

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**REDISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL DE LA INTERSECCIÓN ENTRE
LA AV. JULIO SUMAR Y AV. MARISCAL CASTILLA EN HUANCAYO DESDE
UN ENFOQUE DE SEGURIDAD VIAL**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES:

Becquer Amílcar Melgarejo Lopez

Frank Anyelo Rojas Camargo

ASESORES:

Juan Carlos Dextre Quijandria

Fiorella Nicole Aranda Jimenez

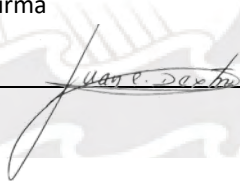
Lima, abril del 2026

Informe de Similitud

Yo, Juan Carlos Dextre Quijandría, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis titulado "REDISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL DE LA INTERSECCIÓN ENTRE LA AV. JULIO SUMAR Y AV. MARISCAL CASTILLA EN HUANCAYO DESDE UN ENFOQUE DE SEGURIDAD VIAL" de los(as) autores(as) Becquer Amílcar Melgarejo Lopez y Frank Anyelo Rojas Camargo, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 14%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 31/03/2026.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: 6 de abril del 2026

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: DEXTRE QUIJANDRÍA, JUAN CARLOS	
<u>Paterno Materno. Nombre1 Nombre 2</u>	
DNI: 21413102	Firma 
ORCID: 0000-0002-9810-2464	

RESUMEN

El presente caso de estudio aborda el rediseño de la infraestructura vial en la intersección de la Av. Mariscal Castilla y la Av. Julio Sumar, en el distrito de El Tambo, Huancayo, Junín, Perú. El objetivo principal es incrementar la seguridad vial mediante la modificación de la geometría de la vía, el replanteo de la señalización y la regulación del sistema semafórico. A este conjunto de intervenciones se le ha denominado “propuesta de mejora”.

Para ello se aplicó una metodología mixta, cualitativa y cuantitativa. En el enfoque cualitativo se realizaron Inspecciones de Seguridad Vial y entrevistas, con el fin de identificar problemáticas y causas de los conflictos en la intersección. En el enfoque cuantitativo, mediante los softwares PTV Vissim y Viswalk, se microsimularon tanto la situación actual como la propuesta de mejora. Se evaluaron parámetros como tiempos de viaje, longitud de colas, conflictos, prioridad de paso, nivel de servicio y grado de saturación.

Los resultados evidencian que el rediseño mejora la seguridad vial y cumple con los parámetros de infraestructura y señalización establecidos en la guía nacional y en manuales internacionales. Asimismo, se incorporaron espacios peatonales delimitados y accesibles, lo que redujo los tiempos de viaje de los usuarios vulnerables y generó un tránsito más armonioso entre peatones y vehículos. La intersección resultante presenta menos obstáculos, señalización horizontal y vertical adecuada, así como condiciones luminotécnicas favorables para el tránsito nocturno. En general, la propuesta introduce medidas de seguridad vial basadas en normativas nacionales e internacionales, garantizando una intersección más ordenada, inclusiva y segura. A mediano plazo, la aplicación de estas medidas permitirá no solo mejorar la seguridad sustantiva, sino también fortalecer la percepción de seguridad ciudadana, respaldada por la reducción proyectada en las estadísticas de accidentes.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia y todos los que me formaron en la vida y está hermosa profesión. Con mención especial a mi padre Paulino y madre Elza, por su soporte, resiliencia, valores, principios e inspiración que me definen como Individuo y profesional.

Bécquer Amílcar Melgarejo López

A mi yo del pasado, por jamás rendirse; y a mi yo del futuro, que se sentirá orgulloso de este logro. A mi madre, Natalia Camargo, por su soporte incondicional y por forjarme en principios y valores que me han convertido en la persona que soy. A todos los que me apoyaron, acompañaron y creyeron en mí durante este camino.

Frank Anyelo Rojas Camargo

Gracias totales a nuestros maestros, Juan Carlos Dextre y Fiorela Aranda, quienes con generosidad nos brindaron su tiempo, conocimiento y experiencia, inspirando en sus alumnos el compromiso de contribuir a una movilidad sostenible y accesible.

Bécquer y Frank

ÍNDICE

	Pág.
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
1.2. Alcances	3
1.3. Limitaciones.....	3
1.4. Justificación	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Transporte	6
2.2. Diseño Universal.....	6
2.3. Movilidad sostenible.....	7
2.4. Seguridad vial	8
2.4.1. Seguridad sustantiva.....	9
2.4.2. Seguridad Nominal	9
2.4.3. Percepción de seguridad	9
2.4.4. Usuario vulnerable.....	10
2.4.5. Factores de vulnerabilidad.....	12
2.4.6. Punto negro.....	13
2.4.7. Seguridad Sostenible: el enfoque holandés para el diseño de carreteras seguras	14
2.4.8. Inspección de seguridad vial	15
2.5. Parámetros de desempeño de flujo Intersección semaforizada.....	16
2.5.1. Capacidad	16

2.5.2. Flujo de saturación	16
2.5.3. Retraso control.....	17
2.5.4. Nivel de servicio	19
2.6. Modelo virtual.....	20
2.7. Modelos de simulación de tráfico	20
2.7.1. En función al nivel de detalle	21
2.7.2. En función al tipo de aleatoriedad	22
2.7.3. En función al tipo de variable.....	22
2.8. Modelos de seguimiento vehicular	23
2.8.1. Modelo de Wiedemann.....	23
2.8.2. Modelo Intelligent Driver Model (IDM).....	25
2.8.3. Modelo Recurrent Neural Network (RNN) y modelo Long Short-Term Memory (LSTM)	25
2.9. Modelos de cambio de carril	26
2.10. Modelos de seguimiento peatonal	26
2.10.1. Modelo de fuerza social	27
2.10.2. Modelo de celulares autómatas	28
2.11. PTV Vissim y Viswalk	29
2.12. Principios de la microsimulación.....	30
2.12.1. Aleatoriedad	30
2.12.2. Warm up	31
2.12.3. Número de semilla	31
2.12.4. Número de corridas	31
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	33
3.1. Definición del área de estudio.....	36

3.2. Recolección de datos.....	37
3.2.1. Datos cualitativos	37
3.2.2. Datos cuantitativos	38
3.3. Microsimulación del escenario actual.....	42
3.4. Escenario con mejoras	46
3.5. Comparación y análisis de los modelos	48
CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN DE LA INTERSECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS	49
4.1. Resultados y análisis de la lista de chequeo.....	49
4.2. Investigación de la tasa de fatalidades.....	54
4.3. Resultados de las entrevistas sobre percepción de seguridad	56
4.4. Características de la intersección	59
4.4.1. Geometría vial	60
4.4.2. Señalización.....	62
4.4.3. Semaforización	63
4.4.4. Flujos vehiculares	64
4.4.5. Flujos peatonales	69
4.4.6. Tiempos de viajes vehiculares.....	71
4.4.7. Tiempos de viajes peatonales	73
4.4.8. Velocidades vehiculares	75
4.4.9. Velocidades peatonales	77
4.4.10. Parámetros lumínicos de la intersección	78
CAPÍTULO V: CREACIÓN Y MICROSIMULACIÓN DEL ESCENARIO ACTUAL	81

5.1. Modelado de la situación actual	81
5.1.1. Importación de imagen	81
5.1.2. Creación de tramos y conectores	82
5.1.3. Creación de áreas y cruces peatonales	82
5.1.4. Configuración de flujos vehiculares y peatonales	83
5.1.5. Creación de rutas estáticas.....	83
5.1.6. Identificación de zonas de conflicto.....	84
5.2. Verificación del modelo de situación actual	85
5.3. Calibración y validación del modelo de la situación actual	85
5.3.1. Calibración vehicular.....	85
5.3.2. Validación vehicular.....	88
5.3.3. Calibración peatonal.....	90
5.3.4. Validación peatonal.....	92
CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DEL ESCENARIO ACTUAL Y PLANTEAMIENTO DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA DESDE UN ENFOQUE DE SEGURIDAD VIAL.....	94
6.1. Comparación de medidas y requerimientos por distintas normas de diseño	95
6.2. Problemas en la geometría vial y propuestas de mejora	96
6.2.1. Accesibilidad.....	96
6.2.2. Visibilidad	101
6.2.3. Mobiliario vial	103
6.2.4. Paraderos	106
6.2.5. Estacionamientos	108
6.2.6. Irregularidades.....	109
6.2.7. Diseño universal	109
6.2.8. Movilidad sostenible	111

6.3. Problemas en la señalización y propuestas de mejora	112
6.3.1. Señalización horizontal	112
6.3.2. Señalización vertical.....	114
6.4. Problemas en la semaforización y propuestas de mejora.....	116
6.4.1. Cálculo del ciclo semafórico	116
6.5. Problemas en la luminotecnia y propuesta de mejora.....	120
6.5.1. Luminotecnia.....	120
6.6. Integración de las propuestas de mejora	127
6.6.1. Escenario con mejoras de día.....	128
6.6.2. Escenario con mejoras de noche.....	129
CAPÍTULO VII:ANÁLISIS Y COMPARACIÓN ENTRE EL ESCENARIO ACTUAL Y CON MEJORAS.....	130
7.1. Evaluación vehicular.....	130
7.1.1. Nivel de servicio vehicular.....	130
7.1.2. Tiempo de viaje vehicular	131
7.1.3. Longitud de cola vehicular	134
7.2. Evaluación peatonal	135
7.2.1. Tiempo de viaje peatonal.....	135
7.2.2. Densidad peatonal	137
7.3. Evaluación de luminotecnia	138
7.3.1. Mejora de los parámetros lumínicos.....	138
CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	141
8.1. Conclusiones	141
8.2. Recomendaciones.....	142

REFERENCIAS.....	145
Anexo A	149
Anexo B	150
Anexo C	154
Anexo D	160
Anexo E	162



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Formato de aforo vehicular por acceso	7
Tabla 2. Usuarios vulnerables	11
Tabla 3. Denominación de factores de ajuste y variables para el cálculo de flujo de saturación.....	17
Tabla 4. Niveles de Servicio para una intersección semaforizada.....	20
Tabla 5. Lista de chequeo de la intersección Av. Julio Sumar y Av. Mariscal Castilla	49
Tabla 6. Formato de aforo vehicular por acceso Norte en la hora pico en el miércoles	65
Tabla 7. Formato de aforo vehicular por acceso Oeste en la hora pico en el miércoles	65
Tabla 8. Formato de aforo vehicular por acceso Sur en la hora pico en el miércoles.	66
Tabla 9. Formato de aforo vehicular por acceso Norte en la hora pico en el sábado	66
Tabla 10. Formato de aforo vehicular por acceso Norte en la hora pico en el sábado	67
Tabla 11. Formato de aforo vehicular por acceso Oeste en la hora pico en el sábado	67
Tabla 12. Formato de aforo vehicular por acceso Sur en la hora pico en el sábado	68
Tabla 13. Formato de aforo vehicular por acceso Sur en la hora pico en el sábado	68
Tabla 14. Formato de aforo vehicular por acceso Sur en la hora pico en el sábado	70
Tabla 15. Formato de aforo peatonal por origen/destino en la hora pico en el sábado	70
Tabla 16. Formato de tiempos de viaje vehicular en la hora pico en el miércoles	72
Tabla 17. Formato de tiempos de viaje peatonal en la hora pico en el miércoles	74

Tabla 18. Formato de parámetros lumínicos del espacio peatonal y cruces en horario nocturno	80
Tabla 19. Calibración vehicular	87
Tabla 20. Validación vehicular	89
Tabla 21. Calibración peatonal con los datos del sábado en la situación actual	91
Tabla 22. Validación peatonal con los datos del sábado en la situación actual.	93
Tabla 23. Comparación de medidas de normas, situación actual y propuesta de mejora	96
Tabla 24. Demanda vehicular en ADE/h	116
Tabla 25. Datos generales	117
Tabla 26. Cálculo de la relación entre la demanda y el flujo de saturación.....	118
Tabla 27. Reparto del verde efectivo entre las fases	118
Tabla 28. Grados de saturación y Niveles de Servicio para el estado actual y con mejoras .	131
Tabla 29. Validación de la propuesta de mejora	133
Tabla 30. Colas de las intersecciones.....	134
Tabla 31. Análisis del proceso de validación peatonal de la situación con mejoras	137
Tabla 32. Comparación de parámetros lumínicos en la avenida Mariscal Castilla	139
Tabla 33. Comparación de parámetros lumínicos en la avenida Julio Sumar	140
Tabla A1. Lista de chequeo empleada en la metodología.....	149
Tabla C1. Parámetro de campo sobre geometría, volumen y ciclo semafórico en escenario actual.....	140
Tabla C2. Flujo de saturación y factores de corrección en escenario actual	140

Tabla C3. Capacidad y Nivel de Servicio en escenario actual.....	140
Tabla C4. Parámetro de campo sobre geometría, volumen y ciclo semafórico en escenario con mejoras	140
Tabla C5. Flujo de saturación y factores de corrección en escenario de mejoras	140
Tabla C6. Capacidad y Nivel de Servicio en escenario de mejoras.....	140



ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.		
Figura 1.	Esquema del modelo de seguimiento vehicular de Wiedemann	24
Figura 2.	Flujograma general de la metodología elegida.	35
Figura 3.	Área de influencia de la intersección.	36
Figura 4.	Esquema de calibración del modelo virtual del escenario actual.	44
Figura 5.	Esquema de validación del modelo virtual del escenario actual.	46
Figura 6.	Esquema de validación del modelo virtual de la propuesta de mejora.	48
Figura 7.	Mapa de observaciones críticas de la lista de chequeo.	53
Figura 8.	Número de accidentes durante los 5 años.	54
Figura 9.	Distribución de accidentes por modalidad durante los 5 años.	55
Figura 10.	Número de accidentes por tipo de vehículos.	56
Figura 11.	Percepción de seguridad vial de los peatones al cruzar la intersección	58
Figura 12.	Sensaciones causadas al cruzar la intersección	59
Figura 13.	Causas probables que afectan la seguridad vial de la intersección	59
Figura 14.	Fotografía de una vista en planta de la intersección.	61
Figura 15.	Plano de vista en planta del plano de la intersección con los elementos característicos de la infraestructura vial.	61
Figura 16.	Modelo 3D elaborado en TwinMotion de la intersección con los elementos característicos de la infraestructura vial.	62
Figura 17.	Señal vertical R-44 de paradero prohibido en el acceso sur	63

Figura 18. Crucero peatonal y línea de detención de vehículos en el acceso este	63
Figura 19. Ciclo semafórico de la intersección entre la Av. Julio Sumar y Av. Mariscal Castilla.	64
Figura 20. Puntos de origen y destino de los flujos peatonales en la intersección.....	69
Figura 21. Tramos definidos para el registro de los tiempos de viaje.....	71
Figura 22. Tramo de medición de los tiempos de viaje peatonales en la intersección.....	73
Figura 23. Tramos de evaluación para la obtención de la velocidad vehicular deseada.....	75
Figura 24. Velocidades vehiculares deseadas.....	76
Figura 25. Tramo de evaluación para la obtención de las velocidades peatonales deseadas.	77
Figura 26. Velocidad peatonal deseada.....	78
Figura 27. Ubicación de puntos de medición de los parámetros lumínicos en los accesos de la intersección.	80
Figura 28. Importación de imagen 2D y modelo 3D.....	81
Figura 29. Creación de links y conectores.....	82
Figura 30. Creación de áreas y cruces peatonales.....	83
Figura 31. Creación de rutas estáticas.....	84
Figura 32. Definición del comportamiento en zonas de conflicto basado en el comportamiento real.	84
Figura 33. Ciclo semafórico en la situación actual.....	85
Figura 34. Valor de P para la Av. Mariscal Castilla.....	86
Figura 35. Valor de P para la Av. Julio Sumar.....	87

Figura 36. Valor de P para la Av. Mariscal Castilla.....	88
Figura 37. Valor de P para la Av. Julio Sumar.....	89
Figura 38. Valor de P para la Av. Mariscal Castilla, cruceo peatonal vertical en acceso oeste	90
Figura 39. Valor de P para la Av. Julio Sumar, cruceo horizontal en acceso norte.....	91
Figura 40. Valor de P para la Av. Mariscal Castilla, cruceo peatonal vertical izquierdo (acceso oeste).....	92
Figura 41. Valor de P para la Av. Julio Sumar, cruceo horizontal superior (acceso norte)..	92
Figura 42. Modelo real y virtual del escenario actual.....	94
Figura 43. Modelo 3D de la situación actual realizado en SketchUp.....	95
Figura 44. Mediana, área de refugio peatonal y reducción del radio de giro.....	97
Figura 45. Cruceos peatonales de la intersección.....	98
Figura 46. Mediana y área de refugio peatonal.....	99
Figura 47. Martillos de intersección.....	100
Figura 48. Cunetas de drenaje.....	101
Figura 49. Eliminación de plantas.....	102
Figura 50. Eliminación de obstáculos.....	102
Figura 51. Bolardos en cruceo peatonal.....	104
Figura 52. Rejillas de cierre de paso.....	105
Figura 53. Banquetas bajas para optimizar radio de giro.....	105
Figura 54. Plantas bajas para bloquear cruceo en diagonal.....	106

Figura 55. Paradas del transporte público para el a bordo de pasajeros.	107
Figura 56. Mediana, área de refugio peatonal y reducción del radio de giro.	108
Figura 57. Estacionamientos en el escenario con mejoras.	108
Figura 58. Colocación de rejillas sobre el buzón en el acceso oeste.	109
Figura 59. Ciclista surqueando a dos vehículos.	111
Figura 60. Comparativa de señales horizontales en la intersección actual y la propuesta de mejora.	113
Figura 61. Sonorizadores cerca al carril exclusivo para uso de transporte público.	114
Figura 62. Paradero prohibido.	115
Figura 63. Velocidad máxima y prohibido el giro en U.	115
Figura 64. Plano de vista en planta del plano de la intersección con los elementos característicos de la infraestructura vial.	119
Figura 65. Detalles de luminaria propuesta para el alumbrado vial.	121
Figura 66. Detalle del poste de luz empleado para la Av. Mariscal Castilla.	122
Figura 67. Corte de elevación de la distribución de luminarias en Av. Mariscal Castilla ...	122
Figura 68. Detalle de distribución de intensidad lumínica sobre la calzada y vereda en Av. Mariscal Castilla	123
Figura 69. Cumplimiento de los parámetros lumínicos de la normativa para la Av. Mariscal Castilla (Vía tipo II)	123
Figura 70. Distribución de luminarias propuesta para la Av. Julio Sumar, acceso Este y acceso Oeste	124
Figura 71. Detalle del poste de luz empleado para la Av. Julio Sumar	125

Figura 72. Corte de elevación de la distribución de luminarias para la Av. Julio Sumar	125
Figura 73. Detalle de distribución de intensidad lumínica sobre la calzada y vereda en la Av. Julio Sumar	126
Figura 74. Cumplimiento de los parámetros lumínicos de la normativa para la Av. Julio Sumar (Vía tipo III).....	126
Figura 75. Distribución de luminarias propuesta para la Av. Julio Sumar, acceso Este y acceso Oeste	127
Figura 76. Modelo 3D de la propuesta de mejoras diurno.	128
Figura 77. Modelo 3D de la propuesta de mejoras nocturno.	129
Figura 78. Valor de P para la Av. Mariscal Castilla (Norte-sur).....	132
Figura 79. Valor de P para la Av. Julio Sumar (Oeste-este)	132
Figura 80. Valor de P para la validación de la Av. Julio Sumar (Oeste-este).....	136
Figura 81. Valor de P para la validación de la Av. Mariscal Castilla (Norte-sur).	136
Figura B1. Fotografía durante la realización de la entrevista a un peatón de la intersección de estudio.	150
Figura E1. Vista en planta del escenario actual.	162
Figura E2. Vista isométrica del escenario actual: Acceso Este.	162
Figura E3. Vista isométrica del escenario actual: Acceso Oeste.	163
Figura E4. Vista isométrica del escenario actual: Acceso Sur.....	163
Figura E5. Perspectiva a nivel de peatón en la intersección: Escenario actual.	164
Figura E6. Vista panorámica y vista en elevación de la dinámica peatonal en el escenario actual (Escena nocturna).	164
Figura E7. Vista en planta del escenario con mejoras: Accesos Este – Oeste.....	165

Figura E8. Vista en planta del escenario con mejoras: Accesos Norte - Sur.....	165
Figura E9. Perspectiva a nivel de peatón en la intersección: Escenario con mejoras.....	166
Figura E10. Vista isométrica del escenario con mejoras: Acceso Este.	166
Figura E11. Vista isométrica del escenario con mejoras: Acceso Oeste.	167
Figura E12. Vista isométrica del escenario con mejoras: Acceso Sur.	167
Figura E13. Vista panorámica y vista en elevación de la dinámica peatonal en el escenario actual (Escena nocturna).	168



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Las principales urbes del Perú, y entre ellas la ciudad de Huancayo, han sufrido un desmedido crecimiento poblacional y del parque automotor, lo cual, en conjunto a la carencia de planificación y ordenamiento urbano, han generado problemas crónicos de congestión del tránsito vehicular y dificultades en el tránsito peatonal. Es así como muchas carreteras e intersecciones presentan déficit en aspectos de mantenimiento de la infraestructura vial, el mal diseño geométrico, la señalización incorrecta, semaforización ineficiente, y la carencia de medidas de integración de movilidad sostenible no motorizada como alternativas de transporte.

La intersección entre las avenidas Julio Sumar y Mariscal Castilla, distrito El Tambo, provincia Huancayo y departamento Junín, es una de las más caóticas, cuya configuración en general vulnera los principios básicos de la ingeniería de transporte y acrecienta la inseguridad vial. Esta intersección conecta vías y puntos importantes. En un entorno cercano se encuentran instituciones educativas, mercados, parques y lugares turísticos. Dada la situación, se observa la necesidad de intervenir y establecer condiciones que permitan a los usuarios transitar en un ambiente armónico, seguro y eficaz. La importancia radica en plantear una propuesta enfocada en la mejora de la seguridad vial y parámetros de eficiencia de la intersección que origine impactos positivos en la interacción entre los vehículos y peatones. Ello incluye para atender a sus múltiples usuarios. De este modo, la mejora de la intersección podría ser un pilar importante para el desarrollo social y económico, por permitir la conectividad y flujo eficiente.

Por consiguiente, los tres frentes principales para lograr los objetivos planteados son el rediseño geométrico, la mejora en el sistema de semaforización y una señalización adecuada, en donde se priorice al peatón. El empleo de la microsimulación permitirá evaluar las propuestas de mejora al compararlas con los parámetros del escenario actual dentro del

programa, de esta forma se podrá evaluar si estas medidas fueron las adecuadas y mejoraron la integración modal y nivel de servicio para el área en estudio; de no ser el caso, se podrá proponer un nuevo rediseño.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Mejorar las condiciones viales de la intersección entre la Av. Julio Sumar y la Av. Mariscal Castilla, a través del rediseño geométrico, optimización del sistema semafórico, señalización apropiada y luminotecnia, desde un enfoque de seguridad vial.

1.1.2. Objetivos específicos

- Identificar las deficiencias funcionales y de seguridad presentes en la intersección, y proponer alternativas de mejora basadas en criterios normativos de diseño urbano que consideren seguridad vial, eficiencia operativa y aspectos estéticos.
- Analizar los factores de riesgo y condiciones que afectan la seguridad vial en la intersección, evaluando la interacción entre vehículos y peatones, para plantear soluciones que reduzcan la probabilidad de materialización de accidentes.
- Evaluar el comportamiento del tránsito vehicular y peatonal en el escenario actual y en el escenario con las propuestas de mejora, utilizando modelos de microsimulación en PTV Vissim y Viswalk, con énfasis en la seguridad vial.
- Comparar los parámetros de eficiencia vial, como el grado de saturación y el nivel de servicio, entre el estado actual y la propuesta de rediseño, para determinar la viabilidad e impacto de los cambios realizados desde el enfoque de seguridad vial en la funcionalidad de la intersección.

1.2. Alcances

El presente proyecto procura analizar meticulosamente las diversas condiciones y situaciones de la intersección entre la Av. Julio Sumar y la Av. Mariscal Castilla, ubicada en el distrito El Tambo, provincia Huancayo y departamento Junín. Este trabajo de investigación se abordará con el objetivo de mejorar la seguridad vial y accesibilidad para los múltiples usuarios; y a su vez, se alcance parámetros de eficiencia adecuados para el flujo vehicular y peatonal dentro de la zona de estudio, con resultados no extrapolables a otras áreas de estudio, ni a periodos de tiempo lejanos al del presente estudio realizado.

1.3. Limitaciones

Primero, en el desarrollo del proyecto de microsimulación se utilizará los softwares PTV Vissim y Viswalk 2024. Por ende, los resultados obtenidos no deben ser replicados a versiones anteriores; ya que no cuentan con las mismas características y no son compatibles con la versión empleada.

Segundo, la propuesta de rediseño está enfocada netamente en la situación de la intersección entre la Av. Julio Sumar y la Av. Mariscal Castilla. Dada la situación, el presente proyecto servirá como base para estudios posteriores, pero limitado a un entorno cercano a la intersección.

Tercero, el proyecto está limitado al periodo de diciembre a mayo, pues se entiende que las condiciones de flujo son cambiantes de acuerdo con la época del año. Esta aclaración es importante, puesto que, permite reconocer la aleatoriedad y entropía elevada del sistema de transportes en el contexto peruano. Durante el verano y periodo de vacaciones del 2025. Este es un periodo donde la demanda de los usuarios es mayor y diferente al resto del tiempo anual.

Cuarto, debido a las limitaciones económicas, el plano geométrico se extraerá de Google Earth y no de un levantamiento topográfico planimétrico y altimétrico tal como debería ser. No cabe duda, de cierto modo, que esta acción genera que el modelo pierda precisión. Sin embargo, esto apertura un camino hacia un estudio posterior con más herramientas, mayor precisión y mayor presupuesto.

Quinto, la durabilidad de la propuesta de mejora, en el caso de una hipotética ejecución, se limita ante las situaciones cambiantes y grado de desarrollo. Para la obtención de datos, se decidió utilizar grabaciones con drones. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la mayoría de estos dispositivos no ofrecen tiempos de vuelo cercanos a una hora. Como medida de contingencia, se llevó a cabo una grabación simultánea con una cámara adicional. Esto asegura que, en caso de ser necesario descender el dron para cambiar la batería, la cámara continúe registrando la intersección sin interrupciones durante todo el proceso.

1.4. Justificación

Por un lado, el rediseño de la intersección, el cual lleva consigo un enfoque de seguridad vial, es un paso hacia adelante en cuanto a la movilidad sostenible y desarrollo social integral. La evolución del sistema de transporte a lo largo de la historia abarca cuatro etapas, estas son la circulación, el transporte público, la movilidad y la movilidad sostenible. Claramente, de las cuatro etapas, Perú se encuentra en transporte público, aunque con algunas deficiencias. Desde el punto de vista del área de transportes, ello indica que Perú está muy por detrás en la carrera del desarrollo integral y sostenible; en consecuencia, lo mencionado evidencia una condición de escasas alternativas de movilidad para desplazarse de manera segura y con escasas oportunidades de desarrollo para los habitantes. Frente a ello, se recae en la necesidad de implementar cambios a nivel geométrico, de seguridad vial, señalética y mejora luminotécnica de la intersección que originen impactos positivos. Además, los beneficios de un buen rediseño

acorde a las características del lugar, tratándose específicamente de una intersección, son los siguientes: orden, accesibilidad y reducción de la tasa de fatalidades.

Por otro lado, la intersección entre la Av. Julio Sumar y la Av. Mariscal Castilla presenta un alto grado de importancia en la ciudad de Huancayo, pues dicha intersección conecta instituciones educativas, mercados, lugares turísticos, entre otros. La intersección es un medio de conexión y lugar de paso casi obligatorio para múltiples orígenes y destinos. Entre ellos, se destacan los siguientes: Chupaca y la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP); Chupaca y la Universidad Continental (UC) y la Universidad Peruana Los Andes (UPLA); Chupaca y el Mercado Modelo de Huancayo, Open Plaza y Plaza Veja; Chupaca y los lugares turísticos de Huancayo; Concepción y la UC y la UPLA; Concepción y el Mercado Modelo de Huancayo, Open Plaza y Plaza Veja; Concepción y los lugares turísticos de Huancayo; Jauja y la UC y la UPLA; Jauja y Mercado Modelo, Open Plaza y Plaza Veja; Jauja y los lugares turísticos de Huancayo. Al mencionar la provincia, ello también incluye sus distritos y anexos. A partir de ello, nótese que, la importancia de la intersección se extiende al ámbito académico, comercial, turístico y de interacción social entre diversos lugares.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Transporte

El transporte es el desplazamiento de individuos y productos de un espacio hacia otro. Se pueden clasificar en transporte de pasajeros y transporte de carga. Para el análisis y desarrollo de la investigación, se emplea la clasificación de Dangond et al. (2011), que se dividen en las siguientes categorías: transporte público, transporte semipúblico y transporte privado.

En el primer caso, se realizan empleando vehículos de capacidad de varios pasajeros operados por agencias gubernamentales o empresas privadas bajo regulaciones públicas. En el segundo caso, se emplean vehículos con características intermedias del transporte privado y público, como es el caso de las van, que no poseen tarifa estandarizada y poseen un uso compartido. Y en el tercero, el traslado se realiza mediante vehículos de propiedad individual. (Button, 2010).

2.2. Diseño Universal

El Diseño Universal (DU), es una filosofía de diseño que busca crear soluciones, entornos y servicios que sean accesibles a todos los usuarios, independientemente de sus capacidades, edad, género, o cualquier otra característica (Organización de la Naciones Unidas (ONU), 2015). Es decir, se centra en eliminar barreras físicas, tecnológicas y de comunicación que puedan dificultar el acceso o la utilización de un espacio, producto o servicio.

Según Connell et al. (1997), el DU se basa en siete principios que se deben seguir para crear entornos accesibles, esto se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Principios del Diseño Universal

Principio	Descripción
Uso Equitativo	Accesible y útil para todas las personas, sin discriminación.
Flexibilidad en el Uso	Ofrecer opciones para adaptarse a las preferencias y habilidades.
Uso Simple e Intuitivo	Fácil de entender y utilizar por personas con diversas capacidades.
Información Perceptible	Información accesible, de acuerdo con las necesidades de los usuarios.
Tolerancia al Error	El diseño debe minimizar el riesgo de errores y sus consecuencias.
Bajo Esfuerzo Físico	Ser cómodo y no exigir esfuerzo físico innecesario.
Tamaño y Espacio Adecuado	Ofrecer espacio suficiente para el acceso y uso por personas con diversas capacidades.

Nota. Elaborado a partir de Connell et al. (1997).

Implementar dichos principios correctamente no solo mejora la vida de las personas con discapacidades, sino que también crea un entorno más inclusivo y accesible para todos. De este modo, “el Diseño Universal no se trata solo de cumplir con normativas, sino de promover una sociedad que valore y respete la diversidad humana” (Steinfeld, E., y Maisel, J., 2012).

Es así, como se extiende el enfoque de diseño universal aplicado a la infraestructura de tránsito mediante el concepto troncal de tener vías seguras y accesibles para todos los tipos de usuarios, sin restricciones o limitaciones en el uso de la infraestructura vial.

2.3. Movilidad sostenible

El concepto de desarrollo sostenible era abordado antiguamente como retos relacionados con el impacto medioambiental y el consumo energético circular. Actualmente,

los debates respecto al desarrollo urbano sostenible giran en torno a la noción de crear ciudades compactas y policéntricas que fomenten un crecimiento equilibrado. De este modo, se incorpora el atributo social al concepto de desarrollo sostenible (Dextre y Avellaneda, 2014).

Un sistema de transporte sostenible engloba principalmente la planificación urbana, la elaboración de políticas y la aplicación de tecnologías; todo ello, con el objetivo de garantizar la circulación eficiente de peatones, ciclistas y la prestación de servicios de transporte de alta calidad. En tal sentido, la aplicación de medidas como “los sistemas de bicicletas compartidas (...) se perciben como un medio rentable y respetuoso con la salud para desplazarse por paisajes urbanos densamente poblados” (Ogryzek et al., 2020, p. 3). No obstante, es necesario que exista infraestructura vial que habilite este tipo de medidas.

2.4. Seguridad vial

La seguridad vial se refiere al conjunto compuesto por percepciones, medidas, normas, políticas destinadas a precaver y minimizar la tasa de accidentes de tráfico producidos en un espacio y tiempo definido, así como a minimizar sus consecuencias en términos de lesiones, pérdidas humanas y materiales. Dado el contexto, el objetivo principal de la seguridad vial, como eje de desarrollo de propuestas de mejora del rediseño y políticas regulatorias, es garantizar la protección y bienestar de todos los usuarios durante la interacción del tráfico y la infraestructura vial diseñada (Dextre, 2010).

A partir de ello, es necesario resaltar que existen diferentes tipos de seguridad y que cada uno de ellos presenta un enfoque distinto. En tanto, el objetivo de un diseño tiene que abarcar y garantizar que se cumplan todos los tipos de seguridad, con especial énfasis en la reducción de las tasas de accidentes, la gravedad de estos eventos y la identificación de los grupos de usuarios más vulnerables.

2.4.1. Seguridad sustantiva

La seguridad sustantiva u objetiva es de carácter objetivo y se sustenta en la estadística de datos reales sobre las medidas implementadas (Dextre, 2010). En ese sentido, es aquella que describe y contabiliza los registros de la cantidad y severidad de los accidentes que suceden en las vías dada las medidas implementadas. En ese sentido, se establece la relación entre el beneficio en la reducción de tasa de accidentes y el costo de la implementación de alguna medida.

2.4.2. Seguridad Nominal

La seguridad nominal o seguridad legal hace referencia a la seguridad aparente que otorgan algunas medidas implementadas de acuerdo con las normativas de diseño vial de un país o institución, las cuales no necesariamente son medidas que hayan sido diseñadas, ni estudiadas en correlación a la tasa de ocurrencia de accidentes (beneficio/costo), por el contrario, son medidas colocadas arbitrariamente (Dextre, 2010, p. 117). Este tipo de medidas puede llevar a producir un falso y no sustentado aumento en la percepción de la seguridad vial de los usuarios, pese a que está no se vea reflejado en una mejoría en las estadísticas de accidentes.

2.4.3. Percepción de seguridad

La percepción de seguridad vial es referida a cómo los usuarios de las vías perciben el nivel de riesgo al que están expuestos ellos y las demás personas en un punto determinado al interactuar con la infraestructura vial. Lo cual es independiente de si se cumple o no la normativa (Muñoz, 2006, p. 23-35). De esta forma, la percepción de seguridad vial es subjetiva y tiene una implicancia mayor en el comportamiento de los usuarios más vulnerables, puesto

que, está ligada a las interpretaciones de los usuarios al estar influenciados por factores cognitivos y emocionales.

Lo expuesto puede llevar a los conductores a sobrevalorar sus habilidades y subestimar los riesgos. En tal sentido, la mejora de la percepción puede empeorar la seguridad sustantiva. Por ejemplo, los usuarios pueden adoptar comportamientos imprudentes y disminuir la guardia al manejar o desplazarse fruto de observar medidas de mantenimiento de las vías y el aumento de señalización, desembocando en que se produzcan más accidentes que antes.

A modo de reflexión, también se podría presentar la situación inversa, cuando la percepción de seguridad vial empeora, podría mejorar la seguridad sustantiva, ya que los conductores podrían ser más conscientes de los peligros, más precavidos y respetuosos con las normas de tráfico. Por ejemplo, un conductor que percibe que la vía está en mal estado, que el tráfico es denso y que su vehículo tiene sistemas de seguridad deficientes, podría sentirse menos seguro y conducir más despacio o prestar más atención, reduciendo así el riesgo de sufrir un accidente.

2.4.4. Usuario vulnerable

Los usuarios de la vía en las zonas urbanas tienen diferentes necesidades y grados de vulnerabilidad que influyen en gran medida en percepción de seguridad al movilizarse a través de la infraestructura vial e interacción que posee con los otros usuarios. Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), (2024), “casi la mitad (49 %) de las personas que mueren en las vías de tránsito del mundo son peatones, ciclistas y motociclistas”.

En sentido, estos usuarios debido a su mayor vulnerabilidad física o limitaciones requieren medidas de seguridad específicas. Entre ellos se incluyen peatones, ciclistas, niños, personas mayores y personas con discapacidad. Estos usuarios están contemplados en diseños

de seguridad vial que buscan reducir el riesgo de accidentes para los más vulnerables (Dextre, 2008).

Tabla 2

Usuarios vulnerables

Tipo de Usuario	Características	Nivel de Vulnerabilidad	Principales Conflictos identificados
Peatones	Personas que transitan a pie por las vías públicas y emplean los cruces entre aceras	Alto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colisiones con vehículos en áreas sin pasos peatonales o señalización deficiente. 2. Accidentes en intersecciones o al cruzar la calle inesperadamente.
Ciclistas	Individuos que utilizan bicicletas, comparte la vía con vehículos motorizados.	Alto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Accidentes con vehículos debido a la falta de carriles exclusivos y escasa visibilidad. 2. Caídas o pérdida de control por condiciones adversas del pavimento (baches, superficies resbaladizas).
Motociclistas	Usuarios de motocicletas y ciclomotores, protección limitada en colisiones y menor masa del vehículo.	Alto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colisiones laterales con vehículos en maniobras de adelantamiento. 2. Caídas graves al tomar curvas pronunciadas a alta velocidad.
Personas Mayores	Adultos mayores con limitaciones físicas y/o sensoriales, menor agilidad y tiempos de reacción más lentos.	Alto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Problemas para juzgar la velocidad y distancia de vehículos al cruzar calles. 2. Riesgo elevado en cruces no regulados o con mala señalización.
Niños	Menores de edad, con menor masa corporal y menor estatura, lo que los hace menos visibles para los conductores. Menos experiencia y habilidades para evaluar riesgos.	Muy Alto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falta de visibilidad para los conductores debido a su tamaño y estatura. 2. Accidentalmente irrumpen en la vía, especialmente en áreas residenciales y escolares.
Personas con Discapacidad	Individuos con limitaciones físicas, sensoriales o cognitivas, que enfrentan barreras adicionales en el entorno vial sin medidas de accesibilidad adecuadas.	Muy Alto	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dificultad para interactuar con el tráfico en áreas sin infraestructura accesible. 2. Problemas en cruces peatonales donde el tiempo de cruce es insuficiente para sus necesidades.

