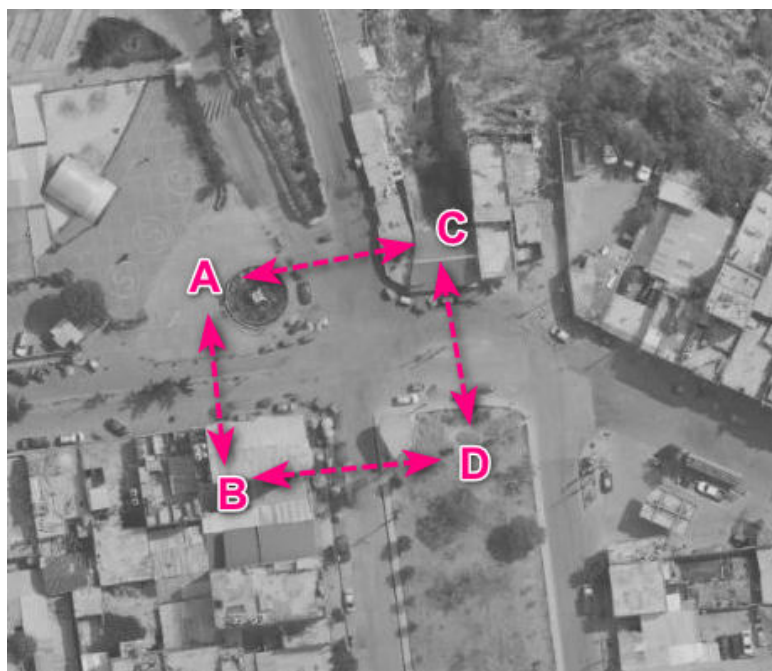
fuentes: Elaboración Propia

Se realiza el conteo vehicular durante el día, para identificar el horario crítico donde se observe mayor interacción de vehículos, por ende, posterior a la identificación de flujos vehiculares, se procede con el aforo de los vehículos que circulan por la intersección de estudio. El aforo vehicular para la simulación se realiza en intervalos de 15 minutos, durante 1 hora, que es el intervalo horario donde se observa una mayor cantidad de interacción de vehículos y donde se produce la mayor cantidad de interferencias entre vehículos y peatones.

3.9.2.4 Flujogramas peatonales

Al realizar el conteo peatonal se toman en cuenta 8 puntos de origen y destino a partir de las cuales se realizan los conteos con las videograbaciones en intervalos de 15 minutos durante una hora, los conteos peatonales se realizan tomando en cuenta los puntos de origen y destino de acuerdo al siguiente flujograma peatonal:

Figura 21: Descripción grafica del flujograma peatonal



fuentes: Elaboración Propia

En la presente intersección de estudio no se observa la existencia de semáforos o mecanismos de control vehicular y/o peatonal que optimice o mejore la interacción entre vehículos y peatones, identificándose de esta manera la inseguridad peatonal existente, puesto que, por la falta de semáforos que controlen el flujo continuo de vehículos para dar pase al tránsito peatonal, muchos de ellos cruzan las avenidas en condiciones inseguras, arriesgando su integridad física.

3.9.3 Recolección de datos de campo

3.9.3.1 Geometría de la intersección

La geometría de la intersección vista en planta se asemeja a la de una cruz +, con ligeras variaciones en la dirección de la vía evitamiento. Las principales características se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2: Datos tomados en campo de las características de la geometría de la intersección

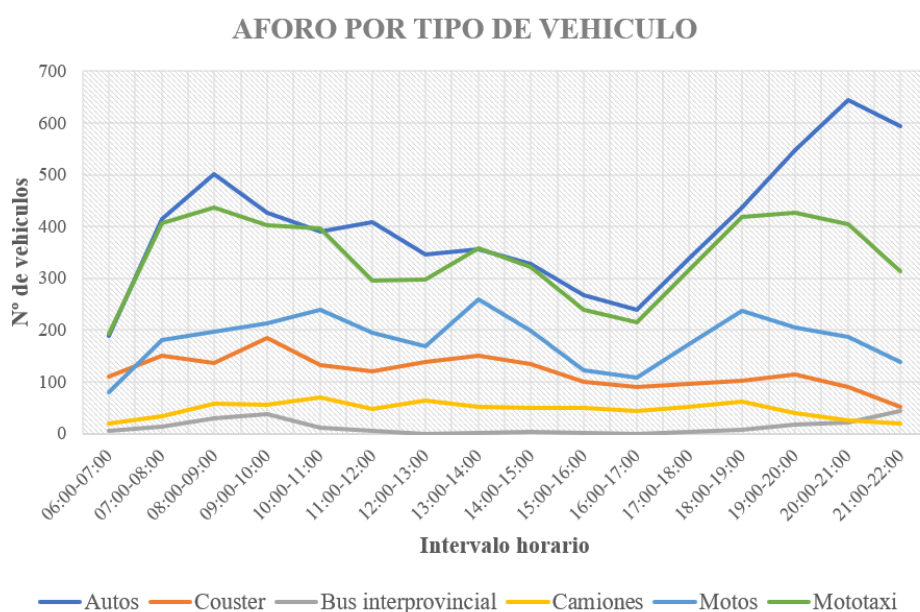
	Av. Pérez de Cuellar	Av. La Cantuta	Vía Evitamiento	Vía Mollepata
Nº de carriles	2	2	2	2
Ancho de carriles (m)	3.75	3.6	3	3.65
Ancho de vereda (m)	1.2	1	1.3	1.2
¿Presenta ciclovía?	No	No	No	No
¿Presenta semáforo?	No	No	No	No

fuentes: Elaboración propia

3.9.3.2 Flujo vehicular

Se realiza el conteo de vehículos que ingresan a la intersección de estudio durante el día, iniciándose dicho conteo a las 6:00 a.m. y terminando el conteo a las 10:00 p.m.

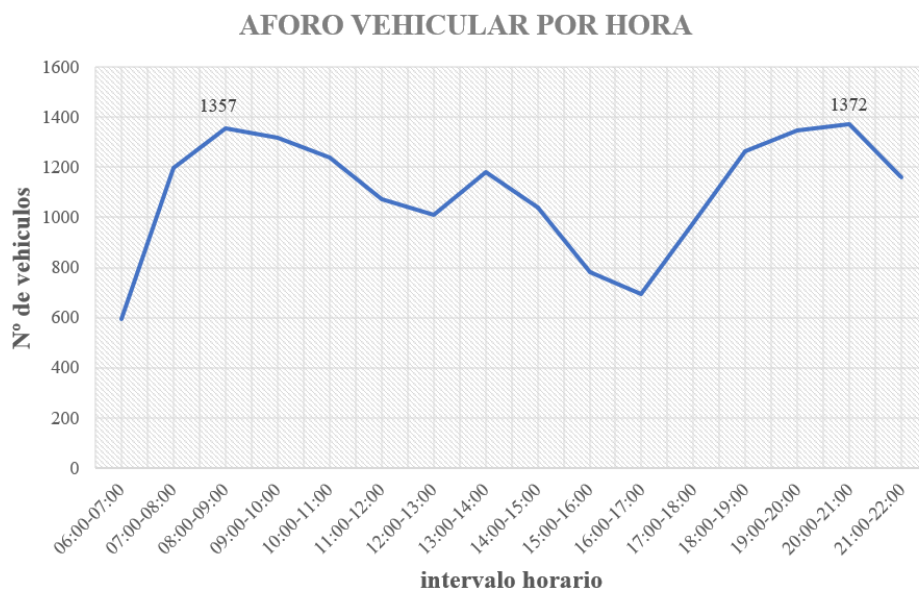
Se identifica el tipo de vehículo que circula por la intersección mencionada, clasificado por cada hora, como se detalla a continuación:

Figura 22: Aforo por tipo de vehículo


fuentes: Elaboración Propia

Posterior al conteo vehicular se identificó los horarios con mayor cantidad de vehículos en la mañana entre las 07:00 a.m. hasta las 10:00 a.m. y en la tarde en el horario entre las 06:00 p.m. a 09:00 p.m. como se detalla en siguiente gráfico:

Figura 23: Aforo vehicular por hora, contabilizado en la intersección de estudio



fuentes: Elaboración Propia

Los horarios de mayor aforo vehicular se encuentran en el intervalo horario en la mañana desde las 08:00 a.m. a 09:00 a.m. y en la tarde entre las 08:00 p.m. y 09:00 p.m., para proceder con la micro simulación se elige el horario critico de la mañana, puesto que esta representa el horario donde mayor número de personas se dirigen a desempeñar sus labores diarias, ya sean por motivos de estudios o trabajo, por ende, se realizó el conteo vehicular en todas las avenidas, para cada tipo de vehículo que forma parte del flujo vehicular en las distintas direcciones y calles que conforman la intersección. El aforo se realizó en cuatro intervalos de 15 minutos por un tiempo total de una hora.

A continuación, se detalla la distribución por cada tipo de vehículo de acuerdo a los accesos (puntos de origen) y los puntos de destino de los mismos, la cantidad de vehículos contabilizados que realizan un determinado recorrido son alimentados al programa de micro simulación, de acuerdo al siguiente detalle:

Tabla 3: Distribución del volumen por tipo de vehículo que ingresan por Vía Evitamiento (acceso A)

Aforo Vehicular	Acceso A				TOTAL
	Giro Derecha	De Frente	Giro Izquierda	Giro en U	
Autos	15	16	57	3	91
Couster	5	0	21	0	27
Bus interprovincial	0	0	8	0	8
Camiones	3	0	27	0	29
Motos	11	8	19	0	37
Mototaxi	23	35	63	0	120
TOTAL	56	59	195	3	312
ratio	0.18	0.19	0.62	0.01	1.00

fuentes: Datos tomados en campo. Elaboración propia

Tabla 4: Volumen vehicular con acceso por Vía evitamiento (acceso A)

Tipo de Vehículo	Acceso A	
	Cantidad	Ratio
Autos	91	0.29
Couster	27	0.09
Bus interprovincial	8	0.03
Camiones	29	0.09
Motos	37	0.12
Mototaxi	120	0.38
TOTAL	312	1.00

fuentes: Datos tomados en campo. Elaboración propia

Tabla 5: Distribución del volumen por tipo de vehículo que ingresan por Vía Mollepata (acceso B)

Aforo Vehicular	Acceso B				TOTAL
	Giro Derecha	De Frente	Giro Izquierda	Giro en U	
Autos	9	100	40	0	149
Couster	15	47	9	0	71
Bus interprovincial	0	4	0	0	4
Camiones	0	9	5	0	15
Motos	3	41	15	0	59
Mototaxi	13	45	23	3	84
TOTAL	40	247	92	3	381
ratio	0.10	0.65	0.24	0.01	1.00

fuentes: Datos tomados en campo. Elaboración propia

Tabla 6: Volumen vehicular con acceso por Vía Mollepata (acceso B)

Tipo de Vehículo	Acceso B	
	Cantidad	Ratio
Autos	149	0.39
Couster	71	0.19
Bus interprovincial	4	0.01
Camiones	15	0.04
Motos	59	0.15
Mototaxi	84	0.22
TOTAL	381	1.00

fuentes: Datos tomados en campo. Elaboración propia

Tabla 7: Distribución del volumen por tipo de vehículo que ingresan por Av. La Cantuta (acceso C)

Aforo Vehicular	Acceso C				TOTAL
	Giro Derecha	De Frente	Giro Izquierda	Giro en U	
Autos	104	21	8	4	137
Couster	9	4	8	0	21
Bus interprovincial	5	8	0	0	13
Camiones	0	4	0	0	4
Motos	28	4	3	0	35
Mototaxi	59	15	5	3	81
TOTAL	205	56	24	7	292
ratio	0.70	0.19	0.08	0.02	1.00

fuentes: Datos tomados en campo. Elaboración propia

Tabla 8: Volumen vehicular con acceso por Av. La Cantuta (acceso C)

Tipo de Vehículo	Acceso C	
	Cantidad	Ratio
Autos	137	0.47
Couster	21	0.07
Bus interprovincial	13	0.05
Camiones	4	0.01
Motos	35	0.12
Mototaxi	81	0.28
TOTAL	292	1.00

fuentes: Datos tomados en campo. Elaboración propia

Tabla 9: Distribución del volumen por tipo de vehículo que ingresan por Av. Perez de Cuellar (acceso D)

Aforo Vehicular	Acceso D				TOTAL
	Giro Derecha	De Frente	Giro Izquierda	Giro en U	
Autos	45	103	91	77	316
Couster	16	33	7	41	97
Bus interprovincial	0	0	13	0	13
Camiones	21	20	7	0	48
Motos	13	25	31	32	101
Mototaxi	24	75	49	43	191
TOTAL	120	256	197	193	767
ratio	0.16	0.33	0.26	0.25	1.00

fuelle: Datos tomados en campo. Elaboración propia

Tabla 10: volumen vehicular con acceso por Av. Perez de Cuellar (acceso D)

Tipo de Vehiculo	Acceso D	
	Cantidad	Ratio
Autos	316	0.41
Couster	97	0.13
Bus interprovincial	13	0.02
Camiones	48	0.06
Motos	101	0.13
Mototaxi	191	0.25
TOTAL	767	1.00

fuelle: Datos tomados en campo. Elaboración propia

3.9.3.3 Flujos peatonales

Los flujos peatonales son contabilizados de acuerdo a las líneas de recorrido descritas anteriormente, tomando 4 puntos de control (A-B-C-D) estos datos son obtenidos en campo a partir de las mismas video grabaciones con las que se realiza el conteo vehicular.

Tabla 11: Conteo del flujo peatonal en la intersección

Aforo de peatones	Rutas de Viaje							
	A --> B	A --> C	C --> A	C --> D	D --> C	D --> B	B --> D	B --> A
Peatones	136	171	151	30	27	30	27	73

fuelle: Datos tomados en campo. Elaboración propia

Tabla 12: Aforo peatonal en los puntos de control

Aforo de peatones		Total
Zonas de control	A	307
	B	100
	C	181
	D	57

fuentes: Datos tomados en campo. Elaboración propia

3.9.3.4 Datos para calibración del modelo

Posterior a la construcción del modelo, se procede a realizar la calibración, este proceso consiste en la modificación de los parámetros de Wiedemann con el objetivo de que los resultados obtenidos con el software sean similares a los de campo, todo ello con un nivel de confianza del 95 % y un margen de error aceptado del 10 % de la media (Chura, 2018).

La calibración de modelos se puede realizar tomando en cuenta diferentes parámetros de control, sin embargo, la calibración en base a mediciones de tiempo de viaje es bastante usado al realizar el diseño de autopistas con herramientas de simulación de microscópica (Karakikes et al., 2017).

Los datos de calibración y validación se realizan en base al tiempo de recorrido que le toma a los vehículos en recorrer cierta distancia, teniendo este parámetro de eficiencia a evaluar.

Para el presente proyecto se opta por obtener datos de las video grabaciones, como se menciona los conteos vehiculares y peatonales se realizarán en intervalos de 15 minutos durante una hora, la cual será identificada como la hora de máxima demanda, al finalizar la hora de análisis se procede a sumar la cantidad de vehículos con la finalidad de identificar flujogramas vehiculares.

Se tiene en cuenta que la toma de datos se realiza en días donde se espera que la demanda y el comportamiento de los flujos vehiculares sean típicos en la intersección, evitándose así, obtener información en días donde los factores de análisis se vean afectados en gran medida.

Para el tamaño de la muestra para la calibración, se utiliza la siguiente fórmula para estudios de flujo vehicular y tráfico vehicular (Robertson, 1994).

$$N = \left(\frac{SK}{E} \right)^2$$

Donde:

N : tamaño de la muestra de vehículos para calibrar

S : desviación estándar de la velocidad estimada de la muestra (km/h)

K : constante que corresponde al nivel de confianza deseado

E : error permitido en el estimado de la velocidad

Para cualquier tipo de carretera y área de tránsito se sugiere usar un valor de 8.0 km/h para la desviación estándar. (SEDESOL, 2000) La constante K , utilizado se obtiene de acuerdo al nivel de confianza deseado, en este caso se toma el valor de 1.96 para un nivel de confianza del 95 %, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 13: Constantes correspondientes al nivel de confianza

Constante K	Nivel de confianza (%)
1.00	68.3
1.50	86.6
1.64	90.0
1.96	95.0
2.00	95.5
2.50	98.8
2.58	99.0
3.00	99.7

fuentes: Robertson (1994).

El margen de error E indica la precisión requerida en la velocidad promedio, este valor puede fluctuar entre 1,6 a 8,0 km/h , en algunos casos puede ser menor, se asume $E = 1,6$

Por ende, para los valores de $S = 8$, $K = 1,96$ y $E = 1,6$, se obtiene un valor del tamaño de muestra para la calibración de 96 vehículos.

Para la toma de datos se recolecta datos en función a los tiempos de recorrido tanto vehicular como peatonal, siendo estas distancias de recorrido de 24.16m para vehículos y 12.45 m para peatones, como se detalla a continuación.

Figura 24: Distancias para toma de tiempos de demora vehicular y peatonal



fuelle: Elaboración Propia

En función a las distancias descritas en la figura precedente se procede a tomar los tiempos en que los diferentes tipos de vehículos recorren dichas distancias, para proceder a calcular las velocidades.

Tabla 14: Tiempos de viaje de autos en la Av. Pérez de Cuellar

AUTOS			
Nº	t(s)	Distancia (m)	velocidad (km/h)
1	5.7	24.16	15.26
2	8.37	24.16	10.39
3	7.89	24.16	11.02
4	7.79	24.16	11.17
5	31.99	24.16	2.72
6	31.8	24.16	2.74
7	31.45	24.16	2.77
8	21.43	24.16	4.06
9	20.97	24.16	4.15
10	4.79	24.16	18.16
11	14.12	24.16	6.16
12	12.56	24.16	6.92
13	6.29	24.16	13.83
14	16.47	24.16	5.28
15	6.67	24.16	13.04
16	7.27	24.16	11.96
17	8.84	24.16	9.84
18	10.26	24.16	8.48
19	9.87	24.16	8.81
20	7.32	24.16	11.88
21	9.3	24.16	9.35
22	4.23	24.16	20.56
23	4.3	24.16	20.23
24	33.22	24.16	2.62
25	8.33	24.16	10.44
26	8.85	24.16	9.83
27	4.33	24.16	20.09
28	5.19	24.16	16.76
29	5.45	24.16	15.96
30	4.92	24.16	17.68
31	9.05	24.16	9.61
32	12.11	24.16	7.18
33	8.45	24.16	10.29
34	12.55	24.16	6.93
35	8.84	24.16	9.84

fuentes: Datos tomados de las video grabaciones. Elaboración propia

Tabla 15: Tiempos de viaje de couster en la Av. Pérez de Cuellar

Couser			
Nº	t(s)	Distancia (m)	velocidad (km/h)
1	30.93	24.16	2.81
2	17.46	24.16	4.98
3	13.02	24.16	6.68
4	7.58	24.16	11.47
5	8.12	24.16	10.71
6	10.02	24.16	8.68
7	7.78	24.16	11.18
8	8.1	24.16	10.74
9	7.87	24.16	11.05
10	17.4	24.16	5.00
11	16.98	24.16	5.12
12	5.66	24.16	15.37
13	12.5	24.16	6.96
14	11.95	24.16	7.28

fuentes: Datos tomados de las video grabaciones. Elaboración propia

Tabla 16: Tiempos de viaje de Bus interprovincial en la Av. Pérez de Cuellar

Bus Interprovincial			
Nº	t(s)	Distancia (m)	velocidad (km/h)
1	34.78	24.16	2.50
2	29.83	24.16	2.92
3	19.97	24.16	4.36
4	18.36	24.16	4.74
5	18.01	24.16	4.83
6	20.54	24.16	4.23
7	23.51	24.16	3.70

fuentes: Datos tomados de las video grabaciones. Elaboración propia

Tabla 17: Tiempos de viaje de camiones en la Av. Pérez de Cuellar

CAMIONES			
Nº	t(s)	Distancia (m)	velocidad (km/h)
1	11.78	24.16	7.38
2	10.83	24.16	8.03
3	8.27	24.16	10.52
4	10.42	24.16	8.35
5	8.52	24.16	10.21
6	9.57	24.16	9.09
7	12.03	24.16	7.23
8	10.1	24.16	8.61

fuentes: Datos tomados de las video grabaciones. Elaboración propia

Tabla 18: Tiempos de viaje de motos en la Av. Pérez de Cuellar

Moto			
Nº	t(s)	Distancia (m)	velocidad (km/h)
1	3.8	24.16	22.89
2	4.85	24.16	17.93
3	4.83	24.16	18.01
4	6.03	24.16	14.42
5	4.73	24.16	18.39
6	4.78	24.16	18.20
7	4.32	24.16	20.13
8	5.11	24.16	17.02
9	5.78	24.16	15.05
10	12.72	24.16	6.84
11	6.48	24.16	13.42
12	6.68	24.16	13.02
13	3.93	24.16	22.13
14	4.32	24.16	20.13
15	4.91	24.16	17.71
16	5.55	24.16	15.67

fuentes: Datos tomados de las video grabaciones. Elaboración propia

Tabla 19: Tiempos de viaje de mototaxis en la Av. Pérez de Cuellar

MOTOTAXI			
Nº	t(s)	Distancia (m)	velocidad (km/h)
1	9.43	24.16	9.22
2	5.71	24.16	15.23
3	5.12	24.16	16.99
4	6.02	24.16	14.45
5	4.59	24.16	18.95
6	4.07	24.16	21.37
7	8.32	24.16	10.45
8	5.64	24.16	15.42
9	4.58	24.16	18.99
10	5.49	24.16	15.84
11	6.17	24.16	14.10
12	6.49	24.16	13.40
13	7.02	24.16	12.39
14	15.21	24.16	5.72
15	5.32	24.16	16.35
16	5.76	24.16	15.10
17	4.28	24.16	20.32
18	4.66	24.16	18.66
19	5.17	24.16	16.82
20	6.26	24.16	13.89

fuentes: Datos tomados de las video grabaciones. Elaboración propia

Tabla 20: Tiempo de viaje peatonal

Datos de Campo			
Nº	t(s)	Distancia (m)	velocidad (km/h)
1	14.73	12.45	3.04
2	11.46	12.45	3.91
3	12.48	12.45	3.59
4	12.72	12.45	3.52
5	9.86	12.45	4.55
6	9.78	12.45	4.58
7	14.36	12.45	3.12
8	12.2	12.45	3.67
9	8.03	12.45	5.58
10	8.24	12.45	5.44
11	8.56	12.45	5.24
12	12.88	12.45	3.48
13	13.96	12.45	3.21
14	7.84	12.45	5.72
15	11.12	12.45	4.03
16	18.11	12.45	2.47
17	11.83	12.45	3.79
18	13.53	12.45	3.31
19	12.31	12.45	3.64
20	8.9	12.45	5.04

fuentes: Datos tomados de las video grabaciones. Elaboración propia

3.9.3.5 Datos para la validación del modelo

Los datos de validación son aquellos tomados en campo, en el horario identificado para la toma de datos de calibración, dichos datos se muestran para cada tipo de vehículo comparado con la misma distancia mostrada en la figura de calibración