Nota. Elaborado a partir del curso impartido por J. Dextre y F. Aranda, Seguridad Vial - CIV355 PUCP, 2023-II.

Por otro lado, un factor agravante, que tiene una implicancia significativa con la vulnerabilidad de los usuarios es el factor económico, pues “El 90% de las muertes por

accidentes de tránsito ocurren en países de ingresos bajos y medios.” (Organización Panamericana de la Salud (OPS), 2024).

Y específicamente, en la región de América, los usuarios vulnerables de las vías de tránsito como los peatones, los motociclistas y los ciclistas representan 23 %, 15 % y 3 % de las muertes a causa del tránsito, respectivamente. (Organización Mundial de la Salud, 2023).

2.4.5. Factores de vulnerabilidad

“La proporción es mucho mayor en los países de ingresos bajos y medios, en comparación con los países ingresos altos, debido a una mezcla de un tráfico más variado e intenso con la falta de separación de otros usuarios de la carretera” (Asociación mundial de la Carretera (PIARC), 2016), es así como el factor económico, la vulnerabilidad en el contexto de la seguridad vial está determinada por diversos factores que aumentan el riesgo de sufrir daños graves en accidentes. Estos factores incluyen:

Primero, la diferencia de masa entre los vehículos y los usuarios vulnerables, peatones y ciclistas, que tienen menos protección física que los vehículos motorizados, lo que incrementa la gravedad de las lesiones en caso de un impacto (Ministerio de Transporte de la Nación, s.f.).

Segundo, el campo de visión limitado, en condiciones de tráfico intenso o visibilidad reducida se producen accidentes con una mayor frecuencia por la diferencia entre las perspectivas entre los usuarios vulnerables y los vehículos motorizados (*World Health Organization (WHO)*, 2018).

Tercero, las condiciones físicas y psicológicas, la edad, el estado de salud y las condiciones de intoxicación afectan la capacidad de reacción de los usuarios, lo que aumenta su vulnerabilidad (*World Health Organization (WHO)*, 2018).

Cuarto, la infraestructura vial deficiente, el mal estado de las vías, la falta de señalización y de infraestructura adecuada, así como las condiciones climáticas adversas, también son factores que incrementan la vulnerabilidad de los usuarios (Ministerio de Transporte de la Nación, s.f.; García y Rodríguez, 2019). Todos ellos se encuentran relacionados con el nivel de ingresos del país y el grado de gobernabilidad y buenas políticas públicas que favorezcan la implementación de políticas de movilidad sostenible, enfocados en los usuarios vulnerables.

Quinto, el comportamiento de los usuarios, la imprudencia, como no respetar las señales de tránsito o el uso de teléfonos móviles al conducir, aumenta la exposición al riesgo de accidentes (García y Rodríguez, 2019).

En síntesis, la educación vial y el diseño de políticas públicas efectivas son esenciales para mitigar estos factores y reducir los riesgos para los usuarios más vulnerables.

2.4.6. Punto negro

Es una técnica para caracterizar e identificar áreas específicas de una vía donde se observa un número elevado de accidentes en comparación con otras zonas de la red vial. Su detección ayuda a identificar los lugares y momentos adecuados para intervenir. “un punto negro hace referencia a zonas donde existe alta concentración de accidentes. Sin embargo, no existe una definición universal” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), 2015). No obstante, existen ciertas características en común que permiten determinar los puntos negros y base a algunas principales características que se fundamenta en cifras de un número de accidentes ocurridos en un periodo de los últimos años en un tramo limitado de una sección de vía o intersección.

Para la presente investigación emplearemos la definición para los puntos negros ubicados en intersecciones dentro de zonas urbanas formulada por Dextre (2010) “el análisis de frecuencia de accidentes se basa generalmente en un periodo de 36 meses y un área de influencia de entre 100 a 300 metros”, en la que la que se acumulan incidentes de tráfico.

Por su parte, en España, según RACE (2022, como se citó en la Dirección General de Tráfico (DGT), s.f.) un punto negro es "aquel emplazamiento perteneciente a una calzada de una red de carreteras en el que durante un año natural se hayan detectado 3 o más accidentes con víctimas con una separación máxima entre uno y otro de 100 metros".

2.4.7. Seguridad Sostenible: el enfoque holandés para el diseño de carreteras seguras

La Seguridad Sostenible es un enfoque proactivo de diseño vial originario de los Países Bajos. El enfoque es crear un sistema de tráfico que inherentemente proteja a los usuarios, asumiendo que las personas cometen errores. Como indica *SWOV Institute for Road Safety Research* (2018), el enfoque se basa en cinco principios clave que se refuerzan mutuamente para lograr un sistema de transporte seguro para todos. Wyner (2023), define los 5 principios como sigue.

Funcionalidad: Este principio exige una jerarquía vial clara. "Cada carretera debe tener una función clara y el diseño de la carretera debe apoyar esta función", ya sea para el flujo de tráfico (carreteras de flujo), para conectar áreas (carreteras distribuidoras) o para dar acceso a propiedades (carreteras de acceso).

Homogeneidad: Se busca minimizar las grandes diferencias de velocidad, masa y dirección entre los usuarios de la carretera que comparten el mismo espacio. "Esto significa que los vehículos pesados y rápidos deben separarse de los usuarios vulnerables de la vía pública, como peatones y ciclistas, a menos que las velocidades sean bajas".

Previsibilidad: El diseño de la carretera debe ser coherente e intuitivo, para que los usuarios puedan reconocer el tipo de carretera en el que se encuentran y anticipar cómo deben comportarse. "El diseño de la carretera debe ser reconocible y consistente, de modo que los usuarios de la carretera comprendan qué se espera de ellos".

Perdón (*Forgiveness*): Este principio se centra en crear un entorno que mitigue las consecuencias de los errores humanos. Si un conductor comete un error, el diseño de la carretera debe ayudar a evitar que se convierta en un accidente grave. "El entorno de la carretera debe diseñarse de tal manera que un error humano no conduzca a una lesión grave. Esto se puede lograr, por ejemplo, mediante el uso de barreras de seguridad o zonas de despeje".

Estado de Conciencia (*State Awareness*): Este principio se refiere a la capacidad del usuario para evaluar correctamente su tarea de conducción y sus propias capacidades. Aunque el sistema está diseñado para ser seguro, también se espera que los usuarios estén en condiciones de participar en el tráfico de manera responsable. El diseño debe "ayudar a los usuarios de la carretera a evaluar correctamente la situación del tráfico y sus propias capacidades".

2.4.8. Inspección de seguridad vial

Similar a Auditoría de Seguridad Vial (ASV), la Inspección de Seguridad Vial (ISV) evalúa la seguridad de un proyecto, aunque en este caso el proceso no necesita ser formalmente solicitado por una autoridad. Las ISV son herramientas de evaluación que permiten detectar deficiencias en la infraestructura vial y pueden aplicarse a cualquier tipo de proyecto, aunque no exista una norma específica que regule su ejecución (Dextre et al., 2008).

Por otro lado, las ASV son un proceso formal de evaluación de proyectos viales que busca identificar y corregir deficiencias antes de que ocurran accidentes. Sin embargo, una

ASV es una evaluación realizada por un equipo independiente para identificar los riesgos de accidentes en un proyecto vial, considerando la perspectiva de seguridad vial desde la fase de planificación.

2.5. Parámetros de desempeño de flujo Intersección semaforizada

2.5.1. Capacidad

capacidad en una intersección semaforizada se define como “el máximo volumen de vehículos que un grupo de carriles (*lane group*) puede procesar bajo condiciones específicas de control de tráfico, distribución de tiempos de semáforo y demanda” (*Highway Capacity Manual (HCM)*, 2000), su cálculo integra tres componentes clave, a partir de la fórmula general es:

$$c = s \times (g/C)$$

Donde:

Flujo de saturación (S): Máximo flujo vehicular sostenible bajo luz verde continua (veh/h).

Tiempo efectivo de verde (g): Porción del ciclo semafórico dedicada al movimiento.

Longitud del ciclo (C): Duración total del ciclo del semáforo (segundos).

2.5.2. Flujo de saturación

El flujo de saturación es la “tasa que puede gestionar el grupo de carriles, suponiendo que la fase verde se mantenga el 100 % del tiempo (es decir, $g/C = 1,0$) y no hay tiempos perdidos” (*Highway Capacity Manual (HCM)*, 2000). En ese sentido, el *Transportation Research Board (TRB)* (2000), define factores de ajuste que se aplican a una tasa de flujo de

saturación base de 1900 veh/h/carril, a partir de condiciones geométricas, de flujo peatonal, de tráfico y las condiciones prevalecientes en la intersección. Para lo cual se aplica la siguiente ecuación para calcular el flujo de saturación.

$$S = S_0 \cdot N \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{LU} \cdot f_{LT} \cdot f_{RT} \cdot f_{Lpb} \cdot f_{Rpb}$$

Tabla 3

Denominación de factores de ajuste y variables para el cálculo de flujo de saturación

Símbolo	Descripción
S	Ajuste de la tasa de flujo de saturación (veh/hr)
N	Número de carriles en el grupo de carril.
S_0	Tasa de flujo de saturación base (veh/h/carril)
f_w	Factor de ajuste por ancho de carril
f_{HV}	Factor de ajuste por vehículos pesados en la corriente vehicular
f_g	Factor de ajuste por pendiente del acceso
f_p	Factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carril
f_{bb}	Factor de ajuste por bloqueo de buses que se detienen en la intersección
f_a	Factor de ajuste por tipo de área
f_{LU}	Factor de ajuste por utilización de carril
f_{LT}	Factor de ajuste por giro a la izquierda en el grupo de carril
f_{RT}	Factor de ajuste por giro a la derecha en el grupo de carril
f_{Lpb}	Factor de ajuste por giro a la izquierda de peatones
f_{Rpb}	Factor de ajuste por giro a la derecha de peatones y ciclistas

Nota. Adaptado de *Highway Capacity Manual* (p. 16-1), por *Transportation Research Board, 2000, National Research Council.*

2.5.3. Retraso control

El “Nivel de Servicio (LOS, por sus siglas en inglés) en intersecciones semaforizadas está directamente relacionado con el retraso por control (*control delay*)” (HCM y TRB, 2000).

Ello incluye:

Retraso uniforme (d_1):

Causado por la operación cíclica del semáforo, ajustado por un Factor de Progresión (PF) que considera la coordinación entre semáforos.

$$d_1 = \frac{0.50 \cdot C[1 - (g/C)]^2}{1 - [\min(1, X) \cdot g/C]}$$

Donde:

C: ciclo semafórico (s)

g/C : ratio de verde

X: grado de saturación

Retraso incremental (d_2):

Originado por la aleatoriedad en las llegadas de vehículos y ciclos fallidos (cuando la demanda supera temporalmente la capacidad).

Depende de la relación volumen/capacidad (v/c), o grado de saturación (X) y se calcula con la siguiente ecuación.

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

Donde:

$k = 0.5$, para semáforos pretimed

$T = 0.25$, para casos de análisis de 15 min críticos

$l = 1$, para análisis aislado de intersección

X: grado de saturación

Retraso por cola inicial (d_3):

Solo aplica si existe una cola residual de un período anterior (p. ej., tráfico en exceso acumulado).

Si no hay cola inicial, $d_3 = 0$

Cálculo del Retraso Total y Determinación de LOS

El retraso total por vehículo (d) se obtiene sumando los tres componentes:

$$d = d_1 \times PF + d_2 + d_3$$

Donde:

PF: factor de progresión

2.5.4. Nivel de servicio

El LOS en una intersección semaforizada se define como una medida cualitativa que evalúa las condiciones de operación del tráfico, basada demoras en los grupos de carril de las intersecciones (TRB, 2000). Una mala sincronización de semáforos o un alto volumen vehicular pueden degradar el LOS, afectando la movilidad urbana.

Para el desarrollo del análisis, las demoras de control promedio se estiman para cada grupo de carriles y se agrega para cada acceso y para la intersección en su conjunto. El LOS está directamente relacionado con el valor del retraso de control, como se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4

Niveles de Servicio para una intersección semaforizada

Nivel de Servicio (LOS)	Demoras por vehículo (s/veh)	Descripción
A	≤ 10	Flujo libre, sin retrasos significativos.
B	10-20	Ligera congestión, retrasos mínimos.
C	20-35	Congestión moderada, algunos retrasos.
D	35-55	Alta congestión, retrasos perceptibles.
E	55-80	Congestión severa, largas colas.
F	> 80	Falla operacional, tráfico detenido.

Nota. Adaptado de *Highway Capacity Manual (HCM)* (p. 16-2), por *Transportation Research Board, 2000, National Research Council.*

2.6. Modelo virtual

Un modelo puede ser definido como una representación simplificada de una parte del mundo real (Ortúzar y Willumsen, 2011, p. 2). Por lo tanto, en referencia a la simulación de tráfico, el modelo es un tipo de sistema complejo y abstracto donde interactúan distintos elementos en un espacio y tiempo determinado. El principal objetivo de la modelación es la observación y búsqueda de estrategias que permitan solucionar de manera eficiente alguna problemática existente.

2.7. Modelos de simulación de tráfico

Los modelos pueden ser clasificados considerando diversos criterios, tales como el nivel de detalle, su modo de operación y representación de los procesos (García y Casanova, 2024) y cada uno de ellos presenta ciertas características, las cuales serán mencionadas en los siguientes apartados.

2.7.1. En función al nivel de detalle

- Microscópicos

Presenta un nivel de detalle alto. Modela individualmente el comportamiento de cada vehículo y peatón, y ambos interactúan en un espacio y tiempo. Asimismo, cada elemento presenta una aceleración, frenado propio, cambio de carril y un tiempo de reacción, considerando los elementos antecedentes y precedentes. El modelo es aplicable a proyectos tales como intersecciones, sistemas de semaforización, modelación de conflictos y seguridad vial.

- Mesoscópicos

Presenta un nivel de detalle intermedio. Estudia a los vehículos por grupos y no considera todas las maniobras internas, como los cambios de carril detallados, pero si considera tiempos de viajes, colas y congestión. El modelo está enfocado en el estudio de corredores completos o zonas urbanas grandes.

- Macroscópicos

Presenta un nivel de detalle bajo. Este modelo no suele considerar vehículos ni maniobras, en cambio, incluye la tasa de flujo, la densidad y la velocidad vehicular. Su enfoque está basado en estudio y planificación de redes de gran escala, como regionales o nacionales.

2.7.2. En función al tipo de aleatoriedad

- Determinístico

En un modelo, dadas las condiciones iniciales, las variables tendrán valores fijos; es decir, no presentarán aleatoriedad, y estos a su vez siempre producirán los mismos resultados. En consecuencia, el modelo puede ser predecible y repetible.

- Estocástico

Es un modelo que incluye aleatoriedad en sus variables; por lo tanto, también en los comportamientos de los vehículos y peatones. Un modelo estocástico se puede representar con variables tales como el tiempo de reacción de los conductores, la distancia de seguimiento, la agresividad, los cambios de carril y las tomas de decisiones de los vehículos. Por consiguiente, los resultados también son variables y poco predecibles, este es un modelo más cercano a la realidad.

2.7.3. En función al tipo de variable

- Continuo

Las variables cambian de forma continua en el tiempo y espacio, es decir son fluidas y pueden tomar infinitos valores dentro de un rango. Por ejemplo, en los modelos de simulación de tráfico, la velocidad y la aceleración son variables continuas. Ello permite a los programas computacionales reflejar eventos complejos casi de manera realista.

- Discreto

Las variables cambian en intervalos de tiempo y espacios finitos. Se basan en la lógica discreta o reglas de paso a paso. Por ejemplo, en los modelos de simulación de tráfico, la cantidad de vehículos, la longitud de cola, etc., son variables discretas.

2.8. Modelos de seguimiento vehicular

2.8.1. Modelo de Wiedemann

El modelo de Wiedemann, tanto el de 1974 como el de 1999, es un modelo psico físico, este se basa en las reglas, el comportamiento humano y en la suposición de que, para un conductor, existen cuatro estados de conducción diferente referente al modelo de flujo de tráfico y el control de señales luminosas. Estos son:

Conducción libre: No hay influencia de los vehículos precedentes. Es un estado en donde el conductor intenta alcanzar la velocidad deseada o a flujo libre, aunque no podrá alcanzar dicha velocidad más que oscilar alrededor del umbral.

Aproximación: El conductor adapta su velocidad a la menor velocidad de un vehículo precedente.

Seguimiento: El conductor sigue al vehículo precedente, siempre manteniendo la distancia de seguridad.

Frenado: Si la distancia con el vehículo precedente es inferior a la distancia de seguridad, entonces al conductor aplica desaceleraciones medias a altas según la situación.

bx_add: parte aditiva de la distancia de seguridad (m)

bx_mult: parte multiplicativa de la distancia de seguridad (m)

v: velocidad del vehículo (m/s)

z: es un valor de rango [0; 1]

2.8.2. Modelo Intelligent Driver Model (IDM)

Introducido por Treiber, Henncke y Helbing en el año 2000, se basa en principios físicos e ingenieriles. A la actualidad, el modelo incluye sistemas modernos, tales como asistencia al conductor y control de vehículos autónomos. Sin embargo, al ser un modelo de seguimiento determinista, no es capaz de representar problemas de tráfico reales y complejos, pues los sistemas en la actualidad son cada vez más heterogéneos y estocásticos (Zhou et al., 2025).

2.8.3. Modelo Recurrent Neural Network (RNN) y modelo Long Short-Term Memory (LSTM)

Son modelos basados en inteligencia artificial y aprendizaje automático. El modelo RNN se usa para analizar la estructura de datos en series temporales. En tanto, el modelo LSTM es una variante más avanzada del modelo RNN. Este modelo resulta útil para realizar análisis de trayectorias vehiculares; puesto que, permite realizar múltiples tareas, tales como el seguimiento de la posición de un objeto, la identificación de las intenciones del conductor a partir de sus movimientos y la predicción de la ubicación del vehículo a partir de los datos de trayectorias pasadas (Park et al., 2018). En un futuro próximo, en el contexto peruano, este tipo de modelos permitirá llevar la microsimulación de tráfico a un nivel más sofisticado, representativo y cercano a las condiciones reales. En tal sentido, su análisis, estudio e

implementación tanto en el ámbito académico como en el industrial serán necesarios para impulsar su desarrollo y luego una aplicación efectiva.

2.9. Modelos de cambio de carril

Los modelos de cambio de carril son esenciales porque simulan el comportamiento individual de los vehículos a un alto nivel de detalle. Generalmente, estos se clasifican en dos. El primero es el cambio de carril obligatorio, este se produce cuando el carril termina, hay necesidad de giro o presencia de obstáculos. El segundo es el cambio de carril voluntario y se origina cuando se desea adelantar, evitar la congestión, etc. Es importante resaltar que, PTV Vissim por su parte trabaja con un enfoque basado en el comportamiento del conductor, ello se evidencia en los parámetros de la distancia mínima de seguridad, las brechas de seguridad para cambiar de carril, la probabilidad de cambio de carril y la agresividad del conductor.

2.10. Modelos de seguimiento peatonal

El modelo de seguimiento peatonal (*pedestrian tracking model*) es un enfoque de simulación que analiza el movimiento individual o colectivo de peatones en espacios públicos, considerando factores como rutas preferentes, evitación de obstáculos y dinámicas de grupo. (Hoogendoorn & Bovy, 2004). La principal aplicación del modelo de seguimiento peatonal es el diseño de centros comerciales, estaciones de tren y evacuaciones de emergencia.

Se basa en algoritmos que predicen trayectorias mediante reglas de decisión como minimizar el tiempo de viaje o seguir líderes. Estos 2 tipos de comportamiento son, comportamiento líder-seguidor: Los peatones ajustan su velocidad y dirección imitando a individuos cercanos (Hoogendoorn & Bovy, 2004). Segundo, la optimización de rutas: elección de caminos basada en distancias, congestión y preferencias visuales.

2.10.1. Modelo de fuerza social

Propuesto por Helbing y Molnár (1995), el modelo de fuerza social (*social force model*) describe el movimiento peatonal mediante fuerzas virtuales que representan motivaciones físicas y psicológicas. De acuerdo con Cabrera (2012), es un Modelo basado en ecuaciones newtonianas que describe la interacción de peatones con su entorno y otros, considerando fuerzas de atracción y repulsión simultáneas, metas personales, distancias de seguridad y variabilidad en el comportamiento individual. En ese sentido, dentro del modelo de fuerza social cada peatón es un agente sometido a:

- Fuerzas de atracción: Hacia destinos (e.g., tiendas comerciales, salidas, edificios).
- Fuerzas de repulsión: Evitación de colisiones con otros peatones u obstáculos.
- Fuerzas sociales: Mantenimiento de espacio personal ($\approx 1 \text{ m}^2$ por persona).

. La herramienta PTV Viswalk emplea este modelo para simular interacciones entre peatones, ciclistas y vehículos, que se aplica para para analiza la fluidez de peatones en aceras. “El algoritmo del modelo de la fuerza social de PTV Viswalk tiene en cuenta la psicología del comportamiento al caminar” (PTV Group, 2025).

Los parámetros específicos para la calibración de peatones en el programa Vissim son: tau (tiempo de reacción), landa (factor de Anistropia) y noise (factor aleatorio).

- Tau (τ): el tiempo de relajación que presenta el peatón relacionado con un tiempo de reacción o de inercia al movimiento. (PTV Group, 2016).

- Lambda (λ): parámetro que regula la cantidad de anisotropía.

- Noise: el valor de este parámetro representa la fuerza aleatoria que es adicionada a las fuerzas calculadas sistemáticamente si un peatón permanece por debajo de su velocidad deseada en un lapso de tiempo. (PTV Group, 2016).

2.10.2. Modelo de celulares autómatas

El modelo de celulares autómatas (*cellular automata model*), dividen el área en unidades que solo pueden contener un peatón, representando zonas libres, obstáculos o atributos ambientales. La aplicación del modelo se observa en el juego de la vida (*life's game*). Para el modelamiento de flujo peatonal, los peatones se mueven según reglas probabilísticas que consideran, y se encuentran regidas por los criterios y la ecuación adjunta.

Vecindarios: Celdas adyacentes (Moore o Von Neumann).

Prioridades: Elección de celdas libres hacia la dirección objetivo.

Velocidad: Número de celdas avanzadas por paso de tiempo (Blue & Adler, 2001).

Ecuación de transición:

$$P(i \rightarrow j) = \begin{cases} k \cdot e^{-\beta \cdot d_j}, & \text{sí } j \text{ está libre} \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Donde:

d_j : distancia al destino

β : parámetro de preferencia

De acuerdo con Fonseca (2020), el modelo de celulares autómatas presentan limitaciones al simular flujos transversales y espacios amplios en microsimulación peatonal.

Además, su representación gráfica resulta poco realista, ya que el movimiento de los peatones se visualiza como saltos entre celdas, restando naturalidad al desplazamiento.

2.11. PTV Vissim y Viswalk

PTV Vissim es un software de simulación del tráfico multifuncional, permite el modelado del comportamiento microscópico de los patrones de tráfico con el objetivo de tomar decisiones sobre la planificación del tráfico y evaluar la toma de medidas de gestión del tránsito. “Este software permite trabajar con una diversidad de comandos que integran el transporte privado y público” (PTV GROUP, s.f.). En ese sentido, esta herramienta computacional permite analizar la conducta de los vehículos y peatones a través de los parámetros de eficiencia, para poder plantear posibles mejoras de diseño geométrico, semaforización, aplicarlo y observar los resultados que generarían. Esta herramienta permite ahorrar los recursos de tiempo y dinero, permitiendo tomar decisiones antes de gastar en reestructuraciones de estructuras ya construidas o de ejecuciones sin análisis microsimulados.

Por otro lado, Viswalk es un software de simulación de tráfico enfocado exclusivamente en la movilidad peatonal. Se centra en la interacción detallada entre las personas y su entorno, lo que posibilita un análisis más profundo de las dinámicas físicas y sociales entre los peatones. Además, ofrece la capacidad de explorar otros aspectos como la planificación urbana y la seguridad vial (PTV GROUP, s.f.).

Por lo tanto, en el desarrollo del proyecto de investigación se utilizará el programa PTV Vissim 2025 (SP10) y Viswalk. El uso de estas herramientas son válidas para el presente estudio ya que se enfocan en analizar pequeñas secciones en conflicto a partir de las especificaciones detalladas anteriormente.

2.12. Principios de la microsimulación

La microsimulación permite representar de manera virtual un escenario específico, en el cual interactúan vehículos, peatones y el entorno común, por ejemplo, una intersección. Una de las ventajas notables es que permite simular el comportamiento de los distintos elementos a nivel espacial, temporal, individual y colectivo. No obstante, para garantizar la similitud entre el modelo virtual y el campo real, el Federal Highway Administration (FHWA) (2004) indica que el modelo debería pasar por un proceso de (i) calibración y (ii) validación.

- i) La calibración, es el proceso en el cual el analista selecciona los parámetros del modelo que hacen que este reproduzca de la mejor manera las condiciones de las operaciones de tráfico locales medidas sobre el campo.
- ii) La validación, es el proceso en el cual el analista comprueba el rendimiento global del tráfico predicho por el modelo para un sistema de calles y/o carreteras, comparándolo con el rendimiento de las mediciones sobre el terreno, como volúmenes de tráfico, tiempos de viaje, velocidades medias y demoras.

La calibración y validación del modelo están sujetos a múltiples análisis estadísticos. Los parámetros que influyen en dicho análisis son, principalmente, la aleatoriedad, el Warm up, el número de semilla y el número de corridas. Estos se describen en los siguientes apartados.

2.12.1. Aleatoriedad

Múltiples programas de micro simulación, en su mayoría, son de carácter estocástico o probabilístico, por lo cual es posible simular comportamientos y situaciones aleatorias de vehículos y peatones (FHWA, 2019); por ejemplo, la aleatoriedad en la llegada de vehículos, la elección de carriles, el comportamiento de conductores y peatones, etc.

2.12.2. Warm up

Warm up es el periodo de estabilización del sistema (PTV GROUP, s.f.). Este pequeño lapso es necesario, pues al momento de inicializar la simulación, en el sistema no existen objetivos de análisis tales como vehículos y peatones. La condición para establecer el Warm up es que el número de vehículos y peatones que ingresan al sistema sea aproximadamente igual a los de la salida. Es importante resaltar que, dicho valor depende de las características del programa, complejidad del modelo, tipología de los vehículos, etc.

2.12.3. Número de semilla

Debido a la aleatoriedad de los programas de micro simulación, es necesario establecer una secuencia de números arbitrarios que garanticen la aleatoriedad en el comportamiento de los elementos dentro del sistema. Dicha secuencia se inicializa a partir de un número de semilla cualquiera, cuyo propósito principal es garantizar la reproductibilidad de los resultados. Cabe mencionar que, cada número de semilla específico genera una secuencia distinta de números aleatorios. El programa PTV Vissim cuenta con un número de semilla por defecto, este es el número 42, el cual no presenta un significado en específico (FHWA, 2019).

2.12.4. Número de corridas

Diversos programas de microsimulación operan bajo un modelo probabilístico, por lo cual es necesario extraer una muestra representativa de la población. En tal sentido, la población viene dada por un número de corridas infinito y la muestra por un número de corridas finito. Este proceso es necesario para la calibración y validación del modelo.

Adicional a ello, el número de corridas adecuado debe cumplir con un nivel de confianza del 95 %, el cual es un porcentaje aceptable en ingeniería. El proceso para hallar el número de corridas es iterativo mediante fórmulas estadísticas y depende en gran medida de la

complejidad del proyecto (FHWA, 2019). Dicho proceso se abordará a detalle en la metodología.



CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

La metodología adoptada es un enfoque mixto, cualitativa y cuantitativa. Este enfoque dual se estructura con el propósito de recopilar información, realizar un análisis y formular una propuesta de rediseño cuyo objetivo sea beneficiar a los diferentes usuarios de la intersección.

En la sección cualitativa, se planea llevar a cabo una inspección de seguridad vial en la intersección ubicada en la zona urbana entre la Av. Julio Sumar y la Av. Mariscal Castilla. Para este propósito, se desarrollará una lista de verificación completa y una entrevista dirigida a los usuarios, con el fin de recopilar información sobre aspectos relacionados con el diseño, la señalización, la semaforización, entre otros. Se debe prestar especial atención a elementos cualitativos como la funcionalidad, las características de los usuarios, la armonía y organización del espacio, la adecuación de la señalización y las medidas existentes que influyen en los múltiples usuarios: ciclistas, conductores y peatones. El enfoque cualitativo tiene como objetivo captar contextos que podrían escapar a un análisis puramente cuantitativo, permitiendo así una comprensión más profunda de las dinámicas de seguridad en la intersección.

Por otro lado, la sección cuantitativa describe las técnicas, herramientas y los materiales. Esta abarca cuatro ejes primordiales, los cuales están organizados estratégicamente y secuencialmente. El primer paso está orientado hacia la identificación visual de los problemas y deficiencias paramétricas de la intersección. El segundo paso está dirigido hacia la recolección de datos sobre el paso anterior. El tercer paso está encaminado hacia la microsimulación del estado actual de la intersección en el software PTV Vissim y Viswalk. Por último, el cuarto paso está enfocado en el replanteo de la intersección con propuestas de mejora sobre el rediseño geométrico de la intersección, propuesta de un sistema semafórico óptimo, la señalización adecuada, a través de la microsimulación en el software PTV Vissim y Viswalk. Los

alcances principales son mitigar los conflictos y plantear un escenario seguro, armónico y sostenible en la mayor medida que fuere posible.

La combinación de ambos enfoques permitirá una comprensión más completa y contextualizada de los factores que inciden en la seguridad vial, al incorporar tanto datos cuantificables como percepciones subjetivas que afecten la sensación de seguridad de los usuarios. En síntesis, la metodología será el lineamiento por seguir para lograr mejorar la seguridad vial de la intersección entre la Av. Julio Sumar y la Av. Mariscal Castilla, mediante el rediseño geométrico, optimización del sistema semafórico y señalización apropiada. El análisis se apoyará en enfoques importantes tales como la multimodalidad y la movilidad sostenible.



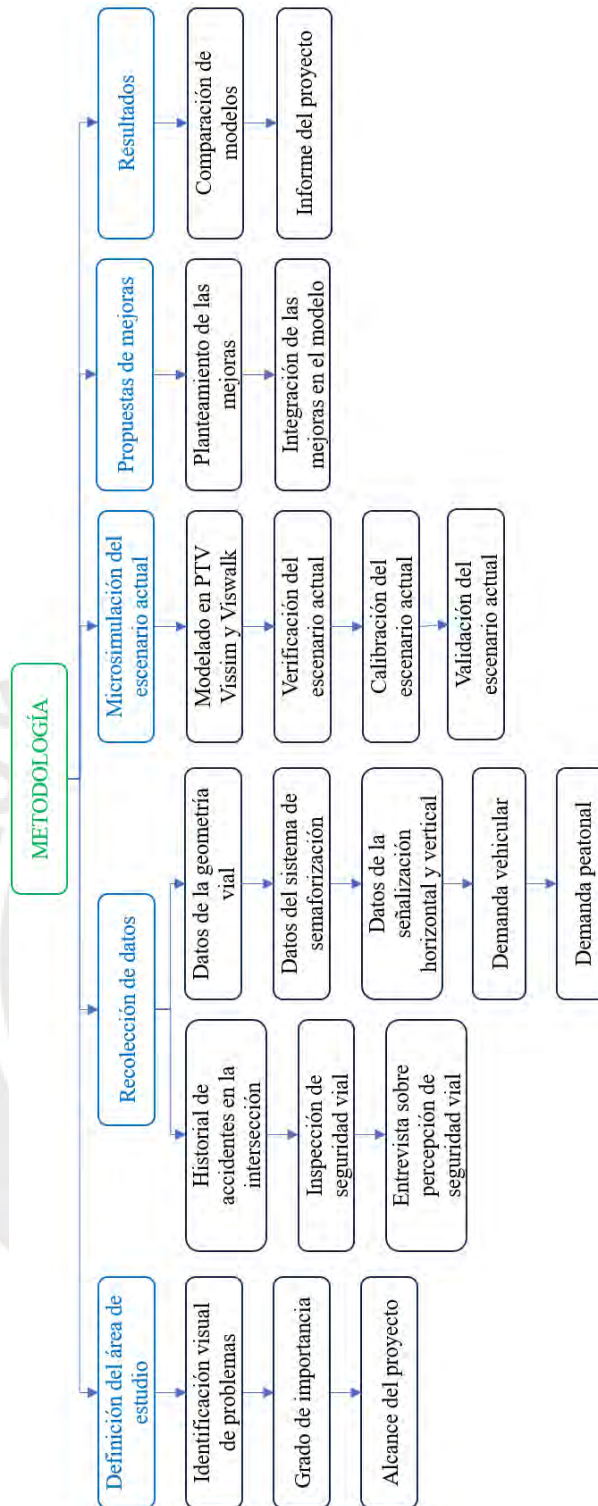


Figura 2. Flujograma general de la metodología elegida.

Nota. La figura representa la secuencia lógica de desarrollo de la microsimulación del estado actual, la formulación de las propuestas de mejoras y el desarrollo del modelo con las propuestas.

3.1. Definición del área de estudio

La intersección entre la Av. Julio Sumar y Av. Mariscal Castilla se encuentra ubicado en el distrito de El Tambo, provincia Huancayo y departamento Junín. Dicha intersección pertenece a una ruta de distribución local.

En el eje de la Av. Mariscal Casilla, Este y Oeste, articula el transporte de ciudadanos hacia y desde Chupaca, a los centros de estudios universitarios, Universidad Peruana Los Andes y Universidad Nacional del Centro del Perú. De igual forma el eje de la Av. Julio Sumar, Norte y Sur, y articula el transporte de ciudadanos hacia y desde Cerro de Pasco desde el distrito Tambo. En ese sentido, la intersección presenta dentro de su área de influencia el estadio Mariscal Castilla, el parque Miraflores, el parque El Poeta, el parque Los Manzanos, el centro comercial Paso el Tambo, y diversas zonas de consumo comercial, como hoteles, restaurantes, mercados, etc.

Por otro lado, la elección de esta es estratégica pues es un nodo importante en la conexión entre el flujo de los distritos de noroeste y los distritos de sureste de Huancayo. En tal sentido, se presenta sobre la Figura 3 el área de influencia correspondiente a la intersección.



Figura 3. Área de influencia de la intersección.

Nota. Adaptado de plano extraído de Google Maps.

3.2. Recolección de datos

3.2.1. Datos cualitativos

En este apartado se planea realizar una ISV, para ello se hará uso de una lista de chequeo en donde se podrá detallar las distintas características de la intersección. Asimismo, para complementar la información se realizará una entrevista a los múltiples usuarios sobre la percepción de seguridad vial en la intersección.

- **Lista de chequeo**

La lista de chequeo se utilizará como herramienta para registrar de manera sistemática, si la infraestructura de la intersección cumple con cada característica evaluada o no, asignando el correspondiente resultado a cada ítem y anotando las observaciones adicionales que puedan surgir durante la inspección y que no fueron contempladas inicialmente. Estos aspectos incluyen el diseño geométrico, la señalización, la semaforización, el mobiliario vial, el estado del pavimento, la gestión del tránsito y la seguridad de los usuarios vulnerables. Cada evaluación se respalda con evidencias visuales, tales como fotografías, medidas, pruebas instantáneas, etc. El formato de la lista de chequeo se adjunta en el Anexo A.

- **Entrevista sobre percepción de seguridad vial**

El objetivo principal de la entrevista será identificar cuán seguros, en términos de seguridad vial, se sienten los distintos usuarios durante su cruce por la intersección. Asimismo, la entrevista incluirá algunas preguntas principalmente sobre movilidad, accesibilidad, fluidez y continuidad tanto vehicular como peatonal, congestión, facilidad de identificación de las señales verticales y horizontales, confortabilidad con la geometría vial, respeto por las reglas de tránsito de los distintos usuarios, sentimientos y sensaciones provocados al cruzar la calzada, etc. El modelo de preguntas se puede evidenciar en el Anexo B.

3.2.2. Datos cuantitativos

En esta sección, se realizará el registro de los datos que deben ser recolectados durante la visita in situ tales como aforos vehiculares y peatonales, tiempos de viaje vehiculares y peatonales, longitud de cola vehicular, velocidades medias vehiculares y peatonales, ciclo semafórico, etc. Los datos serán organizados en tablas, esquemas y gráficos para su uso posterior.

Para registrar y grabar el funcionamiento y comportamiento de la intersección se ha optado por emplear un dron, con capacidad de resolución en 4K. Esto facilitará, en gabinete, la extracción de la información de manera detallada y sin pérdidas, lo que es muy ventajoso respecto al método tradicional. Se prestará especial atención a aspectos como el tiempo de viaje y velocidades de viaje, determinadas mediante la escala de dimensiones en el video y ecuaciones de cinemática, así como la detección del comportamiento de los vehículos ante conflictos que podrían encontrarse fuera del rango de visión en la visita y otros posibles contratiempos.

El proceso de recolección de información se desarrollará conforme a la siguiente secuencia. La primera grabación de video se hará el miércoles 05 de marzo del 2025 de 08:00 a.m. a 09:00 a.m. en intervalos de 15 minutos. Así también, el mismo día se hará la recolección de medidas de la geometría vial, la identificación de señales de tránsito horizontales y verticales, y el registro del ciclo semafórico. Luego, la segunda grabación de video se hará el sábado 08 de marzo del 2025 de 10:00 a.m. a 11:00 a.m., también en intervalos de 15 minutos. La filmación se realizará en la hora punta de ambos días, la cual ha sido identificada con el aplicativo Waze, es decir de 8:00 p.m. a 9:00 a.m. y en intervalos de quince minutos. Según los flujos vehiculares, en la ciudad de Huancayo, los lunes, martes, miércoles, jueves y viernes se podrían considerar como típicos, y los días sábado y domingo se podrían considerar como

atípicos, por la clara diferencia entre los flujos vehiculares y peatonales. Es por lo que para la filmación se han elegido dichos días.

- **Geometría vial**

El plano de la geometría de la intersección será extraído de Google Earth Pro, allí se podrá visualizar las medidas reales de los distintos elementos como los anchos de carriles, anchos de calzadas, anchos de aceras, estacionamientos, radios de giro, medidas de los mobiliarios, etc. Para corroborar las distintas medidas, se hará una visita a campo. Finalmente, para comprender aún más la geometría de la intersección, se plasmará una vista en planta en AutoCAD y una vista 3D en SketchUp.

- **Semaforización**

El ciclo semafórico se registrará con un temporizador de tipo cronómetro. Se deberán identificar los colores del lente, las fases y grupos de movimiento afectados por cada fase. Asimismo, se identificará las ubicaciones de los mástiles y los estados de estos como parte del análisis general de la seguridad vial de la intersección. Ello se realizará mediante la visita in situ.

- **Flujo vehicular**

Los datos se registrarán según la tipología de vehículo, por grupo de movimiento, es decir de frente, giro a la izquierda y giro a la derecha, y luego se calculará el porcentaje respecto al total. Los vehículos por considerar son los mototaxis, motocicletas, autos (minivanes y camionetas), combis, coasters, autobuses y camiones. Adicional a ello, en esta sección también se considerarán las bicicletas. El formato designado para la recopilación de datos de aforo vehicular se muestra desde la Tabla 6 a la Tabla 13 con los datos de campo.

- **Flujo peatonal**

En esta sección se registrarán la cantidad de peatones que hacen uso de la intersección, principalmente aquellos que cruzan las calzadas y presentan algún tipo de interacción con los vehículos. El tipo de peatón, es decir por edad (niño, joven y niño) y género (varón y mujer) se registrará de manera aproximada durante la visita in situ. La información recopilada se estructurará según el formato detallado en la Tablas 14 y 15.

- **Longitud de cola vehicular**

Para los datos de campo, la información será recolectada del video. En casos extremos, en donde se llegue a visualizar las longitudes en la pantalla del video, se deberá ir a campo para el registro respectivo. Para los datos del modelo virtual, la información será recolectada del propio PTV Vissim y Viswalk, a partir de un cierto número de corridas.

- **Tiempo de viaje vehicular**

Para los datos de campo, se definirá un tramo de cierta longitud y luego medir con un temporizador de tipo cronómetro, el tiempo que demora un vehículo en cruzar dicho tramo. Para los datos del modelo virtual, la información será recolectada del propio PTV Vissim y Viswalk, a partir de un cierto número de corridas. Las distancias definidas en campo y en PTV Vissim y Viswalk necesariamente deberán ser las mismas.

- **Tiempo de viaje peatonal**

Al igual que los tiempos vehiculares, para los datos de campo, se definirá un tramo de cierta longitud y luego medir con un temporizador de tipo cronómetro, el tiempo que demora un vehículo en cruzar dicho tramo. Para los datos del modelo virtual, la información será recolectada del propio PTV Vissim y Viswalk, a partir de un cierto número de corridas. Las

distancias definidas en campo y en PTV Vissim y Viswalk necesariamente también deberán ser las mismas.

- **Velocidad vehicular deseada**

Para registrar la velocidad vehicular deseada, entendida como la velocidad que un vehículo alcanzaría en condiciones de flujo libre, se realizó la medición del tiempo necesario para que un vehículo recorriera una distancia específica. El procedimiento se realizará para cada tipo de vehículo, con una muestra representativa.

- **Velocidad peatonal**

La velocidad peatonal deseada se calculó mediante la medición del tiempo que tomaron los peatones para atravesar una distancia fija de 20 m, en el cruce norte, tal como se aprecia en la Figura 25. Para ello, se presentará los resultados, con una fotografía del peatón, una de las mediciones y la ojiva de frecuencias de la distribución de la velocidad peatonal. Estos resultados se registrarán y serán empleados para la microsimulación.

- **Parámetros lumínicos de la intersección en horario nocturno**

Para determinar los parámetros lumínicos del área peatonal y cruces de la intersección de estudio, se empleará una aplicación móvil, el luxómetro, que te permite medir la intensidad lumínica promedio mediante la cámara del celular, en un periodo de 20 s, en un punto determinado y a una altura de 1 m sobre la acera. Este procedimiento se realiza en varios puntos tales como debajo del poste de alumbrado, en puntos intermedios entre postes, en una esquina y en el cruce peatonal. En ese sentido, los datos obtenidos servirán para corroborar el cumplimiento de la normativa de características de luminancia y uniformidad, con el fin, de replantear una distribución de iluminarias que mejore las características lumínicas de la intersección. Según Hurtado (2015, p. 212-254), se puede cuantificar la relación significativa

entre los parámetros luminotécnicos de la instalación de alumbrado urbano y la percepción de seguridad o vulnerabilidad en los peatones que transitan sobre el espacio público.

3.3. Microsimulación del escenario actual

La microsimulación del estado actual refiere al modelamiento detallado del escenario real de la intersección. El modelo servirá para la interpretación e identificación de eventos y problemas, inclusive aquellos que no son visibles a simple vista. El software principal que usará será PTV Vissim y Viswalk y los softwares de ayuda serán AutoCAD, SketchUp, Excel y StatKey. El proceso consiste en la modelación, verificación, calibración y validación.

- **Modelación**

En primer lugar, crear el espacio y geometría de la intersección. Para ello, se debe importar el plano en modo imagen y realizar el escalamiento a una escala que represente la realidad. En segundo lugar, crear los carriles, ciclovías, cruces y áreas peatonales, considerando los sentidos de circulación. En tercer lugar, introducir los flujos de vehículos y peatones. Si el software no incluye algún tipo de vehículo, ello se deberá crear en algún software externo y luego importar. En simultáneo, se debe designar los volúmenes y las velocidades de circulación, de acuerdo con la tipología de vehículos y peatones. En cuarto lugar, establecer las prioridades de paso en los diferentes puntos de conflicto, de tal manera que represente la realidad en la mayor medida posible. Ello se puede realizar mediante áreas de conflicto o reglas de prioridad. En quinto lugar, configurar los sistemas de control de tráfico tales como el sistema de semaforización y señalización vertical. En el caso de sistemas de semaforización, establecer los ciclos y líneas de pare. Finalmente, diseñar la parte estética del modelo.

- **Verificación**

La verificación aborda una revisión sobre los errores que pudieran surgir durante la simulación. El objetivo principal es que el sistema trabaje como un conjunto sin disociaciones, incongruencias, ni errores. En tal sentido, la verificación se debe realizar en paralelo con la modelación con la mayor cautela posible. Si la situación lo amerita, se deberá realizar una verificación final al término de la modelación y poder iniciar con la calibración sin mayor dificultad.

- **Calibración**

Para la calibración, será necesario definir un parámetro de análisis. Los parámetros más comunes son la longitud de cola, velocidad de viaje, tiempo de demora y tiempo de viaje. Lo óptimo es calibrar dos parámetros en simultáneo; sin embargo, a medida que se incrementa la complejidad de modelo, ello puede resultar sumamente dificultoso. Por ende, en el presente proyecto de estudio, la calibración se hará únicamente con el tiempo de viaje. La Figura 4 muestra el esquema a seguir para calibración del modelo.

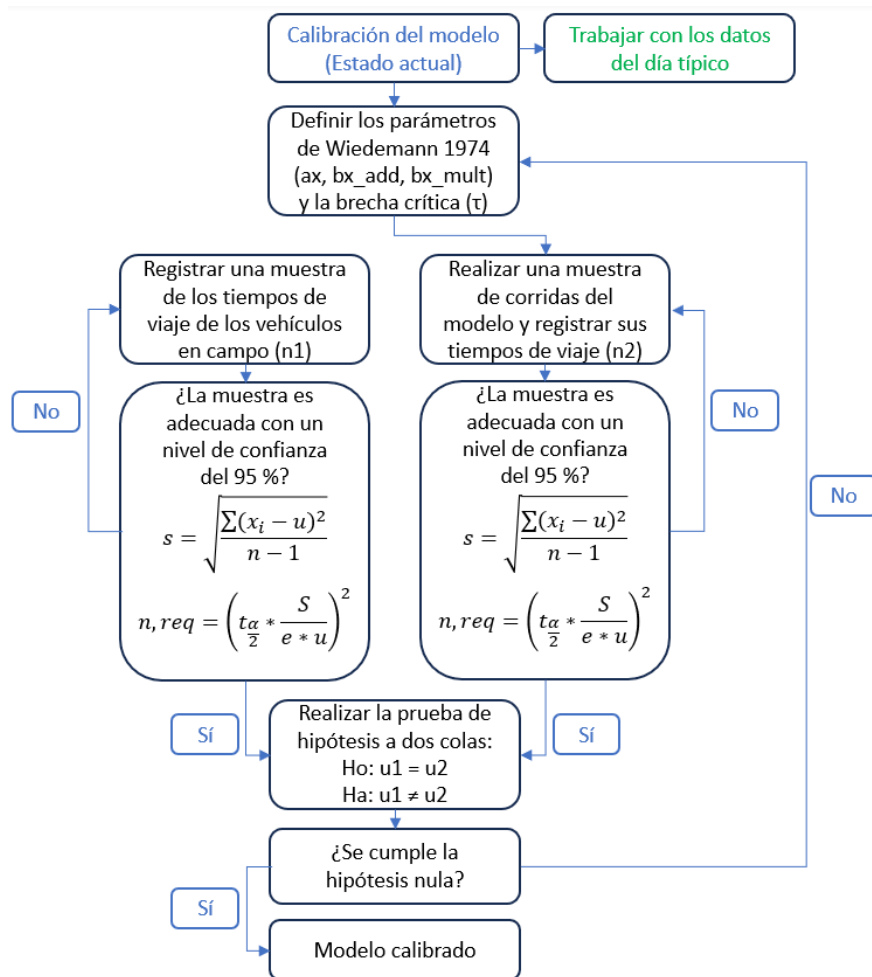


Figura 4. Esquema de calibración del modelo virtual del escenario actual.

Nota. Elaboración propia.

Donde:

τ : brecha crítica

S : desviación estándar

x_i : variable

\bar{x} : media de la variable

n : número de corridas

$t_{\frac{\alpha}{2}}$: valor de la distribución t-Student

α : probabilidad de cometer errores

e : margen de error

n : número de corridas

u_1 : media de los tiempos de viaje del campo

u_2 : media de los tiempos de viaje del software

H_0 : hipótesis nula

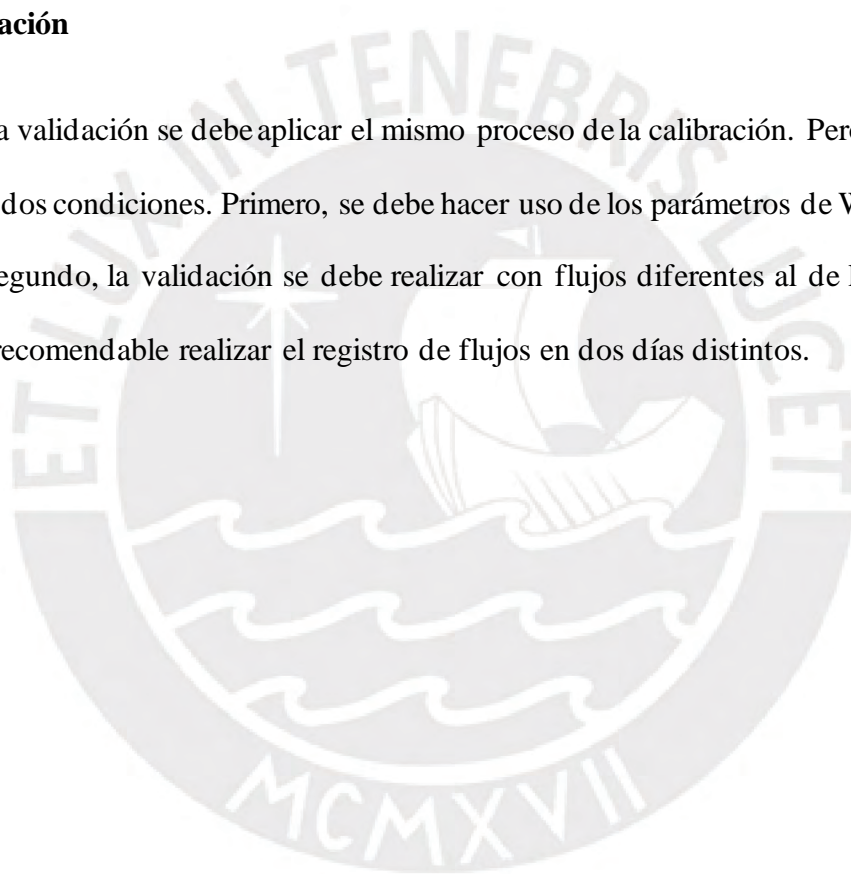
H_a : hipótesis alternativa

El FHWA (2019) recomienda usar un valor de $e = 0.05$ para las variables en general, excepto para las longitudes de cola, para dicha variable se recomienda un $e = 1$ m.

La condición es que el modelo debe ajustarse a las condiciones de tráfico reales. Por ende, la hipótesis nula debe cumplirse; es decir, la media de los tiempos de viaje de VISSIM debe asemejarse a la media de los tiempos de viaje del campo y la diferencia de ambos debe caer en la zona gris.

- **Validación**

Para la validación se debe aplicar el mismo proceso de la calibración. Pero, en este caso se establecen dos condiciones. Primero, se debe hacer uso de los parámetros de Wiedemann ya calibrados. Segundo, la validación se debe realizar con flujos diferentes al de la calibración. Para ello, es recomendable realizar el registro de flujos en dos días distintos.



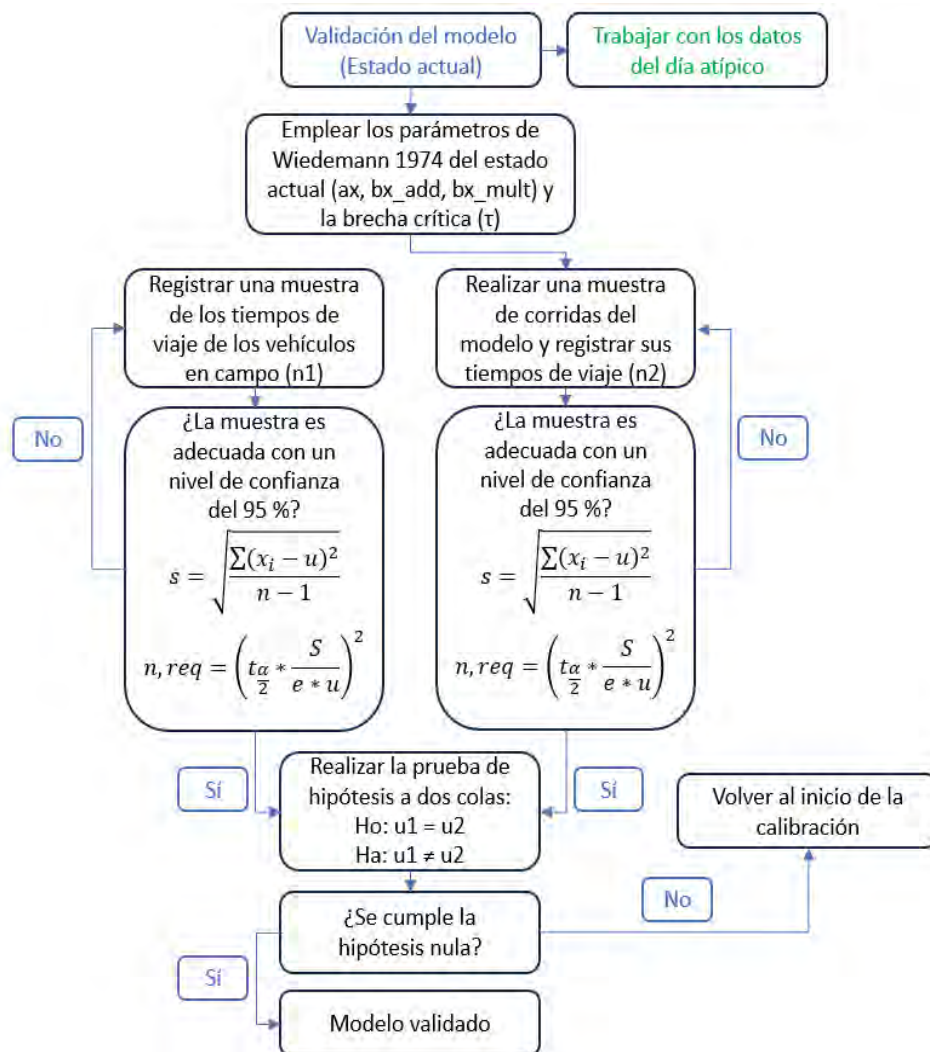


Figura 5. Esquema de validación del modelo virtual del escenario actual.

Nota. Elaboración propia.

3.4. Escenario con mejoras

En un primer plano, previo a plantear la propuesta de mejora, será necesario la búsqueda de información tales como normas de diseño nacionales e internacionales en donde se indiquen medidas, disposiciones y directrices para el diseño de intersecciones urbanas. Dicha información será crucial para el planteamiento de las mejoras en la intersección.

En un segundo plano, se realizarán las propuestas de mejora. Ello se hará en base a la información recopilada sobre el diseño de intersecciones. En simultáneo, se realizarán adaptaciones de acuerdo con las características de la intersección. Para ello, es oportuno

organizar y clasificar cada uno de sus componentes y lo que ocurre en su entorno. Por ejemplo, el manual Montgomery County Complete Streets (2021), clasifica los tipos de carreteras si está en el centro de la ciudad, cerca de una industria, cerca de edificaciones importantes como hospitales e instituciones educativas, y su diseño depende en gran medida de dicha clasificación. Una vez que se haya planteado las propuestas de mejora acorde a las diversas normas de diseño, se procederá a microsimular el modelo para verificar su funcionalidad o no funcionalidad.

- **Propuestas de mejora**

La propuesta de mejora aborda tres aspectos fundamentales, la geometría vial, el sistema de semaforización y la señalización. En general, la propuesta de mejora debe garantizar que los distintos usuarios se movilicen a través de la intersección con seguridad, armonía y fluidez. Para ello, se tendrá en cuenta las distintas recomendaciones propuestas tanto por manuales de seguridad vial como de diseño vial.

Con relación a la geometría vial, se debe adecuar las medidas en planta y en altura de la calzada, los carriles, la mediana, los cruces peatonales, la acera, los radios de giro de los martillos, las islas, las rampas, la separación entre bolardos, etc. Respecto al sistema de semaforización, se debe ajustar el tiempo del ciclo del semáforo, considerando el tráfico real, y ubicar los lentes en un lugar visible y estratégico. En referencia a la señalización, adherir o suprimir señalizaciones verticales y horizontales, dependiendo de la situación. La información descrita deberá ser microsimulada en PTV Vissim y Viswalk de la misma manera que el modelo de la situación actual.

3.5. Comparación y análisis de los modelos

Como se ha mencionado anteriormente, el parámetro a analizar es el tiempo de viaje. Por ende, para aprobar y evaluar la validez de la propuesta de mejora se debe verificar que los tiempos de viaje de la propuesta de mejora sean menores a los tiempos de viaje del escenario actual. Para ello, es necesario realizar un análisis estadístico con la siguiente prueba de hipótesis.

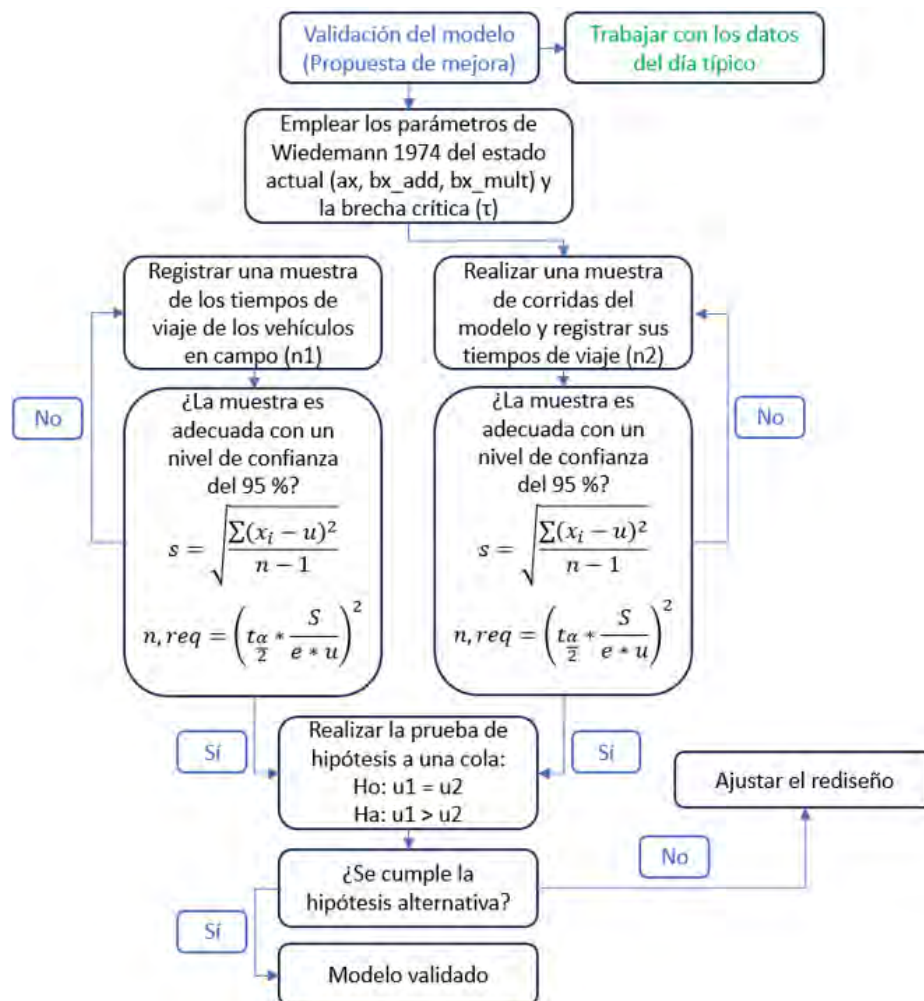


Figura 6. Esquema de validación del modelo virtual de la propuesta de mejora.

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN DE LA INTERSECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

4.1. Resultados y análisis de la lista de chequeo

Como parte de la ISV, La Tabla 5 muestra la lista de chequeo con los resultados extraídos durante la verificación de la intersección. A manera de resumen, la mayoría de las medidas de los componentes no cumplen con las recomendaciones de los manuales de diseño, la geometría presenta una irregularidad pronunciada, hay obstrucciones que dificultan la visibilidad y la señalización es escasa.

Tabla 5

Lista de chequeo de la intersección Av. Julio Sumar y Av. Mariscal Castilla

ÍTEM	PREGUNTA	¿CUMPLE?	OBSERVACIÓN
1.	Geometría		
1.1.	Configuración y volúmenes		
1.1.1.	¿La configuración de la intersección permite que los conductores maniobren en ella de manera correcta?	No	No hay suficientes señales verticales ni horizontales
1.1.2.	¿La intersección contempla la circulación de todo tipo de vehículos?	Sí	La mayoría de los existen en el Perú
1.1.3.	¿Hay transporte público?	Sí	Predominan las combis
1.1.4.	¿Hay vehículos de carga?	Sí	Camiones medianos
1.1.5.	¿Hay ciclistas?	Sí	No hay ciclo vía
1.1.6.	¿Se registró segregación de los diferentes tipos de vehículos?	No	Todos comparten los mismos carriles
1.1.7.	¿Los volúmenes vehiculares, en horas punta, exceden la capacidad de la intersección?	Sí	Se evidencia congestión
1.2.	Accesos		
1.2.1.	¿Los carriles de los accesos están alineados con los carriles de salida?	Sí	Hay desvíos mínimos
1.2.2.	¿Existen accesos oblicuos?	Sí	En la Av. Julio Sumar
1.2.3.	¿Se registró que alguno de los accesos se encuentra cerca de una curva?	No	Los accesos son continuos
1.3.	Curvas		

1.3.1.	¿Los radios de giro y los anchos de calzada en las esquinas permiten la circulación adecuada de todos los tipos de vehículos?	Sí	Hay radios de giro excesivos
1.3.2.	¿Se registró curvas verticales abruptas en los accesos?	No	Hay una curva mínima en el acceso sur
1.4. Sección transversal			
1.4.1.	¿Se registró pendientes verticales que pueden producir patinazos?	No	
1.4.2.	¿Las características de drenaje son suficientes para evitar la acumulación de aguas provenientes de las lluvias?	No	No hay cunetas suficientes, inclusive en algunos accesos no existen
1.4.3.	¿Existe elementos que obstruyen el flujo vehicular?	No	
1.4.4.	¿El peralte en las curvas de los accesos es el apropiado?	Sí	
1.5. Visibilidad			
1.5.1.	¿La configuración de la intersección obstruye la visibilidad del conductor?	Sí	Hay partes donde no es suficiente
1.5.2.	¿La percepción del conductor se ve afectada por el estrechamiento del acceso?	Sí	
1.5.3.	¿La visibilidad lateral del conductor es obstruida por algún elemento?	Sí	Hay postes, anuncios, árboles
1.5.4.	¿La visibilidad de los refugios peatonales el clara para los conductores?	No	Solo existe un refugio y no abastece a sus usuarios
1.5.5.	¿Hay conflicto de la visibilidad del conductor con alguna señalización o semáforo?	No	
1.5.6.	¿Los peatones, ciclistas y conductores tienen una visibilidad clara entre sí?	Sí	Medianamente, pues la intersección es amplia
2. Señalización			
2.1. Horizontal			
2.1.1.	¿En todos los accesos se cuenta con demarcaciones de carriles y flechas direccionales, y estas son claramente visibles?	No	No se evidencia ninguna
2.1.2.	¿La demarcación es la correcta y uniforme?	No	
2.1.3.	¿Se requieren tachas?	Sí	La iluminación por las noches no es la suficiente
2.1.4.	¿Las tachas son retrorreflectivas?	No	

2.1.5.	¿Las cebras peatonales están debidamente ubicadas y elaborados?	No	Solo se cuenta con una cebra peatonal
2.2. Vertical			
2.2.1.	¿Todas las señales verticales de regulación, advertencia o información son necesarias y visibles?	No	Solo se evidencia una señal vertical y no es suficiente
2.2.2.	¿Las señales verticales están obstruidas o son difíciles de ver a causa de algún elemento?	Sí	Se observa un teléfono público, un tacho y un jardín.
2.2.3.	¿Todas las señales están correctamente ubicadas o no obstruyen la visibilidad del conductor?	No	La única señal está mal ubicada.
2.2.4.	¿Las señales verticales son comprensibles o legibles a una distancia pertinente?	Sí	El mensaje es claro.
2.2.5.	¿Las señales verticales son retroreflectantes o están iluminadas satisfactoriamente?	Sí	Cumple con las disposiciones del MTC.
2.2.6.	¿Se usan las señales de "Pare" y "Ceda el paso" correctamente?	No	No se evidencia ese tipo de señales.
2.2.7.	¿Las señales verticales están en buen estado?	Sí	
2.2.8.	¿La distancia del punto de decisión a la señal vertical es la adecuada según la velocidad de operación?	No	La señal está ubicada en la pendiente.
3. SemafORIZACIÓN			
3.1.1.	¿Los semáforos son completamente visibles por todos los usuarios desde cualquier ángulo?	Sí	Medianamente.
3.1.2.	¿Se tiene prevista una fase exclusiva para el cruce de peatones?	No	
3.1.3.	¿La configuración de semáforos es la misma en todos los accesos?	Sí	
3.1.4.	¿La distribución de verdes está de acuerdo a la distribución de tránsito?	Sí	Sin embargo, necesita una revisión para ver si el diseño es correcto.
3.1.5.	¿Los lentes semafóricos se encuentran en buen estado?	Sí	
3.1.6.	¿Los lentes semafóricos se encuentran correctamente ubicados?	Sí	Según la configuración actual, está ubicado en el lugar más adecuado.

3.1.7.	¿Los semáforos están ubicados donde el ocaso y la salida del sol causan problemas de deslumbramiento?	No	No hay reflexión ni empañamiento producido por la luz solar
4. Mobiliario vial			
4.1. Iluminación			
4.1.1.	¿La iluminación permite identificar la intersección de manera clara?	No	Hay deficiencias por la mala repartición y ubicación de los postes.
4.1.2.	¿Los postes al borde de la vía son un riesgo?	Sí	Algunos están ubicados muy próximos a la calzada y otros por encima de las veredas y rampas.
4.2. Vallas peatonales			
4.2.1.	¿Las vallas peatonales están correctamente instaladas?	No	La valla en el acceso sur no cumple su función.
4.3. Elementos viales			
4.3.1.	¿El sardinel se encuentra en buen estado?	No	No existe una delimitación precisa y la pintura no es notoria.
4.3.2.	¿Las veredas se encuentran en buen estado?	No	Los anchos son muy variables y hay grietas.
5. Gestión del tránsito			
5.1. Estacionamientos en calzada			
5.1.1.	¿Los vehículos se estacionan en las calzadas aledañas a la intersección?	Sí	Hay estacionamientos en el acceso sur y norte. Las medidas de los estacionamientos son menores a los recomendados. Los vehículos estacionados quitan visibilidad a los vehículos en movimiento.
5.1.2.	¿Los estacionamientos quitan terreno a la calzada?	Sí	
5.2. Transporte público			
5.2.1.	¿Los paraderos del transporte público están localizados de forma segura?	No	El paradero se encuentra en la pendiente. Las combis invaden la zona central de la intersección, lo cual genera una gran congestión.
5.2.2.	¿Los paraderos se encuentran en buen estado y cubren la demanda?	No	
5.2.3.	¿Los paraderos cuentan con una vía exclusiva de segregación?	No	Las combis y cousters realizan paradas en el carril principal.
5.3. Vehículos pesados			
5.3.1.	¿Hay algún acceso restringido para los vehículos pesados?	Sí	El acceso sur.

5.3.2.	¿Hay rutas alternas para el tránsito de vehículos pesados?	Sí	Hay rutas alternas, como la Av. Huancaavelica, que permiten el tránsito de vehículos pesados.
6. Usuarios vulnerables			
6.1. Ciclistas			
6.1.1.	¿El ancho de la ciclovía es adecuado para la cantidad de ciclistas que usan la ruta?	No	No hay ciclovía. Los ciclistas maniobran entre los vehículos. Están sumamente expuestos.
6.2. Peatones			
6.2.1.	¿La configuración de la intersección identifica de manera precisa los derechos preferentes de pasos y prioridades de los peatones?	No	No hay cruces peatonales. Se observa que la prioridad de paso lo tienen los vehículos.
6.2.2.	¿Los peatones respetan los cruces peatonales?	No	No hay cruces peatonales. Los peatones maniobran por intuición y comodidad, no respetan las señalizaciones.

Nota. Elaboración propia.

La Figura 7 muestra el mapa de los hallazgos críticos en la lista de chequeo. Estos han sido señalizados según las codificaciones.



Figura 7. Mapa de observaciones críticas de la lista de chequeo.

Nota. Elaboración propia.

4.2. Investigación de la tasa de fatalidades

Asimismo, como un complemento de la ISV, se ha realizado una investigación sobre la tasa de fatalidades en la intersección entre la Av. Mariscal Castilla y la Av. Julio Sumar. La información fue proporcionada por la comisaría de El Tambo, Huancayo, el 20 de noviembre del 2024. Cabe mencionar que el diseño de la intersección actual es el mismo que existía en los años en que se realizó la investigación sobre la tasa de fatalidades.

La Figura 8, muestra el número de accidentes por año. Nótese que, en la mayoría de los años, excepto en el año 2022, se han registrado mayor o igual a 5 accidentes por año. Por lo tanto, considerando la definición española, la intersección de estudio se califica como un punto negro.

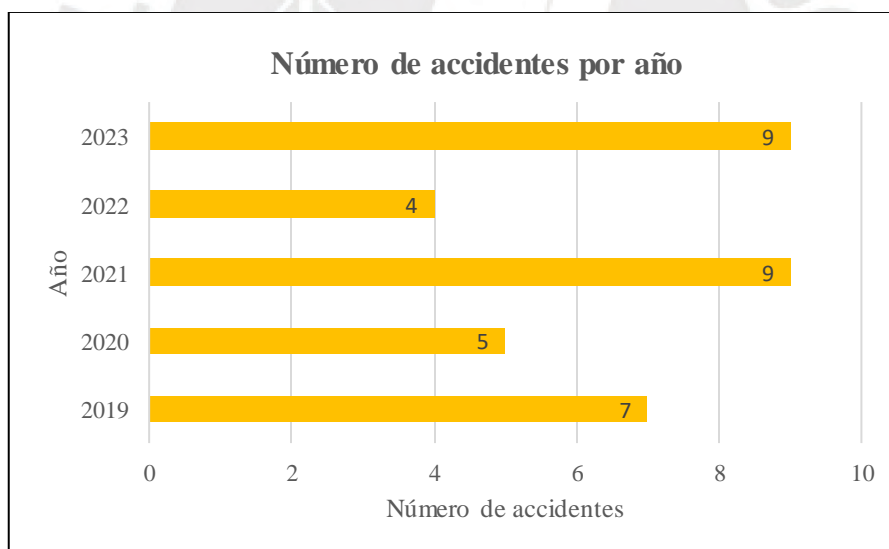


Figura 8. Número de accidentes durante los 5 años.

Nota. Elaboración propia.

En la Figura 9 se observa el número de accidentes ocurridos en distintas modalidades. Se aprecia que la mayoría de los accidentes resultaron en choques con daños materiales y lesiones, lo cual refleja las notorias deficiencias del diseño y las bajas condiciones de seguridad

de la intersección. Asimismo, nótese que el porcentaje de atropellos y fugas es sumamente alto, lo cual evidencia la vulnerabilidad de los peatones al hacer uso de la intersección.

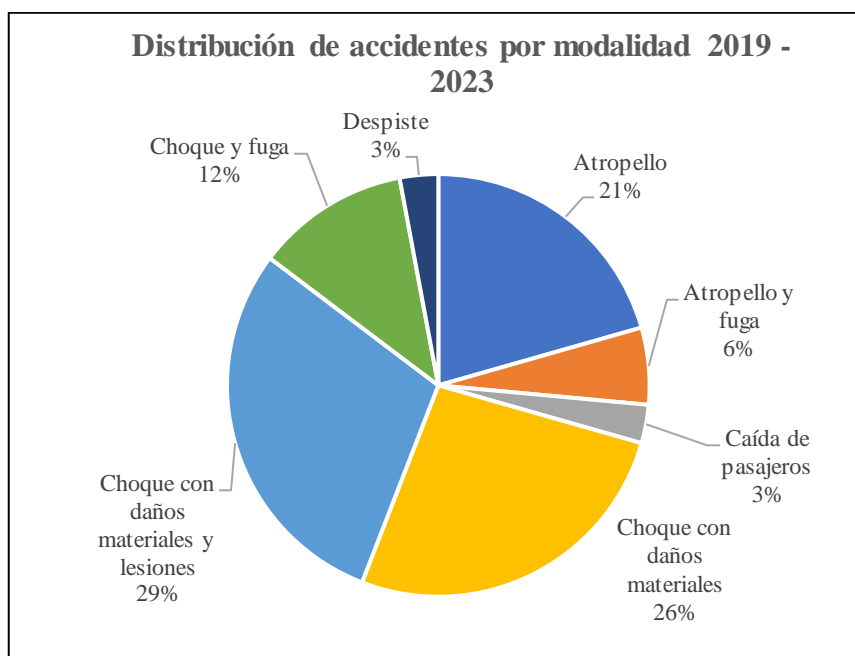


Figura 9. Distribución de accidentes por modalidad durante los 5 años.

Nota. Elaboración propia.

La Figura 10 presenta el número de accidentes según el tipo de vehículo involucrado. Se evidencia que la mayor cantidad de accidentes han sido provocados por automóviles y combis. Asimismo, cabe resaltar que las bicicletas también registran incidencia en los accidentes, lo cual demuestra la vulnerabilidad de este tipo de usuarios en la intersección.

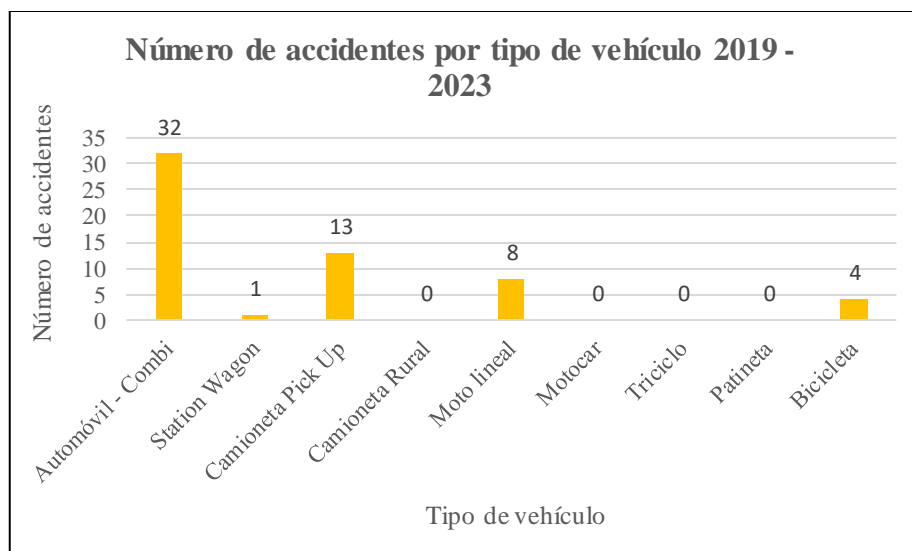


Figura 10. Número de accidentes por tipo de vehículos.

Nota. Elaboración propia.

A partir de los resultados, resulta imprescindible una intervención profesional que contemple un rediseño integral de la intersección, bajo criterios de seguridad y eficiencia vial. Así también, la investigación realizada refuerza la justificación del desarrollo del presente proyecto; puesto que, evidencia de manera clara las vulnerabilidades, peligros y riesgos a los que se ven expuestos los distintos usuarios.