Tabla 21: Tiempos de viaje de autos en la Av. Pérez de Cuellar

AUTOS			
Nº	t(s)	Distancia (m)	velocidad (km/h)
1	8.62	24.16	10.09
2	7.32	24.16	11.88
3	7.94	24.16	10.95
4	9.13	24.16	9.53
5	7.33	24.16	11.87
6	5.5	24.16	15.81
7	6.2	24.16	14.03
8	6.11	24.16	14.24
9	12.48	24.16	6.97
10	13.81	24.16	6.30
11	6.61	24.16	13.16
12	7.37	24.16	11.80
13	7.77	24.16	11.19
14	11.29	24.16	7.70
15	6.19	24.16	14.05

fuentes: Datos tomados de las video grabaciones. Elaboración propia

Tabla 22: Tiempos de viaje de couster en la Av. Pérez de Cuellar

COUSTER			
Nº	t(s)	Distancia (m)	velocidad (km/h)
1	7.84	24.16	11.09
2	6.05	24.16	14.38
3	4.58	24.16	18.99
4	7.37	24.16	11.80
5	6.36	24.16	13.68
6	7.44	24.16	11.69
7	4.93	24.16	17.64
8	7.06	24.16	12.32

fuentes: Datos tomados de las video grabaciones. Elaboración propia

Tabla 23: Tiempos de viaje de Bus interprovincial en la Av. Pérez de Cuellar

BUS INTERPROVINCIAL			
Nº	t(s)	Distancia (m)	velocidad (km/h)
1	14.16	24.16	6.14
2	13.36	24.16	6.51
3	30.62	24.16	2.84
4	19.48	24.16	4.46
5	15.22	24.16	5.71
6	10.78	24.16	8.07
7	10.56	24.16	8.24

fuelle: Datos tomados de las video grabaciones. Elaboración propia

Tabla 24: Tiempos de viaje de camiones en la Av. Pérez de Cuellar

CAMIONES			
Nº	t(s)	Distancia (m)	velocidad (km/h)
1	9.96	24.16	8.73
2	12.06	24.16	7.21

fuelle: Datos tomados de las video grabaciones. Elaboración propia

Tabla 25: Tiempos de viaje de motos en la Av. Pérez de Cuellar

MOTO			
Nº	t(s)	Distancia (m)	velocidad (km/h)
1	5.88	24.16	14.79
2	4.66	24.16	18.66
3	11.43	24.16	7.61
4	6.3	24.16	13.81
5	6.42	24.16	13.55

fuelle: Datos tomados de las video grabaciones. Elaboración propia

Tabla 26: Tiempos de viaje de mototaxis en la Av. Pérez de Cuellar

MOTO TAXI			
Nº	t(s)	Distancia (m)	velocidad (km/h)
1	11.36	24.16	7.66
2	5.55	24.16	15.67
3	7.08	24.16	12.28
4	9.38	24.16	9.27
5	5.16	24.16	16.86
6	6.13	24.16	14.19
7	5.26	24.16	16.54
8	5.16	24.16	16.86
9	9.87	24.16	8.81

fuentes: Datos tomados de las video grabaciones. Elaboración propia

Tabla 27: Tiempo de viaje peatonal

Datos de Campo			
Nº	t(s)	Distancia (m)	velocidad (km/h)
1	20.4	12.45	2.20
2	22.7	12.45	1.97
3	19.8	12.45	2.26
4	22.1	12.45	2.03
5	23.2	12.45	1.93
6	21	12.45	2.13
7	19.3	12.45	2.32
8	20.1	12.45	2.23
9	20.4	12.45	2.20
10	20.7	12.45	2.17
11	23.9	12.45	1.88
12	19.6	12.45	2.29
13	21.3	12.45	2.10
14	21.7	12.45	2.07
15	22.4	12.45	2.00
16	21	12.45	2.13
17	22.3	12.45	2.01
18	21.6	12.45	2.08
19	19.3	12.45	2.32
20	20.3	12.45	2.21

fuentes: Datos tomados de las video grabaciones. Elaboración propia

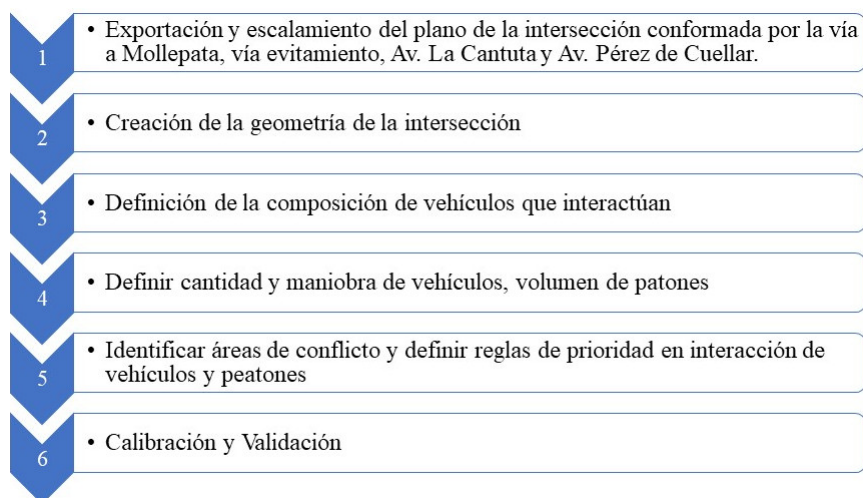
3.9.4 Desarrollo del modelo, calibración y validación con VISSIM - VISWALK

En el presente capítulo se desarrolla los procesos concernientes a la construcción, calibración y validación del modelo, que se realizan con el uso de los programas VISSIM y VISWALK. Este proceso consiste en alimentar al programa datos de campo, como son la topografía, los tipos de vehículos, los flujos vehiculares y peatonales, los cuales serán calibrados; es decir, se corre el programa hasta comprobar que los parámetros de simulación sean semejantes a los recolectados en campo. Finalmente se procede con la validación, la cual consiste en evaluar el modelo ante diferentes datos de entrada con el fin de obtener resultados similares al de campo.

3.9.4.1 Modelo del estado actual

La micro simulación de la intersección de análisis se realiza en el programa Vissim Viswalk 8. El procedimiento para desarrollar dicha micro simulación se muestra en el esquema siguiente:

Figura 25: Procedimiento para desarrollar la micro simulación

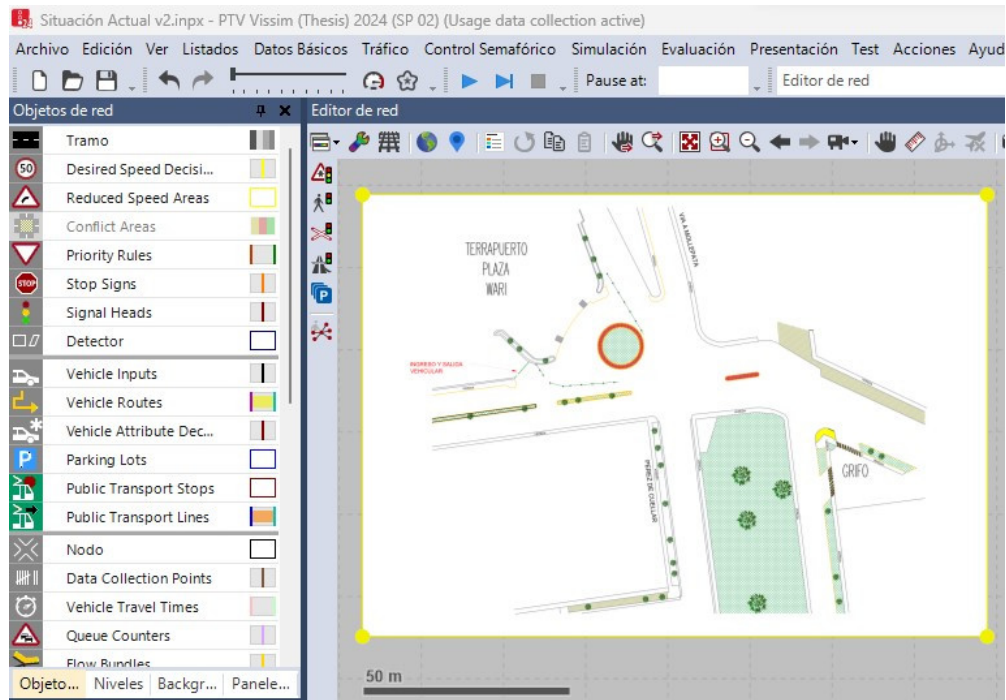


fuentes: Elaboración Propia

3.9.4.2 Imagen de fondo

La imagen de fondo con la que se trabaja es la orto foto generada como parte de los datos obtenidos con el dron, a partir de ella también se tiene el plano que es importado en el programa, por ende, el plano de la intersección es útil para la creación de conectores y links, el plano es escalado para así guardar relación entre los anchos y longitudes de carril.

Figura 26: Importación del plano de la intersección al software VISSIM



fuelle: Elaboración Propia

3.9.4.3 Link y conectores

El link del software permite crear vías vehiculares y/o peatonales, dentro de cada vía se puede definir el número de carriles, anchos y el sentido y longitud de flujo, del mismo modo, los conectores son los que permiten la unión de links, que son los que generan lo giros.

Figura 27: Geometría de la intersección, creación de link y conectores

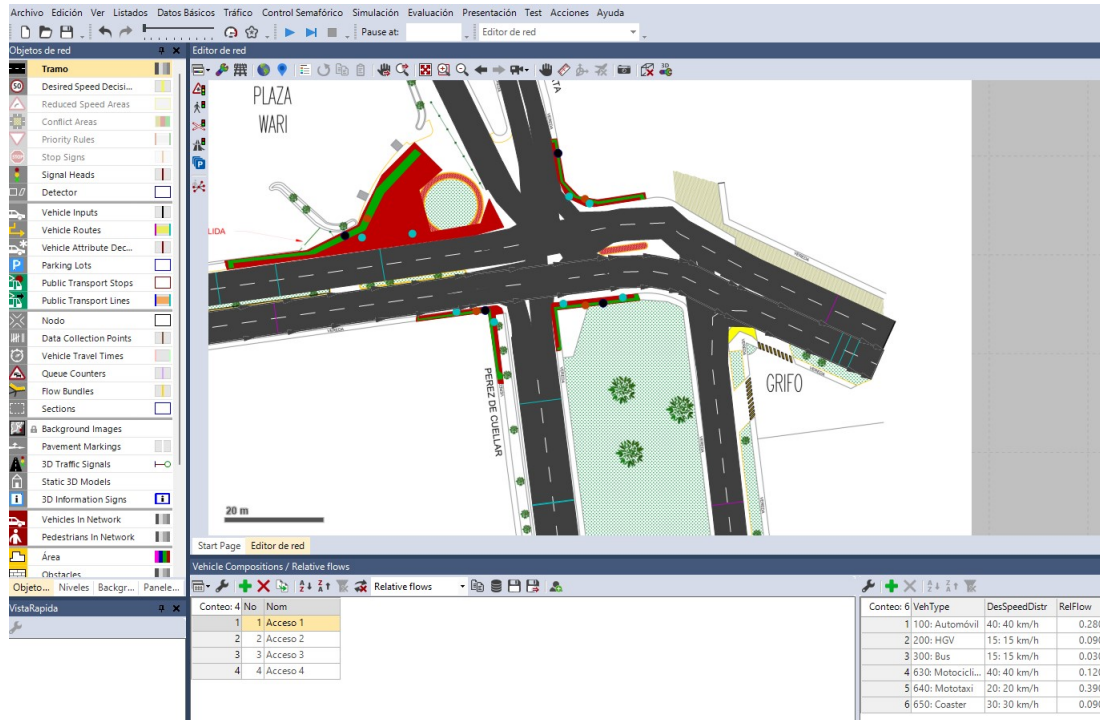


fuelle: Elaboración Propia

3.9.4.4 Creación de flujos vehiculares y peatonales

En función a los datos recolectados en campo se define la composición vehicular, para posteriormente determinar las rutas estáticas y determinar el porcentaje de vehículos que componen las mismas.

Figura 28: Ingreso de flujo vehicular



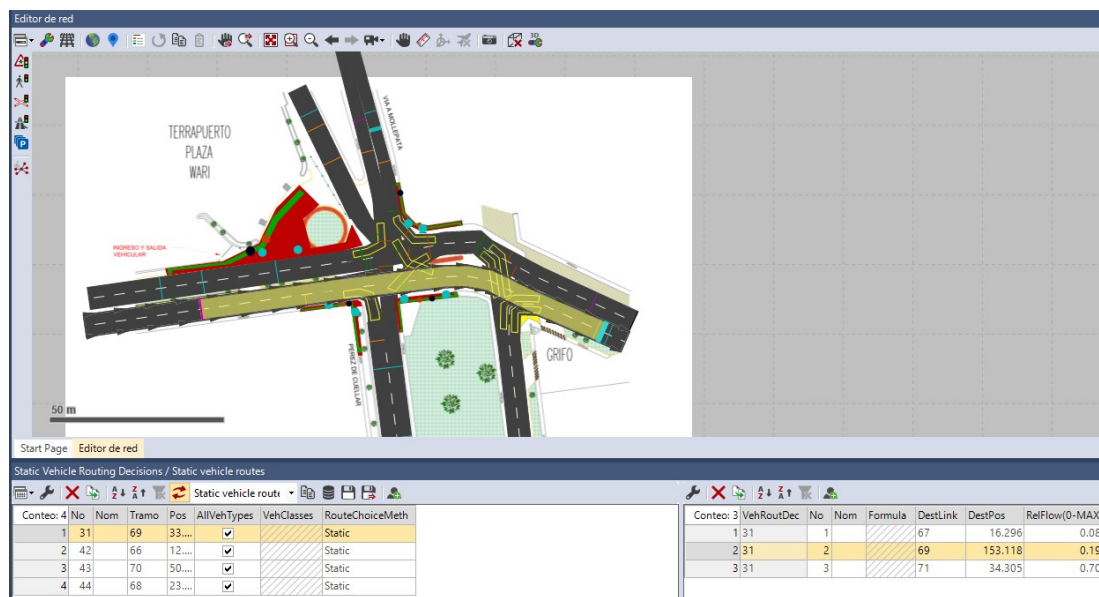
fuelle: Elaboración Propia

Para el caso de los peatones se determinan las rutas tomadas y se asigna la composición peatonal, que está compuesta por hombres y mujeres de manera equivalente.

3.9.4.5 Asignación de rutas estáticas

Identificado el flujo vehicular por cada vía, se distribuye en todas las posibles rutas identificadas en campo.

Figura 29: Asignación de rutas estáticas

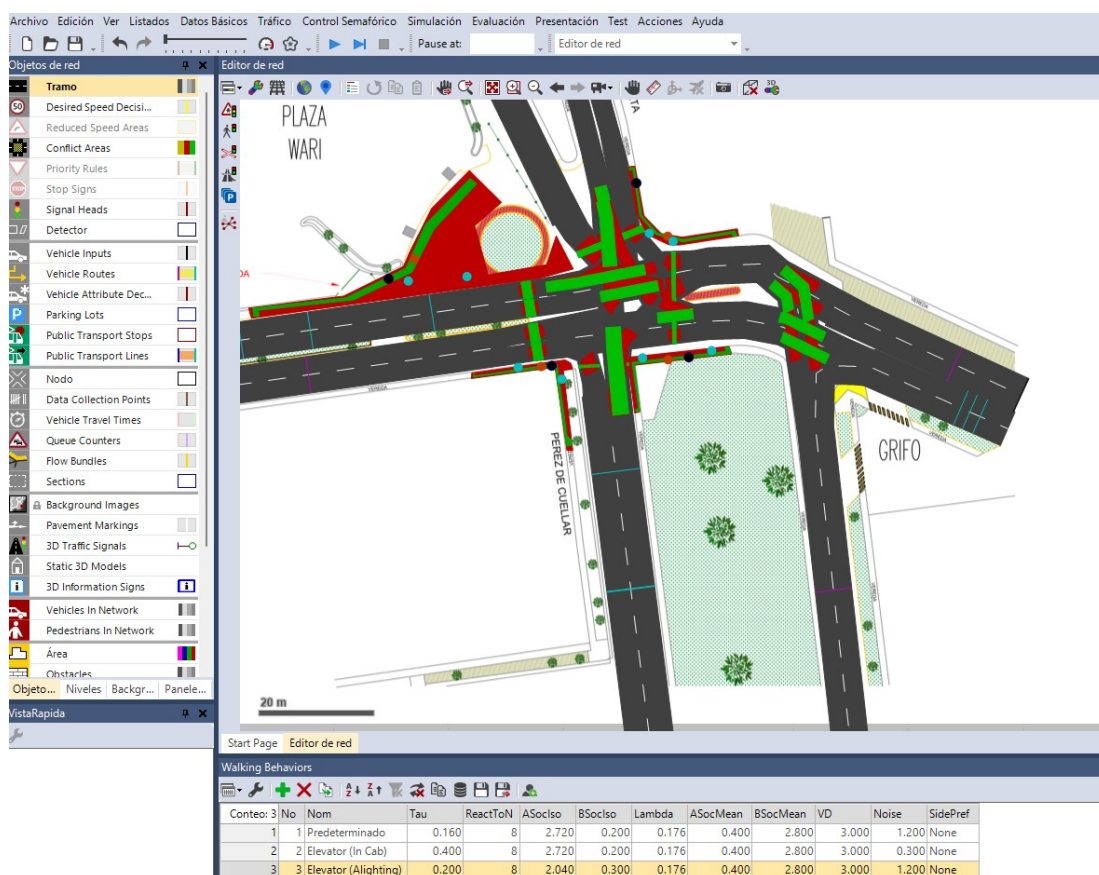


fuelle: Elaboración Propia

3.9.4.6 Reglas de prioridad y áreas de conflicto

Posterior a la asignación del volumen vehicular y peatonal, se define las prioridades en vía, es decir, si el peatón tiene que esperar al vehículo para cruzar la vía o el vehículo tiene que esperar que cruce el peatón para continuar con el recorrido, en el presente estudio se pudo observar que los vehículos tienen la prioridad de paso, ya que son los peatones los que esperan el momento menos peligroso para cruzar la vía. En el funcionamiento de la intersección, se observa áreas donde se generan conflicto, siendo estas principalmente generadas por un cruce de carriles o la existencia de conectores que permiten los giros.

Figura 30: Áreas de conflicto en la intersección



fuelle: Elaboración Propia

3.9.5 Calibración del modelo

3.9.5.1 Calibración vehicular

La calibración consiste en representar en el modelo con margen de error y en un campo de confianza las condiciones observadas en la intersección de estudio, siendo esto posible por medio de la modificación de los parámetros de Wiedeman. La medida seleccionada para calibrar el modelo son los tiempos de viaje tomados por cada tipo de vehículo.

Figura 31: Medidas de tiempo de viaje

Vehicle Travel Time Measurements							
Conteo	No	Nom	Tramoinicio	StartPos	EndLink	EndPos	Distancia
1	1		70	80.635	70	104.795	24.16

fuelle: Elaboración Propia

Posterior a tener definido los parámetros de simulación, los parámetros de Wiedeman son modificados. Luego de una serie de iteraciones, se muestra los valores finales de los parámetros adoptados en el presente trabajo:

Tabla 28: Parámetros de seguimiento vehicular adoptados en el modelo

	Símbolo	Definición	Valor por defecto	Valor adoptado
Parámetros de seguimiento vehicular	ax	Average standstill distance	2	1.25
	bxadd	Additive part of safety distance	2	1.5
	bxmult	Multiplicative part of safety Distance	3	3

fuentes: Elaboración propia

El número mínimo de corridas recomendado por la FHWA (2004), es de 15 corridas, por ello, en este caso el programa se corre 15 veces, obteniéndose los siguientes resultados para tiempos de viaje en el tramo de evaluación:

Tabla 29: Tiempos de viaje para calibrar, obtenidos de la simulación en VISSIM

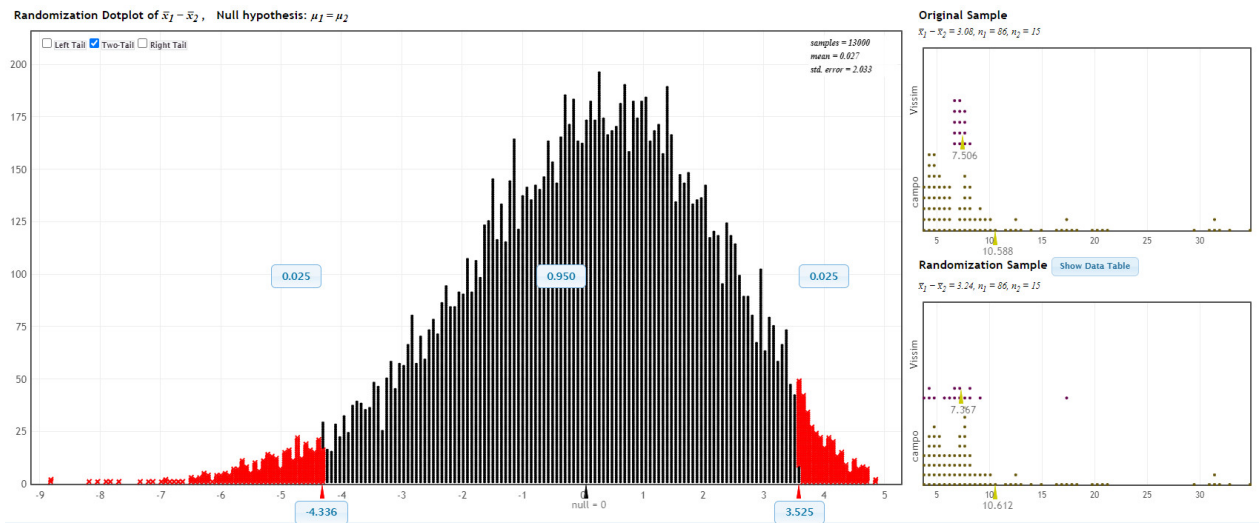
Nº de corridas	Tiempo de viaje (S)
1	7.90
2	7.39
3	7.79
4	7.83
5	7.48
6	6.86
7	7.34
8	7.61
9	7.04
10	7.11
11	7.57
12	8.38
13	8.05
14	7.13
15	7.09
PROMEDIO	7.51
DESV EST.	0.43
error	0.75
t0.025,n-1	2.13
número mínimo de corridas	1.47

fuentes:Elaboración propia

De acuerdo a la tabla anterior se puede observar que el número mínimo de corridas calculado es de 2 corridas, sin embargo, según la recomendación de la FHWA, se evalúa con un mínimo de 15 corridas.

Para realizar la calibración del modelo mediante la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias para vehículos se utilizan los datos de tiempos de viaje tomados en campo, así como los datos obtenidos mediante la simulación, los cuales son analizados mediante el programa de Randomization test, para una prueba no paramétrica, en el cual se realiza pruebas de la hipótesis nula de diferencia de medias con un nivel de confianza del 95 %.

Figura 32: Prueba de hipótesis nula, Randomization test - Calibración



fuelle: Elaboración Propia

De los datos de campo se obtuvo un promedio de 10.58 y un promedio de los datos de simulación de 7.50, con una diferencia absoluta de 3.08, esta diferencia debería estar dentro del rango el cual es de $[-4.336; 3.525]$, de esta forma se verifica la calibración, ya que la diferencia se encuentra en el rango. Por ende, se puede afirmar que: a un nivel de confianza del 95 %, existe evidencia estadística suficiente para afirmar que el modelo se encuentra calibrado.

3.9.5.2 Calibración peatonal

Para el caso de la calibración de peatones, se utilizará los tiempos de demora peatonal para recorrer la sección seleccionada, por ello se evalúa en la sección de mayor flujo peatonal que es la que se encuentra a la salida del terrapuerto en la Av. La Cantuta en el sentido Norte Sur, cuya distancia es de 12.45 metros, se definen los parámetros de fuerza social que gobiernan la conducta del peatón.

Figura 33: Parámetros de la fuerza social de VISWALK

Walking Behaviors										
Conteo	No	Nom	Tau	ReactToN	ASocio	BSocio	Lambda	ASocMean	BSocMean	VD
1	1	Predeterminado	0.120	8	2.720	0.200	0.176	0.400	2.800	3.000
										1.200
										None

fuelle: Elaboración Propia

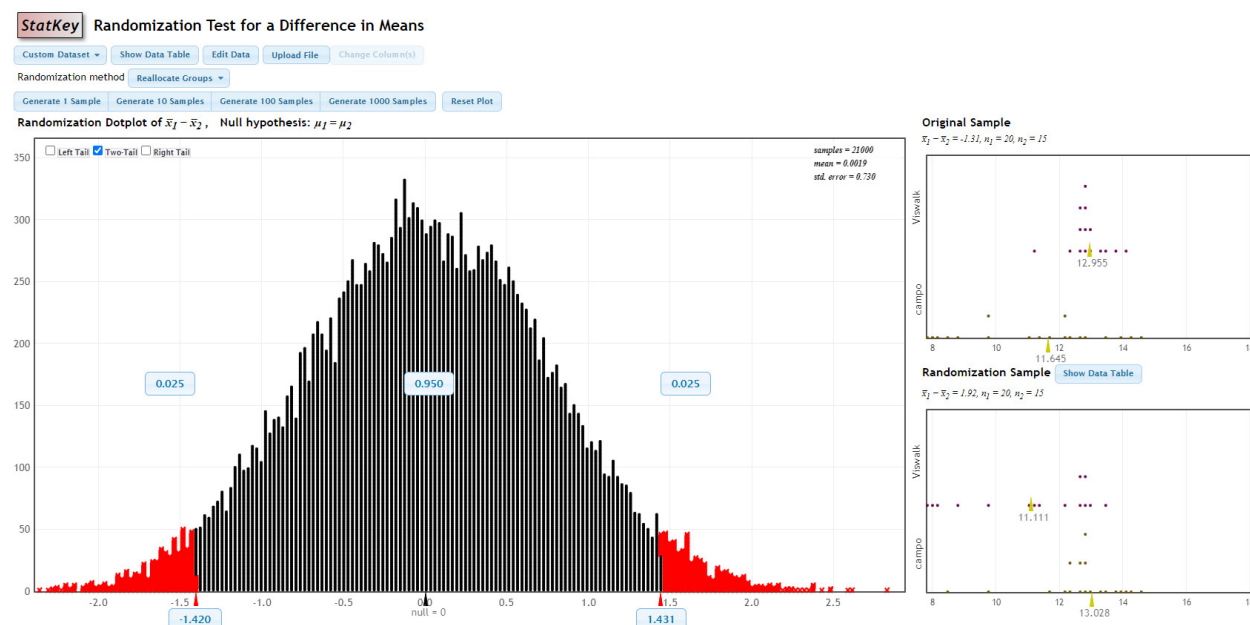
Posterior a las 15 corridas realizadas, el programa arroja los siguientes datos correspondiente a los tiempos de viaje peatonal:

Tabla 30: Tiempos de viaje peatonal para calibrar, obtenidos de la simulación en VIS-WALK

Nº de corridas	Tiempo de viaje (S)
1	12.83
2	12.42
3	12.93
4	12.82
5	13.38
6	12.75
7	13.12
8	13.51
9	11.32
10	12.68
11	12.99
12	12.87
13	13.79
14	12.68
15	14.25
PROMEDIO	12.96
DESV EST.	0.66
error	1.30
t0.025,n-1	2.13
número mínimo de corridas	1.18

fuelle:Elaboración propia

Calibración del modelo mediante la prueba de hipótesis nula de igualdad de medidas para peatones.

Figura 34: Prueba de hipótesis nula, Randomization test Calibración peatonal


fuente: Elaboración Propia

De los datos de campo tomados para la calibración se obtuvo un promedio de 11.65 y un promedio de los datos de simulación de 12.96, con una diferencia absoluta entre ambos de -1.31, esta diferencia se encuentra dentro del rango $[-1.42; 1.431]$, de esta forma se verifica la calibración del modelo a nivel peatonal. Por ende, se puede afirmar que: a un nivel de confianza del 95 %, existe evidencia estadística suficiente para afirmar que el modelo se encuentra calibrado.

3.9.6 Validación del modelo

3.9.6.1 Validación vehicular

El proceso de validación es el que inicia al concluir la calibración, con los parámetros de Wiedeman obtenidos en la calibración se valida el modelo ingresando datos de campo que fueron tomados en un día distinto al de los datos tomados para la calibración.

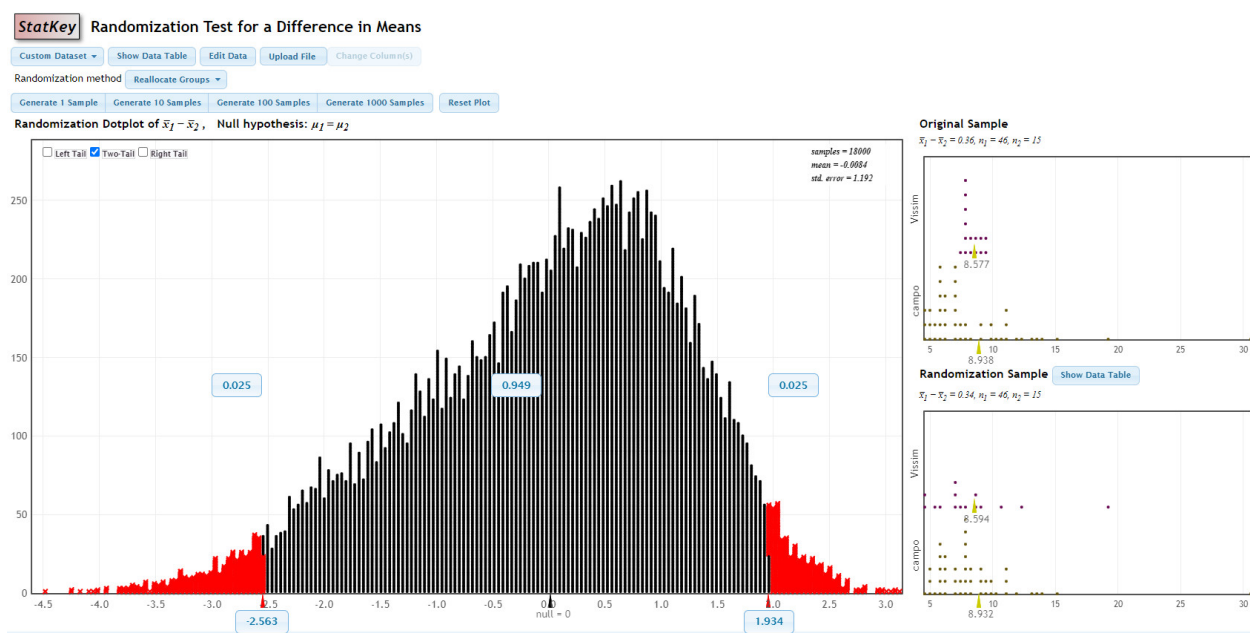
El proceso de validación es muy similar al de la calibración, con la diferencia que se utilizan los mismos parámetros de calibración, por ende, se muestra los datos de tiempo de viaje arrojados por el programa VISSIM, posterior a las 15 corridas:

Tabla 31: Tiempos de viaje para validar, obtenidos de la simulación en VISSIM

Nº de corridas	Tiempo de viaje (S)
1	8.41
2	8.48
3	8.22
4	9.21
5	8.22
6	7.97
7	8.78
8	9.19
9	8.05
10	8.01
11	8.94
12	9.65
13	9.50
14	8.23
15	7.81
PROMEDIO	8.58
DESV EST.	0.59
error	0.86
t_{0.025,n-1}	2.13
número mínimo de corridas	2.17

fuentes:Elaboración propia

Validación del modelo mediante la prueba de hipótesis nula de igualdad de medidas para vehículos.

Figura 35: Prueba de hipótesis nula, Randomization test Validación vehicular


fuente: Elaboración Propia

De los datos de campo tomados para la validación se obtuvo un promedio de 8.94 y un promedio de los datos de simulación de 8.58, con una diferencia absoluta entre ambos de 0.36, esta diferencia se encuentra dentro del rango $[-2.563; 1.934]$, de esta forma se verifica la validación del modelo. Por ende, se puede afirmar que: a un nivel de confianza del 95 %, existe evidencia estadística suficiente para afirmar que el modelo se encuentra validado.

3.9.6.2 Validación peatonal

El proceso de validación peatonal del modelo en VISWALK es similar al proceso de calibración, puesto que con los parámetros de fuerza social definidos se procede a correr el modelo con nuevos datos tomados en campo.

Posterior a las 15 corridas realizadas, el programa arroja los siguientes datos para los tiempos de viaje peatonal:

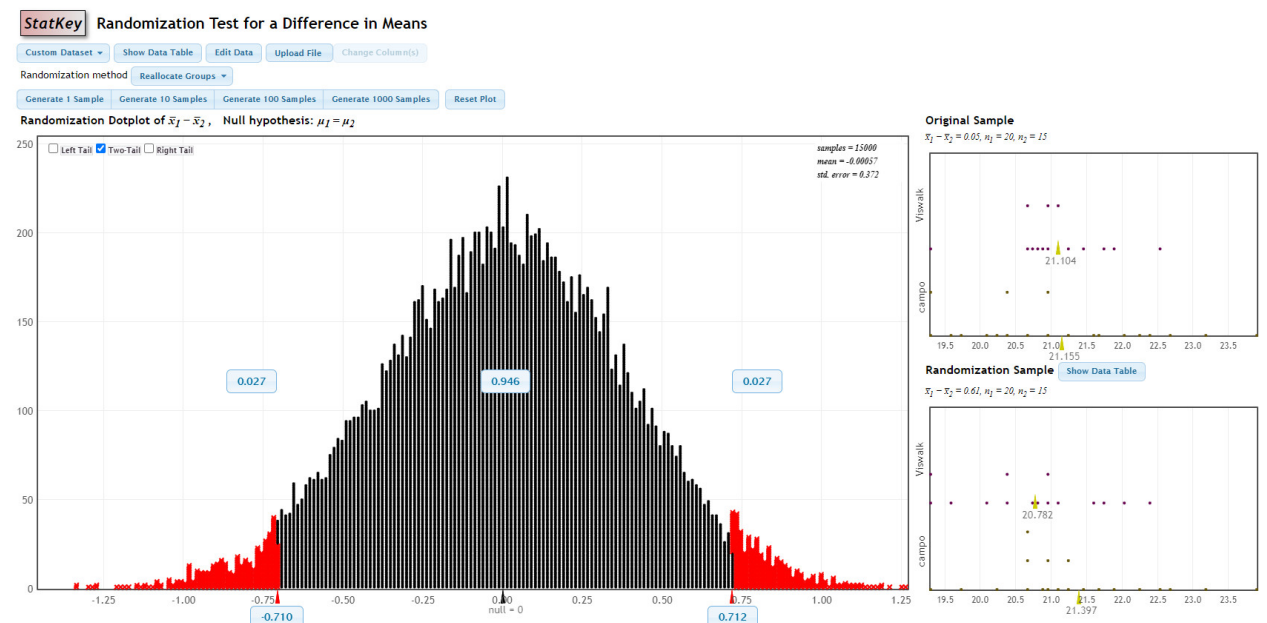
Tabla 32: Tiempos de viaje peatonal para validar, obtenidos de la simulación en VIS-WALK

Nº de corridas	Tiempo de viaje (S)
1	21.01
2	20.67
3	20.98
4	21.13
5	21.46
6	20.80
7	21.30
8	21.80
9	19.30
10	20.88
11	21.14
12	20.82
13	21.95
14	20.71
15	22.60
PROMEDIO	21.10
DESV EST.	0.73

fuelle:Elaboración propia

Validación del modelo mediante la prueba de hipótesis nula de igualdad de medidas.

Figura 36: Prueba de hipótesis nula, Randomization test Validación peatonal



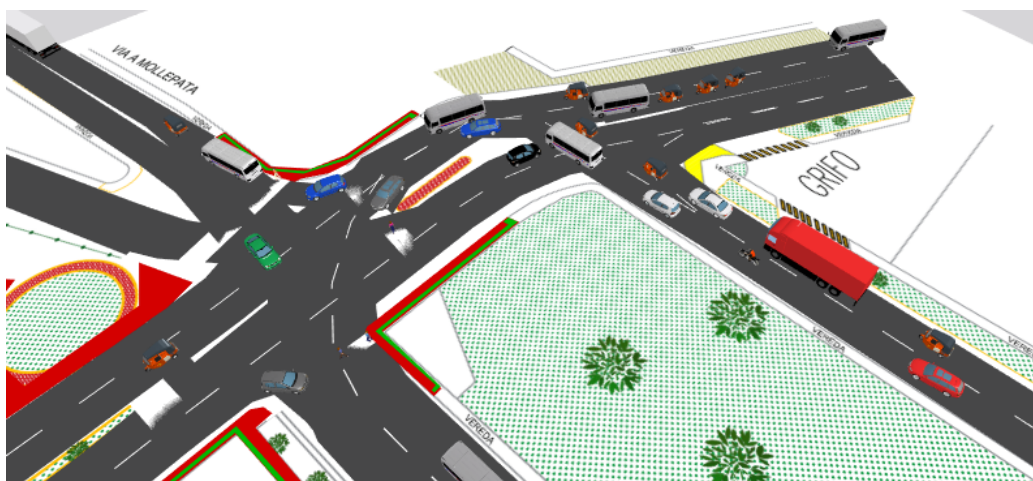
fuelle: Elaboración Propia

De los datos de campo tomados para la validación se obtuvo un promedio de 21.15 y un promedio de los datos de simulación de 21.10, con una diferencia absoluta entre ambos de 0.05, esta diferencia se encuentra dentro del rango $[-0.71; 0.712]$, de esta forma se verifica la validación del modelo a nivel peatonal. Por ende, se puede afirmar que: a un nivel de confianza del 95 %, existe evidencia estadística suficiente para afirmar que el modelo se encuentra validado.