4.3. Resultados de las entrevistas sobre percepción de seguridad

En principio, el tamaño de muestra representativo a entrevistar ha sido calculado mediante métodos probabilísticos. En la fecha de la realización del proyecto, no existe un registro exacto del número de habitantes por distritos y provincias del departamento de Junín; por lo tanto, se asumirá una población lo suficientemente grande y con una desviación estándar desconocida, ello permitirá calcular el número de personas a entrevistar mediante la distribución normal. Así, el tamaño de muestra ha sido calculado con un nivel de confianza del 95 %, un error aceptable del 5 % y una probabilidad de éxito del 50 %, el cuál es crítico.

$$n = \frac{Z^2 * p * (1 - p)}{E^2}$$

$$n, \text{requerido} = \frac{1.96^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{0.05^2} = 384.16 = 385 \text{ personas}$$

$$n, \text{segmentado} = 0.15 * 385 = 57.75 = 58 \text{ personas}$$

Donde:

n: tamaño de muestra requerido

N: población total

Z: nivel confianza

E: margen de error

p: proporción estimada

Según los resultados, se ha de entrevistar a una muestra de 385 peatones; sin embargo, dicho número incluye personas de todas las edades, todos los géneros y de todos los lugares, por lo cual necesariamente se debe segmentar a la población de interés. En el caso de estudio la población de interés incluye personas mayores de 18 años y aquellos que cruzan específicamente por la intersección entre la Av. Julio Sumar y la Av. Mariscal Castilla. En tal sentido, considerando el porcentaje de la población adulta, la cantidad de rutas e intersecciones que hay en la ciudad de Huancayo, la disponibilidad de tiempo y la complejidad que implica desarrollar una entrevista de este tipo, se ha determinado encuestar únicamente al 15.00 % de la población, lo que equivale aproximadamente a 60 personas.

Durante la entrevista, se desarrolló una conversación con el entrevistado sobre temas relacionados a la accesibilidad, la percepción de seguridad, las principales problemáticas, los peligros a los que se ven expuestos, las sensaciones percibidas y ciertas recomendaciones de los usuarios. Es oportuno mencionar que, se procuró entrevistar a una amplia variedad de

peatones y conductores, con el objetivo de obtener una percepción más global. La entrevista incluyó algunas preguntas específicas y cerradas, lo cual ayudó a clasificar y cuantificar de algún modo la perspectiva de los usuarios. Los resultados más relevantes de las preguntas se muestran en la Figura 11, 12 y 13.

0

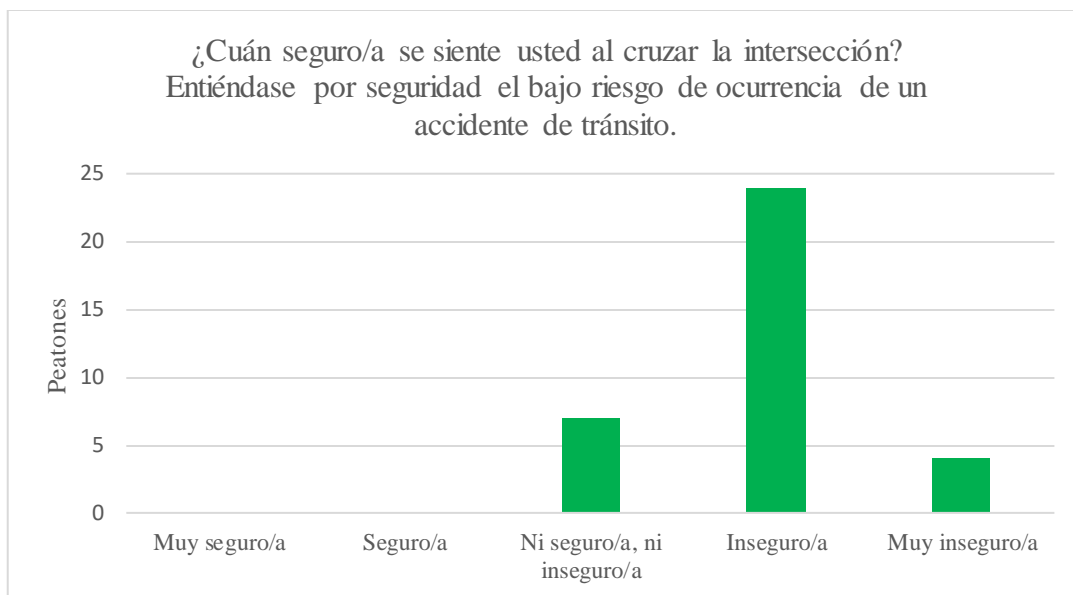


Figura 11. Percepción de seguridad vial de los peatones al cruzar la intersección

Nota. Elaboración propia.

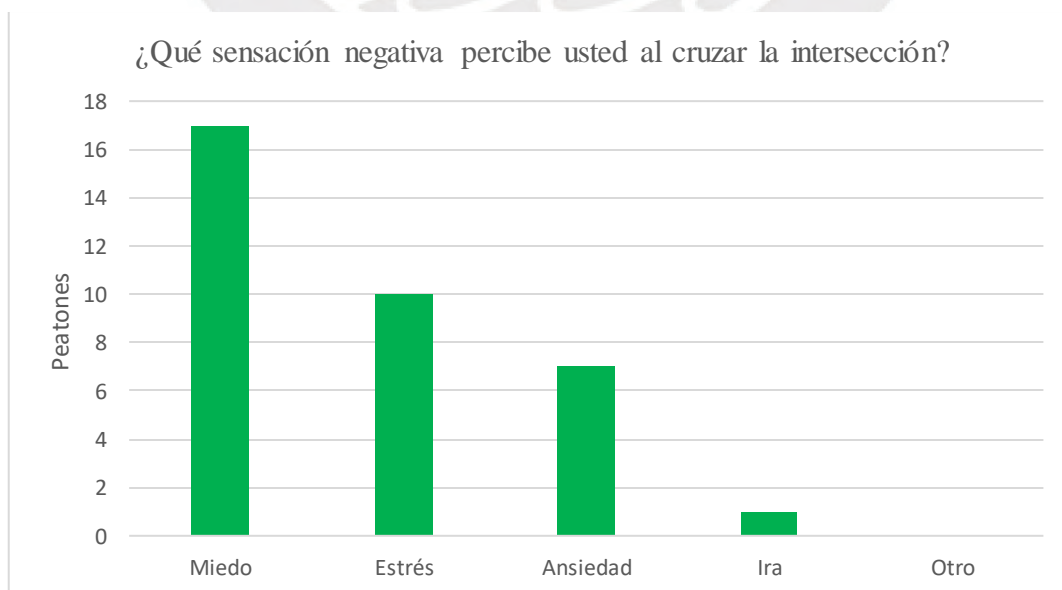


Figura 12. Sensaciones causadas al cruzar la intersección

Nota. Elaboración propia.

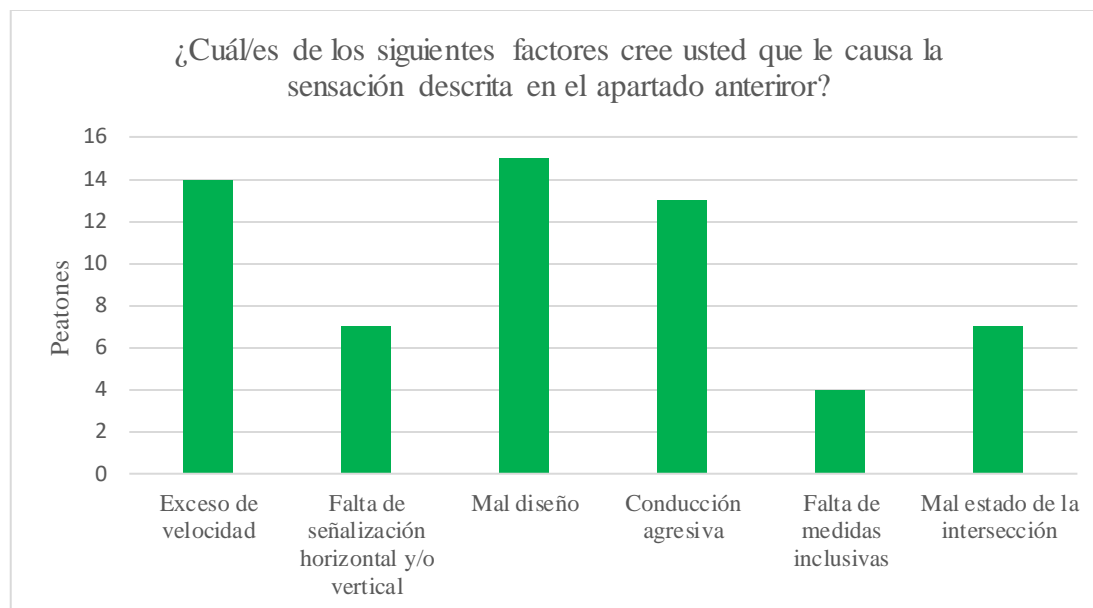


Figura 13. Causas probables que afectan la seguridad vial de la intersección

Nota. Elaboración propia.

Nótese que, de la muestra extraída en la Figura 11, el 68.57 % de usuarios se sienten inseguros, el resto de los usuarios respondieron entre ni seguro, ni inseguro y muy inseguro, mientras que ninguno se siente seguro o muy seguro al cruzar la intersección. Asimismo, nótese en la Figura 12 que la mayoría de ellos ostentan miedo al cruzar la intersección, por lo que se deduce que la mayoría percibe cierta exposición a riesgos, peligros, y la ocurrencia de accidentes de tránsito. Adicional a ello, en la Figura 13 se observa que las dos causas probables que afectan la seguridad vial de los peatones es la mala configuración de la intersección y el exceso de velocidad. Sin duda, la situación es bastante cuestionable y amerita un tratamiento.

4.4. Características de la intersección

El levantamiento de datos se realizó de la siguiente manera. La primera grabación de video se hizo el miércoles 05 de marzo del 2025 de 08:00 a.m. a 09:00 a.m. en intervalos de 15

minutos. Así también, el mismo día se hizo la recolección de medidas de la geometría vial, la identificación de señales de tránsito horizontales y verticales, y el registro del ciclo semafórico. Luego, la segunda grabación de video se hizo el sábado 08 de marzo del 2025 de 10:00 a.m. a 11:00 a.m., también en intervalos de 15 minutos. Se han elegido dichos horarios, pues días previos se ha observado que en dichas horas se producen los flujos críticos, es decir son las horas pico y la razón de haber elegido dichos días es porque en la ciudad de Huancayo los días de lunes a viernes son considerados típicos, mientras que el sábado y domingo son considerados atípicos, ya que los flujos son cambiantes en mayor proporción, a veces pueden ser menos o más.

4.4.1. Geometría vial

A continuación, se presenta los principales hallazgos respecto a la geometría vial de la intersección. Con ayuda de un flexómetro se ha tratado de realizar la medición casi exacta de los múltiples componentes en la medida que fuera posible. La Figura 14, 15 y 16, muestran la vista física, el plano de la intersección y el modelo 3D en SketchUp, respectivamente. Tal como se ha mencionado en el apartado que aborda la lista de chequeo, la intersección presenta diversas problemáticas. Las medidas de cada componente se presentan de manera específica en la Tabla 23.



Figura 14. Fotografía de una vista en planta de la intersección.

Nota. Propia.

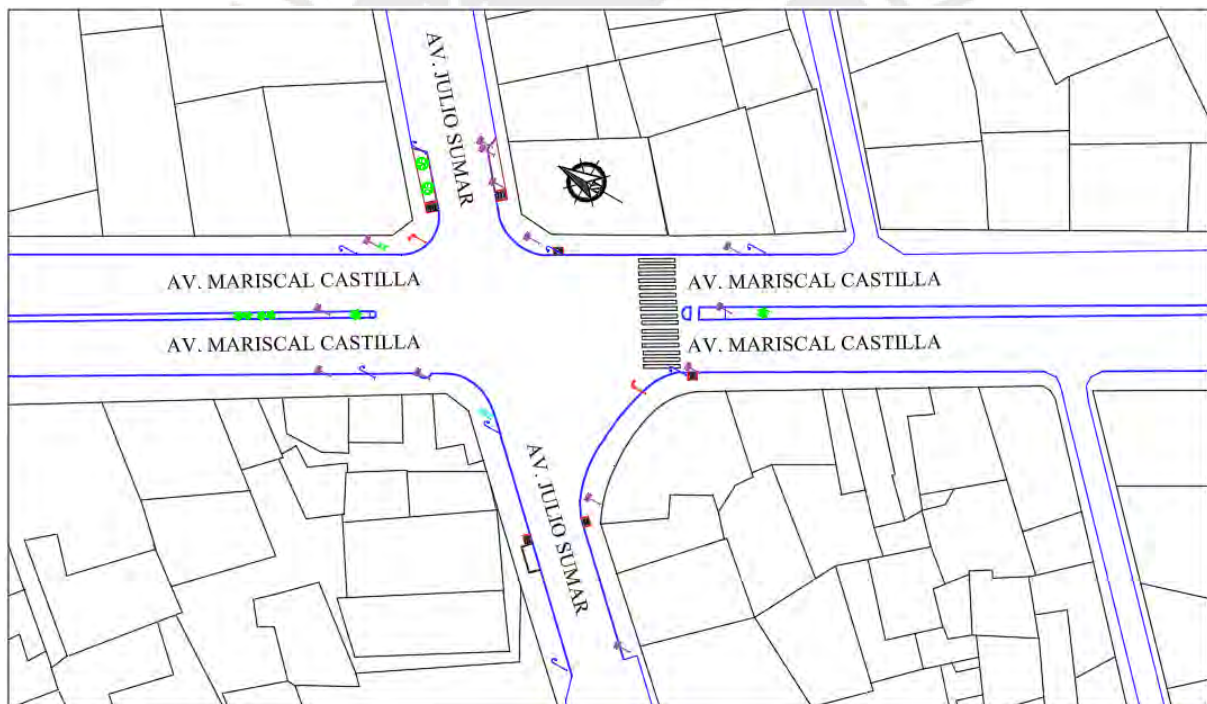


Figura 15. Plano de vista en planta del plano de la intersección con los elementos característicos de la infraestructura vial.



Nota. Elaboración propia.

Figura 16. Modelo 3D elaborado en TwinMotion de la intersección con los elementos característicos de la infraestructura vial

Nota. Elaboración propia.

4.4.2. Señalización

Durante el periodo de visita a campo, desde el 05 al 08 de marzo del 2025, se identificaron tres señales entre verticales y horizontales. En el acceso sur se observó una señal vertical en buen estado, esta fue la R-44 que indica paradero prohibido. En el acceso este se identificó dos señales horizontales en estado deplorable, una línea de pare de vehículos y un cruceo peatonal. La Figura 17 y 18 ilustran lo mencionado.



Figura 17. Señal vertical R-44 de paradero prohibido en el acceso sur

Nota. Fuente propia.

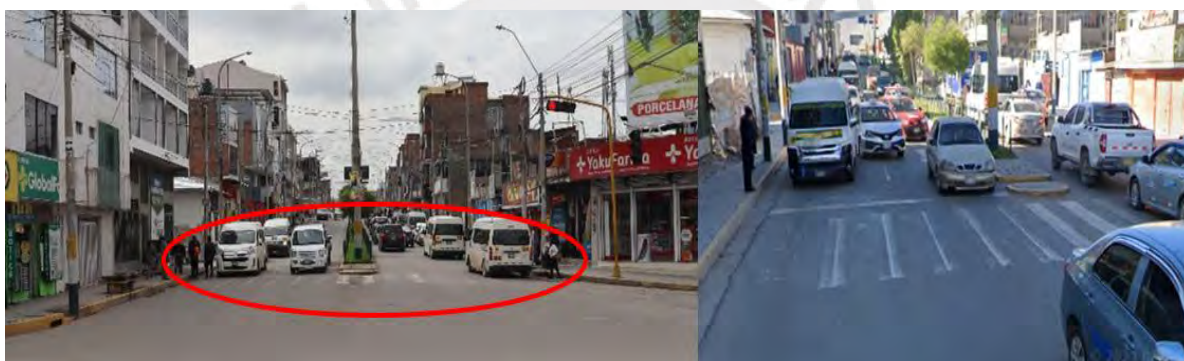


Figura 18. Cruce peatonal y línea de detención de vehículos en el acceso este

Nota. Fuente propia.

4.4.3. SemafORIZACIÓN

La Figura 19 muestra el ciclo semafórico de la intersección. De acuerdo con los datos de campo se ha registrado un ciclo total de 100 s. La primera fase ($\Phi-1$) representa la dirección de oeste a este con un verde, ámbar, rojo y todo rojo de 60, 3, 35 y 2 s respectivamente, y la segunda fase ($\Phi-2$) representa la dirección de norte a sur con un verde, ámbar, rojo y todo rojo de 30, 3, 65 y 2 s respectivamente.

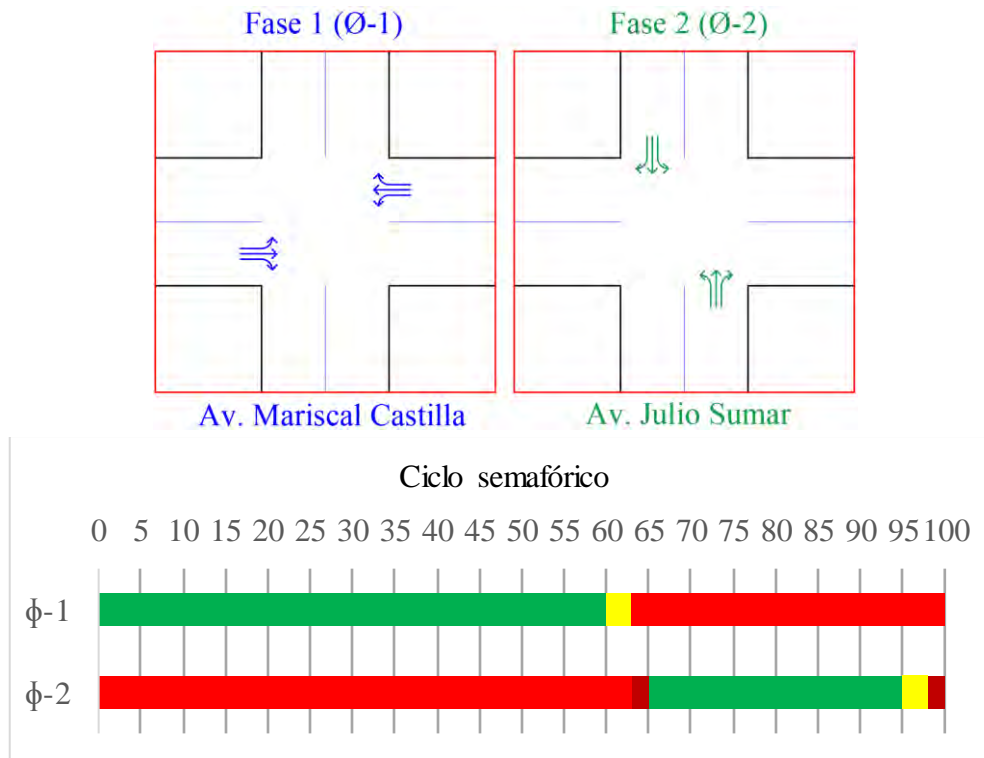


Figura 19. Ciclo semafórico de la intersección entre la Av. Julio Sumar y Av. Mariscal Castilla.

Nota. Elaboración propia.

4.4.4. Flujos vehiculares

El aforo vehicular por categoría de vehículos y por los grupos de movimiento definidos por cada acceso en el cruce de las Av. Julio Sumar y Av. Mariscal Castilla fueron registrados durante una hora de observación y se encuentran detallados en las tablas, desde la Tabla 6 a la Tabla 13. En las tablas referidas se presenta a detalle el recuento durante la hora pico para el miércoles, flujo normal, y el sábado, flujo de calibración.

Tabla 6

Formato de aforo vehicular por acceso Norte en la hora pico en el miércoles

Tipo vehículo	Acceso "NORTE"			TOTAL
	Giro izquierdo	De frente	Giro derecho	
Auto	4	96	36	136
Motocicleta	0	8	0	8
Bus	0	0	0	0
Couster	0	8	0	8
Camión	0	8	0	8
Combi	0	100	0	100
Mototaxi	0	4	0	4
Bicicleta	4	4	0	8
TOTAL	8	228	36	272
% respecto al total	2.94	83.82	13.24	100.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 7

Formato de aforo vehicular por acceso Oeste en la hora pico en el miércoles

Tipo vehículo	Acceso "OESTE"			TOTAL
	Giro izquierdo	De frente	Giro derecho	
Auto	4	1168	20	1192
Motocicleta	0	0	68	68
Bus	0	8	0	8
Couster	0	8	0	8
Camión	0	28	0	28
Combi	0	272	12	284
Mototaxi	0	0	28	28
Bicicleta	4	0	16	20
TOTAL	8	1484	144	1636
% respecto al total	0.49	90.71	8.80	100.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 8

Formato de aforo vehicular por acceso Sur en la hora pico en el miércoles

Tipo vehículo	Acceso "SUR"			TOTAL
	Giro izquierdo	De frente	Giro derecho	
Auto	12	88	132	232
Motocicleta	8	8	4	20
Bus	0	0	0	0
Couster	4	0	8	12
Camión	4	4	4	12
Combi	0	4	92	96
Mototaxi	4	0	4	8
Bicicleta	0	4	0	4
TOTAL	32	108	244	384
% respecto al total	8.33	28.13	63.54	100.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 9

Formato de aforo vehicular por acceso Este en la hora pico en el miércoles

Tipo vehículo	Acceso "ESTE"			TOTAL
	Giro izquierdo	De frente	Giro derecho	
Auto	8	792	20	820
Motocicleta	0	44	4	48
Bus	0	4	0	4
Couster	0	12	0	12
Camión	0	16	0	16
Combi	4	204	0	208
Mototaxi	0	16	0	16
Bicicleta	0	16	4	20
TOTAL	12	1104	28	1144
% respecto al total	1.05	96.50	2.45	100.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 10

Formato de aforo vehicular por acceso Norte en la hora pico en el sábado

Tipo vehículo	Acceso "NORTE"			TOTAL
	Giro izquierdo	De frente	Giro derecho	
Auto	44	84	20	148
Motocicleta	12	8	0	20
Bus	0	0	0	0
Couster	0	8	0	8
Camión	8	4	0	12
Combi	0	80	0	80
Mototaxi	0	0	0	0
Bicicleta	4	0	0	4
TOTAL	68	184	20	272
% respecto al total	25.00	67.65	7.35	100.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 11

Formato de aforo vehicular por acceso Oeste en la hora pico en el sábado

Tipo vehículo	Acceso "OESTE"			TOTAL
	Giro izquierdo	De frente	Giro derecho	
Auto	12	808	24	844
Motocicleta	0	0	0	0
Bus	0	12	0	12
Couster	0	4	0	4
Camión	0	32	0	32
Combi	0	180	4	184
Mototaxi	0	12	0	12
Bicicleta	0	16	4	20
TOTAL	12	1064	32	1108
% respecto al total	1.08	96.03	2.89	100.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 12

Formato de aforo vehicular por acceso Sur en la hora pico en el sábado

Tipo vehículo	Acceso "SUR"			TOTAL
	Giro izquierdo	De frente	Giro derecho	
Auto	72	88	56	216
Motocicleta	4	12	8	24
Bus	0	0	0	0
Couster	0	4	8	12
Camión	4	4	0	8
Combi	12	4	104	120
Mototaxi	4	0	4	8
Bicicleta	0	8	0	8
TOTAL	96	120	180	396
% respecto al total	24.24	30.30	45.45	100.00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 13

Formato de aforo vehicular por acceso Este en la hora pico en el sábado

Tipo vehículo	Acceso "ESTE"			TOTAL
	Giro izquierdo	De frente	Giro derecho	
Auto	8	432	16	456
Motocicleta	8	36	4	48
Bus	0	4	0	4
Couster	4	12	0	16
Camión	0	12	0	12
Combi	4	144	0	148
Mototaxi	0	8	0	8
Bicicleta	0	12	0	12
TOTAL	24	660	20	704
% respecto al total	3.41	93.75	2.84	100.00

Nota. Elaboración propia.

4.4.5. Flujos peatonales

El recuento peatonal por el método de la tabla de doble entrada de Origen/Destino de los puntos de generación y llegada de los peatones en los movimientos más importantes en la grabación en el cruce de las Av. Julio Sumar y Av. Mariscal Castilla fueron registrados durante una hora de observación y se encuentran detallados en la Tabla 14 y 15. En las tablas referidas se presenta a detalle el recuento durante la hora pico para el miércoles, flujo normal, y el sábado, flujo de calibración. En la Figura 20 se observan los orígenes y destinos más importantes de la intersección.

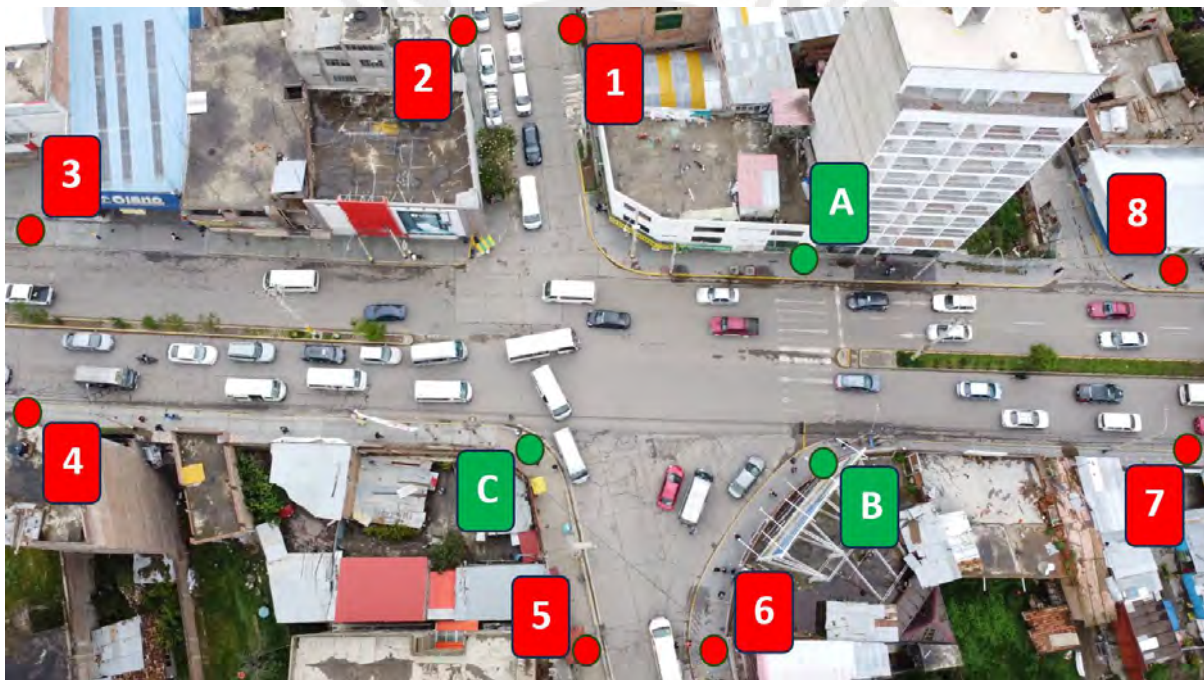


Figura 20. Puntos de origen y destino de los flujos peatonales en la intersección.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 14

Formato de aforo peatonal por origen/destino en la hora pico en el miércoles

O/D	1	2	3	4	5	6	7	8	A	B	C	TOTAL
1	0	0	7	0	0	4	19	26	4	0	0	60
2	0	0	37	16	0	0	4	11	13	0	0	81
3	4	4	0	0	0	4	22	28	22	0	16	100
4	0	4	13	0	218	11	4	0	19	16	103	388
5	0	0	0	31	0	3	0	0	19	0	7	60
6	13	0	0	0	0	0	13	73	151	0	67	317
7	4	3	31	4	0	4	0	37	100	61	0	244
8	22	11	7	0	0	6	0	0	46	0	3	95
A	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	8
B	7	7	0	0	0	0	4	16	0	0	0	34
C	0	0	0	13	16	0	7	7	11	0	0	54
TOTAL	50	33	95	68	234	32	73	198	385	77	196	1441

Nota. Elaboración propia.

Tabla 15

Formato de aforo peatonal por origen/destino en la hora pico en el sábado

O/D	1	2	3	4	5	6	7	8	A	B	C	TOTAL
1	0	0	3	0	2	5	3	7	17	22	0	59
2	0	0	25	11	10	0	0	2	2	0	0	50
3	3	26	0	2	2	0	9	21	0	0	2	65
4	3	0	0	0	104	2	17	0	2	0	146	274
5	2	7	11	32	0	0	0	0	0	0	13	65
6	25	3	7	7	2	0	7	14	144	23	3	235
7	0	0	2	10	9	7	0	0	7	9	2	46
8	5	5	23	0	0	3	0	0	32	3	2	73
A	3	6	2	0	0	5	0	6	0	0	2	24
B	3	0	3	9	9	6	9	2	19	0	2	62
C	0	0	0	6	9	0	0	0	0	0	0	15
TOTAL	44	47	76	77	147	28	45	52	223	57	172	968

Nota. Elaboración propia.

4.4.6. Tiempos de viajes vehiculares

Para el registro de los tiempos de viajes vehiculares en campo se ha definido dos tramos, uno de este a oeste y el otro de sur a norte, tal como se visualiza en la Figura 21. El número de muestras registrado obedece a la prueba estadística t-Student con una confiabilidad del 95 % y un margen de error de 5 %. Al igual que Vissim, en campo se han registrado de manera aleatoria el tiempo de viaje de distintos tipos de vehículos y en diferentes periodos.



Figura 21. Tramos definidos para el registro de los tiempos de viaje.

Nota. Elaboración propia.

La Tabla 16 muestra los tiempos de viajes registrados del miércoles. Los mismos datos serán usados durante la calibración y validación del modelo; asimismo, la validación del modelo con mejoras.

Tabla 16

Formato de tiempos de viaje vehicular en la hora pico en el miércoles

n asumido	Campo	Microsimulación	Campo	Microsimulación
	Av. Mariscal Castilla d = 50 m	Av. Mariscal Castilla d = 50 m	Av. Julio Sumar d = 50 m	Av. Julio Sumar d = 50 m
	Tiempo de viaje (s)	Tiempo de viaje (s)	Tiempo de viaje (s)	Tiempo de viaje (s)
1	4.81	5.30	6.70	5.59
2	4.89	5.46	5.20	5.10
3	5.20	5.14	4.68	5.23
4	5.13	5.29	4.55	5.20
5	4.10	5.28	5.94	5.94
6	6.10	5.26	6.05	5.26
7	4.68	5.23	5.52	5.32
8	5.33	5.19	4.50	5.15
9	5.98	5.00	5.84	4.98
10	5.40	5.10	4.47	6.25
11	4.62	5.47	4.40	4.95
12	5.00	5.33	5.14	5.42
13	5.90	5.34	5.00	5.47
14	4.87	5.24	6.80	4.98
15	6.44	5.29	6.20	4.98
16	5.00		5.60	
17	6.70		4.93	
18	5.66		4.47	
19	5.46		4.80	
20	5.27		5.20	
21	4.02		4.28	
22	6.50		6.36	
23	4.94		8.00	
24	4.61		4.61	
25	5.73		5.60	
26	5.40		6.43	
27	5.52		6.21	
28	5.95		4.93	
29	5.42		5.06	
30	5.60		5.98	
31	5.37		5.46	
32	5.65		4.70	
33	5.19		4.98	
34	5.33		5.03	
35	5.40		5.01	
36	5.32		6.30	
37	6.13		6.80	
38	5.19		4.70	
39	5.85		5.46	
40	4.88		5.38	
u (s)	5.36	5.26	5.43	5.32
S (s)	0.59	0.12	0.83	0.37

Nota. Elaboración propia.

4.4.7. Tiempos de viajes peatonales

Para registrar los tiempos de viajes peatonales en campo se ha definido dos tramos, uno de norte a sur (cruce izquierdo) y el otro de este a oeste (cruce superior), tal como se visualiza en a Figura 22. El número de muestras registrado obedece a la prueba estadística t-Student con una confiabilidad del 95 % y un margen de error de 5 %. Al igual que PTV Vissim, en campo se han registrado de manera aleatoria el tiempo de viaje de distintos tipos de vehículos y en diferentes periodos. En la Tabla 17 se observan los resultados obtenidos para la medición de los tiempos de viaje peatonal registrados del miércoles. Los mismos datos serán usados durante la calibración y validación del modelo.



Figura 22. Tramo de medición de los tiempos de viaje peatonales en la intersección.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 17

Formato de tiempos de viaje peatonal en la hora pico en el miércoles

n asumido	Campo	Microsimulación	Campo	Microsimulación
	Av. Mariscal Castilla d = 11.55 m	Av. Mariscal Castilla d = 11.55 m	Av. Julio Sumar d = 16.97 m	Av. Julio Sumar d = 16.97 m
	Tiempo de viaje (s)	Tiempo de viaje (s)	Tiempo de viaje (s)	Tiempo de viaje (s)
1	9.21	11.81	15.5	18.23
2	9.64	11.32	15.68	18.16
3	9.68	11.41	15.75	24.53
4	11.19	10.35	16	16.80
5	8.77	12.89	16.35	21.36
6	11.37	11.62	16.65	20.22
7	10.41	9.74	16.78	20.87
8	10.76	11.89	17.17	21.87
9	10.51	10.21	17.57	20.16
10	9.62	12.05	17.62	19.49
11	12.01	10.73	17.63	19.43
12	10.22	10.8	17.65	19.86
13	10.67	12	18.07	21.01
14	9.97	11.13	18.15	20.93
15	11.75	9.39	18.33	20.09
16	11.22		18.61	
17	9.88		18.64	
18	12.07		19.27	
19	9.75		19.36	
20	11.16		19.62	
21	12.25		21.35	
22	11.66		21.81	
23	9.71		22.57	
24	9.73		22.8	
25	12.3		22.9	
26	9.6		23.14	
27	9.85		23.21	
28	11.73		23.58	
29	9.98		25.18	
30	10.93		18.04	
31			15.09	
32			21.06	
33			22.1	
34			19.1	
35			21.03	
u (s)	10.59	11.16	19.24	20.2
S (s)	0.99	0.96	2.75	1.8

Nota. Elaboración propia.

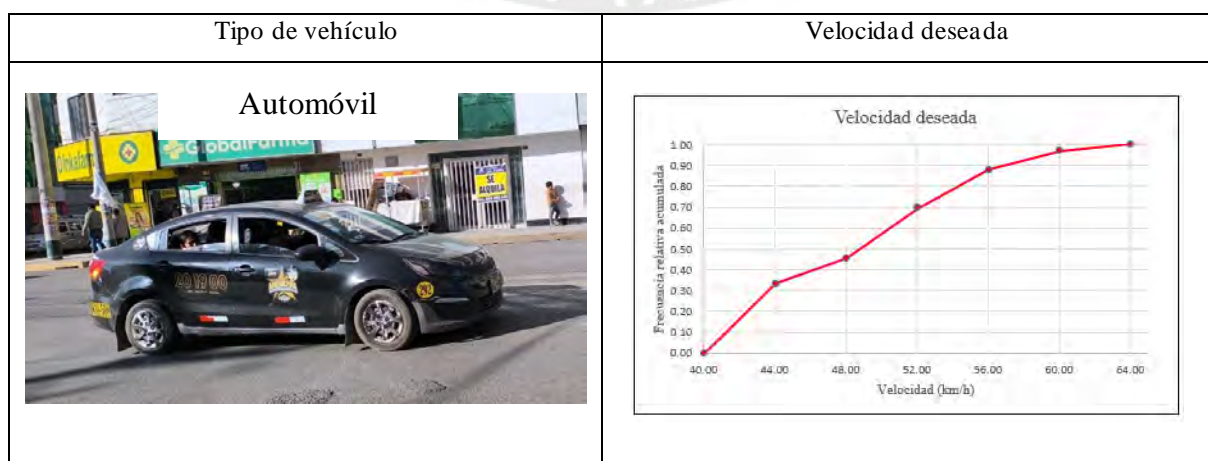
4.4.8. Velocidades vehiculares

En este apartado se presenta las velocidades vehiculares deseadas, los cuales representan la velocidad de circulación en condiciones de flujo libre. Las Figuras 23 y 24 muestran, respectivamente, los tramos adoptados y el registro de velocidades deseadas de los vehículos que forman parte del análisis. Cabe mencionar que, para el registro se consideraron tramos con menor variabilidad en las velocidades.



Figura 23. Tramos de evaluación para la obtención de la velocidad vehicular deseada.

Nota. Elaboración propia.



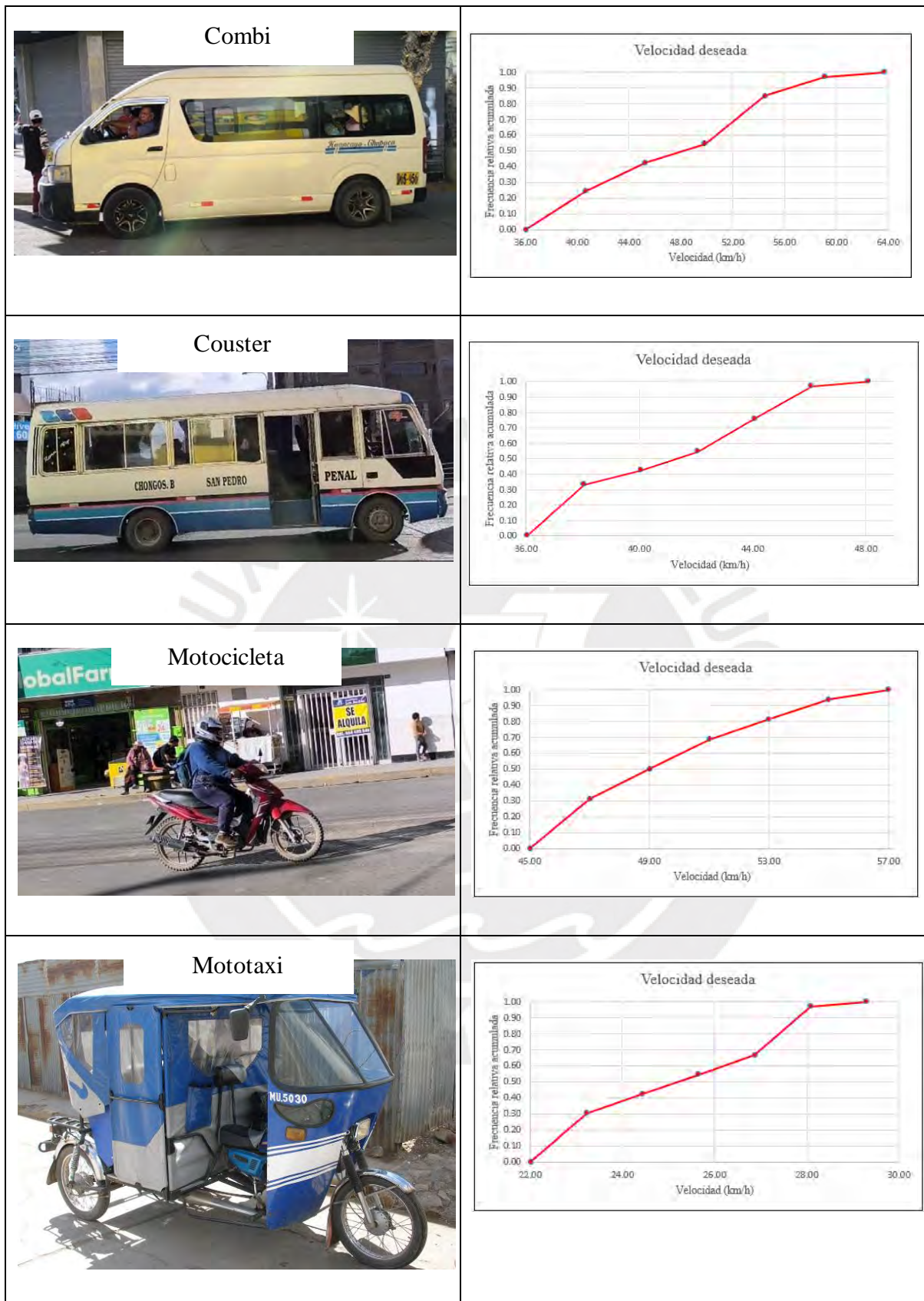


Figura 24. Velocidades vehiculares deseadas.

Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, debido al bajo porcentaje de buses y camiones que circulan por la intersección, lo cual hizo más complicado el registro de las velocidades, se ha tomado como referencia velocidades ya establecidas para este tipo de intersecciones. En tal sentido, según la Guía Global de Diseño de Calles (GSDG, por sus siglas en inglés) (2016), la velocidad deseada tanto para los buses y camiones es de 40 km/h. Dichas velocidades pueden ajustarse según sea conveniente, principalmente durante el proceso de calibración.

4.4.9. Velocidades peatonales

Debido a las significativas irregularidades en la geometría de la intersección actual, los peatones siguen trayectorias no lineales y modifican abruptamente su ritmo de paso, lo que genera una alta variabilidad en sus velocidades. Por ende, se ha tomado la decisión de adoptar el tramo por el acceso norte, el cual presenta una menor alteración en la geometría y mantiene recta la línea de deseo peatonal. La Figura 25 evidencia el tramo tomado para el registro de velocidades peatonales y la Figura 26 muestra los resultados.



Figura 25. Tramo de evaluación para la obtención de las velocidades peatonales deseadas.

Nota. Fuente propia.

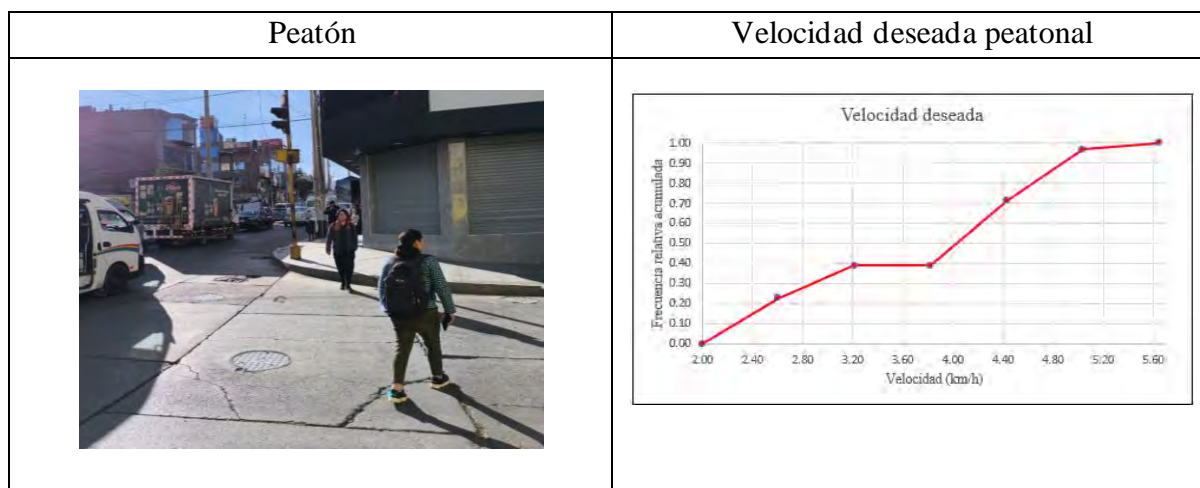


Figura 26. Velocidad peatonal deseada.

Nota. Fuente propia.

4.4.10. Parámetros lumínicos de la intersección

Para registrar los parámetros lumínicos del espacio peatonal y cruce durante el periodo nocturno se definieron puntos estratégicos que permitan tener un conocimiento global del estado lumínico de los accesos de la intersección de estudio, los cuales se denotan en la Figura 27. Se realizó las lecturas del acceso oeste y para el acceso sur debido a que presenta una distribución de luminarias igual que el acceso este y norte respectivamente, tal como se visualiza en la Figura 15.

Con el objetivo de desarrollar las propuestas de mejora, los parámetros lumínicos presentados en la Tabla 18 se obtuvieron como el promedio de lecturas registradas durante un minuto continuo, a una altura de 1 m sobre el nivel del piso, mediante el uso del fluxómetro especificado en la metodología.

La evaluación del cumplimiento de los parámetros lumínicos se realiza conforme a la norma técnica peruana del Alumbrado de Vías Públicas en Zonas de Concesión de Distribución (DGE) y el Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP). En ese

sentido, los parámetros de iluminación óptima en los accesos de la intersección son las siguientes:

La vía arterial es la Av. Mariscal Castilla, la cual pertenece al tipo II de alumbrado según clasificación vial de la norma técnica DGE. Según los estándares recomendados, se espera que estas vías tengan una luminancia media de la calzada de 1.0-2.0 cd/m², una iluminancia media de 10 a 20 unidades de lux para los peatones y un índice de deslumbramiento entre 5 y 6 sobre la calzada. Por otro lado, la vía colectora es la Av. Julio Sumar, la cual pertenece al tipo III de alumbrado según la clasificación. Según los estándares recomendados, se espera que estas vías tengan una luminancia media de la calzada de 0.5-1.0 cd/m², una iluminancia media de 5 a 10 unidades de lux para los peatones y un índice de deslumbramiento entre 5 y 6 sobre la calzada.

En la intersección de estudio se observó que el alumbrado de noche presenta una baja discernación cromática, las lámparas identificadas cuentan con fuentes de sodio y luz blanca. Existen algunas lámparas de luz fría que parecen no aportar mucho a la iluminación de la vía. También se disponen de luces decorativas en las fachadas de las viviendas y comercios.



Figura 27. Ubicación de puntos de medición de los parámetros lumínicos en los accesos de la intersección.

Nota. Elaboración propia.

Tabla 18

Formato de parámetros lumínicos del espacio peatonal y cruceros en horario nocturno

Puntos	Iluminancia media 60 s (Lux)
1	3.5
2	2.1
3	3.7
4	1.8
5	1.7
A	3.4
B	2.2
C	2.5

Nota. Fuente propia.

CAPÍTULO V: CREACIÓN Y MICROSIMULACIÓN DEL ESCENARIO

ACTUAL

5.1. Modelado de la situación actual

En los siguientes apartados se describen el proceso del modelado en PTV Vissim y Viswalk de los componentes más relevantes. Ello permitirá realizar un análisis contextualizado cuando se requiera.

5.1.1. Importación de imagen

En la Figura 28 se aprecia la importación en conjunto de la imagen 2D y del modelo 3D realizados en SketchUp, cada uno de ellos ha sido escalado de acuerdo con las medidas reales.

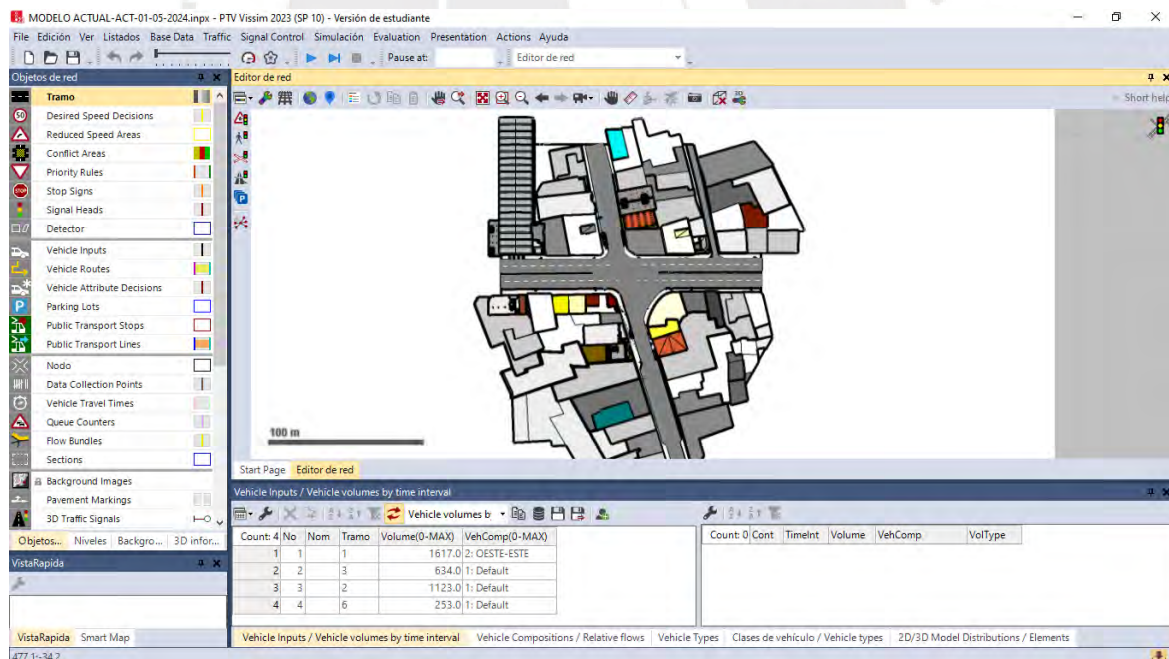


Figura 28. Importación de imagen 2D y modelo 3D.

Nota. Elaboración propia

5.1.2. Creación de tramos y conectores

Después de la importación se ha realizado la creación de tramos. Para ello, se ha tratado de adaptar en la mayor medida posible las direcciones, las pendientes, las curvaturas y los radios de giro. Además, para los giros se han unido los tramos oeste-este y sur-norte mediante conectores y hacer posible los movimientos tales como el giro a la derecha y el giro a la izquierda. En la Figura 29 se muestra lo mencionado.

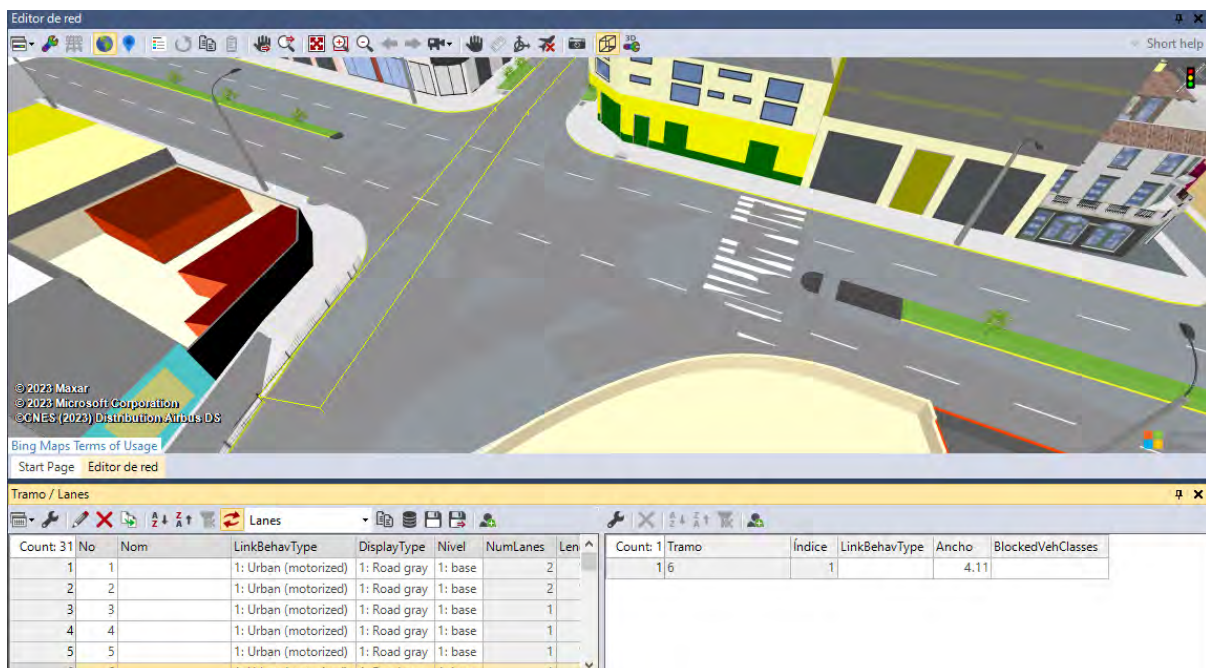


Figura 29. Creación de links y conectores.

Nota. Elaboración propia.

5.1.3. Creación de áreas y cruces peatonales

En este apartado se ha realizado la creación de veredas, unión de veredas y rampas que conectan los diferentes orígenes y destinos. Para la unión de veredas se han creado tramos de vía de tipo peatonal. Cabe resaltar que, solo se han definido los orígenes y destinos con mayor flujo peatonal identificados en el apartado 4.3.5. La Figura 30 muestra la conexión origen y destino entre los puntos 3 y 7.

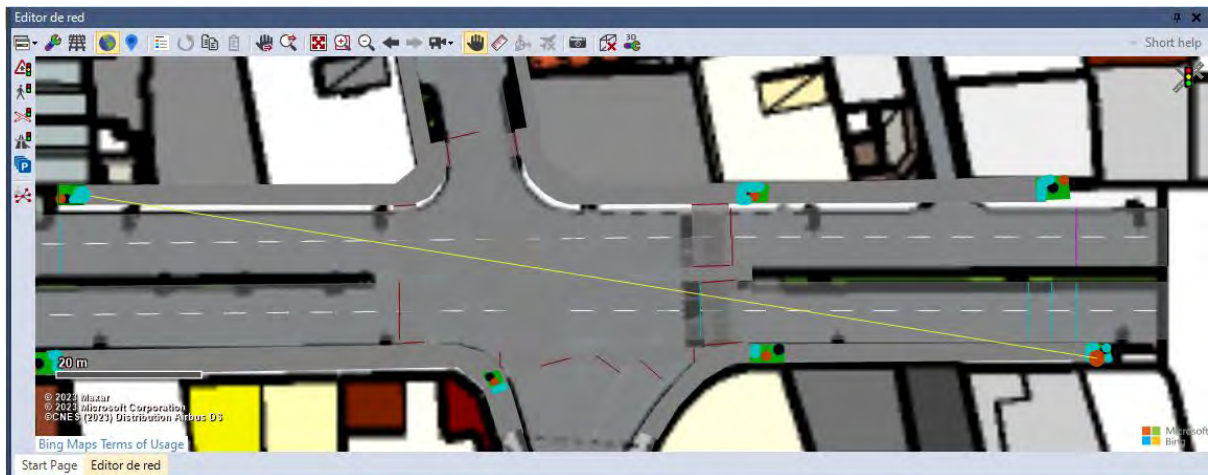


Figura 30. Creación de áreas y crucesos peatonales.

Nota. Elaboración propia.

5.1.4. Configuración de flujos vehiculares y peatonales

Luego de haber creado los tramos, conectores y veredas se han asignado los volúmenes peatonales y volúmenes vehiculares según corresponda. Para ello se ha considerado los diversos tipos de vehículos presentes en la intersección y los peatones solo se han clasificado en varones y mujeres. Es importante mencionar que durante el aforo no se ha registrado peatones con restricciones de movimiento o con algún otro tipo de discapacidad.

5.1.5. Creación de rutas estáticas

La Figura 31 muestra la creación de rutas estáticas para vehículos. Para ello se han considerado los distintos movimientos posibles de la intersección. En ese sentido, se denota que todos los accesos presentan movimientos de frente, giro a la derecha y giro a la izquierda, por lo que se ha creado una ruta estática para cada caso y luego poder asignar el porcentaje de flujo. Para los peatones también se ha creado rutas estáticas peatonales.

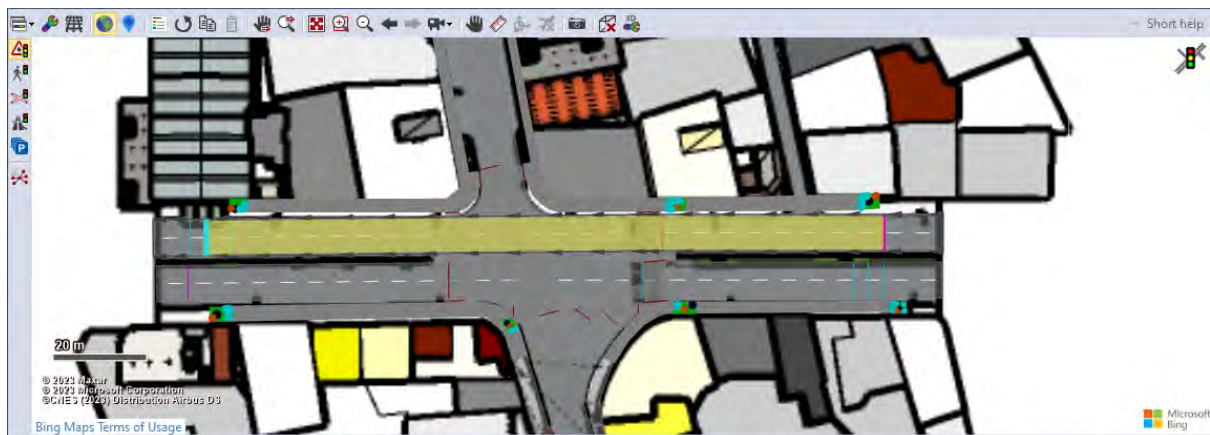


Figura 31. Creación de rutas estáticas.

Nota. Elaboración propia.

5.1.6. Identificación de zonas de conflicto

Las áreas de conflicto se han asignado según el comportamiento real e interacción entre los diversos usuarios. Por ejemplo, en la vida real los vehículos son aquellos que tienen prioridad de movimiento por sobre los peatones; por ende, el modelado se ha realizado de tal manera que cumpla con dicha condición. Para el cruce entre vehículo y vehículo se ha dado la prioridad de paso a aquel que circula por la vía con mayor volumen, es decir el acceso oeste y este. La Figura 32 muestra el arreglo de las zonas de conflicto. Donde las áreas verdes significan que dicho movimiento en tal dirección presenta la prioridad de paso.

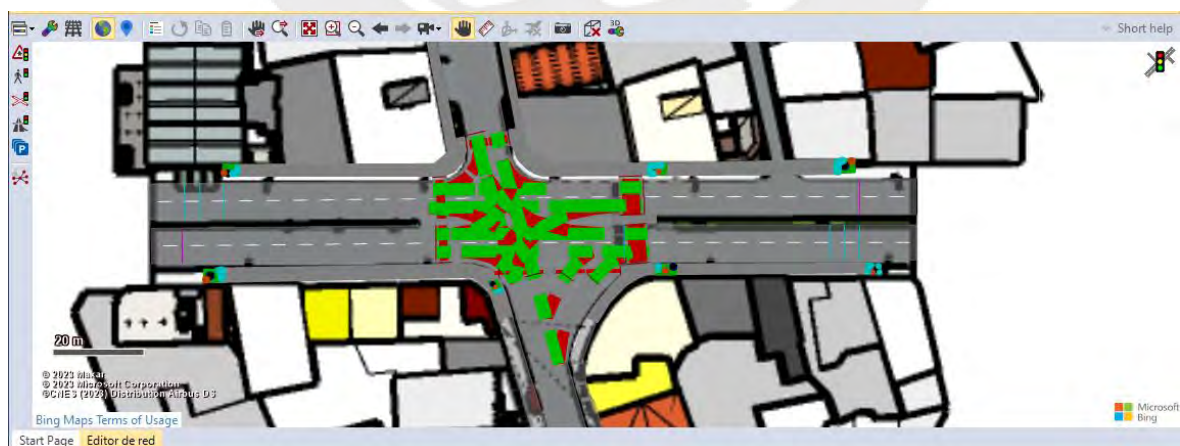


Figura 32. Definición del comportamiento en zonas de conflicto basado en el comportamiento real.

Nota. Elaboración propia.

5.2. Verificación del modelo de situación actual

La verificación de las interferencias se ha realizado después de haber culminado el modelo. Las interferencias observadas fueron el cruce entre vehículo y vehículo, el cruce entre vehículo y peatón, y choque con obstáculos. Ello se ha solucionado mediante la asignación de prioridad de paso en las áreas de conflicto, la creación de obstáculos y la semaforización. La Figura 33 muestra el ciclo semafórico asignada a la intersección, el cual ha sido cuantificado durante la visita a campo.

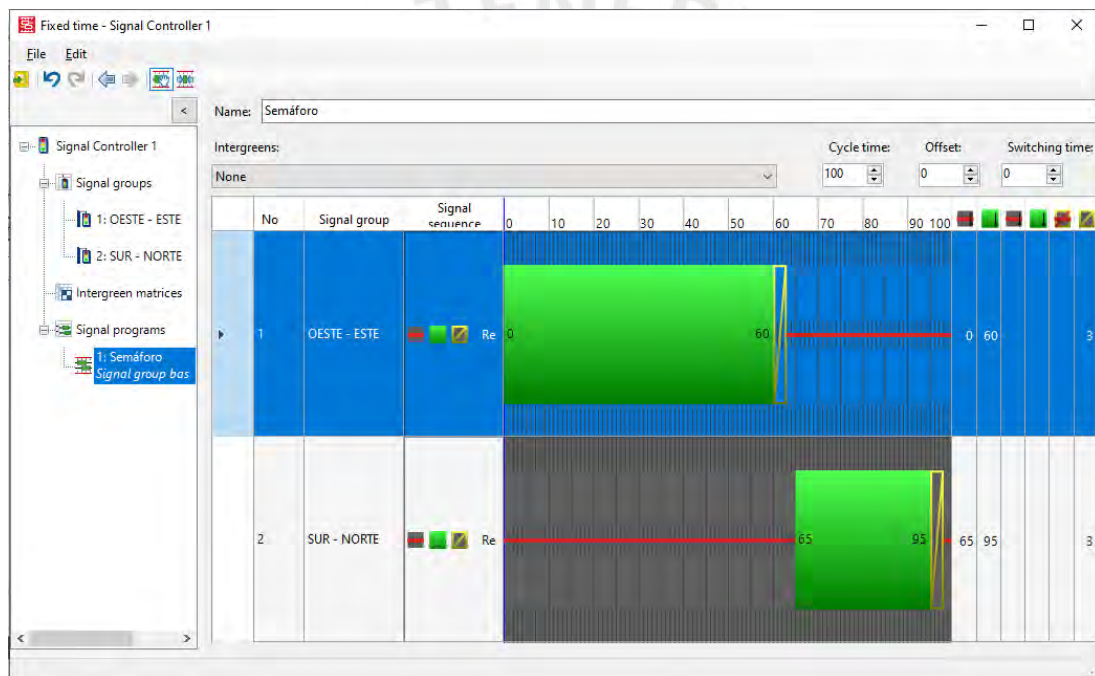


Figura 33. Ciclo semafórico en la situación actual.

Nota. Elaboración propia.

5.3. Calibración y validación del modelo de la situación actual

5.3.1. Calibración vehicular

Parámetros de Wiedemann 74 utilizados para la calibración:

$$ax = 1 \text{ m}$$

$$bx_add = 1$$

$$bx_mult = 1$$

Brecha crítica:

$$\tau = 1.1 \text{ s}$$

Hipótesis planteada:

$$H_0: u_1 = u_2$$

$$H_a: u_1 \neq u_2$$

Donde:

u1: tiempo de viaje vehicular de campo (situación actual)

u2: tiempo de viaje vehicular del modelo de microsimulación (situación actual)

La calibración vehicular de la situación actual se ha realizado con los flujos del miércoles, pues fue el día donde se registró los mayores volúmenes vehiculares. En este caso, se ha realizado una prueba estadística a dos colas de la diferencia de medias en el programa Statkey para obtener el Valor de P, el cual ayudará a verificar si la hipótesis asumida es correcta. Lo mencionado se muestra en la Figura 34 y 35. Un aspecto clave es que, la calibración vehicular se ha realizado con los flujos vehiculares críticos.

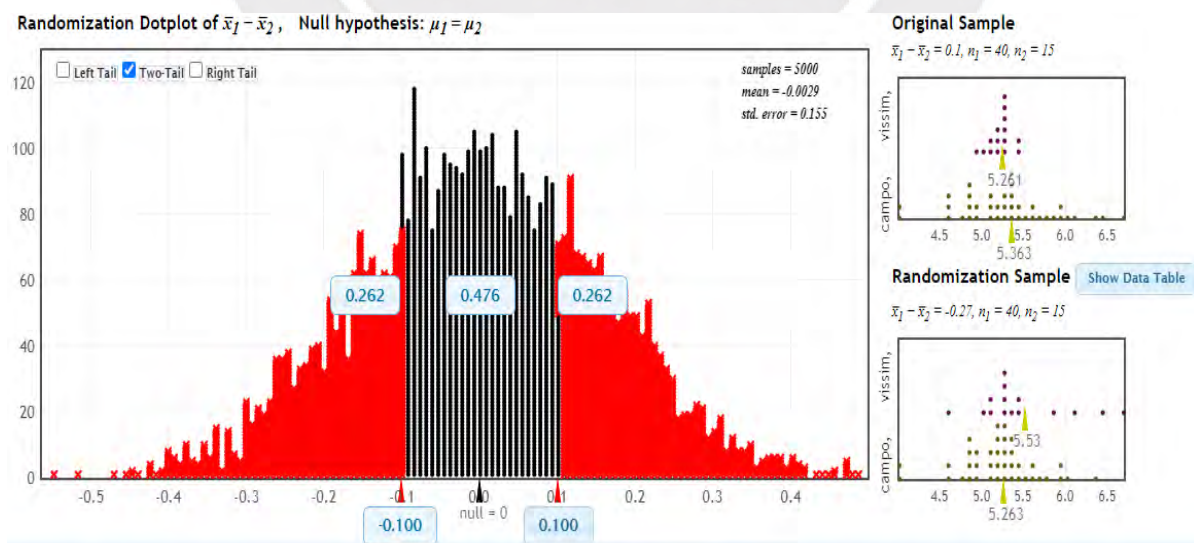


Figura 34. Valor de P para la Av. Mariscal Castilla.

Nota. Aleatorización propia con ayuda del programa Statkey.

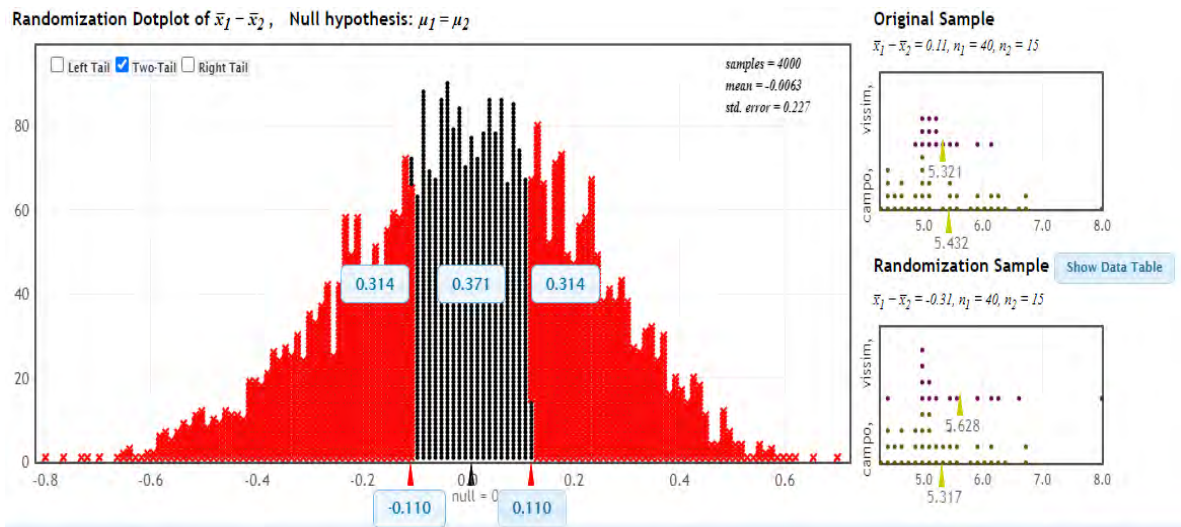


Figura 35. Valor de P para la Av. Julio Sumar.

Nota. Aleatorización propia con ayuda del programa Statkey.

La Tabla 19 muestra los resultados del análisis del proceso de calibración con los datos del miércoles.

Tabla 19

Calibración vehicular

Calibración vehicular	Campo	Microsimulación	Campo	Microsimulación
	Av. Mariscal Castilla d = 50 m	Av. Mariscal Castilla d = 50 m	Av. Julio Sumar d = 50 m	Av. Julio Sumar d = 50 m
n asumido	40	15	40	15
u (s)	5.36	5.26	5.43	5.32
S (s)	0.59	0.12	0.83	0.37
NC (%)	95	95	95	95
$\alpha/2$ (%)	2.5	2.5	2.5	2.5
n-1	39	14	39	14
t(n-1, $\alpha/2$)	2.0227	2.1448	2.0227	2.1448
e (%)	5	5	5	5
n requerido	20	2	39	10
$\zeta n_{\text{asum}} \geq n_{\text{req}}$	Sí	Sí	Sí	Sí
Valor de P		0.52		0.63
ζ Modelo calibrado?		Sí		Sí

Nota. Elaboración propia.

Nótese que, los valores de Valor de P son mayores a 0.05, por lo cual se acepta la hipótesis nula, el cual establece que hay similitud entre los tiempos de viaje vehicular de campo y los tiempos de viaje vehicular del modelo de microsimulación, por lo tanto, el modelo se ha calibrado. El proceso de calibración de este apartado es el mismo en los siguientes, el proceso es análogo.

5.3.2. Validación vehicular

La validación vehicular se ha realizado con los flujos del sábado. Es importante resaltar que, para la validación se han mantenido los mismos parámetros definidos en el proceso de calibración. La Figura 36 y la Figura 37, muestran los valores de P obtenidos durante el proceso de validación.

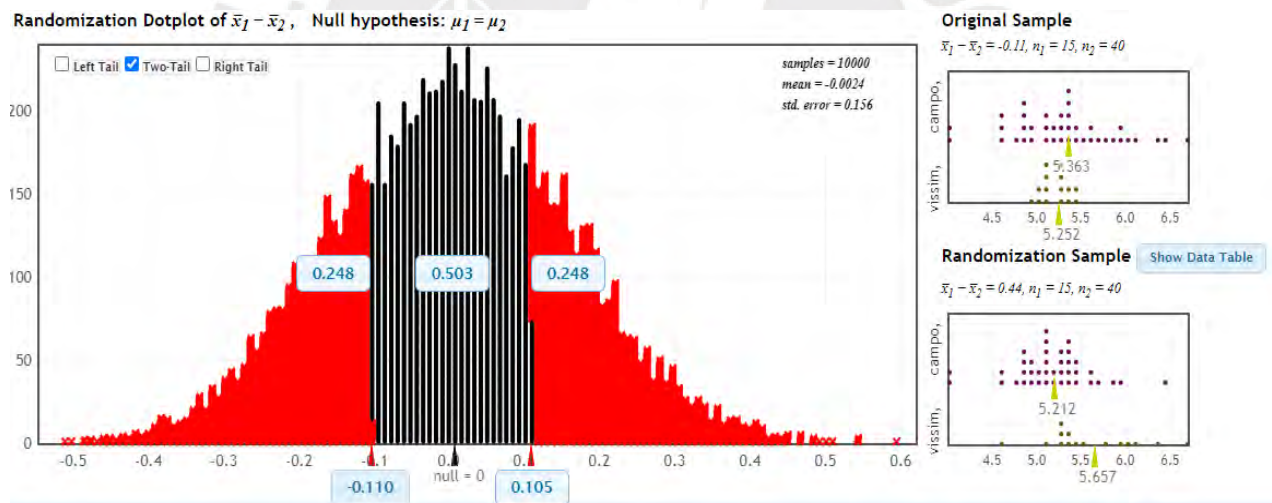


Figura 36. Valor de P para la Av. Mariscal Castilla.

Nota. Aleatorización propia con ayuda del programa Statkey.

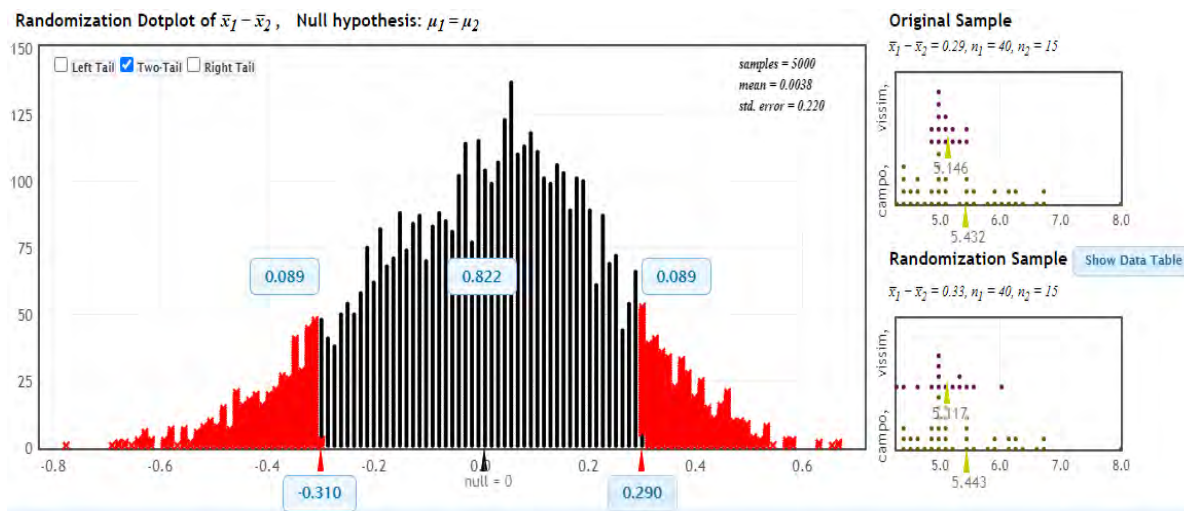


Figura 37. Valor de P para la Av. Julio Sumar.

Nota. Aleatorización propia con ayuda del programa Statkey.

La Tabla 20 muestra los resultados del análisis del proceso de validación con los datos del sábado.

Tabla 20

Validación vehicular

Validación vehicular	Campo	Microsimulación	Campo	Microsimulación
	Av. Mariscal Castilla d = 50 m	Av. Mariscal Castilla d = 50 m	Av. Julio Sumar d = 50 m	Av. Julio Sumar d = 50 m
n asumido	40	15	40	15
u (s)	5.36	5.25	5.43	5.15
S (s)	0.59	0.15	0.83	0.20
NC (%)	95	95	95	95
$\alpha/2$ (%)	2.5	2.5	2.5	2.5
n-1	39	14	39	14
t (n-1, $\alpha/2$)	2.0227	2.1448	2.0227	2.1448
e (%)	5	5	5	5
n requerido	20	2	39	3
$\zeta n_{\text{asum}} \geq n_{\text{req}}?$	Sí	Sí	Sí	Sí
Valor de P		0.50		0.18
ζ Modelo calibrado?		Sí		Sí

Nota. Elaboración propia

5.3.3. Calibración peatonal

La calibración peatonal de la situación actual se ha realizado con los flujos del miércoles, un día típico entre semana, el cual fue el día donde se registró los mayores volúmenes vehiculares. En este caso, se ha realizado una prueba estadística a dos colas de la diferencia de medias en el programa Statkey para obtener el Valor de P, el cual ayudará a verificar si la hipótesis asumida es correcta. Lo mencionado se muestra en la Figura 38 y la Figura 39. Cabe resaltar que, la calibración peatonal se ha realizado con los flujos peatonales en la hora pico.