3.9.7 Análisis de resultados

En este capítulo se evalúa a través de medidas de efectividad la calidad de funcionamiento de la intersección en el programa VISSIM, de esta manera se evaluará la influencia de las propuestas de mejora en la dinámica y funcionalidad de la intersección y como afectan al flujo vehicular que lo compone.

Figura 37: Modelo en VISSIM de la situación actual



fuentes: Elaboración Propia

3.9.7.1 Velocidad de viaje promedio

Este parámetro se define como la relación entre el tiempo invertido por un vehículo en recorrer un determinado espacio. A continuación, se muestra la velocidad promedio de la situación actual.

Tabla 33: Velocidad promedio de viaje en la situación actual

Nº de corridas	Velocidad promedio (Km/hr)
1	11.39
2	11.13
3	11.45
4	11.15
5	11.15
6	11.34
7	10.96
8	10.92
9	11.01
10	11.13
11	11.13
12	11.12
13	11.24
14	11.33
15	11.07
PROMEDIO	11.17
DESV EST.	0.15

fuentes:Elaboración propia

De acuerdo a lo mostrado en la tabla la velocidad promedio de viaje en la intersección es de 11.17 km/h, esta velocidad es esperada puesto que en la intersección se observa flujo peatonal considerable donde los vehiculo no tiene paraderos establecidos, por ende, cada bus tiene que detenerse para dejar y recoger pasajeros, ello trae como consecuencia la reducción de la velocidad de los vehículos al desplazarse por la intersección.

3.9.7.2 Tiempo de viaje vehicular

Se define este parámetro como el tiempo que invierte un vehículo en recorrer una determinada distancia, que pertenece a la intersección. A continuación, se muestran datos obtenidos de la simulación de la situación actual.

Tabla 34: Tiempo de viaje vehicular en segundos

Nº de corridas	Tiempo de viaje vehicular (s)
1	26.42
2	28.35
3	28.38
4	29.91
5	26.67
6	26.50
7	23.30
8	30.05
9	25.04
10	28.80
11	28.64
12	29.29
13	27.53
14	26.62
15	25.14
PROMEDIO	27.37
DESV EST.	1.94

fuentes:Elaboración propia

De la tabla se puede observar que el promedio del tiempo de viaje vehicular en la intersección es de 27.37 segundos.

3.9.7.3 Demora promedio en la intersección

La demora es el tiempo de viaje adicional que invierte el conductor, el recorrer la intersección, esto debido a la presencia de tráfico que interfiere con el normal funcionamiento de dicho espacio. Se presenta las demoras promedio de la intersección en la situación actual.

Tabla 35: Demora promedio en la intersección

Nº de corridas	Demora promedio (s)
1	11.66
2	13.65
3	13.42
4	14.96
5	12.21
6	12.15
7	8.77
8	15.46
9	10.32
10	14.18
11	13.39
12	14.55
13	12.78
14	11.82
15	10.50
PROMEDIO	12.66
DESV EST.	1.86

fuentes:Elaboración propia

La demora promedio de la intersección en la situación actual es de 12.66 segundos, por ende, mencionamos que este valor representa el rendimiento de la intersección.

3.9.7.4 Longitudes de cola

La longitud de cola es el parámetro de ineficiencia con el que podrá evaluarse la capacidad de la intersección, en este caso la longitud de cola nos dará una medida de la cantidad de vehículos almacenados y determinar la alta densidad vehicular que afecta la intersección.

A continuación, se muestra la longitud de cola, obtenidos posterior al modelado de la situación actual.

Tabla 36: Longitud de cola promedio en la intersección

Nº de corridas	longitud de cola (m)
1	29.73
2	31.75
3	31.45
4	32.40
5	28.89
6	30.79
7	26.48
8	33.05
9	28.82
10	29.86
11	32.11
12	32.03
13	30.46
14	30.78
15	27.96
PROMEDIO	30.44
DESV EST.	1.83

fuentes:Elaboración propia

Se puede apreciar que en la Av. Pérez de Cuellar es donde se genera mayor congestión vehicular con un promedio de 30.44 metros de cola debido al flujo vehicular que posee esta avenida.

3.9.8 Propuestas de mejora y micro simulación del escenario propuesto

Posterior al análisis de los resultados arrojados a partir de la simulación de la situación actual y evaluado la velocidad promedio, demora promedio, longitud de cola y haber evaluado el flujo peatonal disperso en la intersección, se proponen como alternativas para mejorar el flujo vehicular y velar por la seguridad en el tránsito peatonal un rediseño de la geometría de la intersección; de esta manera se propone un paso a desnivel y la implementación de semáforos en las diferentes avenidas y calles que componen la intersección.

La descripción y análisis de las propuestas de mejora se detallan a continuación, las cuales son evaluadas en base a los parámetros obtenidos en la situación actual.

En la siguiente imagen se puede observar la situación actual de la intersección de estu-

dio, donde se puede observar la interferencia que existe entre los vehículos y peatones que transitan, se puede observar la no existencia de controles vehiculares y peatonales, como son los semáforos.

Figura 38: Situación actual de la intersección de estudio



fuentes: Elaboración Propia

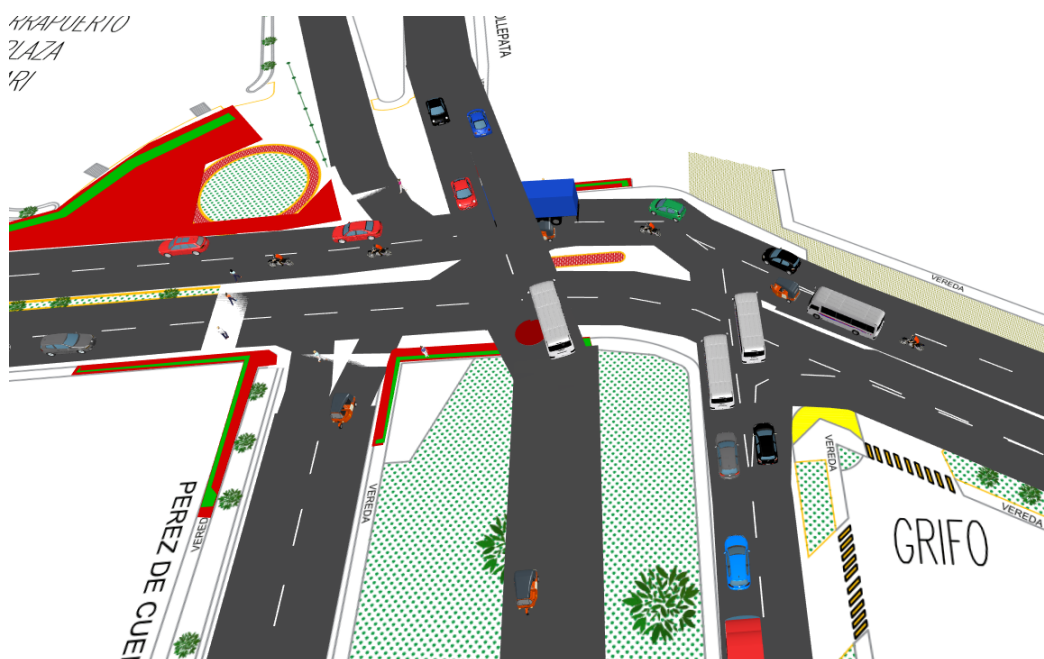
La descripción y análisis de las propuestas de mejora se detallan a continuación, cuyos resultados de simulación son evaluados en referencia a los resultados de los parámetros obtenidos en la situación actual.

3.9.8.1 Implementación de un paso a desnivel

Se presenta una propuesta de mejora en referencia al rediseño geométrico de la intersección la cual consiste en la implementación de un paso a desnivel en la intersección de estudio.

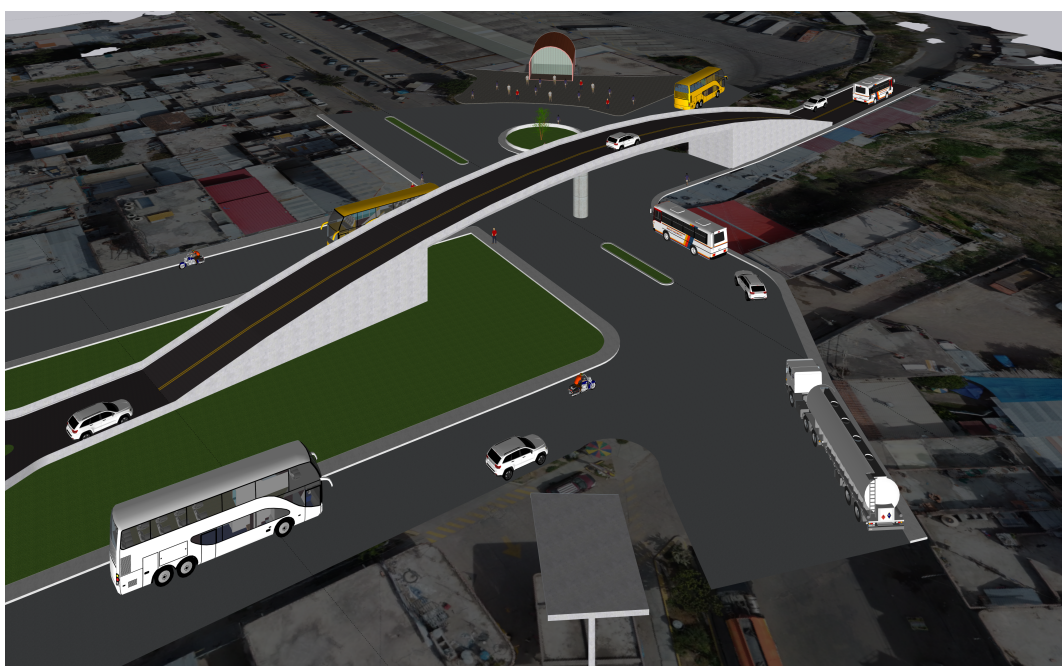
El paso a desnivel propuesto está compuesto por la implementación de una calzada superior compuesta por la unión de la av. Pérez de Cuellar y la Vía a Mollepata. Por ende, la calzada inferior estará compuesta por la actual Av. Pérez de Cuellar, la Av. la Cantuta, Vía evitamiento y el ingreso al terminal terrestre. La presente propuesta de mejora tiene por objeto materializar el tránsito fluido de los vehículos que transitan desde la Av. Pérez de Cuellar y la Vía a Mollepata o viceversa.

Figura 39: Modelo propuesto del paso a desnivel en Vissim



fuelle: Elaboración Propia

Figura 40: Modelo propuesto del paso a desnivel



fuelle: Elaboración Propia

Figura 41: Modelo propuesto del paso a desnivel



fuentes: Elaboración Propia

La implementación del paso a desnivel, demanda la ejecución de partidas como son: las obras preliminares, movimiento de tierras, obras de concreto armado, señalización, instalaciones eléctricas e instalaciones sanitarias:

- Obras preliminares: comprendida por la ejecución de trabajos como almacén, planes de monitoreo, replanteo, demolición entre otros.
- Movimiento de tierras: comprende la ejecución de excavaciones con maquinaria, excavación manual, eliminación de material excedente, compactación, entre otros.
- Obras de concreto armado: conformado por ejecución de trabajos como zapatas, columnas, vigas, losas, muros de contención u otros.
- Señalización: comprendido por la ejecución de trabajos como habilitación de áreas verdes, señalizaciones horizontales y verticales entre otros.
- Instalaciones eléctricas: colocación de alumbrado, luces de emergencia entre otros.
- Instalaciones sanitarias: instalaciones sanitarias, sumideros entre otros.

Para la consideración presupuestal de la ejecución al implementar el paso a desnivel, se emplea como referencia la ejecución del paso a desnivel de la Av. Grau en la ciudad en Lima (Lapa, 2017), la cual conforma la ejecución de las siguientes partidas principales:

Tabla 37: Presupuesto aproximado de la ejecución de trabajos al implementar el paso a desnivel

Item	Descripción	Und	Precio S/.
01	CONSTRUCCION DEL PASO A DESNIVEL		
01.01	OBRAS PRELIMINARES		
01.01.01	Movilización y desmovilización de maquinarias	glb	50,000.00
01.01.02	Trazo y replanteo preliminar	m2	2.33
01.01.03	Mantenimiento de tránsito y seguridad vial	mes	15,000.00
01.02	DEMOLICIONES		
01.02.01	Demolición de pavimento existente	m2	1.45
01.02.02	Demolición de veredas	m2	7.76
01.02.03	Eliminación de material procedente de demoliciones	m3	30.94
01.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS		
01.03.01	Excavación de material suelto con maquinaria	m3	5.87
01.03.02	Excavación de material granular existente	m3	4.71
01.03.03	Perfilado, nivelación y compactación de sub rasante	m2	2.00
01.03.04	Excavación para cimiento de estructuras	m3	4.93
01.03.05	Relleno compacto con material excedente	m3	15.95
01.03.06	Eliminación de material excedente	m3	30.94
01.04	ZAPATAS		
01.04.01	Concreto f'c=140 kg/cm2 para solados	m2	23.60
01.04.02	Concreto f'c=210 kg/cm2	m3	305.02
01.04.03	Encofrado y desencofrado normal	m2	41.50
01.04.04	Acero de refuerzo f'y=4200 kg/cm2	kg	4.50
01.05	PILARES		
01.05.01	Concreto f'c=280 kg/cm2	m3	360.83
01.05.02	Encofrado y desencofrado normal	m2	43.19
01.05.03	Encofrado y desencofrado caravista	m2	51.18
01.05.04	Acero de refuerzo f'y=4200 kg/cm2	kg	4.50
01.06	VIGAS		
01.06.01	Concreto f'c=280 kg/cm2	m3	377.07
01.06.02	Encofrado y desencofrado caravista	m2	270.96
01.06.03	Acero de refuerzo f'y=4200 kg/cm2	kg	4.50
01.07	LOSAS		
01.07.01	Concreto f'c=280 kg/cm2	m3	401.45
01.07.02	Encofrado y desencofrado caravista	m2	270.96
01.07.03	Acero de refuerzo f'y=4200 kg/cm2	kg	4.50
01.08	PAVIMENTO		
01.08.01	Sub-Base granular	m3	48.82
01.08.02	Losas concreto F'c=210 kg/cm2	m3	375.15
01.08.03	Encofrado y desencofrado normal, pavimento	m2	41.50
01.09	MUROS DE CONTENCIÓN		
01.09.01	Concreto f'c=280 kg/cm2	m3	450.65
01.09.02	Encofrado y desencofrado caravista	m2	315.20
01.09.03	Acero de refuerzo f'y=4200 kg/cm2	kg	4.50
01.10	JUNTAS Y SELLOS		
01.10.01	Junta longitudinal de construcción	m	28.47
01.10.02	Junta transversal de construcción	m	28.47

fuentes:Elaboración propia

Tabla 38: Presupuesto aproximado de la ejecución de trabajos al implementar el paso a desnivel

COSTO DIRECTO	2,491,749.37
GASTOS GENERALES	299,009.92
UTILIDAD	249,174.94
SUBTOTAL	3,039,934.23
IGV(18%)	547,188.16
COSTO TOTAL DEL PROYECTO	3,587,122.39

fuentes:Elaboración propia

Por ende, la implementación de un paso a desnivel en la intersección de estudio, tendría un presupuesto aproximado de S/3,587,122.39 soles para su ejecución.

3.9.8.2 Implementación de señales de control

A partir del estudio de campo en la intersección se identificaron algunos problemas y riesgos. Se observó la falta de semaforización que regule y ordene el flujo vehicular y peatonal, por ende, afecta la interacción de peatones y vehículos, siendo claras las interferencias que cada uno presenta en su recorrido; en consecuencia, se observa desorden y exposición de los peatones y vehículos a posibles accidentes.

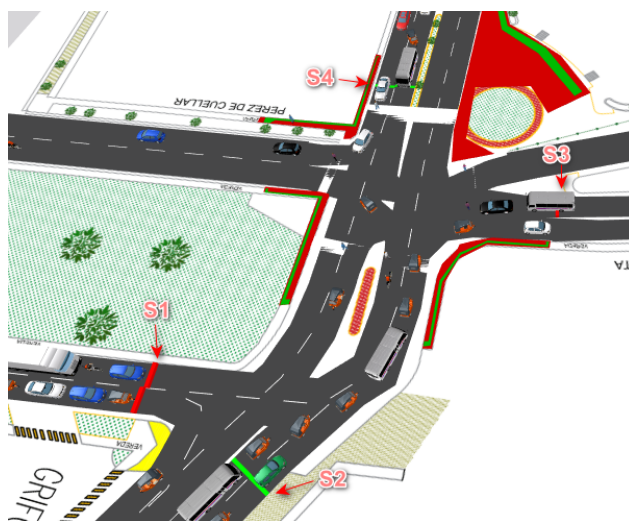
Se observó también que uno de los medios de transporte de circulación constante es el servicio público, se nota la inexistencia de paradero de autobuses, siendo este un factor que incrementa el desorden.

A partir del análisis e inspección de seguridad vial, peatonal y micro simulación en Vis-sim y Viswalk del estado actual, se cerciora que existe conflicto peatonal y vehicular principalmente con los peatones que cruzan la calle de la Av. La Cantuta y la Vía a Mollepata, puesto que estas son las principales avenidas adyacentes que dan acceso al Terrapuerto de Ayacucho.

Por ende, se propone implementar semáforos en las avenidas que componen la intersección, cabe resaltar que los semáforos propuestos son los semáforos pre-sincronizados programados con tiempos pre-establecidos, donde se muestra el tiempo restante para cambiar de color.

Los semáforos propuestos se encuentran en el ingreso a la intersección de estudio por la Av. Pérez de Cuellar, Vía evitamiento, vía a Mollepata y Av. La cantuta, tal como se detalla en la siguiente imagen.

Figura 42: Modelado y ubicación de los semáforos propuestos

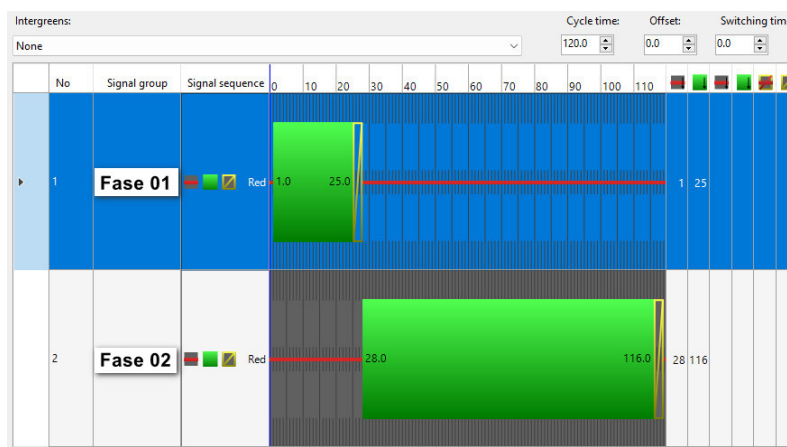


fuentes: Elaboración Propia

Los semáforos propuestos en el modelo tienen un tiempo total del ciclo de 120 segundos, compuesto por dos fases:

- Para la primera fase se tiene preestablecido 25 segundos en verde, 3 segundos en amarillo y 92 segundos en rojo.
- Para la segunda fase se tiene preestablecido 28 segundos en rojo, 89 segundos en verde y 3 segundos en amarillo.