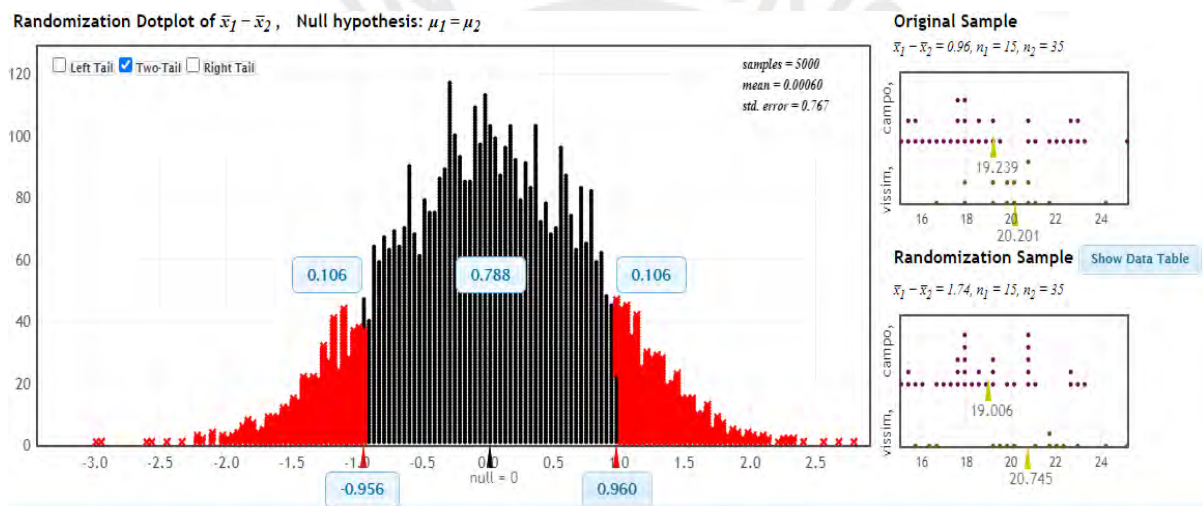


Figura 38. Valor de P para la Av. Mariscal Castilla, cruceo peatonal vertical en acceso oeste

Nota. Aleatorización propia con ayuda del programa Statkey.

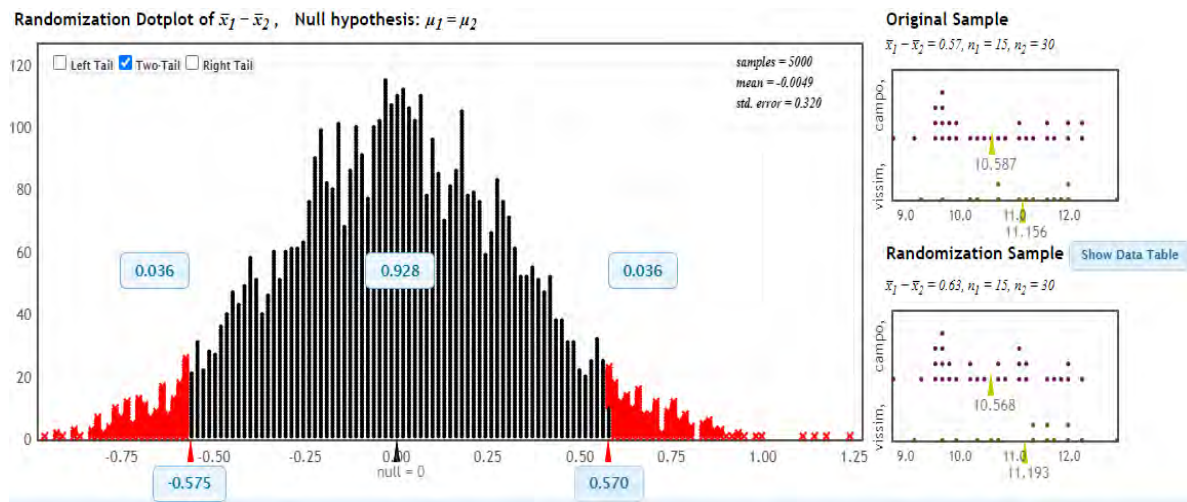


Figura 39. Valor de P para la Av. Julio Sumar, crucero horizontal en acceso norte

Nota. Aleatorización propia con ayuda del programa Statkey

La Tabla 21 muestra los resultados del análisis del proceso de calibración con los datos peatonales del miércoles.

Tabla 21

Calibración peatonal con los datos del sábado en la situación actual.

Calibración peatonal	Campo	Microsimulación	Campo	Microsimulación
	Tramo horizontal Oeste – Este		Tramo vertical Sur – Norte	
	Av. Mariscal Castilla d = 11.55 m	Av. Mariscal Castilla d = 11.55 m	Av. Julio Sumar d = 16.97 m	Av. Julio Sumar d = 16.97 m
n asumido	30	15	35	15
u (s)	10.59	11.16	19.24	20.2
S (s)	0.99	0.96	2.75	1.8
NC (%)	95	95	95	95
$\alpha/2$ (%)	0.025	2.5	0.025	2.5
n-1	29	14	34	14
t (n-1, $\alpha/2$)	2.045	2.145	2.033	2.145
e (%)	5	5	5	5
n requerido	15	14	34	15
$\hat{n}_{asum} \geq n_{req}$?	Sí	Sí	Sí	Sí
Valor de P	0.212		0.072	
¿Modelo calibrado?	Sí		Sí	

Nota. Elaboración propia

5.3.4. Validación peatonal

La validación peatonal se ha realizado con los flujos del sábado. Es importante resaltar que, para la validación se han mantenido los mismos parámetros definidos en el proceso de calibración. La Figura 40 y la Figura 41, muestran los valores de P obtenidos durante el proceso de validación.

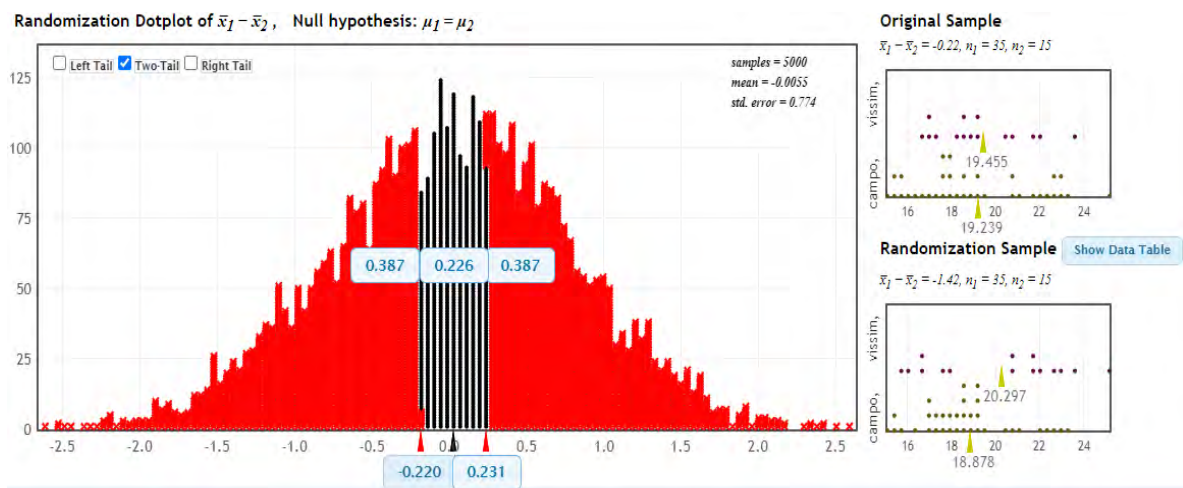


Figura 40. Valor de P para la Av. Mariscal Castilla, cruceo peatonal vertical izquierdo (acceso oeste)

Nota. Aleatorización propia con ayuda del programa Statkey

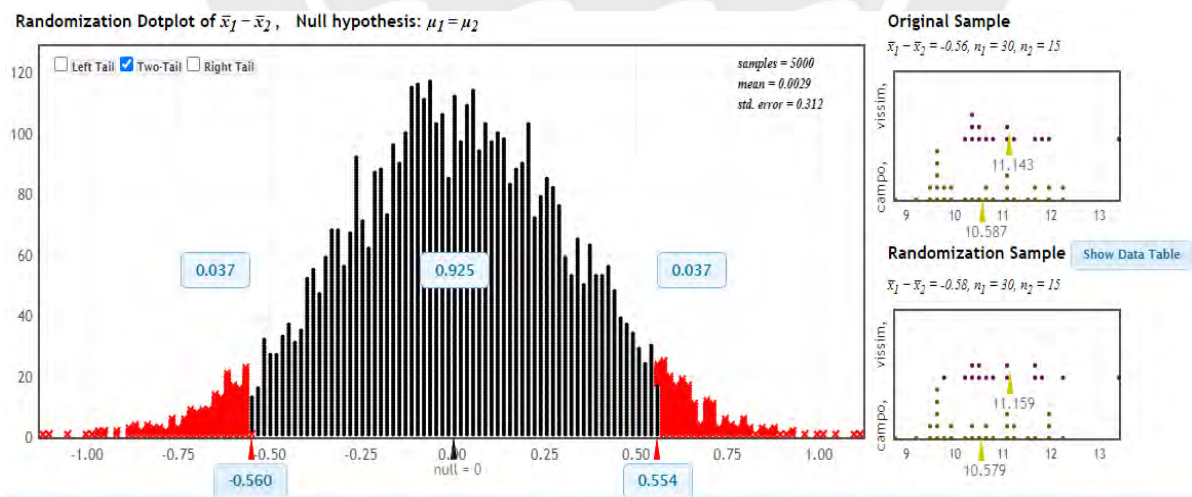


Figura 41. Valor de P para la Av. Julio Sumar, cruceo horizontal superior (acceso norte)

Nota. Aleatorización propia con ayuda del programa Statkey.

La Tabla 22 muestra los resultados del análisis del proceso de validación peatonal con los datos del sábado.

Tabla 22

Validación peatonal con los datos del sábado en la situación actual.

Validación peatonal	Campo		Microsimulación	
	Tramo horizontal Oeste – Este		Tramo vertical Sur – Norte	
	Av. Mariscal Castilla d = 11.55 m	Av. Mariscal Castilla d = 11.55 m	Av. Julio Sumar d = 16.97 m	Av. Julio Sumar d = 16.97 m
n asumido	30	15	35	15
u (s)	10.59	11.14	19.24	19.45
S (s)	0.99	0.84	2.75	2.05
NC (%)	95	95	95	95
$\alpha/2$ (%)	0.025	2.5	0.025	2.5
n-1	29	14	34	14
t (n-1, $\alpha/2$)	2.045	2.145	2.033	2.145
e (%)	5	5	5	5
n requerido	15	14	34	15
$\zeta_{n_asum} \geq n_req?$	Sí	Sí	Sí	Sí
Valor de P	0.774		0.074	
ζ Modelo calibrado?	Sí		Sí	

Nota. Elaboración propia

CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DEL ESCENARIO ACTUAL Y PLANTEAMIENTO DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA DESDE UN ENFOQUE DE SEGURIDAD VIAL

Con la finalidad de plantear las propuestas de mejora se realizará un listado de los requisitos, medidas, solicitudes y directrices por cada elemento de la intersección que presentan dos de las normas más representativas de diseño urbano, estas son la Global Street Design Guide (GSDG) y la National Association of City Transportation Officials (NACTO). Es primordial mencionar que las propuestas de mejora han sido planteadas a partir de las observaciones registradas en la lista de chequeo, de las entrevistas y de cierto modo, de la tasa de fatalidades. Para obtener un mejor panorama de la situación actual se hará uso del modelo 3D realizado en SketchUp, cuyos detalles de han aproximado y ajustado en la mayor medida posible a la realidad, esta se muestra en la Figura 42 y 43.



Figura 42. Modelo real y virtual del escenario actual.

Nota. Elaboración propia.



Figura 43. Modelo 3D de la situación actual realizado en SketchUp.

Nota. Elaboración propia.

6.1. Comparación de medidas y requerimientos por distintas normas de diseño

La Tabla 23 muestra un listado de las distintas medidas y solicitudes por distintas normas. Un diseño razonable debe seguir dichas guías, por supuesto considerando la variabilidad del contexto y espacio en el que se trabajará. Asimismo, se evidencia una comparativa entre las medidas de la situación actual y de la propuesta de mejora. Cabe resaltar que, gran parte de las normas revisadas no muestran en su totalidad las medidas numéricas a considerar, en tanto, solo muestran manuales y criterios a aplicar.

Tabla 23

Comparación de medidas de normas, situación actual y propuesta de mejora

	Global Street Design Guide (GSDG)		National Association of City Transportation Officials (NACTO)		Situación actual de la intersección	Propuesta de mejora de la intersección
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Existente	Propuesto
Infraestructura peatonal						
Ancho de acera (m)	2.4	5.5	3.05	3.66	2.50	3.60
Ancho de mediana (m)	1.8	2.4	2.44	3.05	1.01	2.40
Radio de acera (m)	No define	No define	0.3	0.61	18.0	18.0
Ancho de cruceo peatonal (m)	3.0	5.0	No define	No define	5.10	3.00 y 5.00
Ancho de rampa (m)	3.0	5.0	No define	No define	1.3	3.0 y 5.0
Pendiente de rampa (%)	8.0	10.0	No define	No define	11.0	10.0
Altura de sardinel (m)	0.1	0.1	No define	No define	0.1	0.1
Infraestructura vehicular						
Ancho de carril (m)	3.0	3.5	3.35	3.96	2.40	3.20
Radio de giro (m)	0.6	3.0	3.00	4.60	24.00	3.00
Ancho de ciclovía (m)	1.8	2.0	No define	No define	No aplica	-
Línea de borde (m)	No define	No define	No define	No define	No aplica	0.10
Línea de pare (m)	No define	No define	0.60	0.60	No aplica	0.50
Ancho de estacionamiento - auto (m)	1.80	2.50	2.10	2.70	1.95	1.80
Longitud de estacionamiento - auto (m)	5.50	5.50	No define	No define	No aplica	5.50
Separación entre línea de pare y cruceo peatonal (m)	0.50	1.30	0.50	1.30	No aplica	0.50

Nota. “No define” significa que la norma de diseño no especifica una medida estándar y “no aplica” significa que no se evidencia dicho componente en la intersección.

6.2. Problemas en la geometría vial y propuestas de mejora

6.2.1. Accesibilidad

Este apartado busca garantizar que todos los usuarios, principalmente lo peatones, sin límite de sus capacidades físicas, puedan acceder y utilizar los espacios que conforman la intersección de forma segura y eficiente.

- **Veredas**

En la situación actual las veredas presentan anchos variables, la mayoría de las secciones presentan un ancho menor al recomendado por las normas. Por ello, se ha propuesto que las veredas en su mayoría sean de un ancho uniforme de aproximadamente 3.60 m, este valor se ha ajustado según las condiciones del entorno físico.

- **Rampas**

En el estado actual de la intersección se identificaron cruces peatonales que no cuentan con rampas o incluyen rampas con pendientes excesivas y dimensiones no estandarizadas. Por lo tanto, como se puede observar en la Figura 44 se toma la medida de incluir rampas alineadas con 10% de pendiente de acuerdo con recomendaciones de las normativas vigentes como la norma de MTC y la Ley General de la Persona con Discapacidad (Ley N.º 29973) en Perú, lo cual permite el acceso a personas con movilidad reducida, incluyendo aquellas en sillas de ruedas, personas mayores, y padres con coches de bebé. Además, se tomó la medida de proteger el buzón de drenaje fluvial con un enrejado que prevenga accidentes.

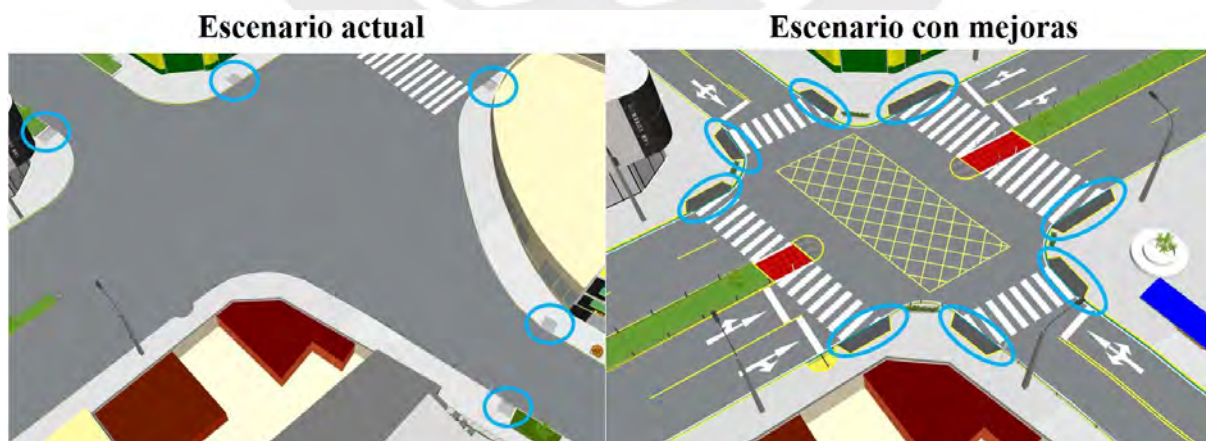


Figura 44. Mediana, área de refugio peatonal y reducción del radio de giro.

Nota. Elaboración propia.

- **Cruceros peatonales**

En el escenario actual solo existe un cruceo peatonal señalado por el acceso este, el cual es apenas visible. El resto de los cruceros no son visibles y están ubicados en lugares poco estratégicos. En consecuencia, los peatones cruzan la intersección por los espacios vacíos que encuentren. Por tal motivo, se ha planteado el cruceo peatonal del acceso este con un ancho de 5.00 m y los otros tres presentan un ancho de 3.00 m, todo ello debido a la demanda peatonal registrada, claramente por el cruceo del acceso este hay una mayor cantidad de peatones. Los criterios considerados fueron las distancias a cruzar, las condiciones del entorno y la línea de deseo de paso de los peatones. La Figura 45 ilustra lo detallado.



Figura 45. Cruceros peatonales de la intersección.

Nota. Elaboración propia.

- **Medianas e islas de refugio peatonal**

En la situación actual, los peatones experimentan distintos conflictos al cruzar la intersección, una de las más resaltantes es la isla de refugio existente del lado derecho en la dirección de sur a norte, esta no abastece la demanda de peatones y por su geometría y ubicación no cumple con su objetivo. Por ende, durante el aforo peatonal de la intersección, en la isla de refugio se ha registrado un máximo de 12 peatones acumulados, por lo cual, considerando dicha demanda y que cada peatón ocupa aproximadamente 1.00 m², se ha

propuesto un área de 12.00 m², cuyas longitudes se han adaptado a la mediana y al cruceo peatonal. La Figura 46 ilustra lo detallado.



Figura 46. Mediana y área de refugio peatonal.

Nota. Elaboración propia.

- **Carriles**

Los carriles de la situación actual presentan anchos variables, algunos están sobredimensionados y otros están por debajo de lo recomendado, por lo cual los anchos de todos los carriles se han uniformizado a 3.20 m. Cabe mencionar que, el ancho propuesto se debe a la presencia de buses y camiones, a pesar de que es mínimo y solo fluyen de oeste a este o viceversa, es necesario para prevenir cualquier indicio futuro de circulación de este tipo de vehículos.

- **Martillos**

En las siguientes líneas se describe la situación actual de la intersección. En el lado sureste se evidencia un martillo de radio 17.00 m, el cual está muy por encima de lo recomendado por las normas. Además, que este atenta contra la seguridad de ellos usuarios, pues al ser un radio mayor, los vehículos pueden girar con una mayor velocidad. En una intersección de este calibre, lo recomendable es plantear martillos de 3.00 m de radio. Sin embargo, debido a las condiciones se ha aplaneado lo siguiente. A los martillos generados por

las veredas que se intersecan con un ángulo de 75° se les ha asignado un radio de 4.00 m, mientras que a los martillos generados por las veredas que se intersecan con un ángulo de 105° se les ha asignado un radio de 3.00 m. Se han elegido dichos radios considerando los radios de giro de los vehículos tales como combis, camionetas y cousters, pues los buses y camiones registrados solo se dirigen en dirección recta de oeste a este o viceversa, pero aun así con dichos radios se está considerando la posibilidad de giro de los vehículos grandes en cuestión. La Figura 47 ilustra lo detallado.

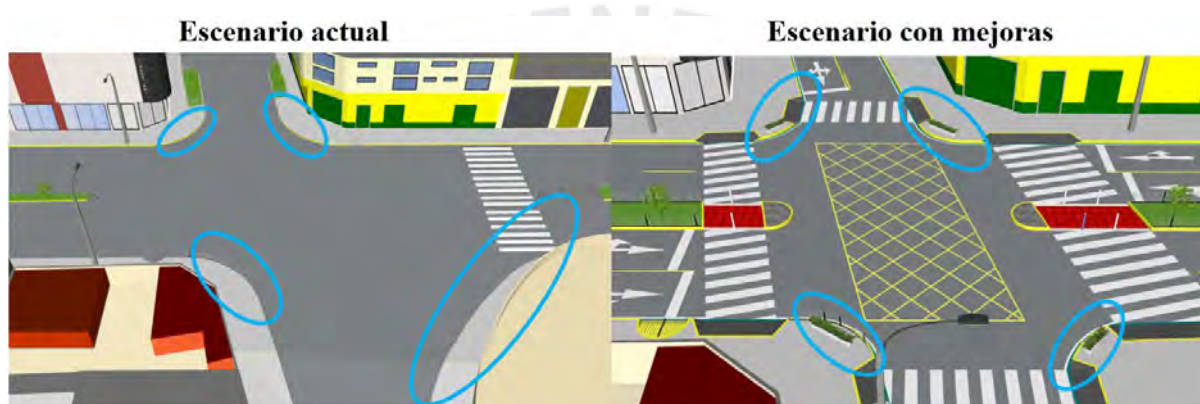


Figura 47. Martillos de intersección.

Nota. Elaboración propia.

- **Cunetas de drenaje**

Dado que Huancayo es una ciudad ubicada en la sierra peruana, este se ve expuesto a las intensas lluvias durante el periodo de invierno. En el escenario actual la cuneta no es continua y presenta dimensiones menores a las recomendadas por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), por lo que se requiere de una cuneta que permita el paso de los flujos pluviales y que los vehículos no pierdan visibilidad y no corran el riesgo de resbalar. La cuneta propuesta presenta 0.30 m de ancho, 0.30 m de profundidad y con una sección transversal triangular. La Figura 48 ilustra lo detallado.

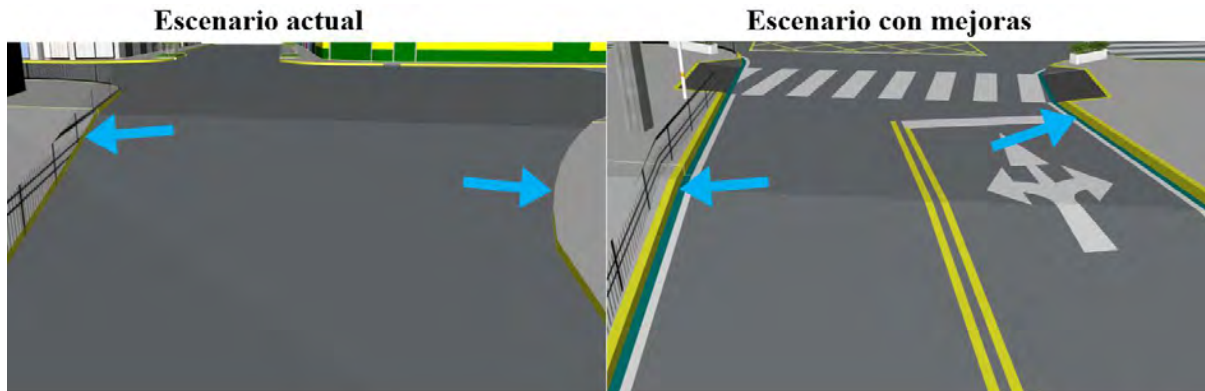


Figura 48. Cunetas de drenaje.

Nota. Elaboración propia.

6.2.2. Visibilidad

Uno de los apartados más importantes para garantizar la seguridad de conductores y peatones es una adecuada visibilidad del entorno, de manera que puedan tomar decisiones anticipadas. Esto permite a los peatones desplazarse con precaución y a los conductores maniobrar con la distancia necesaria para reaccionar ante un posible accidente. En el escenario actual se evidencian una serie de elementos que dificultan la visibilidad, por ende, estos han sido eliminados, reubicados y remplazados, según sea necesario.

- **Eliminación de plantas**

En la situación actual, por el acceso norte y cerca al martillo, existen dos árboles de 2.00 m de altura aproximadamente, lo cual es un problema para la visibilidad de los conductores que ingresan por el este y giran hacia el norte, en consecuencia, dicha condición aumenta el riesgo de accidentes. Por ello, las plantas han sido extraídas y reubicadas hacia nuevos lugares. La Figura 49 muestra lo descrito.

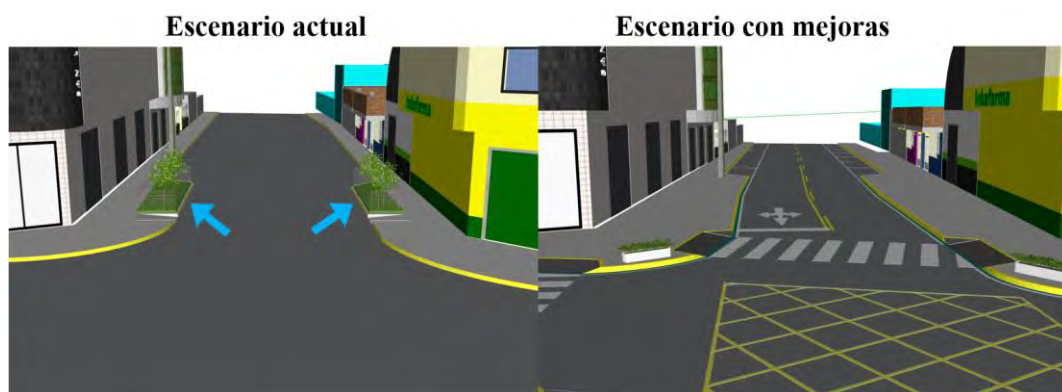


Figura 49. Eliminación de plantas.

Nota. Elaboración propia.

- **Eliminación de obstáculos**

Asimismo, en la intersección actual se observan una serie de obstáculos, tales como pequeños jardines, letreros de anuncios, postes, teléfonos, elementos arquitectónicos. Además de afectar la visibilidad, impiden el flujo libre y continuo de los usuarios, por lo cual necesariamente deben ser eliminados, reubicados o remplazados. La Figura 50 muestra la eliminación de banquetas y pequeños jardines.

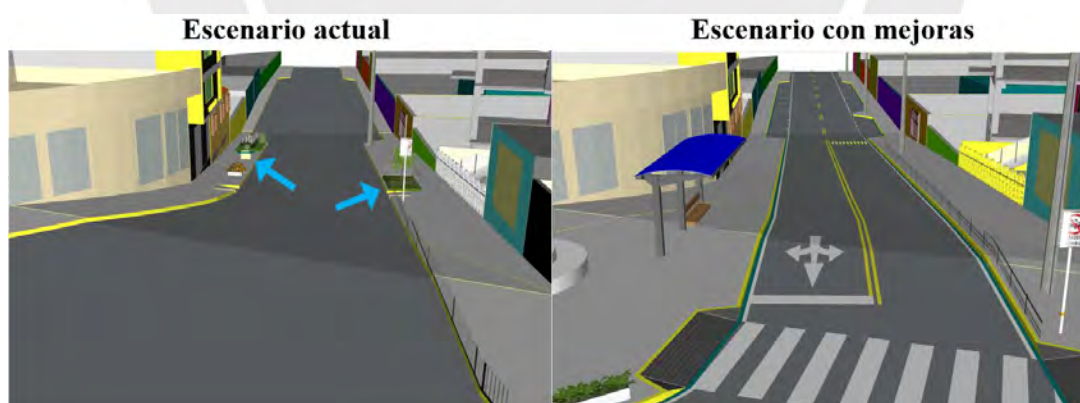


Figura 50. Eliminación de obstáculos.

Nota. Elaboración propia.

6.2.3. Mobiliario vial

Esta sección juega un rol importante en la distribución y estética de la intersección; además, en múltiples casos resulta conveniente y aprovechable para modificar o prohibir el comportamiento inadecuado de algunos usuarios.

Es oportuno mencionar que, el comercio formal o informal, como el ambulatorio, constituyen las partes de una ciudad; por ende, las infraestructuras viales deben ser diseñadas considerando dichos propósitos, pero priorizando que no se vean afectados la visibilidad y el flujo ininterrumpido y seguro de los usuarios. Ello no debería dificultar las maniobras de los vehículos.

- **Bolardos**

Al plantear las medianas e islas de refugio para peatones en la dirección oeste a este, se genera un área de ancho suficiente que podría permitir el giro e invasión de vehículos pequeños tales como bicicletas, motocicletas, mototaxis, entre otros. Por ello, se ha propuesto la colocación de bolardos en los bordes de la isla con una separación de 1.50 m entre ellos, de manera que todos los usuarios, por ejemplo, los peatones en silla de ruedas, hagan uso de la intersección sin mayor complejidad. El principal objetivo de estos elementos es que los peatones de la isla de refugio se sientan protegidos y a su vez se evite movimientos inapropiados de los vehículos. La Figura 51 ilustra lo mencionado.

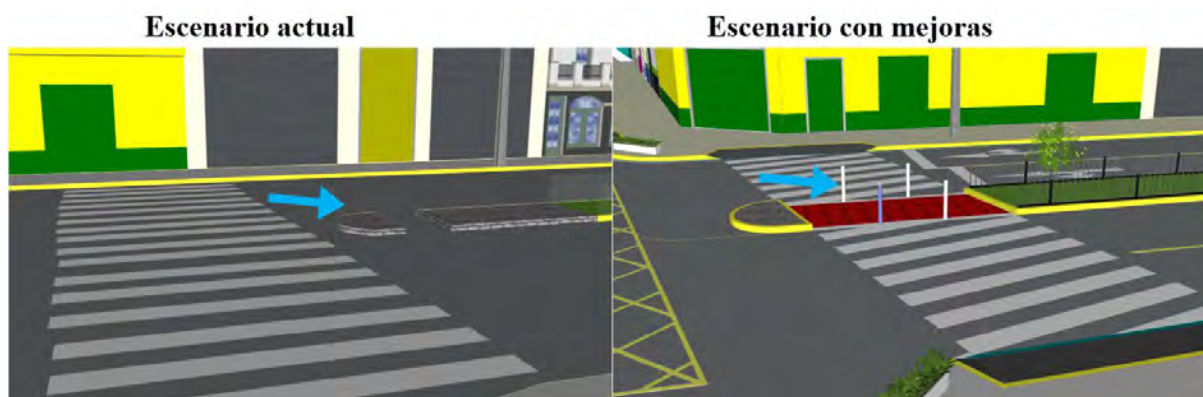


Figura 51. Bolardos en cruce peatonal.

Nota. Elaboración propia.

- **Rejillas**

En el acceso sur, particularmente en el lado izquierdo, se observa que las combis de transporte público recogen pasajeros tanto en el perímetro del martillo como a lo largo de la pendiente, lo cual genera congestión y que los vehículos se queden parados en medio de la intersección. En un intento de solucionar el problema, en la situación actual se evidencia una rejilla que cierra el paso hacia la calzada; no obstante, dicha solución en su forma actual resulta poco efectiva. En tal sentido, la rejilla ha sido reconfigurada para adaptarse a la geometría del nuevo diseño; además, ha sido complementada con otras soluciones, como una mejor señalización y la incorporación de un paradero específico, los cuales serán descritos en los apartados siguientes. La Figura 52 muestra lo descrito.

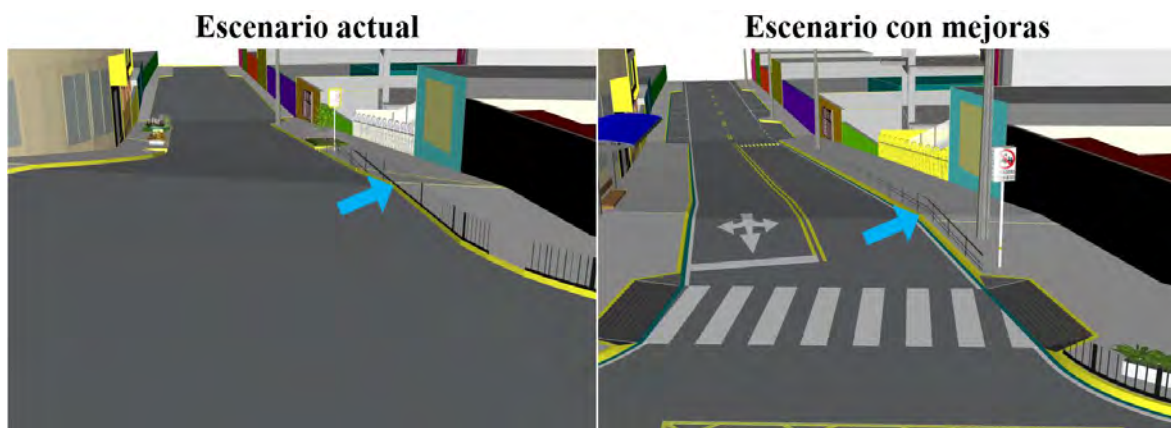


Figura 52. Rejillas de cierre de paso.

Nota. Elaboración propia.

- **Banquetas**

Al reducir el radio del martillo del lado sureste se recupera una amplia área peatonal, lo cual pudiera ser aprovechado por el comercio ambulatorio, pues en la situación actual hay presencia de estos. Aparte del desorden, ello resultaría en un problema para la visibilidad de los vehículos, por lo que se ha planteado la colocación de banquetas bajas. Así, estas pueden ser aprovechadas por los usuarios, sin causar mayores conflictos. La Figura 53 ilustra una de las banquetas colocadas.

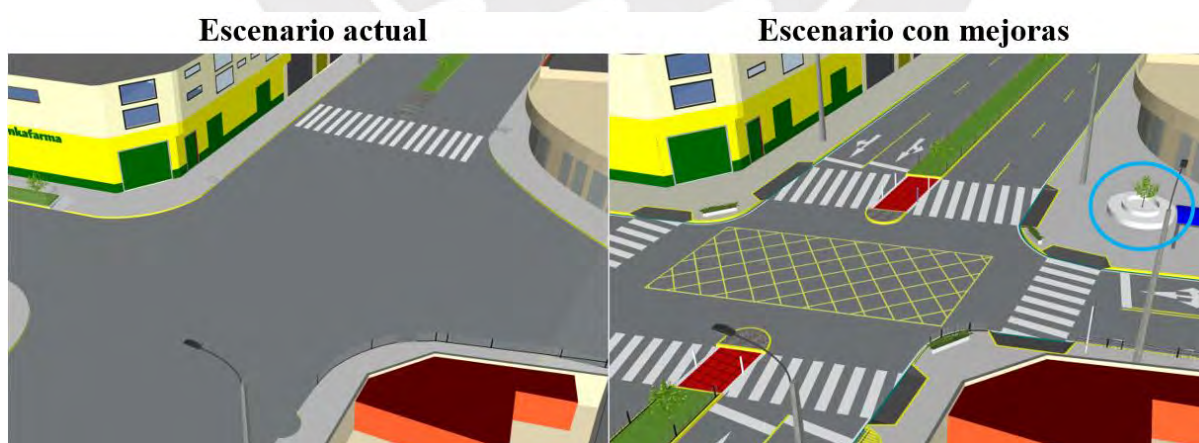


Figura 53. Banquetas bajas para optimizar radio de giro.

Nota. Elaboración propia.

- **Plantas**

Por otro lado, en la situación actual se observa que ciertos patrones pretenden cruzar la intersección en diagonal u otras formas incorrectas con la finalidad de acortar las distancias y tiempos de viaje. Dicho comportamiento se debe al paso libre que se les permite, a la falta de cruces peatonales y a la geometría mal configurada de la intersección. Por ende, luego de rediseñar la geometría de la intersección, se ha optado por colocar plantas de una altura de 0.30 m en el borde los martillos con el objetivo de impedir comportamientos inapropiados de los peatones y que no sean un problema para la visibilidad de los conductores. Estas pequeñas plantas impiden, corrigen y condicionan los movimientos de los peatones. La Figura 54 muestran las plantas de baja altura colocadas sobre los martillos.

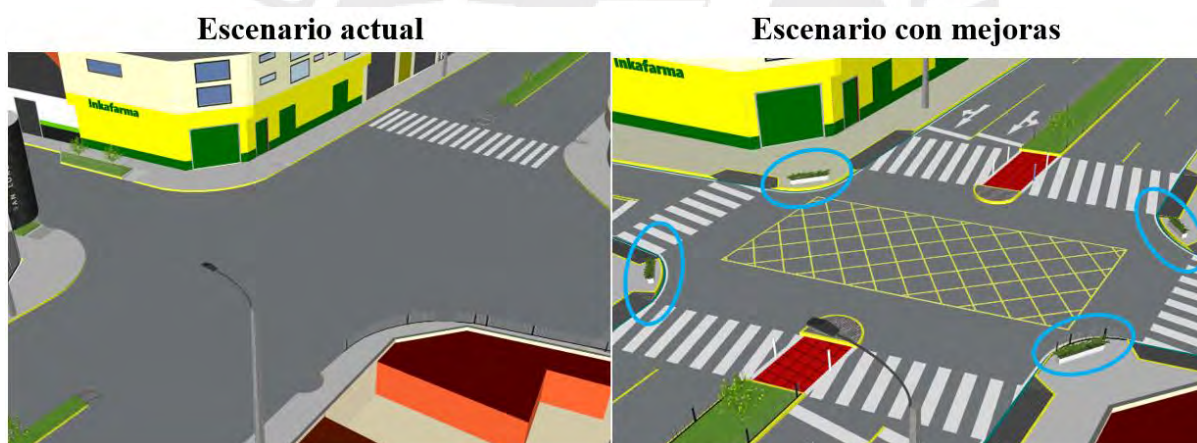


Figura 54. Plantas bajas para bloquear cruce en diagonal.

Nota. Elaboración propia.

6.2.4. Paraderos

En la intersección actual no existen paraderos específicos por donde los pasajeros puedan abordar los vehículos. En la Figura 55 se tiene el caso más crítico, se observa como los vehículos de transporte público que van de norte a sur, recogen a los pasajeros exactamente en el martillo y en la pendiente, lo cual genera tráfico, no permite la libre circulación de vehículos

ni de peatones e incrementa el riesgo de ocurrencia de accidentes. A partir de ello, se ha decidido plantear un paradero en el lado izquierdo del acceso sur. Nótese que el paradero está en la parte inferior de la pendiente y presenta un carril de parada, lo que es más seguro y no impide el movimiento fluido del resto de vehículos. En Huancayo, el tipo de transporte semipúblico predominante son las combis; por ende, los paraderos han sido configurados considerando principalmente las características de dicho tipo de servicio. A pesar de que el carril exclusivo destinado al paradero invade parcialmente la vereda, su implementación resulta ventajoso, ya que permite a los peatones abordar los vehículos de manera protegida y segura.