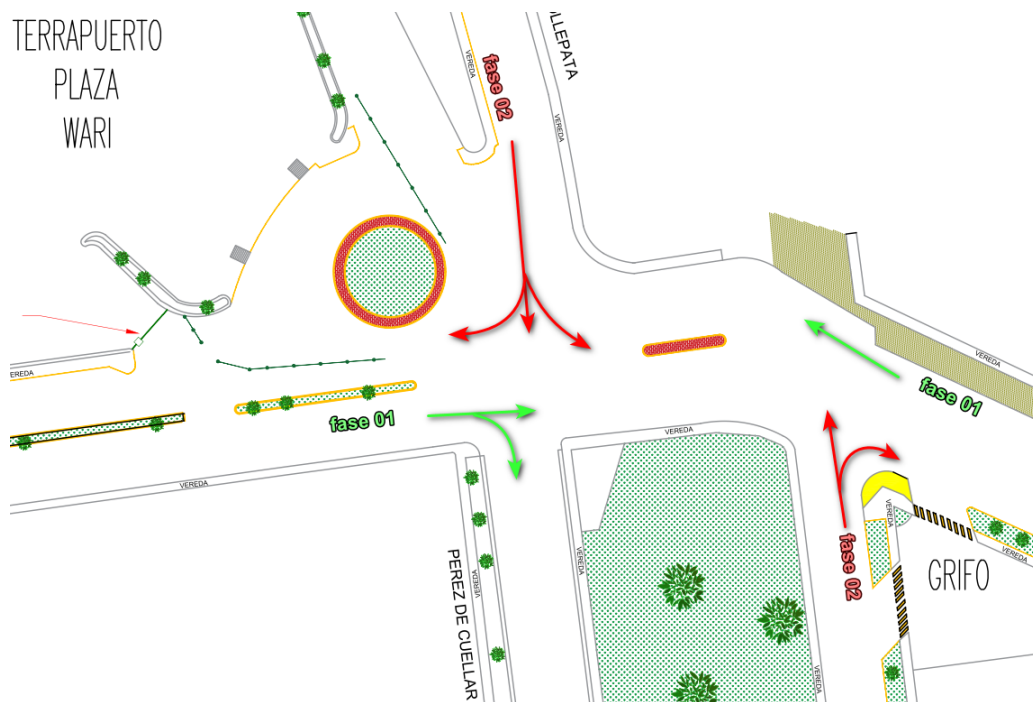
Figura 43: Ciclo de los semáforos propuestos



fuentes: Elaboración Propia

Entonces, la fase controla el desplazamiento de los vehículos que entran a la intersección por la Vía Evitamiento y la Av. La cantuta; y la fase 2 controla el desplazamiento de los vehículos que ingresan a la intersección por la Av. Perez de cuellar y la Vía a Mollepata.

Figura 44: Diagrama de fases propuesto



fuentes: Elaboración Propia

La ejecución de física de la implementación de semáforos en la intersección de estudio, tendría un presupuesto aproximado de acuerdo a lo detallado en la siguiente tabla:

Tabla 39: Presupuesto aproximado de la ejecución de trabajos al implementar semáforos

Item	Descripción	Und	Parcial S/.
01	INSTALACIÓN DE SEMÁFOROS PARA EL CONTROL DE TRANSITO		
01.01	SUMINISTRO DE MATERIALES Y EQUIPOS		
01.01.01	OBRAS PROVISIONALES		
01.01.01.01	Cartel de obra impresión banner de 2.4mx3.6m (fabricación)	Und	575.20
01.01.02	ESTRUCTURAS DE SOPORTE		
01.01.02.01	Solado E=4" Mezcla 1:8 C:A (materiales)	m2	91.67
01.01.02.02	Concreto f'c=175kg/cm2, manual - cimentación de estructura metálica de soporte (materiales)	m3	964.47
01.01.02.03	Acero de refuerzo Fy=4200 kg/cm2 - cimentación de estructura metálica de soporte (materiales)	kg	374.43
01.01.02.04	Encofrado y desencofrado - Estructura metálica de soporte (materiales)	m2	18.39
01.01.02.05	Estructura metálica de soporte de semáforos, tipo bandera	Jgo	3,550.00
01.01.02.06	Estructura metálica de soporte de semáforos, tipo doble bandera	Jgo	27,650.00
01.01.03	CONDUCTOR PARA SISTEMA DE CONTROL		
01.01.03.01	Conductor flexible de 4x16 AWG	m	9,164.40
01.01.04	CONDUCTOR PARA SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA		
01.01.04.01	Conductor concéntrico para acometida	m	1,872.00
01.01.05	SUMINISTRO DE EQUIPOS DE CONTROL DE TRANSITO		
01.01.05.01	Semáforo Vehicular LED 1C/3L 12"x12"12"	Und	30,300.00
01.01.05.02	Semáforo Vehicular LED cuenta regresiva 1C/1L 12"	Und	15,600.00
01.01.05.03	Semáforo peatonal LED 1C/1L 12"x12"	Und	7,960.00
01.01.06	SUMINISTRO DE CONTROLADOR DE LUCES		
01.01.06.01	Controlador Electrónico de 5 fases	Und	10,400.00
01.02	MONTAJE ELECTROMECAÁNICO		
01.02.01	INSTALACIÓN DE ESTRUCTURAS		
01.02.01.01	Flete terrestre	Und	6,352.36
01.02.01.02	Excavación de hueco para estructura de soporte	m3	159.87
01.02.01.03	Construcción de solado E=4" Mezcla 1:8 C:A inc curado	m2	35.94
01.02.01.04	Construcción de dados de concreto armado para cimentación de estructura metálica de soporte (inc. Concreto, acero y encofrado)	glb	3,611.36
01.02.01.05	Instalación de soporte metálico para semáforos	Und	3,375.28
01.02.02	MONTAJE DE CONDUCTORES DE ENERGÍA		
01.02.02.01	Tendido y conexionado de conductores	km	3,122.23
01.02.03	INSTALACIÓN DE EQUIPOS DE CONTROL DE TRANSITO		
01.02.03.01	Instalación de semáforos vehiculares y peatonal	Und	10,527.76
01.02.04	INSTALACIÓN DE CONTROLADOR DE LUCES		
01.02.04.01	Colocación y Conexionado de controlador de luces de semáforos	Und	2,477.12
01.02.05	PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO		
01.02.05.01	Prueba y puesta en servicio	Und	2,477.12

fuente:Elaboración propia

Tabla 40: Presupuesto aproximado de la ejecución de trabajos al implementar semáforos

COSTO DIRECTO	140,659.61
GASTOS GENERALES	7,800.00

PRESUPUESTO BASE	148,459.61
SUPERVISIÓN	5,000.00
EXPEDIENTE TÉCNICO	5,000.00

COSTO TOTAL DEL PROYECTO	158,459.61

fuentes:Elaboración propia

De acuerdo a lo detallado en tabla precedente, se puede observar que la implementación de semáforos en la intersección con la ejecución de las principales partidas detalladas anteriormente tendría un presupuesto aproximado de S/.158,459.61 soles.

Resultados

4.1 Análisis y comparación de resultados de la micro simulación al implementar el paso a desnivel

En este acápite se muestran los resultados al modelar el cambio de estructura de vía realizado que en este caso es la implementación del paso a desnivel. Del mismo modo se comparan los resultados con la situación actual con la finalidad de evidenciar las mejoras a nivel de los parámetros de medida tanto vehicular como peatonal. A continuación, se muestran los resultados obtenidos posterior a la micro simulación de ambas propuestas implementadas:

4.1.1 Velocidad de viaje promedio

Tabla 41: velocidad promedio de la situación propuesta con paso a desnivel

Nº de corridas	Velocidad promedio (Km/hr)
1	13.59
2	13.68
3	13.28
4	13.24
5	13.23
6	13.28
7	13.28
8	13.53
9	13.10
10	14.02
11	13.31
12	13.43
13	12.92
14	13.08
15	13.87
PROMEDIO	13.39
DESV EST.	0.30

fuentes:Elaboración propia

De la tabla anterior se puede observar que la velocidad promedio de la situación propuesta al implementar un paso a desnivel es de 13.39 km/h.

4.1.2 Tiempo de viaje vehicular

Tabla 42: tiempo de viaje vehicular de la situación propuesta con paso a desnivel

Nº de corridas	Tiempo de viaje vehicular (s)
1	25.20
2	24.37
3	25.58
4	25.79
5	24.15
6	24.55
7	27.06
8	22.76
9	28.66
10	24.30
11	24.03
12	26.26
13	25.38
14	26.14
15	24.67
PROMEDIO	25.26
DESV EST.	1.43

fuentes:Elaboración propia

Se observa en la tabla que el tiempo de viaje vehicular promedio en la intersección, con la implementación de un paso a desnivel es de 25.26 segundos.

4.1.3 Demora promedio en la intersección

Tabla 43: Demora promedio de la situación propuesta con paso a desnivel

Nº de corridas	Demora promedio (s)
1	7.92
2	7.17
3	8.46
4	8.84
5	7.10
6	7.58
7	10.00
8	5.93
9	11.37
10	7.28
11	7.12
12	9.19
13	8.32
14	9.16
15	7.69
PROMEDIO	8.21
DESV EST.	1.36

fuentes:Elaboración propia

Se observa que la demora promedio en la intersección al implementar el paso a desnivel es de 8.21 segundos.

4.1.4 Longitudes de cola

Tabla 44: Longitud de cola promedio en la intersección con paso a desnivel

Nº de corridas	longitud de cola (m)
1	6.86
2	5.55
3	8.42
4	8.75
5	5.40
6	6.68
7	11.28
8	4.73
9	12.26
10	5.65
11	5.81
12	8.86
13	6.99
14	8.68
15	6.72
PROMEDIO	7.51
DESV EST.	2.18

fuentes:Elaboración propia

Se observa que la longitud de cola promedio en la intersección al implementar el paso a desnivel es de 7.51 metros.

4.2 Análisis y comparación de resultados de la micro simulación al implementar señales de control optimizados

A continuación, se muestran los resultados al modelar la situación propuesta con la implementación de semáforos en las ubicaciones detalladas anteriormente:

4.2.1 Velocidad de viaje promedio

Tabla 45: velocidad promedio de la situación propuesta con semáforos

Nº de corridas	Velocidad promedio (Km/hr)
1	12.95
2	13.20
3	13.06
4	12.93
5	12.63
6	12.61
7	12.53
8	13.19
9	12.48
10	12.31
11	12.33
12	11.66
13	13.28
14	12.21
15	12.64
PROMEDIO	12.67
DESV EST.	0.44

fuentes:Elaboración propia

De la tabla anterior se puede observar que la velocidad promedio de la situación propuesta al implementar semáforos es de 12.67 km/h.

4.2.2 Tiempo de viaje vehicular

Tabla 46: tiempo de viaje vehicular de la situación propuesta con semáforos

Nº de corridas	Tiempo de viaje vehicular (s)
1	28.78
2	28.84
3	29.20
4	28.10
5	28.95
6	28.05
7	28.25
8	27.72
9	28.19
10	29.09
11	30.80
12	30.04
13	29.18
14	29.50
15	29.44
PROMEDIO	28.94
DESV EST.	0.82

fuentes:Elaboración propia

Se observa en la tabla que el tiempo de viaje vehicular promedio en la intersección, con la implementación de semáforos es de 28.94 segundos.

4.2.3 Demora promedio en la intersección

Tabla 47: demora promedio de la situación propuesta con implementación de semáforos

Nº de corridas	Demora promedio (s)
1	18.55
2	18.40
3	18.93
4	18.13
5	18.94
6	17.72
7	17.83
8	17.63
9	18.08
10	18.65
11	20.30
12	19.56
13	19.06
14	19.15
15	19.40
PROMEDIO	18.69
DESV EST.	0.75

fuentes:Elaboración propia

Se observa que la demora promedio en la intersección al implementar los semáforos es 18.69 segundos.

4.2.4 Longitudes de cola

Tabla 48: longitud de cola promedio en la intersección con implementación de semáforos

Nº de corridas	longitud de cola (m)
1	29.27
2	29.74
3	28.95
4	28.62
5	28.69
6	28.64
7	28.89
8	28.64
9	28.54
10	28.25
11	29.23
12	29.06
13	28.42
14	29.27
15	28.19
PROMEDIO	28.83
DESV EST.	0.43

fuentes:Elaboración propia

Se observa que la longitud de cola promedio en la intersección al implementar los semáforos es de 28.83 metros.

4.3 Contrastación de hipótesis

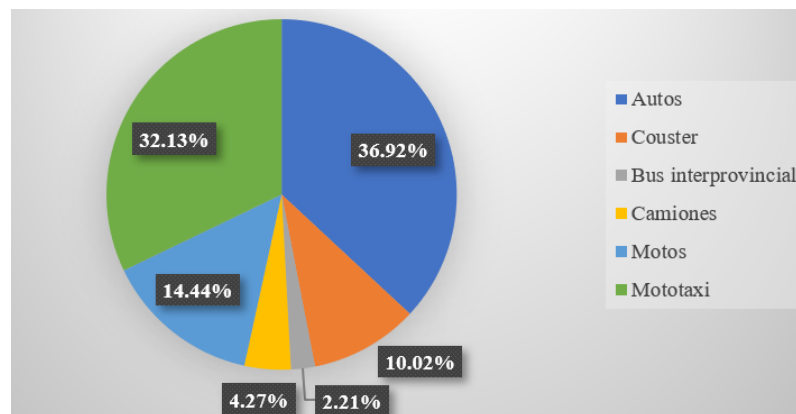
Hipótesis general: Si se realiza la micro simulación entonces se podrá evaluar la influencia de las propuestas en las características del flujo vehicular de las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.

De acuerdo a las propuestas de mejora de implementación del paso a desnivel y la implementación de señales de control, se puede observar la influencia en las particularidades del flujo vehicular en referencia a la micro simulación de la situación actual, medidos a través de la velocidad promedio, tiempo de viaje vehicular, demora promedio y longitud de cola, las cuales se ven detalladas en la tabla N° 4.9

H1: El aforo vehicular en campo nos permitirá evaluar y determinar el volumen horario de máxima demanda donde se presenta mayor congestión vehicular en la intersección de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.

El aforo vehicular diurno realizado a la intersección de estudio, nos permite mapear la cantidad de vehículos que llegan a la intersección, el aforo se clasificó en intervalos de una hora, y en función al tipo de vehículo que llega a la intersección, estos conteos se realizaron en cada una de las calles que dan acceso a la intersección, como se detalló en el capítulo anterior se logró determinar el Intervalo horario de mayor demanda vehicular, mostrándose en la tabla de anexos y se determina el intervalo horario comprendido entre las 08:00 a.m. a 09:00 a.m. con la presencia de 1357 vehículos, compuesto por 501 autos, 136 couster, 30 buses interprovinciales, 58 camiones, 196 motos y 436 mototaxis en la intersección de estudio.

Figura 45: Porcentaje por tipo de vehiculo en HMD



fuentes: Elaboración Propia

De acuerdo al gráfico anterior se observa mayor presencia de vehículos como autos que representa el 36.92 % y mototaxis que representan en 32.13 % del total y con menor presencia la cantidad de buses interprovinciales que representa el 2.21 %.

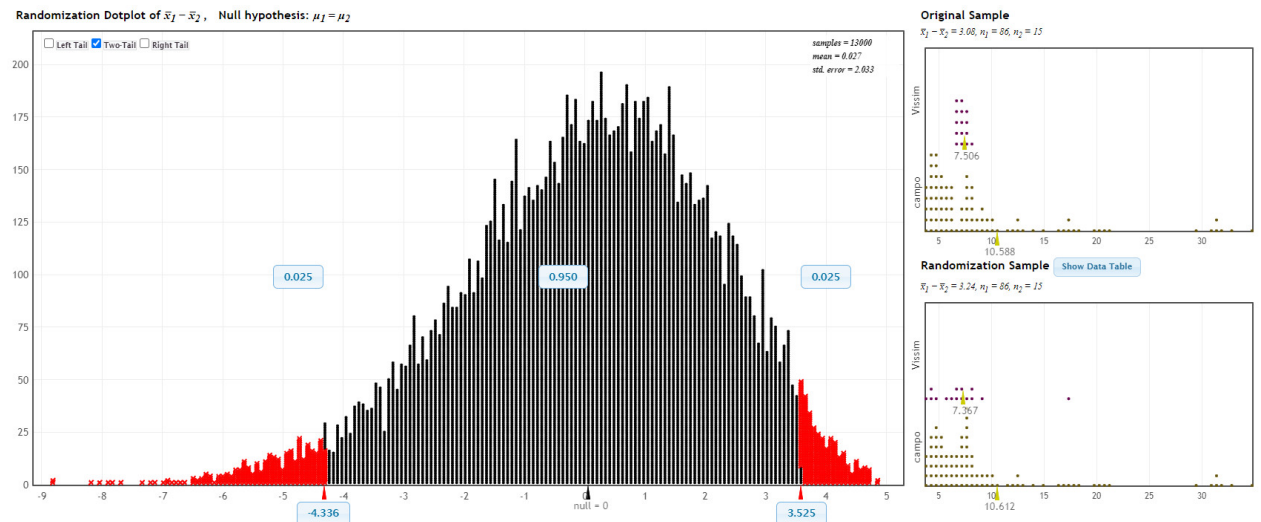
H2: La micro simulación por medio de la calibración y validación nos permitirá tener un modelo adecuado que refleje las principales características que definen el flujo vehicular en las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.

La calibración y validación del flujo vehicular se realizó utilizando la prueba de hipótesis nula representada por H_0 y H_1 , que es aceptada provisionalmente como si fuera verdadera, por ende, su validez es sometida a la comprobación experimental, donde:

$$H_0 : \theta = \theta_0, \text{ y } H_1 : \theta \neq \theta_0$$

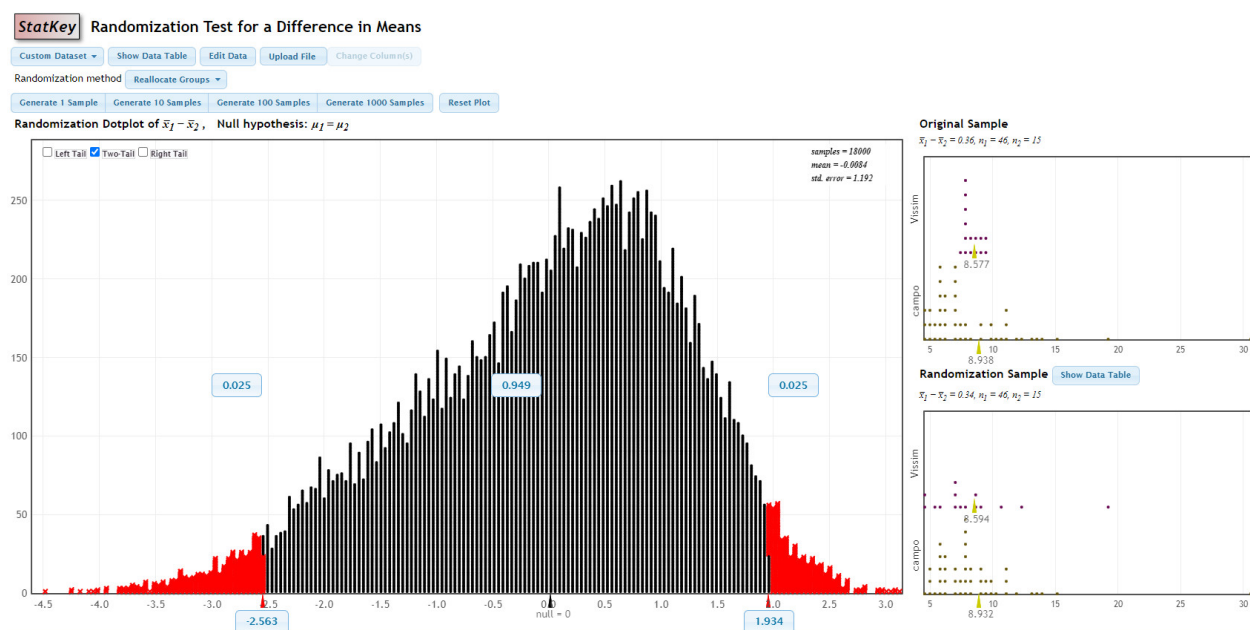
La prueba estadística de una hipótesis, es el proceso mediante el cual se puede tomar una decisión donde se acepta o se rechaza la hipótesis nula H_0 , opuesto a la hipótesis alternativa H_1 en base a los resultados de la muestra. El aceptar una hipótesis significa que los datos de la muestra no muestran evidencia suficiente para refutarla. Por otro lado, el hecho de rechazarla implica que los datos de la muestra lo refutan. (Córdova, 2003).