Asimismo, dado que en el lado derecho del acceso sur de la intersección actual, se presencia una gran acumulación de peatones y se tiene el espacio suficiente, se ha planteado una estructura que simula un paradero, cuyo funcionamiento está basado en el aprovechamiento de los tiempos de luz roja del semáforo; es decir, mientras el semáforo impida los movimientos de los vehículos que ingresan a la intersección por el lado sur y norte, los peatones podrán abordar los vehículos detenidos, ello es una estrategia ventajosa y segura.



Figura 55. Paradas del transporte público para el a bordo de pasajeros.

Nota. Elaboración propia.

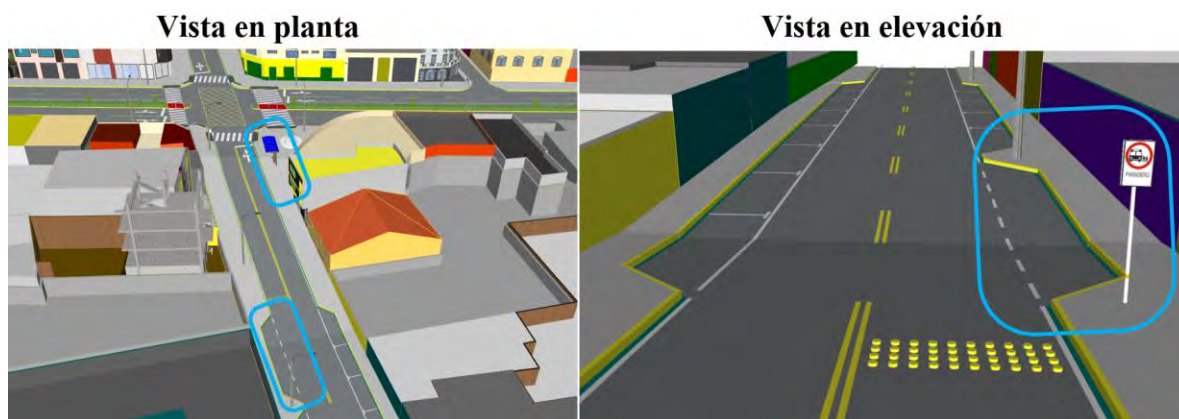


Figura 56. Mediana, área de refugio peatonal y reducción del radio de giro.

Nota. Elaboración propia.

6.2.5. Estacionamientos

En la situación actual los estacionamientos invaden los carriles, afectan la visibilidad y perjudican la circulación de los vehículos. Nótese en la Figura 57, que en el acceso sur los estacionamientos están en la pendiente, además que todos los estacionamientos presentan un ancho de 1.10 m en promedio, lo cual es mucho menor al recomendado por las normas. Por ende, estos han sido replanteados con 1.50 y 5.50 m de ancho y largo respectivamente. En el acceso sur los estacionamientos han sido planteados de tal manera que no afecte los ángulos de visibilidad de los conductores y en el acceso sur, en la parte baja de la pendiente.

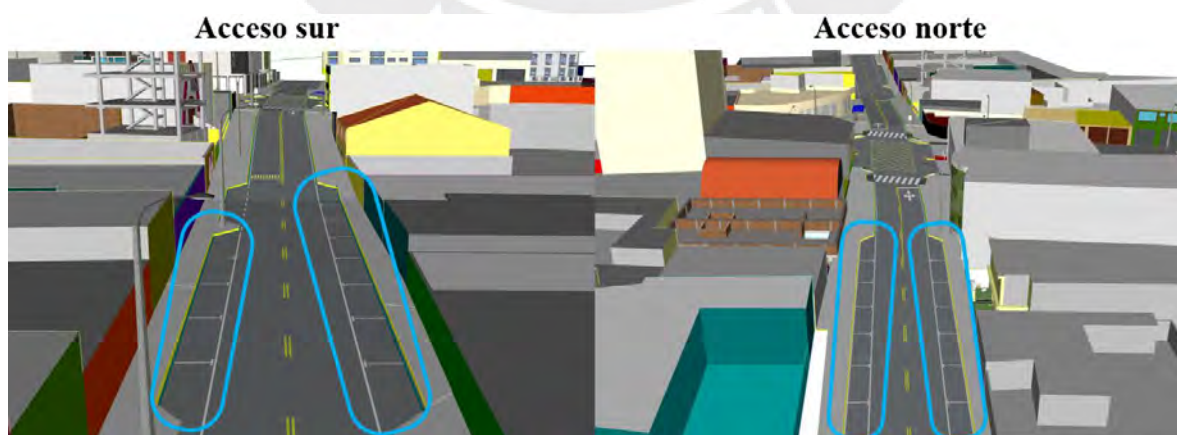


Figura 57. Estacionamientos en el escenario con mejoras.

Nota. Elaboración propia.

6.2.6. Irregularidades

Debido a la incompatibilidad de las distintas especialidades, en este caso la geometría vial y las redes de desagüe, en la intersección actual se observan irregularidades, como en la Figura 58, en donde se muestra como el pozo de desagüe cruza la vereda. Esto resulta un riesgo crítico de seguridad para los peatones, pues se altera la continuidad y línea de paso normal de la vereda. Por consiguiente, considerando que es complicado la reubicación del buzón, se ha optado por colocar una rejilla metálica al mismo nivel de la acera, de tal forma que se cubra la discontinuidad.

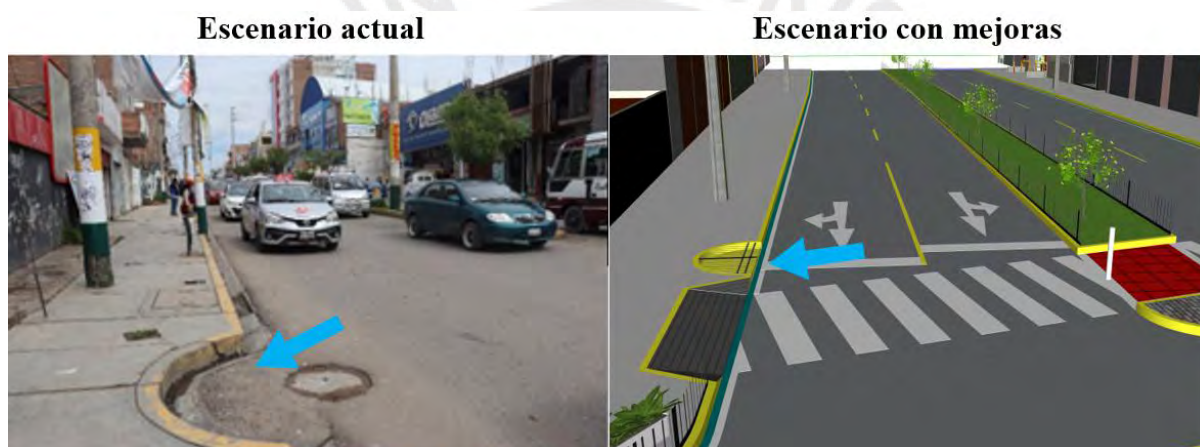


Figura 58. Colocación de rejillas sobre el buzón en el acceso oeste.

Nota. Elaboración propia.

6.2.7. Diseño universal

En referencia al diseño universal, se ha observado dos usuarios vulnerables a quienes se deberían prestar especial atención. Estos son los ciclistas y las personas con discapacidad visual. En la situación actual no existe una ciclovía y tampoco un camino direccional para las personas con deficiencia visual, claramente, ello atenta contra su seguridad.

Según los principios de diseño de carreteras seguras de Países Bajos, específicamente según el criterio de Funcionabilidad, la intersección de estudio se categoriza como “vía de

distribución”, lo cual exige la separación de vehículos motorizados y ciclistas, en este caso también microvehículos, con carriles exclusivos o elevados. Lo mencionado, es muy importante para el siguiente análisis.

Por un lado, se ha optado por implementar la medida de bloquear el uso de bicicletas por este acceso y redistribuir el flujo de tráfico a otras vías alternas. Las consideraciones para evaluar y mejorar la seguridad vial a partir de esta medida fueron que, el flujo de bicicletas representa menos del 2 % de los grupos de movimiento en todos los accesos, por lo que la eliminación de bicicletas de ciertas vías puede disminuir la probabilidad de colisiones entre vehículos motorizados y bicicletas, especialmente en áreas con alta densidad de tráfico como lo es en las vías que componen el presente caso de estudio. Por otro lado, al redistribuir el tráfico, se pueden aliviar congestiones en rutas principales, mejorando el flujo y reduciendo el riesgo de accidentes relacionados con la congestión. Y al designar vías específicas y seguras para las bicicletas, se puede proporcionar un entorno más protegido para los ciclistas. Por lo que se propone la creación de un circuito de ciclovías exclusivas y bien señalizadas en la avenida alterna a la Av. Mariscal castilla, pues esta presenta dimensiones suficientes para introducir vías para las bicicletas y se pueda mejorar la seguridad sin afectar la movilidad sostenible. La Figura 59, representa una de las múltiples situaciones críticas que atraviesan los ciclistas.



Figura 59. Ciclista surqueando a dos vehículos.

Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, para las personas con discapacidad visual, debido al espacio disponible, el cual es bastante reducido, se ha descartado plantear un circuito con franjas direccionales. Esta decisión se considera justificada, pues no se ha identificado la presencia de personas con discapacidad visual que transiten por la intersección. No obstante, en el caso que fuera estrictamente necesario, se puede optar por soluciones alternativas, tales como los efectos de sonido y los semáforos adaptativos.

6.2.8. Movilidad sostenible

En relación a la movilidad sostenible en la ciudad, específicamente en el distrito de El Tambo y también en la provincia de Huancayo en general, se observa una alta concentración de centros educativos, mercados y otros espacios públicos dentro de un área reducida, lo que inevitablemente genera una significativa aglomeración de personas. En tal sentido, se ha notado que un gran porcentaje de los vehículos de transporte privado y público que se dirigen a dichas zonas, necesariamente hacen uso de la intersección entre la Av. Mariscal Castilla y la Av. Julio Sumar, lo que resulta en una alta congestión tanto vehicular como peatonal.

Por consiguiente, la futura proyección de Huancayo, como una ciudad sostenible en términos de movilidad, debe contemplar la redistribución estratégica de los centros educativos, mercados, hospitales, etc., en los distintos distritos y que haya distintos modos de transporte. El objetivo es promover una ciudad compacta, policéntrica y multimodal, con múltiples núcleos de concentración poblacional, donde los servicios básicos u otros relacionados se encuentren en un entorno cercano. Este enfoque permitirá desarrollar vías alternativas y fomentar diversos modos de transporte, incluyendo opciones de micromovilidad, evitando que se formen intersecciones congestionadas como el caso de estudio. Todo ello, contribuirá a optimizar los tiempos y acortar las distancias de viaje y, en consecuencia, disminuir el riesgo de accidentes de tránsito. Es relevante mencionar que la propuesta en mención, abre un debate más amplio, el cual podría ser abordado en futuras investigaciones.

6.3. Problemas en la señalización y propuestas de mejora

6.3.1. Señalización horizontal

- **Líneas, flechas, cruceros y sardineles**

En la Figura 60, nótese que la intersección actual carece de una adecuada señalización horizontal y ninguna señalización es lo suficientemente visible. Por consiguiente, en el escenario con mejoras, se ha visto conveniente implementar las flechas direccionales, líneas de continuidad y discontinuidad, líneas de separación de carril y calzada, líneas de pare, crucero peatonal o cebrá, sardineles, fijación de líneas de estacionamientos, etc. Estas señales guiarán y controlarán tanto el comportamiento como el flujo de tráfico vehicular y peatonal. Como se observa en la Figura 60, las líneas de cruce peatonal, las flechas sobre el pavimento de movimientos permitidos en el carril, la zona central de prohibido detenerse, las líneas guías de separación de carril, las marcas de estacionamiento, entre otros, la demarcación. La inclusión de las señales horizontales es vital para la seguridad vial y orientación de todos los usuarios de

la intersección. Facilitan el flujo de tránsito y reducen el riesgo de accidentes. Nótese que, aquí se ha aplicado otro principio de la visión holandesa, que es la predictibilidad, cuya definición establece que las carreteras, en este caso, la intersección debe ser lo suficientemente intuitiva como para que los usuarios puedan movilizarse.

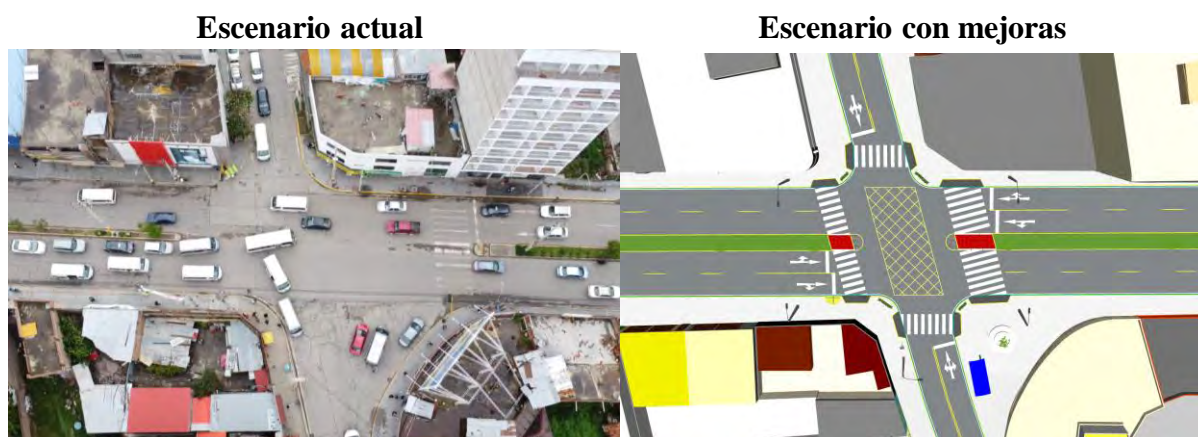


Figura 60. Comparativa de señales horizontales en la intersección actual y la propuesta de mejora.

Nota. Elaboración propia.

- **Sonorizadores**

Debido a la pendiente pronunciada en el acceso sur, los vehículos tienden a circular a gran velocidad, lo que representa un riesgo para la seguridad de la zona. Por lo tanto, como medida preventiva, se ha planteado la implementación de sonorizadores, los cuales han sido instalados cerca al tramo de carril exclusivo que funciona como paradero de transporte público. El objetivo es alertar a los conductores que están por ingresar a una zona de conflicto vehicular y, por ende, deben reducir la velocidad. En la Figura 61 se presenta los sonorizadores.

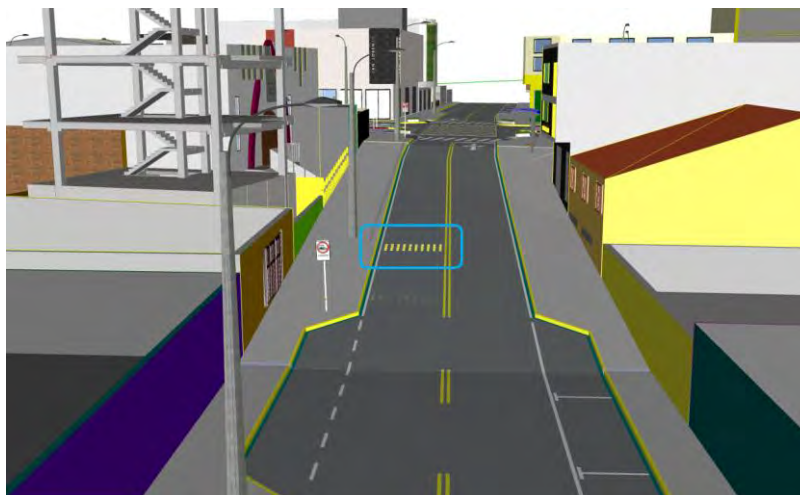


Figura 61. Sonorizadores cerca al carril exclusivo para uso de transporte público.

Nota. Elaboración propia.

6.3.2. Señalización vertical

En la intersección actual, la única señal vertical es la de “paradero prohibido”, ubicada en el lado izquierdo del acceso sur, esta se encuentra mal posicionada, ya que está situada en la parte baja de la pendiente; ello dificulta su visibilidad para los vehículos que transitan de norte a sur. Por ello, se planteó la reubicación de dicha señal, a la parte alta de la pendiente, tal como se observa en la Figura 62. Además, tal como se evidencia en la Figura 63, se implementó dos nuevas señales, en ambas direcciones, en el acceso sur y norte. El primero corresponde al control de la velocidad, este indica una velocidad máxima de circulación de 50.00 km/h, el cual es un valor establecido para las avenidas, según el MTC. La segunda señala la prohibición del giro en U. Dichas señales han sido implementadas para orientar a los conductores, prevenir conflictos entre los usuarios y regular la seguridad vial de la intersección.



Figura 62. Paradero prohibido.

Nota. Elaboración propia.

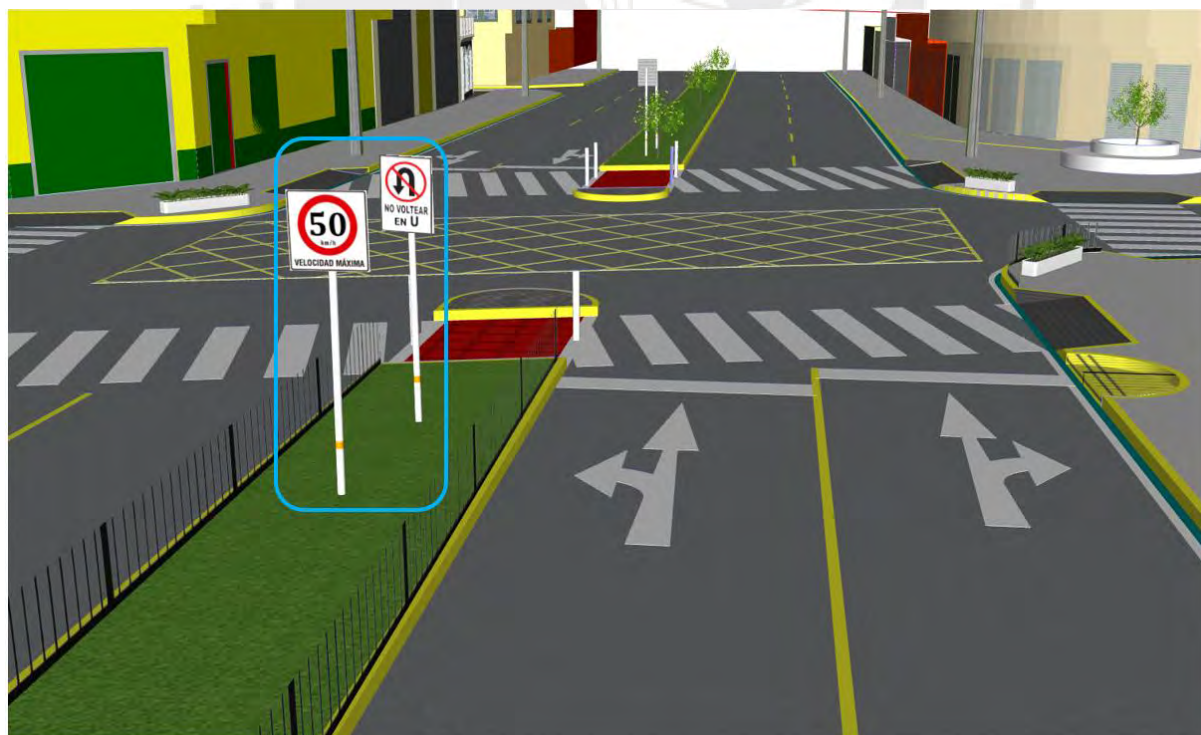


Figura 63. Velocidad máxima y prohibido el giro en U.

Nota. Elaboración propia.

6.4. Problemas en la semaforización y propuestas de mejora

6.4.1. Cálculo del ciclo semafórico

Para verificar la idoneidad del ciclo semafórico en la situación actual, se ha realizado un nuevo cálculo del mismo, pues nótese que ya existe una programación previa. Cabe mencionar que, algunos datos han sido asumidos considerando que han de ocurrir eventos críticos. Las fases consideradas para el diseño fueron, la fase 1 (ϕ_1), Av. Mariscal Castilla, dirección de este a oeste y la fase 2 (ϕ_2), Av. Julio Sumar, dirección de norte a sur.

Previo al cálculo del ciclo semafórico, la demanda vehicular se ha convertido de vehículos por hora (veh/h) a automóviles directos equivalentes por hora (ADE/h). La Tabla 24 muestra los resultados tabulados.

Tabla 24

Demanda vehicular en ADE/h

Parámetro	Este	Oeste	Norte	Sur
Fhp	1	1	1	1
Fvp	0.99964	0.99963	0.99933	0.99925
Vehículos opuestos	1617	1123	368	261
Evi	15.00	14.23	4.60	3.26
Peatones en conflicto	57	11	13	54
Evd	1.215	1.187	1.188	1.213
GI (ADE/h)	136	72	33	85
D (ADE/h)	1094	1479	221	105
GD (ADE/h)	26	160	41	289
Q (ADE/h)	1256	1711	295	479

Nota. Elaboración propia.

Donde:

Fhp: factor de hora pico

Fvp: factor de vehículo pesado

Evi: factor por giro a la izquierda

Evd: factor por giro a la derecha

GI: demanda vehicular de giro a la izquierda convertida a ADE/h

D: demanda vehicular de movimiento directo convertida a ADE/h

GD: demanda vehicular de giro a la derecha convertida a ADE/h

Q: demanda vehicular total convertida en ADE/h

Luego, se ha realizado el cálculo del ciclo semafórico. Para ello, se han considerado las siguientes recomendaciones.

Los ciclos semafóricos deben tener una duración recomendable entre 60 y 120 s, y ser múltiplo de 5 s.

Los verdes efectivos repartidos en cada fase deben ser mayores a los verdes mínimos de todos los accesos.

Tabla 25

Datos generales

Datos generales	
l (m)	6.00
v (km/h)	50.00
v (m/s)	13.89
a (m/s ²)	3.00
t (s)	1.00
So (ADE/h/carril)	1800
vp (m/s)	1.50

Nota. Elaboración propia.

Tabla 26

Cálculo de la relación entre la demanda y el flujo de saturación

	Este	Oeste	Norte	Sur
NC	2	2	1	1
w (m)	18.51	19.19	10.34	25.11
A (s)	3.00	3.00	3.00	3.00
TR (s)	2.00	2.00	1.00	2.00
I (s)	5.00	5.00	4.00	5.00
Gp (s)	17.34	17.79	11.89	21.74
Q (ADE/h)	1256	1711	295	479
S (ADE/h)	3600	3600	1800	1800
y	0.3489	0.4753	0.1639	0.2661

Nota. Elaboración propia.

Tabla 27

Reparto del verde efectivo entre las fases

Cálculo del ciclo semafórico	
A,φ1 (s)	3.00
A,φ2 (s)	3.00
TR,φ1 (s)	2.00
TR,φ2 (s)	2.00
L (s)	10.00
y,φ1	0.4753
y,φ2	0.2661
C,mín (s)	38.67
Co (s)	77.34
Cp (s)	54.21
C,elegido (s)	80.00
Gt (s)	70.00
G,φ1 (s)	45.00
G,φ2 (s)	25.00

Nota. Elaboración propia.

Donde:

l: longitud promedio del vehículo

v: velocidad de aproximación

a: tasa de desaceleración
 t: tiempo de percepción y reacción
 So: flujo de saturación base
 vp: velocidad peatonal media
 A: ámbar
 TR: todo rojo
 I: intervalo
 L: tiempo perdido en el ciclo
 y: relación entre la demanda y el flujo de saturación
 Q: demanda de vehículos
 C,mín: ciclo semafórico mínimo
 Co: ciclo semafórico óptimo o ciclo de Webster
 Cp: ciclo semafórico práctico
 C,elegido: ciclo semafórico elegido
 Gp: verde mínimo por acceso
 Gt: verde efectivo total
 G: verde efectivo por fase

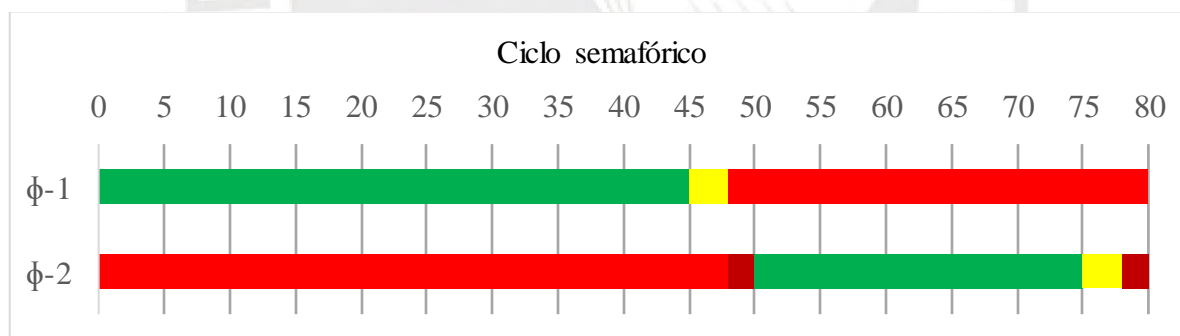


Figura 64. Plano de vista en planta del plano de la intersección con los elementos característicos de la infraestructura vial

Nota. Elaboración propia.

Por consiguiente, el resultado obtenido indica un ciclo semafórico de 80 s. En contraste a la situación actual que presenta un ciclo semafórico de 100 s, se obtiene una diferencia de 20 s. En ese sentido, el nuevo ciclo semafórico se incluye en la microsimulación de la propuesta

de mejora, con lo cual se espera un incremento en la eficiencia y el nivel de servicio de la intersección.

6.5. Problemas en la luminotecnia y propuesta de mejora

6.5.1. Luminotecnia

La calidad de la iluminación en una intersección vial es un aspecto importante la seguridad peatonal y vehicular durante el horario diurno. Por lo tanto, un diseño luminotécnico que se ajuste a la normativa vigente no solo un requisito técnico también es una medida que protege a los múltiples usuarios. Primero, respecto a los conductores, garantiza una visibilidad óptima que permite a los conductores anticipar maniobras e identificar con claridad las señales de tránsito y presencia de peatones. Segundo, en relación a los peatones, brinda aumenta la percepción de seguridad vial y aumenta la confianza para transitar por la intersección.

La propuesta de mejora de los parámetros luminotécnicos de la intersección, cumple con la Norma Técnica DGE y el RETILAP. La implementación de estas mejoras se traducirá en una significativa reducción de puntos ciegos, una uniformidad lumínica adecuada y un aumento general en la percepción de seguridad, contribuyendo a un espacio público más ordenado, eficiente y seguro para todos.

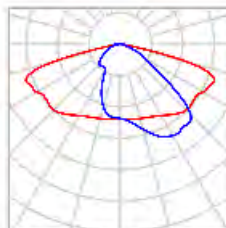
El diseño de la propuesta de mejora se realizó mediante el software de simulación DIALux evo 12.1, para garantizar una distribución lumínica óptima y la selección técnica de luminarias. Para ambas avenidas, se seleccionó el modelo Giovi M1-Vial de 150W de la marca Disano. Esta elección se fundamenta en su disponibilidad en el mercado y su favorable relación costo-eficiencia, sin comprometer el cumplimiento de los parámetros técnicos requeridos. La luminaria seleccionada se presenta en la Figura 65.

Para la avenida Mariscal Castilla, las Figuras 66, 67 y 68 detallan una disposición de luminarias en doble líneas, con una separación de 25 metros, instaladas en postes de 6 metros de altura y con un brazo de 1 metro. Como se evidencia en la Figura 69, esta disposición cumple con los lineamientos técnicos establecidos en la normativa de diseño.

El resultado visual de la propuesta implementada se presenta en la Figura 70, la cual muestra la distribución de luminarias para el acceso Oeste de la avenida.

Av. Mariscal Castilla

Resumen (hacia EN 13201:2015)



Fabricante	Disano Illuminazione S.p.A	P	150.0 W
N° de artículo	341132-00	$\Phi_{\text{Lámpara}}$	24101 lm
Nombre del artículo	3472 Giovi M1 - vial 4000K CRI 70 150W CLD Grafito	$\Phi_{\text{Luminaria}}$	24101 lm
Lámpara	1x led_3472_530_96_4k	η	100.00 %

Figura 65. Detalles de luminaria propuesta para el alumbrado vial.

Nota. Elaboración propia.

Av. Mariscal Castilla

Resumen (hacia EN 13201:2015)

3472 Giovi M1 - street 4000K CRI 70 150W CLD Graphite (bilateral enfrente)

Distancia entre mástiles	25.000 m
(1) Altura de punto de luz	6.000 m
(2) Saliente del punto de luz	0.829 m
(3) Inclinación del brazo	0.0°
(4) Longitud del brazo	1.000 m
Horas de trabajo anuales	4000 h: 100.0 %, 150.0 W
Vatios / recorrido	12000.0 W/km
ULR / ULOR	0.00 / 0.00
Intensidad lumínica máx Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).	≥ 70°: 634 cd/klm ≥ 80°: 71.5 cd/klm ≥ 90°: 0.00 cd/klm
Clase de potencia lumínica Los valores de intensidad lumínica en [cd/klm] para el cálculo de la clase de potencia lumínica se refieren al flujo luminoso de luminaria conforme a EN 13201:2015.	G*3
Clase de índice de deslumbramiento	D.3
MF	0.80

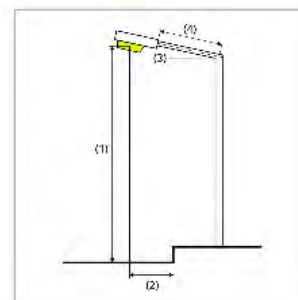


Figura 66. Detalle del poste de luz empleado para la Av. Mariscal Castilla

Nota. Elaboración propia.

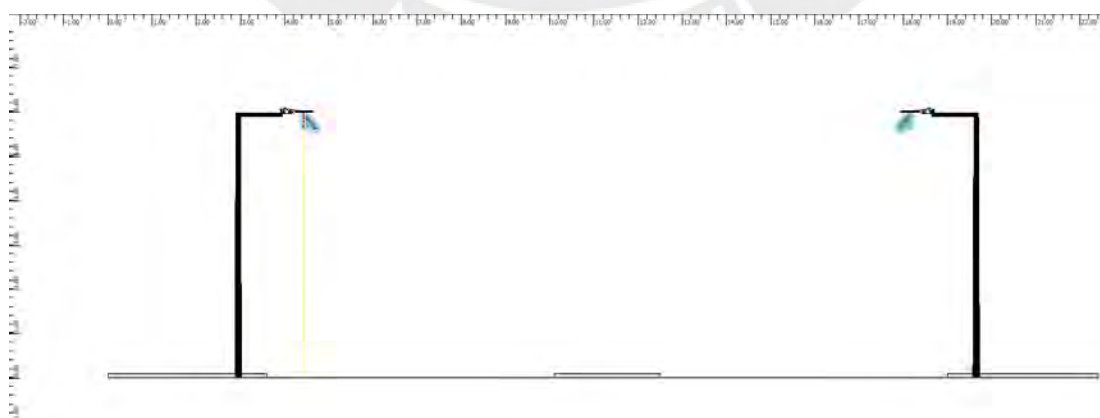


Figura 67. Corte de elevación de la distribución de luminarias en Av. Mariscal Castilla

Nota. Elaboración propia.

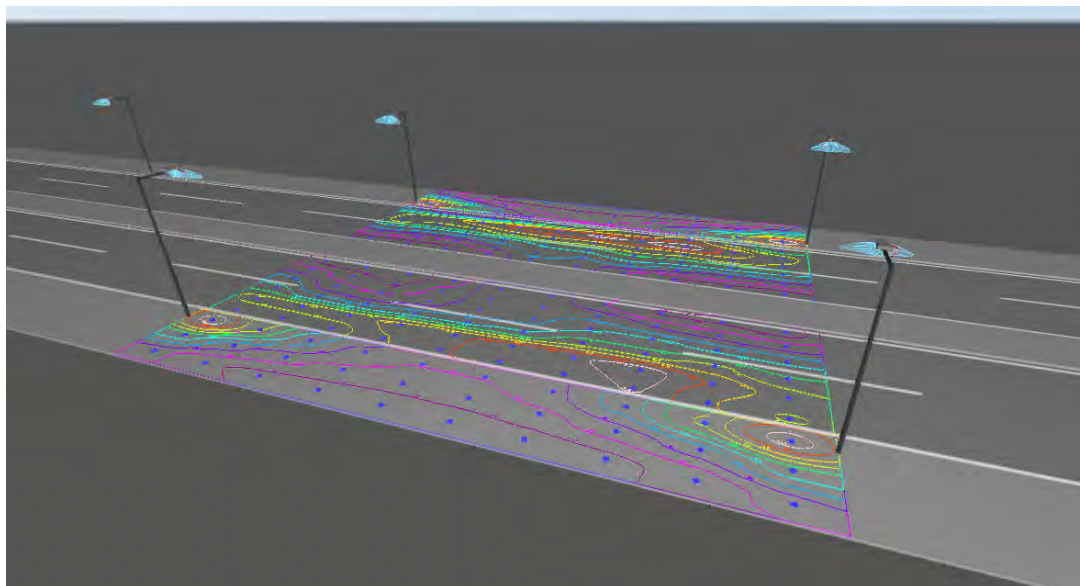


Figura 68. Detalle de distribución de intensidad lumínica sobre la calzada y vereda en Av. Mariscal Castilla

Nota. Elaboración propia.

Av. Mariscal Castilla

Resumen (hacia EN 13201:2015)

Resultados para campos de evaluación

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.80.

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
vered derecha (P3)	$E_m^{(2)}$	38.16 lx	[30.00 - 45.00] lx	✓
	E_{min}	13.93 lx	≥ 1.50 lx	✓
Av. Mariscal Castilla 2 (M2)	L_m	4.74 cd/m ²	≥ 1.50 cd/m ²	✓
	U_b	0.71	≥ 0.40	✓
	U_j	0.84	≥ 0.70	✓
	$TI^{(1)}$	-	≤ 10 %	
	R_D	0.54	≥ 0.35	✓
Av. Mariscal Castilla (M2)	L_m	4.74 cd/m ²	≥ 1.50 cd/m ²	✓
	U_b	0.71	≥ 0.40	✓
	U_j	0.84	≥ 0.70	✓
	$TI^{(1)}$	-	≤ 10 %	
	R_D	0.54	≥ 0.35	✓
vereda izquierda (P3)	$E_m^{(2)}$	36.85 lx	[30.00 - 45.00] lx	✓
	E_{min}	12.90 lx	≥ 1.50 lx	✓

Figura 69. Cumplimiento de los parámetros lumínicos de la normativa para la Av. Mariscal Castilla (Vía tipo II)

Nota. Elaboración propia.

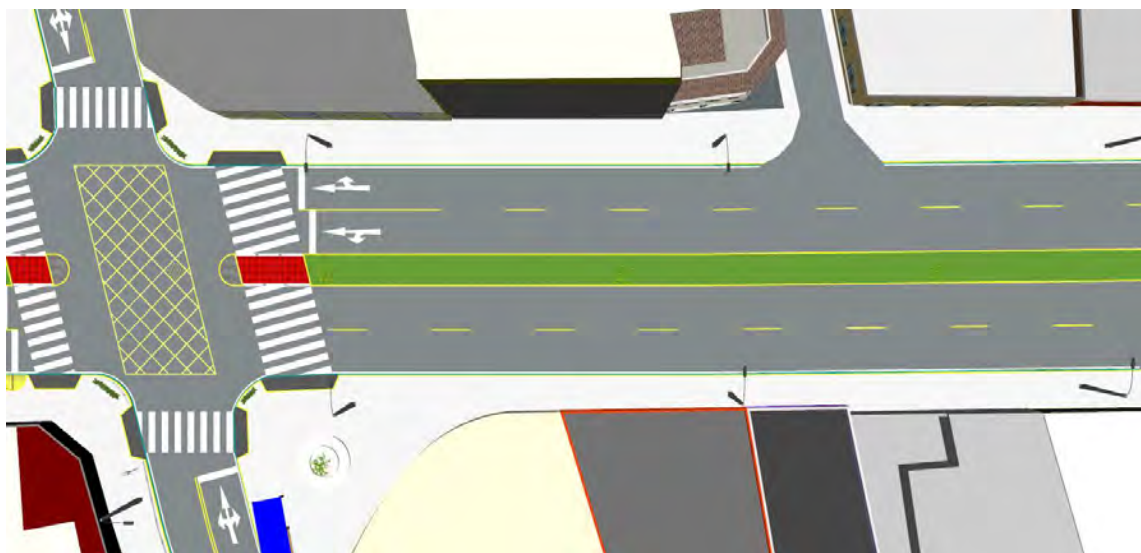


Figura 70. Distribución de luminarias propuesta para la Av. Julio Sumar, acceso Este y acceso Oeste

Nota. Elaboración propia.

Para la Avenida Julio Sumar, el diseño propone una configuración en línea única de luminarias, manteniendo una separación entre postes de 25 metros. Al igual que en el caso anterior, los elementos se instalarán en postes de 6 metros de altura con brazos de 1 metro, garantizando la uniformidad en los accesos de la intersección de estudio. Como se puede observar en la Figura 74, esta configuración cumple con todos los lineamientos técnicos aplicables. En ese sentido, los detalles de diseño, planos y especificaciones se ilustran en las Figuras 71, 72 y 73, respectivamente.

Finalmente, la Figura 75 presenta una representación visual del resultado, mostrando la implementación de la solución propuesta para el acceso sur de la intersección.