Figura 46: Prueba bilateral o de dos colas para la calibración vehicular



fuelle: Elaboración Propia

Del gráfico anterior se puede afirmar que la diferencia absoluta de 3.08 se encuentra en el rango de $[-4.336; 3.525]$, perteneciente a la zona de no rechazo, en consecuencia, se acepta la hipótesis nula H_0 , se puede afirmar que a un nivel de confianza del 95 %, existe evidencia suficiente para afirmar que el modelo se encuentra calibrado.

Figura 47: Prueba bilateral o de dos colas para la validación vehicular


fuentes: Elaboración Propia

En base a los conceptos definidos anteriormente, del gráfico anterior se puede afirmar que la diferencia absoluta de medias que es 0.36 se encuentra en el rango de $[-2.563; 1.934]$, perteneciente a la zona de no rechazo, en consecuencia, se acepta la hipótesis nula H_0 , se puede afirmar que a un nivel de confianza del 95 %, existe evidencia suficiente para afirmar que el modelo se encuentra validado.

Realizada la prueba bilateral para la calibración y validación del modelo, se concluye que la micro simulación del estado actual nos permite tener un modelo adecuado que refleja las características principales que definen el flujo vehicular de la intersección de estudio. Como se detalló explícitamente en el acápite 3.9.5 calibración del modelo y 3.9.6 validación del modelo, se acepta la hipótesis nula, por ende, se puede afirmar que a un nivel de confianza del 95 %, existe evidencia estadística suficiente para afirmar que el modelo se encuentra calibrado y validado.

H3: La micro simulación de las propuestas de mejora nos permitirá identificar las características del flujo vehicular en dicha situación en la intersección de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.

En el acápite 4.1 y 4.2, se muestra los resultados de las características del flujo vehicular, que arroja la micro simulación, posterior a las 15 corridas del programa. Realizamos la evaluación estadística de las propuestas implementadas en la intersección, la cual consiste en analizar los resultados arrojados con la implementación de las propuestas

en comparativa con los resultados del estado actual, para determinar si estas son significativas en la intersección. Para ello se analizan las velocidades y longitudes de cola. Se utiliza la prueba de hipótesis unilateral o prueba de hipótesis de una cola, representada por H_0 y H_1 , donde definimos:

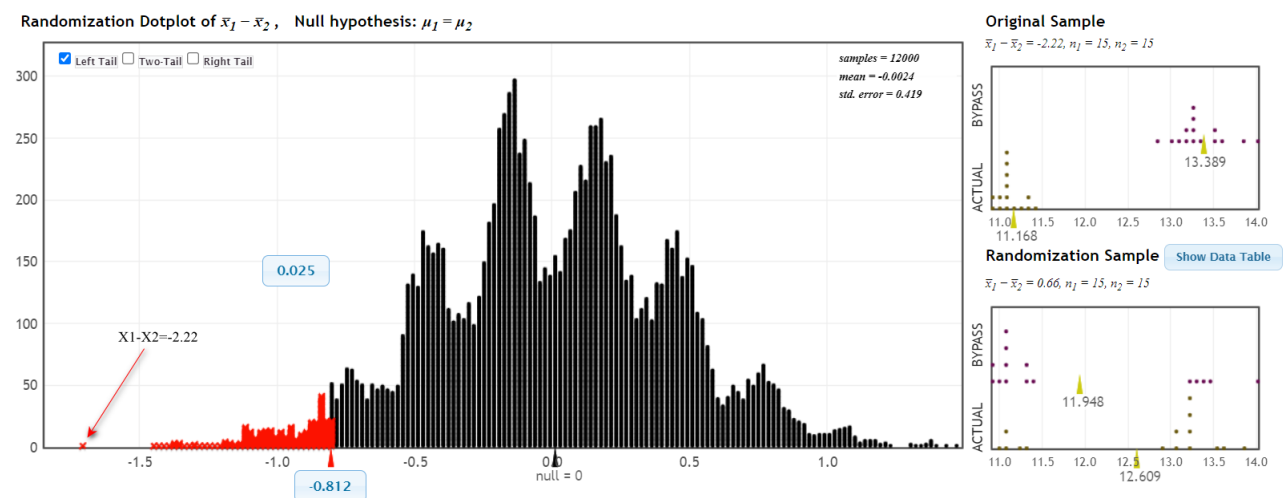
$H_0 : \theta = \theta_0$, y $H_1 : \theta > \theta_0$; para la prueba unilateral de cola a la derecha en el caso de tiempo de viaje vehicular, demora promedio y longitud de cola.

$H_0 : \theta = \theta_0$, y $H_1 : \theta < \theta_0$; para la prueba unilateral de cola a la izquierda aplicado al análisis de la velocidad promedio.

A continuación, se detalla la evaluación estadística para la velocidad promedio y longitud de cola, se utiliza el Statkey, con el procedimiento similar al utilizado para la calibración y validación. La evaluación estadística para el tiempo de viaje vehicular y la demora promedio se encuentra en el acápite de anexos.

Análisis y evaluación estadística de la velocidad promedio

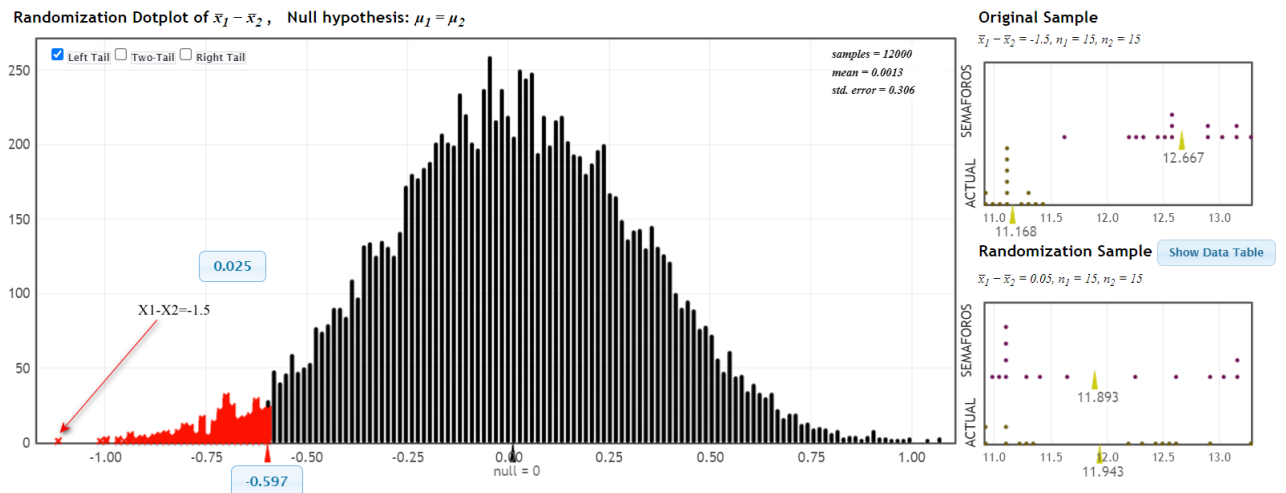
Figura 48: evaluación estadística de velocidad promedio con implementación de paso a desnivel



fuentes: Elaboración Propia

La velocidad promedio en la situación actual es de 11.17 km/h mientras que con la implementación del paso a desnivel la velocidad promedio es de 13.39 km/h, con los datos de la situación actual y la implementación del paso a desnivel, se evaluó si las velocidades de este son mayores a los primeros. En la figura anterior se aprecia que la diferencia de medias es de -2.22, encontrándose dicho valor fuera de la zona de no rechazo, cuyo valor mínimo es de -0.812, por ende, existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa.

Figura 49: Evaluación estadística de velocidad promedio con implementación de semáforos

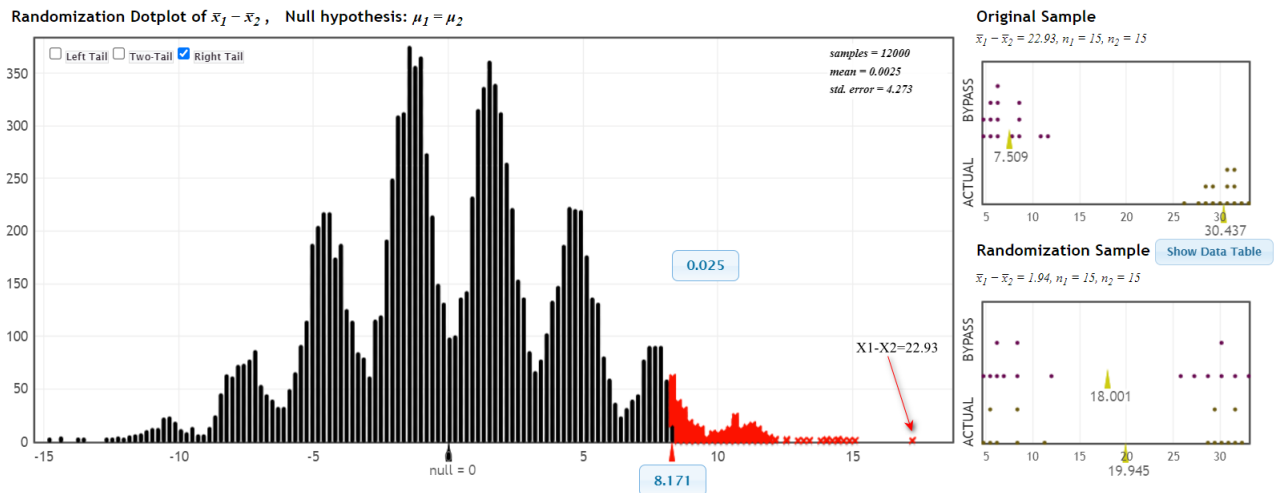


fuelle: Elaboración Propia

La velocidad promedio en la situación actual es de 11.17 km/h mientras que con la implementación de semáforos la velocidad promedio es de 12.67 km/h, con los datos de la situación actual y la implementación de semáforos, se evaluó si las velocidades de este son mayores a la situación actual. De acuerdo a la figura anterior se aprecia que la diferencia de medias es de -1.5, encontrándose dicho valor fuera de la zona de no rechazo, cuyo valor mínimo es de -0.597, por ende, existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa con respecto a la velocidad promedio de la implementación de semáforos.

Análisis y evaluación estadística de la longitud de cola

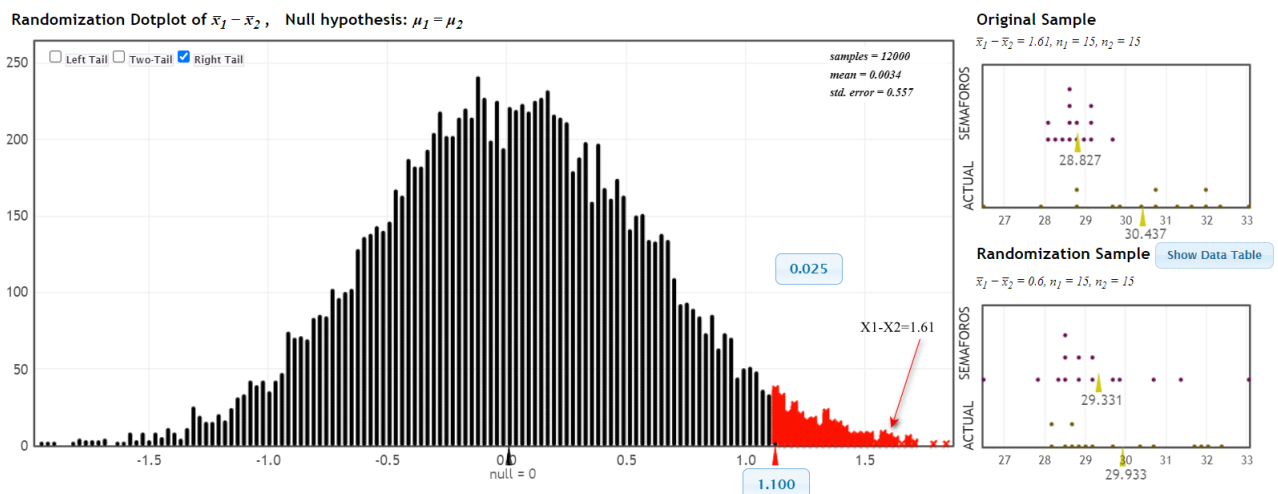
Figura 50: Evaluación estadística de longitud de cola con implementación de paso a desnivel



fuelle: Elaboración Propia

La longitud de cola promedio en la situación actual es de 30.44 m mientras que con la implementación del paso a desnivel la longitud de cola promedio es de 7.51m, con los datos de la situación actual y la implementación del paso a desnivel, se evaluó si las longitudes de cola de este son menores a los primeros. En la figura anterior se aprecia que la diferencia de medias es de 22.93, encontrándose dicho valor fuera de la zona de no rechazo, cuyo valor máximo es de 8.171, por ende, existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa.

Figura 51: Evaluación estadística de longitud de cola con implementación de semáforos



fuelle: Elaboración Propia

La longitud de cola promedio en la situación actual es de 30.44 m mientras que con la implementación de semáforos la longitud de cola promedio es de 28.83m, con los datos de la situación actual y la implementación de semáforos, se evaluó si las longitudes de cola de este son menores a los primeros. En la figura anterior se aprecia que la diferencia de medias es de 1.61, encontrándose dicho valor fuera de la zona de no rechazo, cuyo valor máximo es de 1.10, por ende, existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa.

La evaluación estadística realizada para el tiempo de viaje vehicular y la demora promedio se encuentran en la sección ANEXOS.

De acuerdo a lo detallado anteriormente la micro simulación de las propuestas de mejora nos permite identificar la variación en las características del flujo vehicular en la intersección de estudio, dichas variaciones han sido detalladas y evaluadas estadísticamente, evidenciando así la variación de los resultados con la implementación de las propuestas.

De acuerdo a lo detallado en la tabla N°4.9, se puede evidenciar la variación en las características del flujo vehicular en referencia a la situación actual, observándose que, si la prioridad es mejorar la velocidad promedio, se puede optar por la implementación de un paso a desnivel que muestra una mejora del 19.90 % a diferencia de la implementación de las señales de control que muestra una mejora del 13.43 %, reflejándose también que con la implementación del paso a desnivel, el tiempo de viaje vehicular se reduce en un 7.72 %, la demora promedio se reduce en un 35.14 % y la longitud de cola se reduce en un 75.33 %.

4.4 Análisis e interpretación de los resultados

A partir de la simulación de la implementación del paso a desnivel y la implementación de semáforos se obtuvieron los siguientes resultados en función a los parámetros de control como son: velocidad promedio, tiempo de viaje, demora promedio y longitud de cola.

Tabla 49: comparación de resultados en las diferentes situaciones modeladas

	Velocidad promedio (Km/hr)	Tiempo de viaje vehicular (s)	Demora promedio (s)	longitud de cola (m)
Situación actual	11.17	27.37	12.66	30.44
Paso a desnivel	13.39	25.26	8.21	7.51
mejora (%)	19.90%	7.72%	35.14%	75.33%
Señales de control (semáforo)	12.67	28.94	18.69	28.83
mejora (%)	13.43%	-5.72%	-47.68%	5.29%

fuentes:Elaboración propia

Como se observa en la tabla precedente, la velocidad de viaje vehicular promedio aumento en un 19.90 % con la implementación del paso a desnivel y una mejora del 13.43 % con la implementación de señales de control (semáforos), con respecto a la situación actual de la intersección, esto indica que en ambas propuestas los vehículos recorren una mayor distancia en menos tiempo.

Con respecto al parámetro de control del tiempo de viaje vehicular, se observa que para el caso de la implementación del paso a desnivel existe una mejora del 7.72 % y con respecto a la implementación de señales de control se observa un aumento del tiempo de viaje de 5.72 % con respecto a la situación actual.

La relación de la demora promedio, se observa en la tabla que con la implementación del paso a desnivel las demoras promedio se reducen en un 35.14 %, sin embargo, con la implementación de las señales de control se puede observar que la demora promedio incrementa en un 47.68 % con respecto a la situación actual.

Con respecto a las longitudes de cola se observa que con la implementación del paso a desnivel las longitudes de cola se reducen en un 75.33 %, de manera similar con la implementación de las señales de control se observa que las longitudes de cola se reducen en un 5.29 % con respecto a las longitudes de cola medidas en la situación actual.

Figura 52: Gráfica de resultados para cada escenario modelado



fuentes: Elaboración Propia

Se obtuvieron los siguientes resultados para la implementación de paso a desnivel: velocidad promedio de 13.39 km/h, tiempo de viaje vehicular promedio de 25.26 segundos, demora promedio de 8.21 segundos y longitud de cola promedio de 7.51 metros. Los resultados para implementación de las señales de control semafórico fueron una velocidad promedio de 12.67 km/h, tiempo de viaje vehicular promedio de 28.94 segundos, demora promedio de 18.69 segundos, longitud de cola promedio de 28.83 metros. Evaluándose así la influencia de las propuestas de mejora en las características del flujo vehicular que compone la intersección.

Se evidencia que en referencia a la velocidad promedio, al implementar el paso a desnivel esta aumenta en un 19.90 % y al implementar los semáforo aumenta en un 13.43 %; el tiempo de viaje vehicular con la implementación de señales de control se incrementa en un 5.72 %, esto se puede justificar debido a que en la situación actual la intersección no contaba con semáforos, por ende los tiempos que se encuentran en rojo son sumados al tiempo de viaje, de los vehículos, sin embargo, cabe destacar que con la implementación de los semáforos, se mejora los niveles de seguridad en los peatones que se desplazan en las diferentes calles, puesto que de esta manera se logra ordenar el desplazamiento de los vehículos y los peatones, asignándoles un tiempo para su desplazamiento.

Se observó que en los resultados de demora promedio al implementar las señales de control aumenta en un 47.68 %, esto debido a que también se incrementan el tiempo de semáforo en la fase de color rojo.

En cuanto a la longitud de cola se logró observar que con la implementación de las señales de control mejora en un 5.29 %, se observó que la mejora no es muy significativa

puesto que al momento en que el semáforo se encuentra en la fase de color rojo, aun se generan colas por la naturaleza que genera el semáforo en esta fase.

CONCLUSIONES

Conclusiones

- El análisis de la intersección de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La cantuta y vía Evitamiento se realizó en base a los parámetros de velocidad promedio, tiempo de viaje vehicular, demora promedio y longitud de cola. Durante el análisis del desplazamiento vehicular se determinó que la zona más crítica está en la zona de ingreso a la intersección compuesto por la av. Pérez de Cuellar, en donde se forma una cola de vehículos, es decir, se observa congestión vehicular particularmente cuando los buses interprovinciales predisponen su ingreso al Terrapuerto, en los horarios más críticos como son entre las 7:00 a.m. y las 10:00 a.m..
- O1: Identificar el volumen horario de máxima demanda en la cual se presenta congestión vehicular en la intersección de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.

Con el análisis de los datos arrojados posterior al aforo vehicular que se realizó entre las seis de la mañana y las diez de la noche, se logró identificar el volumen horario de máxima demanda por la interacción de los vehículos, determinándose así el horario de máxima demanda vehicular comprendido entre las 08:00 a.m. a 09:00 a.m. con presencia de 1357 vehículos comprendido por 501 autos, 136 couster, 30 bus interprovincial, 58 camiones, 196 motos y 436 mototaxi.

- O2: Desarrollar la micro simulación del flujo vehicular actual, la calibración y validación del modelo en las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.

En el presente estudio se logró realizar la micro simulación del flujo vehicular actual compuesta por la cantidad de vehículos que circulan por cada calle integrante de la intersección, por medio de la calibración y validación del modelo se puede observar y concluir que a un nivel de confianza del 95 %, existe evidencia estadística suficiente para afirmar que el modelo se encuentra calibrado y validado, observándose que en la situación actual de obtiene una velocidad promedio de 11.17 km/h, el tiempo de viaje vehicular promedio de 27.37 segundos, demora promedio de 12.66 segundos y una longitud de cola promedio de 30.44 m

- O3: Desarrollar la micro simulación del flujo vehicular con implementación de las nuevas propuestas en las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.

En el presente estudio se logró implementar el paso a desnivel y semáforos en la micro simulación, posterior a la simulación se tomaron los resultados de velocidad promedio, tiempo de viaje vehicular, demora promedio y longitud de cola.

Los resultados obtenidos posterior a las 15 corridas del programa han sido evaluadas estadísticamente, para la velocidad promedio se realizó el análisis estadístico de prueba unilateral de cola a izquierda y prueba unilateral de cola a la derecha para tiempo de viaje vehicular, demora promedio y longitud de cola.

En el caso de velocidad promedio se evidencio que la diferencia de medias al implementar el paso a desnivel se encuentra fuera de la zona de no rechazo del mismo, se evidencio que la diferencia de medias al implementar semáforos también se encuentra fuera de la zona de no rechazo, aceptándose así la hipótesis alternativa, por ende, se puede afirmar que existe evidencia estadística suficiente para afirmar que las velocidades al implementar las propuestas sufren variación favorable, es decir, la velocidad promedio al implementar las propuestas tienen un valor por encima del actual.

- Oo: Evaluar mediante micro simulación la influencia de las propuestas en las características del flujo vehicular de las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.

Para evaluar el cambio se realizó una comparación de los resultados de los parámetros utilizados en las propuestas y en la situación actual, actualmente se observó la existencia de aglomeración y desorden de los vehículos que ingresan a la intersección y presencia de peatones que cruzan las calles, siendo estos, expuestos a sufrir accidentes o atropellos, por ello se presentó dos propuestas de mejora como son la implementación de un paso a desnivel y la implementación de las señales de control semaforico, donde se evaluó la influencia de estas en el flujo vehicular.

En función a los resultados mostrados posterior a la modelación de las propuestas de mejora, se logró evidenciar la influencia existente en el flujo vehicular a consecuencia de la implementación de las propuestas en la intersección.

Se logro evidenciar un porcentaje mayor en el incremento de la velocidad promedio al implementarse el paso a desnivel, como consecuencia de que, al implementar

un paso a desnivel, los vehículos se dirigen directamente desde o hacia la Av. Pérez de Cuellar y la vía Mollepata, por ende, incrementan la velocidad de dichos vehículos y se observa menor interferencia en la intersección puesto que estos vehículos quedan eximidos del modelo.

De acuerdo al presupuesto aproximado calculado al implementar el paso a desnivel o la implementación de semáforos como alternativas para mejorar la velocidad de flujo vehicular de la intersección, se ha podido observar que la implementación de semáforos tiene un presupuesto inferior en comparación a la implementación del paso a desnivel, por ende sería esta una alternativa potencial a implementar en la intersección, con el objetivo de lograr un ordenamiento vehicular y peatonal, buscando también de esta manera mejorar y reducir la exposición al riesgo de los peatones que cruzan las calles de la intersección de estudio.

Recomendaciones

- Como se ha podido observar en el presente estudio, diferentes áreas de la intersección son utilizados como estacionamientos de moto taxis y autos, en consecuencia, reducen el ancho de la acera disponible para el desplazamiento adecuado de los vehículos, se recomienda eliminar estos estacionamientos irregulares para dar mayor espacio a los vehículos que transitan.
- Se recomienda implementar paraderos para microbuses que estén ubicadas en áreas de las avenidas antes del ingreso a la intersección, puesto que el uso no planificado de áreas de la intersección como paraderos improvisados por los micro buses y moto taxis genera congestión vehicular y demoras, en consecuencia, el incremento de ruido, producto de la congestión vehicular.
- Se recomienda implementar señales de control que ayuden al ordenamiento de la intersección, dotando tiempos específicos para la circulación de vehículos y peatones, siendo estos últimos expuestos a sufrir accidentes, puesto que no existe un periodo destinado solo para su desplazamiento, por ende, la implementación de las señales de control dotaría a los peatones el tiempo necesario para desplazarse de una posición a otra sin ser expuestos a sufrir accidentes.
- Finalmente, se recomienda implementar el uso de un programa de micro simulación vehicular y peatonal previo a la intervención de la geometría de calles o intersecciones, del mismo modo se puede realizar el uso de estos programas para evaluar el resultado de la implementación de diversas mejoras, puesto que el modelado permite evaluar la influencia de las propuestas de mejora.

Trabajos futuros

- A partir de la observación de la exposición de los peatones, se sugiere realizar un estudio donde se analice los peligros a los que son expuestos y evaluar propuestas que mejoren o prioricen la seguridad de los peatones.
- Evaluar la densidad vehicular y la capacidad de la intersección en escenarios futuros, proyectando la cantidad de vehículos en determinados años y evaluar las propuestas de mejora para dichos escenarios.
- Establecer puntos de parada para los autobuses y moto taxis para evaluar la influencia de su implementación en las características de los flujos vehiculares existentes.

REFERENCIAS

- Abou-Senna, H. Radwan, E. (2013). VISSIM/MOVES integration to investigate the effect of major key parameters on CO2 emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 21, 39-46. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2013.02.003>
- Acosta, O., Montenegro, C. y Gaona, P. (2020). Condiciones de tránsito vehicular y uso de un modelo para la predicción de ruido por tráfico rodado en un entorno local de la ciudad de Bogotá-Colombia. *RISTI*, (Nº E27), 605-614.
- Acosta, J. (2019). *Valoración económica ambiental de la contaminación auditiva del transporte en la ciudad de Ayacucho* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio institucional de la UNSCH. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3875>
- Afrin, T., Yodo, N. (2020). A Survey of Road Traffic Congestion Measures towards a Sustainable and Resilient Transportation System. *Sustainability*, 12(11), 4660. <https://doi.org/10.3390/su12114660>
- Ali, Y., Chauhan, R., Arkatkar, S. y Dhamaniya, A. (2022). Application of Empirical Simulated Vehicle Trajectories in Risk Assessment at Signalized Intersection. *Transportation Research Procedia*, 62, 782-789. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.02.097>
- Almanza, A., Toledo, L., Jimenez, J., Hernandez, S., Tapia, M., Figueroa, V. y Fernandez, D. (2018). Bikeway system design in the city of Celaya through a microsimulation approach. *Transportation Research Procedia*, 33(2018), 371-378. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.11.003>
- Álvarez, J. (2017). *Micro simulación intermodal en la ciudad del Cusco empleando los software VISSIM 8 y VISWALK 8*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/8642>
- Arce, D. (2017). *Sistema autónomo de control de tráfico vehicular para intersecciones de avenidas* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/10175>
- Bandi, M. Varghese, G. (2020). Microsimulation Modelling in VISSIM on Short-term and Long-term Improvements for Mangalore City Road Network. *Transportation Research Procedia*, 48, 27252743. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.08.243>

- Bastarrianto, F., Hancock, T., Choudhury, C. y Manley, E. (2023). Agent-based models in urban transportation: review, challenges, and opportunities. *European Transport Research Review*, 15(19). <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00590-5>
- Bull, A. (2003). *Congestión de tránsito El problema y como enfrentarlo*. Comisión económica para América Latina y el Caribe. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/27813/S0301049_es.pdf?sequence=6&i
- Cabrera, F., 2016. *Apuntes de clase de gestión del tránsito*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Chavarría-Cerdas, D., Beckford-Flores, H., Ortega-Coto, J., Peña-Brenes, N., Aguirre-Gonzales, J. y Alfaro-Mora, R. (2020). Estrés y congestionamiento vial en universitarios costarricenses. *Revista cubana de medicina general integral*, 36(4), 1331. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21252020000400013&lng=es&tlng=es.
- Chen, R., Lin, Y., Yan, H., Liu, Y., Li, Y. (2024). Scaling law of real traffic jams under varying travel demand. *EPJ Data Sci*, 13(30). <https://doi.org/10.1140/epjds/s13688-024-00471-4>
- Chen, Y., Cheng, W., Xiao, H. (2011). Traditional Traffic Demand Definition Defects Analyze and Redefinition. In *Advanced Materials Research*, 255, 40614064. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.255-260.4061>
- Chile. Ministerio de planificación y cooperación. (1998). *Recomendaciones para el diseño del espacio vial urbano*. <http://www.sectra.gob.cl/biblioteca/detalle1.asp?mfn=470>
- Chura, C. (2018). *Rediseño y microanálisis de la intersección de los jirones Oquendo, Tacna, Los Incas y Av. La torre, Puno*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/13423>
- Córdova, M. (2003). *Estadística descriptiva e Inferencial* (5.a ed.). Editorial Moshera.
- Cvetek, D., Mutra, M., Jelui, N., Tiljari, L. (2021). A Survey of Methods and Technologies for Congestion Estimation Based on Multisource Data Fusion. *Applied Sciences*, 11(5), 2306. <https://doi.org/10.3390/app11052306>
- Decreto supremo N° 025-2021-MTC. (2021, 17 de julio). Decreto supremo que aprueba el reglamento del sistema de control de licencias de conducir por puntos y esta-

- blece otras disposiciones. Diario oficial El peruano. [https://www.gob. pe/institucion /mtc/normas-legales/2026176-025-2021-mtc](https://www.gob.pe/institucion/mtc/normas-legales/2026176-025-2021-mtc)
- De la cruz, J. (2019). *Evaluación y modelamiento del sistema de regulación de tráfico vehicular en el centro histórico del distrito de Ayacucho* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio institucional de la UNSCH. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3592>
- Delgadillo, V. (2020). *Medición de parámetros fundamentales para determinar la longitud máxima de la cola en intersecciones de la ciudad de Lima* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/16848>
- Dextre, J. y Tabasso C. (2010). *El lenguaje vial*. Fondo editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/173094>
- Dong L., Yang, X. Gao, C. (2013). VISSIM-based Simulation Analysis on Road Network of CBD in Beijing, China. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 96, 461-472. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.054>
- Espinoza, F., Gordillo, A., Jiménez, R. y Avilés, O. (2013). Machine vision algorithms applied to dynamic traffic light control. *Dyna*. 80(178), 132-140. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49626817018>
- Fernández, R. (2011). *Elementos de la teoría del tráfico vehicular*. Fondo editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/173103>
- FHWA Federal Highway Administration (2019). Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software 2019 Update to the 2004 Version. *U.S. Department of Transportation*. <https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop18036/fhwahop18036.pdf>
- Gao, Y., Qu, Z., Song, X., Yun, Z. Xia, Y. (2021). A novel relationship model between signal timing, queue length and travel speed. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 583. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.126331>.
- González-Aliste, P., Derpich, I., López, M. (2023). Reducing Urban Traffic Congestion via Charging Price. *Sustainability*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/su15032086>

- Hansson, J., Pettersson, F., Svensson, H. y Wretstrand, A. (2019). Preferences in regional public transport: a literature review. *European Transport Research Review*, 11(38). <https://doi.org/10.1186/s12544-019-0374-4>
- He, Z. y Haasis H-D. (2020). A Theoretical Research Framework of Future Sustainable Urban Freight Transport for Smart Cities. *Sustainability*. 12(5). <https://doi.org/10.3390/su12051975>
- Heather, K., Andreas, K., y Klaus, B. (2021). Calibrating the Wiedemann 99 Car-Following Model for Bicycle Traffic. *Sustainability*, 13(6), 3487. <https://doi.org/10.3390/su13063487>
- Hernández, L., León, O., Villar, J. y Cárdenas, K. (2022). Microsimulation of traffic and congestion of the interchange oval. *LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*. <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.378>
- Huang, F., Liu, P. y Wang, W. (2013). Identifying if VISSIM simulation model and SSAM provide reasonable estimates for field measured traffic conflicts at signalized intersections. *Accident Analysis and Prevention*, 50, 1014-1024. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.08.018>
- Instituto Nacional de Estadística e informática [INEI]. (2017). *Población y vivienda*. <https://m.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>
- Jacome, R. y Jaramillo, W. (2019). Semáforos inteligentes y tráfico vehicular: Un caso de estudio comparativo para reducir atascos y emisiones contaminantes. *RISTI*. <https://www.researchgate.net/publication/331972355>
- Karakikes, I., Spangler, M. Margreiter, M. (2017). Designing a Vissim-Model for a motorway network with systematic calibration on the basis of travel time measurements. *Transportation Research Procedia*, 24, 171-179. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.086>.
- Krivda, V., Petru, J., Macha, D., y Novak, J. (2021). Use of Microsimulation Traffic Models as Means for Ensuring Public Transport Sustainability and Accessibility. *Sustainability*, 13(5), 2709. <https://doi.org/10.3390/su13052709>
- Lapa, S. (2017). *Análisis vial en intersecciones a desnivel con micro simulación y sistema inteligente de transporte, aplicado a la intersección Av. Ejército con Av. Ramón Castilla* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Hua-

- manga]. Repositorio institucional de la UNSCH. [http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/ UNSCH/1979](http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1979)
- Li, H., Chen, N., Qin, L., Jia, L., Rong, J. (2017). Queue length estimation at signalized intersections based on magnetic sensors by different layout strategies. *Transportation Research Procedia*, 25(2017), 1626-1644. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.212>.
- Lu, Z., Fu, T. Fu, L., Shiravi, S. y Jiang, C. (2016). A video-based approach to calibrating car-following parameters in VISSIM for urban traffic. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 5 (1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2016.06.001>
- Ministerio de transportes y comunicaciones. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf
- Montenegro, J. y Lozano, A. (2013). *Simulación microscópica del tránsito*. Programa de maestría y doctorado en ingeniería facultad de ingeniería UNAM. Rio de Janeiro, Brasil.
- Moyano, C. (2017). *Estimación de la contaminación del aire generada por efecto de la circulación vehicular motorizada en la Av. 10 de agosto de la ciudad de Cuenca - Ecuador, usando la herramienta de micro simulación de tránsito Aimsun 8.1*. [Tesis de maestría, Universidad de Azuay]. Repositorio institucional de la Universidad de Azuay. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7226>
- National Academy of Sciences. (2000). *Highway capacity manual*. https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/highway_capacital_manual.pdf
- Papageorgiou, G., Damianou, P., Ioannou, P. & Pitsilides, A. (2006). *A microscopic simulation model for traffic management in Cyprus*. University of cyprus.
- Pedraza, L., Hernández, C. y López, D. (2012). Control de tráfico vehicular usando ANFIS. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*. 20(1), 79-88. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052012000100008>
- Pedraza-Martínez, L., Hernández-Suarez, C. y López-Sarmiento D. (2013). *Sistema de comunicación TCP/IP para el control de una intersección de tráfico vehicular*. *Revista Ingeniería Investigación y Tecnología*. 14(04), 583-594. <https://www.elsevier.es/es-revista-ingenieria-investigacion-tecnologia-104-articulo-sistema-tcp-ip-el-control-una-S1405774313722686>

- Pulugurtha, S., Nambisan, S., Dangeti, M., y Kaseko, M. (2002). Simulating and Analyzing Incidents Using CORSIM and VISSIM Traffic Simulation Software. *Applications of Advanced Technologies in Transportation*, 811-818. [https://doi.org/10.1061/40632\(245\)102](https://doi.org/10.1061/40632(245)102)
- Qadri, S., Gökçe, M. y Öner, E. (2020). State-of-art review of traffic signal control methods: challenges and opportunities. *European Transport Research Review*, 12(55). <https://doi.org/10.1186/s12544-020-00439-1>
- Ramírez, A. y Domínguez E. (2011). El ruido vehicular urbano: problemática agobiante de los países en vías de desarrollo. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 35(137), 509-530. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082011000400009&lng=en.
- Real Academia Española. (2014). *Diccionario de la Real Academia Española*.
- Risser R. (1985). Behavior in traffic conflict situations. *Accid Anal Prev*, 17(2), 179-97. [https://doi.org/10.1016/0001-4575\(85\)90020-x](https://doi.org/10.1016/0001-4575(85)90020-x)
- Robertson, D. (1994). *Manual of transportation engineering studies*. Prentice Hall
- Roca, V., 2009. Análisis operacional de glorietas mediante simulación microscópica. *Revista Andinatraffic*, Issue 5, pp. 28-31.
- Romero-Rojas, G. (2019). *Análisis y comparación de criterios de diseño geométrico en las intersecciones a desnivel*. [Tesis de pregrado, Universidad de Piura]. Repositorio institucional de Piura. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4088/ICI_276.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ruiz, J. y Quispe, G. (2022). *Análisis y rediseño vial de la intersección Av. Comandante Espinar y calle dos de mayo, distrito de Miraflores* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/23521>
- Salazar, C. (2018). *Análisis por micro simulación de la intersección entre la Av. Brasil y el Jr. General Borgoño empleando Vissim 8*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/12617>
- Schweizer, J., Poliziani, C., Rupi, F., Morgano, D., y Magi, M. (2021). Building a Large-Scale Micro-Simulation Transport Scenario Using Big Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(3), 165. <https://doi.org/10.3390/ijgi10030165>

- SEDESOL (2000). *Programa de asistencia técnica en transporte urbano para las ciudades medias mexicanas: manual normativo*.
- Sha, H., Haouari, R., Singh, M., Papazikou, E., Quddus, M., Chaudhry, A., Thomas, P. y Morris, A. (2024).. How can on-street parking regulations affect traffic, safety, and the environment in a cooperative, connected, and automated era?. *European Transport Research Review*,16(18). <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00628-8>
- Sharma, B., Pellegrini, P., Rodriguez, J. y Chaudhary, N. (2023). A review of passenger-oriented railway rescheduling approaches. *European Transport Research Review*,15(14). <https://doi.org/10.1186/s12544-023-00587-0>
- Shi, X., Yang, S., y Ye, Z. (2023). Development of a UnityVISSIM Co-Simulation Platform to Study Interactive Driving Behavior. *Systems*, 11(6), 269. <https://doi.org/10.3390/systems11060269>
- Siddharth S. y Gitakrishnan R. (2013). Calibration of VISSIM for Indian Heterogeneous Conditions. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 104 (2013), 380-389. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.131>
- Tapia, J. y Veizaga, R. (2006). *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de ingeniería de tráfico*. Universidad Mayor de San Simón.
- Terraza, M. , Zhang, J. y Zongzhi, L. (2021). Intersection signal timing optimisation for an urban street network to minimise traffic delays. *Promet Traffic transportation*, 33 (4), 579-592. DOI: 10.7307/ptt.v33i4.3694
- Thomson, I. y Bull, A. (2001). La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. *División de recursos naturales e infraestructura de la CEPAL*, 25, 1560-P. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6381/1/S01060513_es.pdf
- TomTom Traffic Index. (2021). *TomTom Traffic Index Ranking 2021*. <https://www.tomtom.com/traffic-index/>
- TomTom Traffic Index. (2023). *TomTom Traffic Index Ranking 2023*. <https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/>
- Vargas, C. y Serna, M. (2020). Relación del aparcamiento y la congestión vehicular en el Centro Histórico de Cusco. *Revista de estudios del hábitat*. 18(2). <https://doi.org/10.24215/24226483e090>

- Villá, I. y Robusté, F. (2000). *Principios para la micro-simulación del tráfico*. Laboratorio de análisis y modelización del transporte de la Universidad Politécnica de Cataluña.
- Wang, Z., Cai, Q., Wu, B. li, L. (2015). Queue length estimation for signalized intersections based on multi-source data. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, 45(4), 1088-1094. <http://dx.doi.org/10.13229/j.cnki.jdxbgxb201504010>
- Wided, A. (2023). Traffic Management system and Traffic Light Control in Smart City to Reduce Traffic Congestion. *International Journal of Automation and Smart Technology* 13(1). <http://dx.doi.org/10.5875/ausmt.v13i1.2464>
- Yan, S., Chen, C. y Chang, S. (2014). A Car Pooling Model and Solution Method With Stochastic Vehicle Travel Times. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(1), 47-61. <https://doi.org/10.1109/TITS.2013.2272085>.
- Yun, M. Ji, J. (2013). Delay Analysis of Stop Sign Intersection and Yield Sign Intersection Based on VISSIM. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96, 2024-2031. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.228>
- Zhang, Y. y Su, R. (2021). An optimization model and traffic light control scheme for heterogeneous traffic systems. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 124 (2021). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X20308111>
- Zhang, T. (2023). Car-Following Models: A Multidisciplinary Review. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2304.07143>

Anexo

A.1 Matriz de consistencia

Tabla A.50: Matriz de consistencia

	PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS
PRINCIPAL	¿Cómo influye la implementación de nuevas propuestas en el flujo vehicular de las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho?	Evaluar mediante micro simulación la influencia de las propuestas en las características del flujo vehicular de las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.	Si se realiza la micro simulación entonces se podrá evaluar la influencia de las propuestas en las características del flujo vehicular de las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.
SECUNDARIO	P1: ¿Cuál es el volumen horario de máxima demanda en el cual la congestión vehicular incrementa en la intersección de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho?	O1: Identificar el volumen horario de máxima demanda en la cual se presenta congestión vehicular en la intersección de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.	H1: El aforo vehicular en campo nos permitirá evaluar y determinar el volumen horario de máxima demanda donde se presenta mayor congestión vehicular en la intersección de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.
	P2: ¿Cuáles son las características de flujo vehicular evaluadas a través de una micro simulación en las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho?	O2: Desarrollar la micro simulación del flujo vehicular actual, la calibración y validación del modelo en las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.	H2: La micro simulación por medio de la calibración y validación nos permitirá tener un modelo adecuado que refleje las principales características que definen el flujo vehicular en las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.
	P3: ¿Cuáles son las características de flujo vehicular con implementación de nuevas propuestas evaluadas a través de una micro simulación en las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho?	O3: Desarrollar la micro simulación del flujo vehicular con implementación de las nuevas propuestas en las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho.	H3: La micro simulación de las propuestas de mejora nos permitirá identificar las características del flujo vehicular en dicha situación en la intersección de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento en Ayacucho .

fuentes: propia

A.2 Operacionalización de variable

Tabla A.51: Operacionalización de variable

Tipo de variable	Variable de Caracterización	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Variable	Flujo vehicular en las intersecciones de Vía a Mollepata, Av. Pérez de Cuellar, Av. La Cantuta y Vía Evitamiento	Longitud de cola (m)	-Longitud de vehículos en espera antes de cruzar la intersección medida en metros.	Fichas de registros de campo, video grabación y microsimulación.
		Demora promedio (s)	- Tiempo que pasa un vehículo entre el final de la cola y cruzar la intersección medido en segundos.	
		Velocidad promedio (m/s)	- Velocidad en m/s con la que se deslizan los vehículos desde el final de cola hasta cruzar la intersección	

fuentes: propia

A.3 Aforo vehicular

Tabla A.52: Conteo de vehículos provenientes de la Av. Pérez de Cuellar y vía evitamiento

TIPO DE VEHICULO						
HORA	Autos	Couster	Bus interprovincial	Camiones	Motos	Mototaxi
06:00-07:00	132	84	4	16	61	136
07:00-08:00	291	92	8	25	124	302
08:00-09:00	268	68	17	43	102	283
09:00-10:00	265	82	22	39	104	251
10:00-11:00	242	86	11	61	138	246
11:00-12:00	236	77	5	41	133	224
12:00-13:00	226	77	0	55	117	207
13:00-14:00	213	82	2	46	153	226
14:00-15:00	205	75	4	43	125	207
15:00-16:00	156	55	1	41	73	154
16:00-17:00	140	49	0	36	65	138
17:00-18:00	211	56	3	39	106	196
18:00-19:00	283	63	7	43	147	254
19:00-20:00	382	60	7	27	136	311
20:00-21:00	428	51	6	17	138	304
21:00-22:00	378	33	10	17	96	226

fuentes: propia

Tabla A.53: Conteo de vehículos provenientes de la vía a Mollepatá

TIPO DE VEHICULO						
HORA	Autos	Couster	Bus interprovincial	Camiones	Motos	Mototaxi
06:00-07:00	34	11	0	2	9	26
07:00-08:00	66	36	0	8	36	53
08:00-09:00	87	50	0	12	39	68
09:00-10:00	82	42	0	9	49	71
10:00-11:00	88	34	0	9	42	70
11:00-12:00	83	44	0	7	36	40
12:00-13:00	64	52	0	3	28	63
13:00-14:00	73	49	0	4	52	56
14:00-15:00	71	50	0	5	44	66
15:00-16:00	90	43	0	9	41	48
16:00-17:00	81	38	0	8	36	43
17:00-18:00	77	33	0	10	35	54
18:00-19:00	73	28	0	13	35	65
19:00-20:00	52	35	0	11	27	55
20:00-21:00	41	28	0	9	26	35
21:00-22:00	48	12	0	3	16	33

fuentes: propia

Tabla A.54: Conteo de vehículos provenientes de la Av. la cantuta

HORA	TIPO DE VEHICULO					
	Autos	Couster	Bus interprovincial	Camiones	Motos	Mototaxi
06:00-07:00	22	15	2	1	10	30
07:00-08:00	57	23	5	0	20	51
08:00-09:00	146	18	13	3	55	85
09:00-10:00	79	60	15	8	59	80
10:00-11:00	60	13	0	0	60	80
11:00-12:00	90	0	0	0	25	32
12:00-13:00	55	9	0	5	23	28
13:00-14:00	71	20	0	1	55	76
14:00-15:00	52	10	0	2	30	49
15:00-16:00	21	3	0	0	9	37
16:00-17:00	18	2	0	0	8	33
17:00-18:00	49	7	0	2	32	66
18:00-19:00	80	12	1	5	56	100
19:00-20:00	113	20	10	1	41	60
20:00-21:00	175	10	16	0	23	65
21:00-22:00	167	6	33	0	27	55

fuente: propia

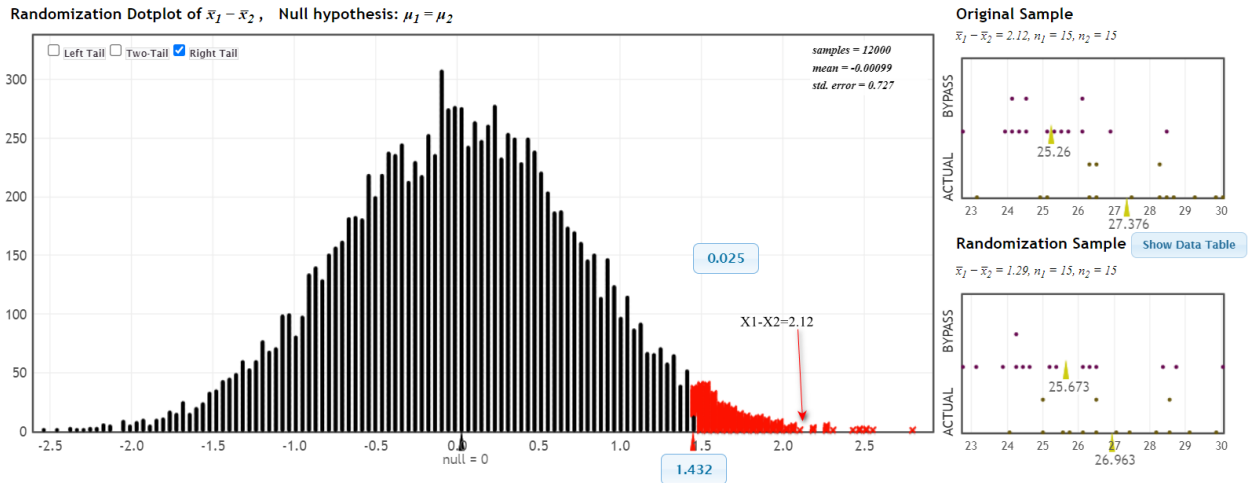
Tabla A.55: Conteo de vehículos que ingresan a la intersección de estudio

HORA	TIPO DE VEHICULO						TOTAL
	Autos	Couster	Bus interprovincial	Camiones	Motos	Mototaxi	
06:00-07:00	188	110	6	19	80	192	595
07:00-08:00	414	151	13	33	180	406	1197
08:00-09:00	501	136	30	58	196	436	1357
09:00-10:00	426	184	37	56	212	402	1317
10:00-11:00	390	133	11	70	240	396	1240
11:00-12:00	409	121	5	48	194	296	1073
12:00-13:00	345	138	0	63	168	298	1012
13:00-14:00	357	151	2	51	260	358	1179
14:00-15:00	328	135	4	50	199	322	1038
15:00-16:00	267	101	1	50	123	239	781
16:00-17:00	239	89	0	44	109	214	695
17:00-18:00	337	96	3	51	173	316	976
18:00-19:00	436	103	8	61	238	419	1265
19:00-20:00	547	115	17	39	204	426	1348
20:00-21:00	644	89	22	26	187	404	1372
21:00-22:00	593	51	43	20	139	314	1160
TOTAL	6421	1903	202	739	2902	5438	17605

fuente: propia

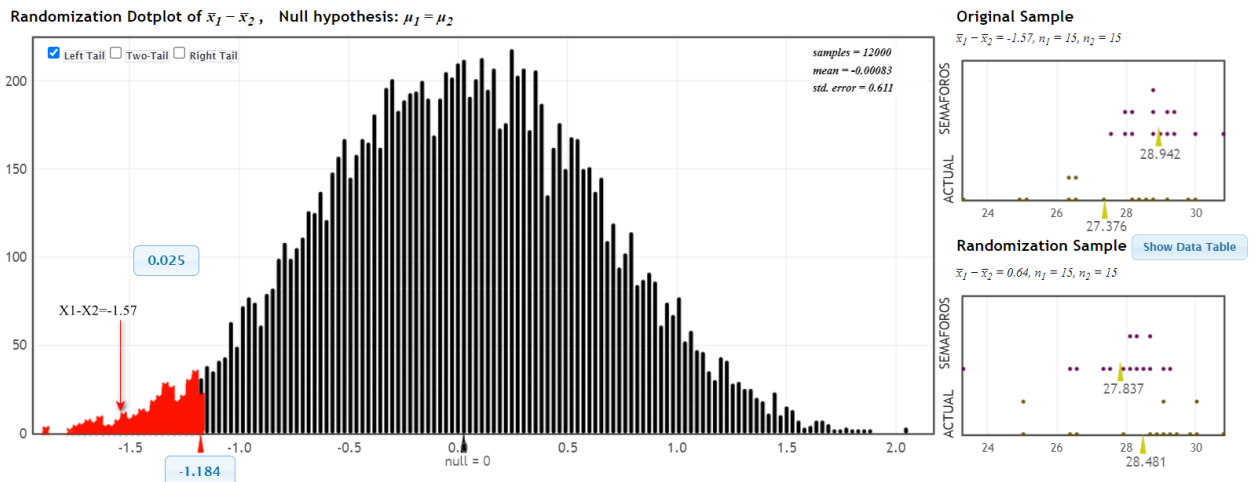
A.4 Evaluación estadística de resultados

Figura A.53: Evaluación estadística de tiempo de viaje con implementación de paso a desnivel



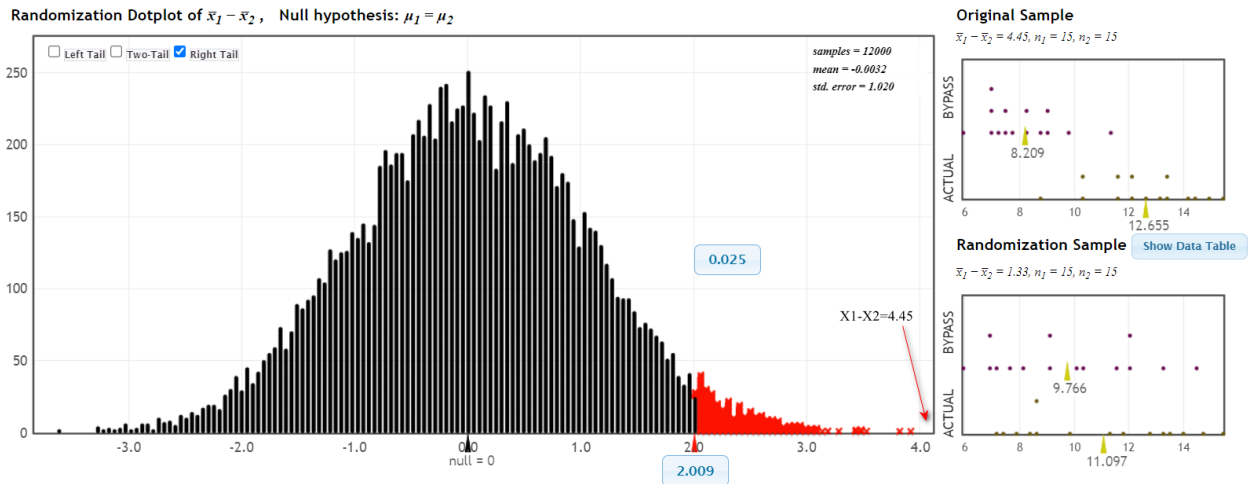
fuelle: Elaboración Propia

Figura A.54: Evaluación estadística de tiempo de viaje con implementación de semáforos



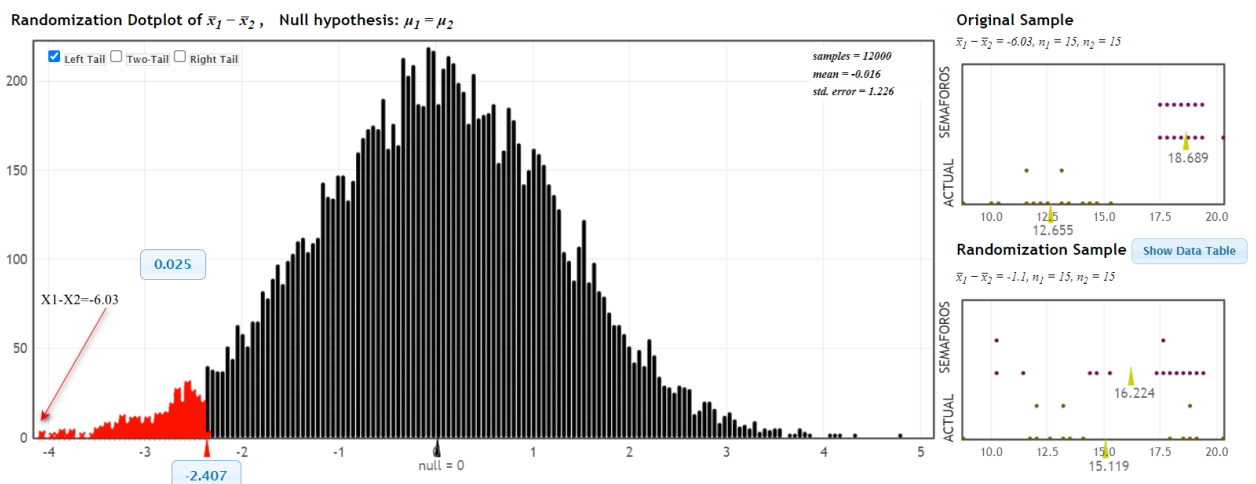
fuelle: Elaboración Propia

Figura A.55: Evaluación estadística de demora promedio con implementación de paso a desnivel



fuelle: Elaboración Propia

Figura A.56: Evaluación estadística de demora promedio con implementación de semáforos



fuelle: Elaboración Propia

A.5 Fotografías del proceso

Figura A.57: Toma de datos de campo



fuelle: Elaboración Propia

Figura A.58: Toma de datos de campo



fuelle: Elaboración Propia

Figura A.59: Toma de datos de campo



fuentes: Elaboración Propia

Figura A.60: Toma de datos de campo



fuentes: Elaboración Propia

Figura A.61: Toma de datos de campo



fuentes: Elaboración Propia

Figura A.62: Uso de paraderos informales en la intersección de estudio



fuentes: Elaboración Propia

Figura A.63: Peatones que cruzan las calles por falta de señales



fuentes: Elaboración Propia

Figura A.64: Vehículos que circulan por la noche en la intersección de estudio



fuentes: Elaboración Propia



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 050-2024-FIMGC

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA CIVIL

En la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga de la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal N° 538-2024-FIMGC-D**, a los dieciséis días del mes de agosto de 2024, siendo las 10:00 a.m, reunidos en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, bajo la presidencia del MSc. MSc. Ing. JOSÉ ERNESTO ESTRADA CÁRDENAS y los miembros; MSc. Ing. ALEX SANDER IRCAÑAUPA HUAMANI y MSc. Ing. HEMERSON LIZARBE ALARCÓN, actuando como secretario docente el MSc. KELVIS BERROCAL ARGUMEDO, para proceder a la sustentación de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniera Civil, del bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil:

JOSHYRO WENDI SULCA AVALOS

Quien presentó la tesis denominada:

EVALUACIÓN Y MICRO SIMULACIÓN DEL TRÁFICO VEHICULAR DE LA INTERSECCIÓN DE VÍA A MOLLEPATA, AV. PÉREZ DE CUELLAR, AV. LA CANTUTA Y VÍA EVITAMIENTO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO-2023

Los señores miembros del jurado luego de expuesto la tesis y absueltas las preguntas, delibera y lo declaran:

APROBADO CON NOTA DIECISEIS (16)

Siendo las 11:55 a.m. del día 16 de agosto de 2024, culmina el acto de sustentación de tesis, y en conformidad a lo actuado los miembros del jurado firmamos al pie del presente.

MSc. Ing. JOSÉ ERNESTO ESTRADA CÁRDENAS
Presidente

MSc. Ing. ALEX SANDER IRCAÑAUPA HUAMANI
Miembro

MSc. Ing. HEMERSON LIZARBE ALARCÓN
Miembro

MSc. Ing. KELVIS BERROCAL ARGUMEDO
Secretario docente de la FIMGC

cc:
Archivo



UNSCH

FACULTAD DE
INGENIERÍA
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL



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

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

CONSTANCIA N° 109-2024-FIMGC/ASIH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado con el software Turnitin, de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la **Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU**, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga y **Resolución Decanal N° 476-2023-FIMGC-UNSCH-D**, deja constancia de originalidad de trabajo de investigación, que el/la Sr./Srta.

Apellidos y Nombres : Joshyro Wendi SULCA AVALOS
Escuela Profesional : INGENIERÍA CIVIL
Título de la Tesis : Evaluación y micro simulación del tráfico vehicular de la intersección de vía a Mollepata, av. Pérez de Cuellar, av. La cantuta y vía Evitamiento en la ciudad de Ayacucho – 2023
Evaluación de la Originalidad : 19 % Índice de Similitud
Identificador de la entrega : 2449423243

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

En señal de conformidad y verificación se firma la presente constancia

Ayacucho, 09 de Setiembre 2024



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA**
Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil

Msc. Ing. Alex Sander IRCAÑAUPA HUAMANI

Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado
Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil

Evaluación y micro simulación del tráfico vehicular de la intersección de vía a Mollepata, av. Pérez de Cuellar, av. La cantuta y vía Evitamiento en la ciudad de Ayacucho – 2023

por Joshyro Wendi SULCA AVALOS

Fecha de entrega: 09-sep-2024 03:28p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2449423243

Nombre del archivo: JOSHYRO_WENDI_SULCA_AVALOS.pdf (45.2M)

Total de palabras: 40212

Total de caracteres: 199630

Evaluación y micro simulación del tráfico vehicular de la intersección de vía a Mollepata, av. Pérez de Cuellar, av. La cantuta y vía Evitamiento en la ciudad de Ayacucho – 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

8%

2

Submitted to Universidad Nacional de San
Cristóbal de Huamanga

Trabajo del estudiante

2%

3

repositorio.pucp.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

tesis.pucp.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

5

repositorio.unsch.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

6

repositorioacademico.upc.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

7

vsip.info

Fuente de Internet

<1%

8

upc.aws.openrepository.com

Fuente de Internet

<1%

9	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1 %
12	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
15	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1 %
16	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.cepal.org Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	doaj.org Fuente de Internet	<1 %
20	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	

<1 %

21

Submitted to unsaac

Trabajo del estudiante

<1 %

22

apirepositorio.unh.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

23

archive.org

Fuente de Internet

<1 %

24

www2.ufpel.edu.br

Fuente de Internet

<1 %

25

repositorio.usmp.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

26

www.rlc.fao.org

Fuente de Internet

<1 %

27

pirhua.udep.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

28

repositorio.upla.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

29

repositorio.uandina.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

30

alicia.concytec.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

31

Arce Ciguenas, Diego Martin. "Sistema
Autonomo de Control de Trafico Vehicular

<1 %

para Intersecciones de Avenidas.", Pontificia
Universidad Catolica del Peru - CENTRUM
Catolica (Peru), 2020

Publicación

32	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
33	Submitted to Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas Trabajo del estudiante	<1 %
34	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1 %
35	revistas.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
36	Submitted to Colegio Irlandés Monterrey Trabajo del estudiante	<1 %
37	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
38	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
39	dspace.uazuay.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Activo