Av. Julio Sumar

Resumen (hacia EN 13201:2015)

3472 Giovi M1 - street 4000K CRI 70 150W CLD Graphite (unilateral abajo)

Distancia entre mástiles	25.000 m
(1) Altura de punto de luz	6.000 m
(2) Saliente del punto de luz	0.979 m
(3) Inclinación del brazo	0,0°
(4) Longitud del brazo	1.000 m
Horas de trabajo anuales	4000 h: 100.0 %, 150.0 W
Vatios / recorrido	6000.0 W/km
ULR / ULOR	0.00 / 0.00
Intensidad lumínica máx Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).	≥ 70°: 634 cd/klm ≥ 80°: 71.5 cd/klm ≥ 90°: 0.00 cd/klm
Clase de potencia lumínica Los valores de intensidad lumínica en [cd/klm] para el cálculo de la clase de potencia lumínica se refieren al flujo luminoso de luminaria conforme a EN 13201:2015.	G*3
Clase de índice de deslumbramiento	D.3
MF	0.80

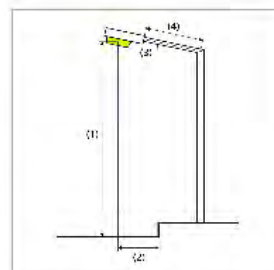


Figura 71. Detalle del poste de luz empleado para la Av. Julio Sumar

Nota. Elaboración propia.

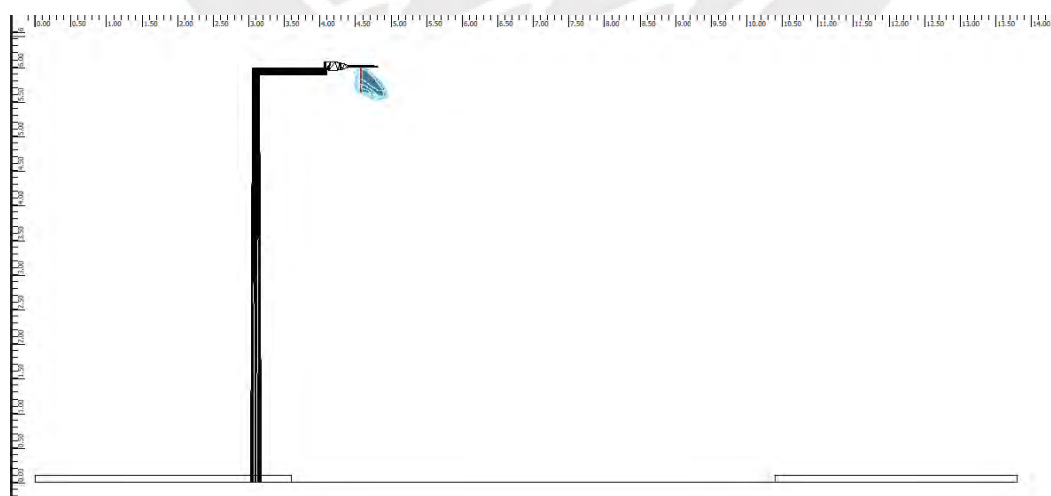


Figura 72. Corte de elevación de la distribución de luminarias para la Av. Julio Sumar

Nota. Elaboración propia.

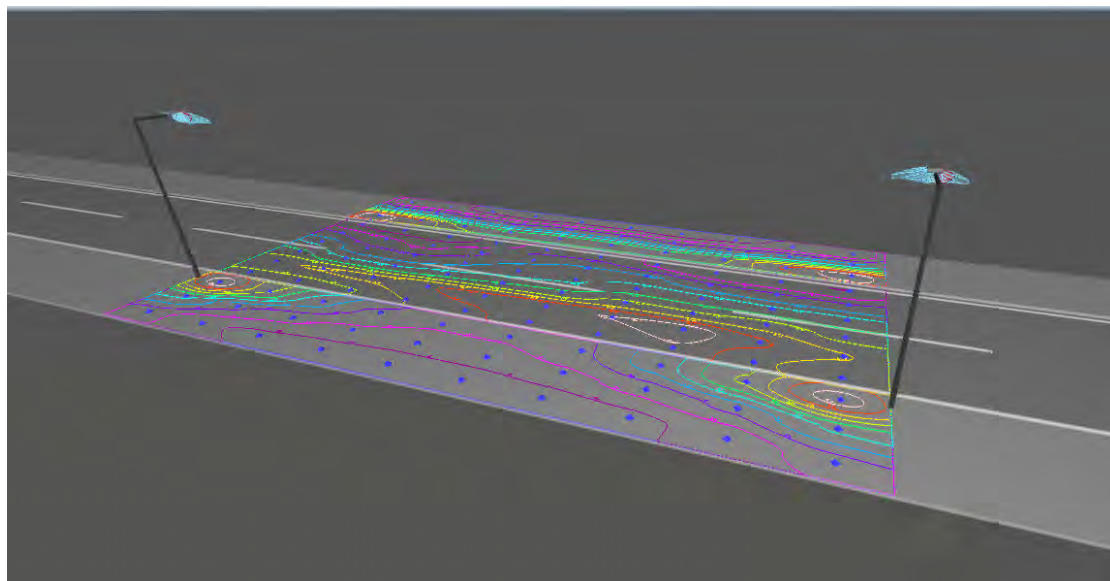


Figura 73. Detalle de distribución de intensidad lumínica sobre la calzada y vereda en la Av. Julio Sumar

Nota. Elaboración propia.

Av. Julio Sumar

Resumen (hacia EN 13201:2015)

Resultados para campos de evaluación

Para la instalación se ha calculado con un factor de mantenimiento de 0.80.

	Tamaño	Calculado	Nominal	Verificación
vered derecha (P3)	$E_m^{(2)}$	26.79 lx	[25.00 - 37.50] lx	✓
	E_{min}	12.30 lx	≥ 1.50 lx	✓
Av. Julio Sumar (M2)	L_m	4.34 cd/m ²	≥ 1.50 cd/m ²	✓
	U_D	0.57	≥ 0.40	✓
	U_I	0.80	≥ 0.70	✓
	$TI^{(B)}$	-	≤ 10 %	
	$R_{E}^{(1)}$	0.41	-	
vereda izquierda (P3)	$E_m^{(2)}$	33.72 lx	[25.00 - 37.50] lx	✓
	E_{min}	11.24 lx	≥ 1.50 lx	✓

Figura 74. Cumplimiento de los parámetros lumínicos de la normativa para la Av. Julio Sumar (Vía tipo III)

Nota. Elaboración propia.

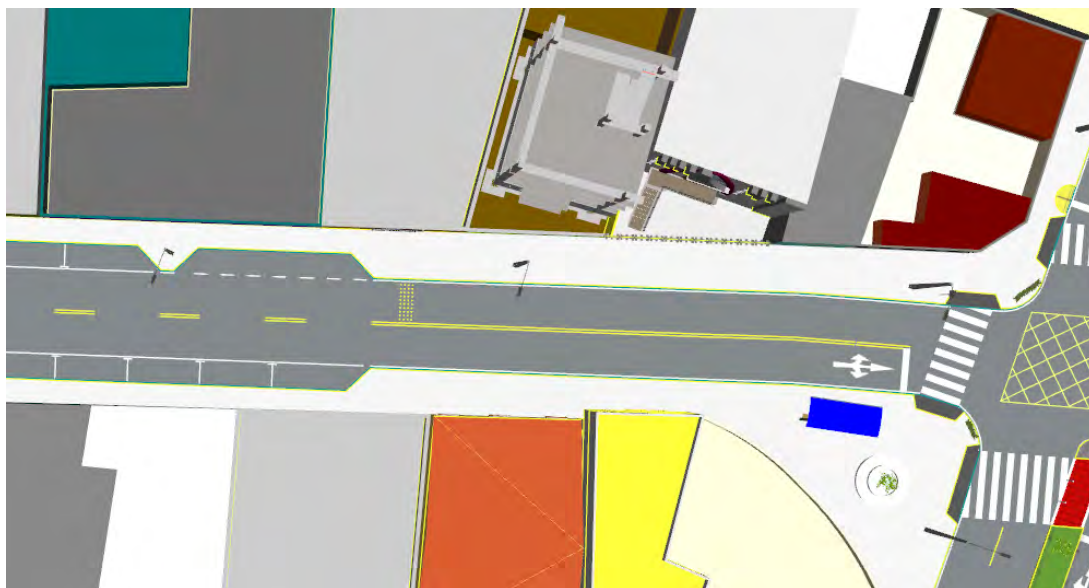


Figura 75. Distribución de luminarias propuesta para la Av. Julio Sumar, acceso Este y acceso Oeste

Nota. Elaboración propia.

6.6. Integración de las propuestas de mejora

Nótese que, en la mayor medida posible, se ha procurado abordar de forma integral los diferentes problemas detectados en la infraestructura vial, atendiendo simultáneamente los tres tipos de seguridad vial. Primero, la seguridad nominal se ha trabajado principalmente mediante el rediseño geométrico y la mejora de aspectos como la accesibilidad, la visibilidad, el mobiliario vial, los paraderos y los estacionamientos (apartados 6.1.1 al 6.1.5). Segundo, La seguridad sustantiva se ha fortalecido con la corrección de irregularidades, la incorporación de criterios de diseño universal y el impulso a la movilidad sostenible (6.1.6 al 6.1.8), así como con el mejoramiento de la señalización horizontal y vertical (6.2) y la semaforización (6.3), elementos clave para reducir la probabilidad real de accidentes. Finalmente, la seguridad operacional se ha potenciado a través de la implementación de propuestas en luminotecnica (6.4), que garantizan condiciones adecuadas tanto en el escenario diurno como nocturno (6.5), promoviendo un entorno seguro y eficiente para todos los usuarios. Con el fin de poder observar los cambios, en el anexo D se adjuntan los planos en planta del escenario actual y del

escenario con mejoras de la intersección de estudio. Por otro lado, para poder previsualizar el escenario actual y con mejoras desde una perspectiva más realista por las limitación de realizar la aplicación en el caso de estudio, en el anexo E se adjuntan los renders 3D, con vistas en planta y de escenas del escenario actual y del escenario con mejoras de la intersección de estudio, en el cual se observan los contrastes, los cambios de mejora, la reducción de conflictos y la mejora sustancial de seguridad sustantiva vial en escenas diurnas y nocturnas.

6.6.1. Escenario con mejoras de día

En este apartado se muestra el modelo 3D desarrollado en SketchUp el cual integra todas las soluciones descritas en los apartados anteriores, como se observa en la Figura 76. Cada uno de los detalles ha sido cuidadosamente diseñado según las guías de diseño y con el objetivo de brindar soluciones a las observaciones realizadas en la lista de chequeo.



Figura 76. Modelo 3D de la propuesta de mejoras diurno.

Nota. Elaboración propia.

6.6.2. Escenario con mejoras de noche

En este apartado se muestra el modelo 3D desarrollado en SketchUp el cual integra todas las soluciones descritas en los apartados anteriores, como se observa en la Figura 77. Cada uno de los detalles ha sido cuidadosamente diseñado según las guías de diseño y considerando las observaciones de la lista de chequeo respecto a la señalización e iluminación.

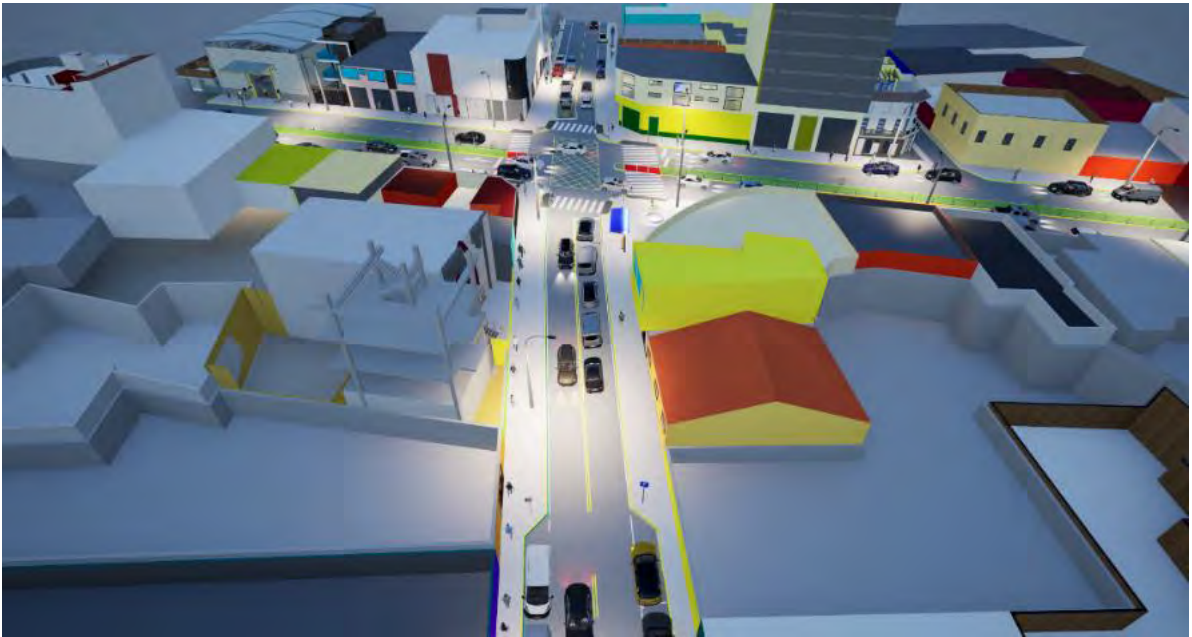
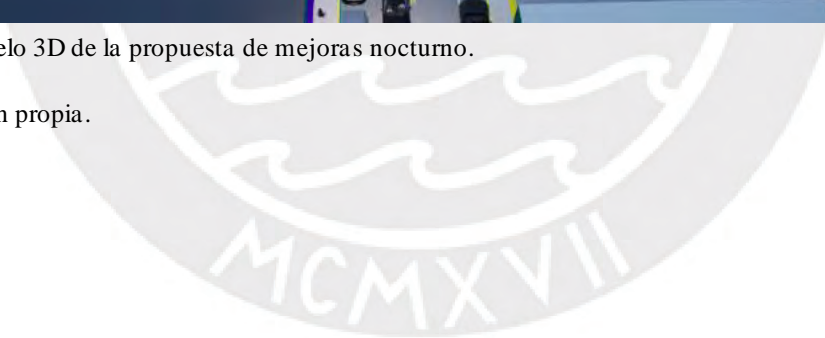


Figura 77. Modelo 3D de la propuesta de mejoras nocturno.

Nota. Elaboración propia.



CAPÍTULO VII: ANÁLISIS Y COMPARACIÓN ENTRE EL ESCENARIO ACTUAL Y CON MEJORAS

7.1. Evaluación vehicular

7.1.1. Nivel de servicio vehicular





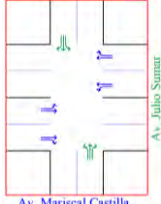
En el estado actual, se observa que el acceso sur presenta un grado de saturación de 1.7, superando tanto el límite teórico de 1.0 como el límite práctico de 0.9. En consecuencia, el grado de saturación general de la intersección alcanza un valor de 1.17. Por otro lado, con relación al nivel de servicio de la intersección, este se clasifica como F, lo que implica una “falla operacional” con tráfico detenido. Esta situación evidencia la necesidad de implementar mejoras en las fases semafóricas y en los parámetros de diseño.

En el escenario con mejoras planteadas, el grado de saturación del acceso sur se reduce a 1.27, lo que, si bien aún supera los límites teóricos y prácticos, representa una mejora en el indicador del 25.88% respecto al estado actual. A nivel de intersección, el grado de saturación disminuye a 1.016, lo que también refleja un avance. Por otro lado, en cuanto al nivel de servicio de la intersección, esta mejora a D, correspondiente a una condición de “alta congestión con retrasos perceptibles”, representando una mejora de dos niveles con respecto al estado actual. Esto permite concluir que las mejoras en las fases semafóricas y en el diseño contribuyen a optimizar la accesibilidad de la intersección y favorecen el cumplimiento de estándares de diseño internacionales.

Para el presente análisis, se anexa los cálculos en el Anexo C, y se adjunta un resumen con los grados de saturación, los retrasos y los niveles de servicio de cada acceso, así como el promedio general de la intersección, tanto en el escenario actual como en el escenario con mejoras.

Tabla 28

Grados de saturación y Niveles de Servicio para el estado actual y con mejoras.

	ACCESO N	ACCESO E	ACCESO S	ACCESO O	INTERSECCION
HOJA DE TRABAJO ESTADO ACTUAL					
Grupo de carril					
Grado de saturación por grupo, $X = v/c$	0.86	0.73	1.70	1.15	1.275
Retraso, $d = d1(PF) + d2 + d3$ (s/veh)	25.32	20.74	333.20	76.02	87.94
Nivel de Servicio por grupo de carril (LOS - GC)	C	C	F	E	F
HOJA DE TRABAJO ESTADO CON MEJORAS					
Grado de saturación por grupo, $X = v/c$	0.84	0.75	1.26	1.02	1.096
Retraso, $d = d1(PF) + d2 + d3$ (s/veh)	22.27	19.67	139.59	29.99	40.39
Nivel de Servicio por grupo de carril (LOS - GC)	C	B	F	C	D

Nota. Elaboración propia.

7.1.2. Tiempo de viaje vehicular

Para la validación de la propuesta de mejora se ha realizado una prueba estadística con cola a la izquierda en el programa Statkey para obtener el Valor de P, el cual ayudará a verificar si la hipótesis asumida es correcta. Lo mencionado se muestra en la Figura 78 y la Figura 79. Cabe resaltar que, la validación vehicular se ha realizado con los flujos vehiculares críticos. Los resultados de la calibración se muestran en la Tabla 29.

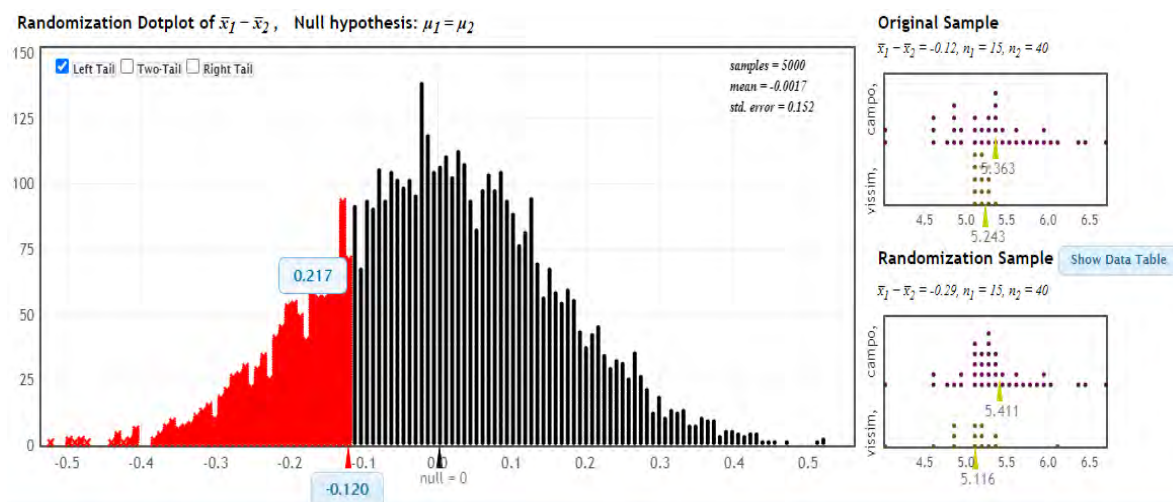


Figura 78. Valor de P para la Av. Mariscal Castilla (Norte-sur).

Nota. Aleatorización propia con ayuda del programa Statkey.

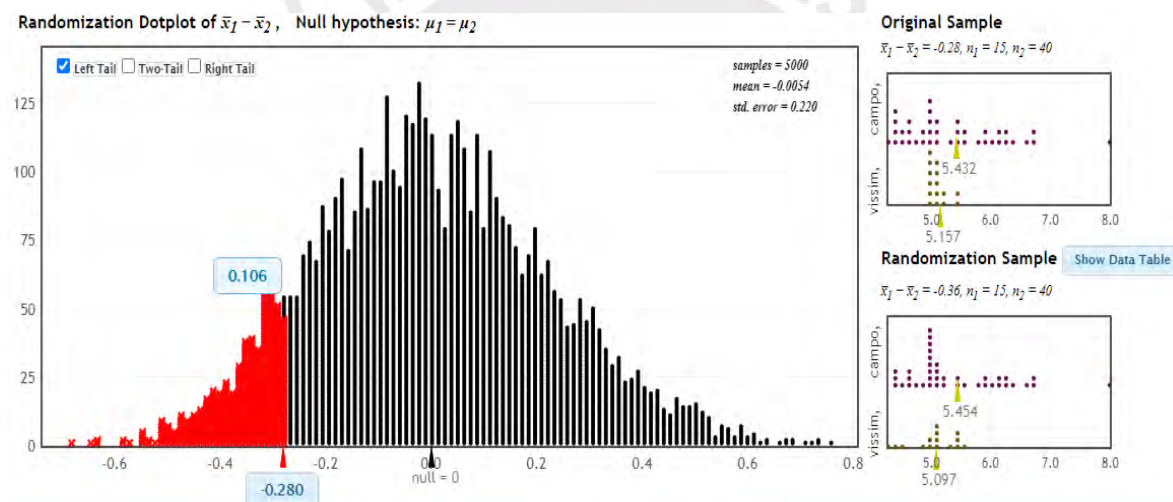


Figura 79. Valor de P para la Av. Julio Sumar (Oeste-este)

Nota. Aleatorización propia con ayuda del programa Statkey.

Tabla 29

Validación de la propuesta de mejora

Validación vehicular	Campo	Microsimulación	Campo	Microsimulación
	Av. Mariscal Castilla d = 50 m	Av. Mariscal Castilla d = 50 m	Av. Julio Sumar d = 50 m	Av. Julio Sumar d = 50 m
n asumido	40	15	40	15
u (s)	5.36	5.24	5.43	5.16
S (s)	0.59	0.08	0.83	0.15
NC (%)	95	95	95	95
$\alpha/2$ (%)	2.5	2.5	2.5	2.5
n-1	39	14	39	14
t (n-1, $\alpha/2$)	2.0227	2.1448	2.0227	2.1448
e (%)	5	5	5	5
n requerido	20	1	39	2
$\hat{n}_{asum} \geq n_{req}$?	Sí	Sí	Sí	Sí
Valor de P		0.22		0.11
¿Modelo validado?		No		No

Nota. Elaboración propia

Nótese que, la propuesta de mejora no valida, pues el Valor de P es mayor a 0.05, lo que significa que los tiempos de viaje vehiculares en la propuesta de mejora son similares a los tiempos de viaje vehiculares en la situación actual. Ciertamente lo que se buscaría en una propuesta de mejora es reducir los tiempos de viaje; sin embargo, el rediseño no está aplicado para reducir necesariamente los tiempos de viaje, sino más bien para mejorar la seguridad vial de los usuarios. Por ende, mientras se mantenga los tiempos de viaje y se mejore la seguridad vial, el rediseño es aceptable y congruente con los objetivos.

En el tramo de 50 m de la Av. Mariscal Castilla, en la situación actual se ha obtenido un tiempo de viaje promedio de $u_1 = 5.36$ s y en el modelo con mejoras se ha obtenido un tiempo de viaje promedio de $u_2 = 5.24$ s. En el tramo de 50 m de la Av. Julio Sumar, en la situación actual se ha obtenido un tiempo de viaje promedio de $u_1 = 5.43$ s y en el modelo con mejoras se ha obtenido un tiempo de viaje promedio de $u_2 = 5.16$ s. Nótese que, en ambos

casos, los tiempos de viaje de la propuesta de mejora son menores a los tiempos de viaje de la situación actual, lo que significa a primera impresión que la propuesta de mejora es viable. Sin embargo, al realizar los análisis estadísticos se ha obtenido un Valor de P mayor a 0.05 para ambos tramos, lo cual no es suficiente para afirmar que los tiempos de viaje de la propuesta de mejora son menores a los tiempos de viaje de la situación actual. Empero, si es posible afirmar que en la propuesta de mejora se desarrolla un tiempo de viaje similar al de la situación actual.

7.1.3. Longitud de cola vehicular

Este apartado muestra las colas que se producen en la situación actual y en la propuesta de mejora. La Tabla 30 muestra las colas de los accesos más críticos, es decir, los accesos en donde se han registrado las mayores longitudes colas, en este caso fueron el acceso oeste y sur.

Tabla 30

Colas de las intersecciones

n asumido	Estado actual	Propuesta de mejora	Estado actual	Propuesta de mejora
	Av. Mariscal Castilla (Acceso oeste)	Av. Mariscal Castilla (Acceso oeste)	Av. Julio Sumar (Acceso sur)	Av. Julio Sumar (Acceso sur)
	Cola (m)	Cola (m)	Cola (m)	Cola (m)
1	40.11	50.15	14.74	38.78
2	36.65	34.25	12.35	46.16
3	31.64	36.66	14.13	28.12
4	36.29	52.56	17.21	21.64
5	30.45	50.45	26.13	30.46
6	32.49	42.78	22.94	14.61
7	33.71	49.13	14.39	19.92
8	33.78	53.37	14.31	31.67
9	32.36	54.10	11.70	28.96
10	25.98	52.28	23.42	19.04
11	26.37	42.05	23.41	46.78
12	23.99	55.94	11.16	25.23
13	29.16	50.20	26.67	46.88
14	30.29	51.41	13.32	22.56
15	25.03	49.61	17.45	61.17
u (m)	31.22	48.33	17.56	32.13
S (m)	4.61	6.42	5.44	13.15

Nota. Elaboración propia

Nótese que, las longitudes de cola en la propuesta de mejora se incrementan con respecto a la situación actual, sobre todo en el acceso sur. Las razones del porqué suceden dichas situaciones, son las siguientes. En el acceso oeste y sur los carriles y calzadas sobredimensionados permite a los conductores maniobrar de manera violenta, impulsiva e invasiva, tienen un mayor espacio de actuación y ello permite que los vehículos crucen la intersección con mayor rapidez. Asimismo, en el acceso Sur, hay un radio de giro sobredimensionado por encima de lo normal, dicho espacio permite almacenar hasta 3 vehículos que desean girar para la derecha. Dicho radio de giro funciona de manera similar a un carril de uso exclusivo para girar a la derecha. Todo ello, además del desorden, permiten que no se generen mayores longitudes de cola en la situación actual, a diferencia de la propuesta de mejora, en donde se restringe de cierto modo la libertad de libre actuación, pero sí maniobrar de manera segura. Por ende, se han incrementado las colas en la propuesta de mejora, pero este permite maniobrar de manera segura, calmada y armónica.

7.2. Evaluación peatonal

7.2.1. Tiempo de viaje peatonal

La validación peatonal del modelo con mejoras se ha realizado con los flujos del sábado. Es importante resaltar que, para la validación se han mantenido los mismos parámetros definidos en el proceso de calibración del estado con mejoras. La Figura 80 y la Figura 81, muestran los valores de P obtenidos durante el proceso de validación (prueba estadística con cola a la izquierda).

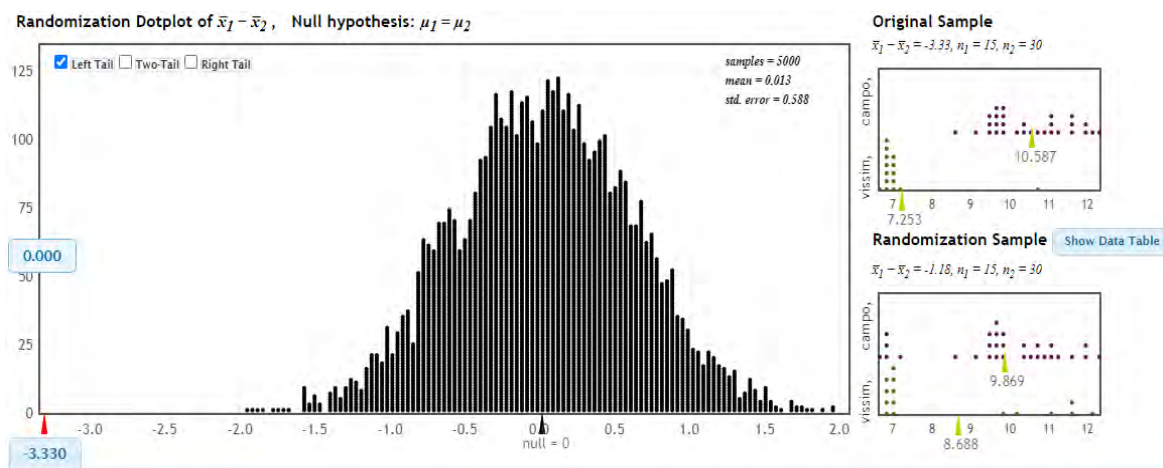


Figura 80. Valor de P para la validación de la Av. Julio Sumar (Oeste-este)

Nota. Aleatorización propia con ayuda del programa Statkey

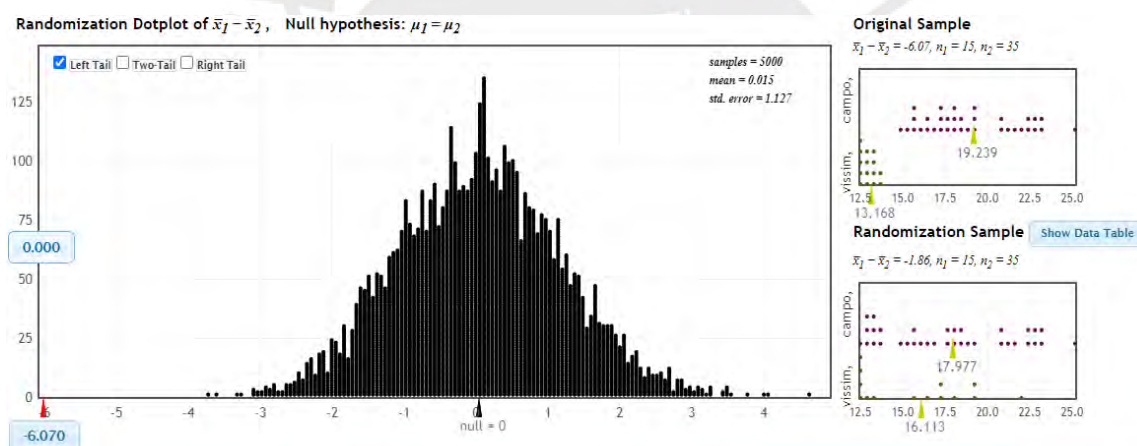


Figura 81. Valor de P para la validación de la Av. Mariscal Castilla (Norte-sur).

Nota. Aleatorización propia con ayuda del programa Statkey.

La Tabla 31 muestra los resultados del análisis del proceso de validación peatonal con los datos del sábado, referente al estado con mejoras.

Tabla 31

Análisis del proceso de validación peatonal de la situación con mejoras

Validación peatonal	Campo	Microsimulación	Campo	Microsimulación
	Tramo horizontal Oeste – Este		Tramo vertical Sur - Norte	
	Av. Mariscal Castilla d = 11.55 m	Av. Mariscal Castilla d = 11.55 m	Av. Julio Sumar d = 16.97 m	Av. Julio Sumar d = 16.97 m
n asumido	30	15	35	15
u (s)	10.59	7.25	19.24	13.17
S (s)	0.99	0.97	2.75	0.42
NC (%)	95	95	95	95
$\alpha/2$ (%)	2.5	2.5	2.5	2.5
n-1	29	14	34	14
t (n-1, $\alpha/2$)	2.045	2.145	2.033	2.145
e (%)	5	5	5	5
n requerido	15	14	34	2
$\zeta n_{asum} \geq n_{req}$?	Sí	Sí	Sí	Sí
Valor de P		~0		~0
¿Modelo validado?		Sí		Sí

Nota. Elaboración propia.

7.2.2. Densidad peatonal

Referente al flujo del cruceo peatonal en el acceso oeste (tramo vertical, d = 16.97 m) del cruceo peatonal, en la situación actual se ha obtenido un tiempo de viaje promedio de $u_1 = 19.24$ s y en el modelo con mejoras se ha obtenido un tiempo de viaje promedio de $u_2 = 13.17$ s. Nótese que hay una reducción considerable de los tiempos de viaje peatonal para la microsimulación del estado con mejoras, ello se puede explicar ya que se ha rediseñado geoméricamente las veredas a 3.5 m y el ancho de carril de los diferentes accesos a 3.4 m, lo cual permite que el peatón tenga la posibilidad de cruzar la vía en un mejor tiempo y desplazándose una menor distancia debido a la incorporación de una mediana que sirve como resguardo a la hora de cruzar.

Por otro lado, en relación con la mejora del tiempo de viaje peatonal del acceso norte (tramo horizontal, $d = 11.55$ m) en el modelo de mejoras respecto a la situación actual, en la situación actual se ha obtenido un tiempo de viaje promedio de $u_1 = 10.59$ s y en el modelo con mejoras se ha obtenido un tiempo de viaje promedio de $u_2 = 7.25$ s. La reducción se puede explicar como el resultado de las medidas implementadas; por ejemplo, impedir a que los usuarios realicen movimientos imprudentes como cruzar la intersección en diagonal, al integrar de plantas bajas en las esquinas y bloquear el flujo peatonal, y la ubicación de comercio ambulatorio, más no bloquear la visibilidad de los conductores. En ese sentido, la medida de integrar un cerco en la vegetación de la mediana, para que impida cruzar por un tramo anterior al cruce, restringe estas acciones temerarias realizadas por los peatones y los comerciantes ambulatorios que se encuentran en la vía observadas en la situación actual. De la misma forma, la integración de una zona de espera en la mediana de 12 m^2 (1 m^2 por persona en el máximo observado), permite a los peatones encontrar una zona segura a la hora de cruzar y mejora la seguridad vial que se tiene en la vía.

Nótese que, en ambos casos, los tiempos de viaje de la propuesta de mejora son menores a los tiempos de viaje de la situación actual, lo que significa a primera impresión que la propuesta de mejora es viable. Al realizar los análisis estadísticos se ha obtenido un Valor de P menor a 0.05 para ambos tramos, lo cual es suficiente para afirmar que los tiempos de viaje de la propuesta de mejora son menores a los tiempos de viaje de la situación actual como se observa en la Tabla 31.

7.3. Evaluación de luminotecnia

7.3.1. Mejora de los parámetros lumínicos

En la Tabla 32 se observa que, en el estado actual de la Av. Mariscal Castilla, las veredas no cumplen con la intensidad lumínica promedio y si cumplen con la intensidad

lumínica mínima para una Vía tipo II. En contraste se observa que la propuesta mejora si cumple con estos parámetros y presenta información sobre la uniformidad y deslumbrancia que puede presentar la calzada, cumpliendo con los parámetros de la normativa peruana y los estándares europeos de una vía R2. Por lo que se puede señalar que la propuesta si garantizara la seguridad nominal, aumentando la percepción de seguridad de los múltiples usuarios de la intersección, como lo serían los peatones en las veredas y los conductores en las calzadas.

Tabla 32

Comparación de parámetros lumínicos en la avenida Mariscal Castilla

	Parámetro	Nominal (Norma)	Preexistente	Verificación	Calculado	Verificación
Vereda derecha	Em	[30-40] lux	3.5	No cumple	38.16 lux	Cumple
	Emin	≥ 1.5 lux	3.3	Cumple	13.93 lux	Cumple
Av. Mariscal Castilla (calzada ingreso de vehículos)	Lm	≥ 1.50 cd/m ²	2.1	No cumple	4.74 cd/m ²	Cumple
	Uo	≥ 0.40	-	-	0.71	Cumple
	Ro	≥ 0.45	-	-	0.54	Cumple
Av. Mariscal Castilla (calzada salida de vehículos)	Lm	≥ 1.50 cd/m ²			4.74 cd/m ²	Cumple
	Uo	≥ 0.40	-	-	0.71	Cumple
	Ro	≥ 0.45	-	-	0.54	Cumple
Vereda izquierda	Em	[30-40] lux	3.7	No cumple	36.85 lux	Cumple
	Emin	≥ 1.5 lux	3.5	Cumple	12.90 lux	Cumple

Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, como se puede observar en la Tabla 33, se observa que en el estado actual (preexistente) de la avenida Julio Sumar, las veredas no cumplen con la intensidad lumínica promedio y si cumplen la intensidad lumínica mínima para una Vía tipo III. En contraste se observa que la propuesta mejora si cumple con estos parámetros y presenta información sobre la uniformidad y deslumbrancia que puede presentar la calzada, cumpliendo con los parámetros de la normativa peruana y los estándares europeos de una vía R3. Por lo que se

puede señalar que la propuesta si garantizara la seguridad nominal, aumentando la percepción de seguridad de los múltiples usuarios de la intersección, como lo serían los peatones en las veredas y los conductores en las calzadas.

Tabla 33

Comparación de parámetros lumínicos en la avenida Julio Sumar

	Parámetro	Nominal (Norma)	Preexistente	Verificación	Calculado	Verificación
Vereda derecha	Em	[25-37.5] lux	3.4	No cumple	26.79 lux	Cumple
	Emin	≥ 1.5 lux	3.3	Cumple	12.30 lux	Cumple
Av. Julio Sumar (calzada)	Lm	≥ 1.50 cd/m ²	2.5	Cumple	4.34 cd/m ²	Cumple
	Uo	≥ 0.40	-	Cumple	0.57	Cumple
	Ro	-	-	Cumple	0.41	Cumple
Vereda izquierda	Em	[24-37.5] lux	2.2	No Cumple	33.72 lux	Cumple
	Emin	≥ 1.5 lux	2.1	Cumple	11.24 lux	Cumple

Nota. Elaboración propia.

CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

En primer lugar, a partir de la Inspección de Seguridad Vial (ISV), la entrevista de 60 usuarios y el análisis comparativo de manuales y normas de diseño nacionales e internacionales, se logró identificar deficiencias desde la perspectiva de los múltiples usuarios, los conflictos y la infraestructura vial en la intersección de estudio. Estas limitaciones detalladas en el capítulo IV comprenden aspectos sobre la funcionalidad y la seguridad vial, en base de los cuales se establecieron las medidas de mejoras sobre el diseño geométrico, señalética, optimización semafórica y parámetros luminotécnicos diurnos. A partir de la aplicación de esta herramienta de gestión permitió justificar la propuesta integral de rediseño de mejoras basada en criterios normativos y focalizado en reducir el riesgo a que se produzcan accidentes dentro del área de influencia de la intersección.

En segundo lugar, debido a que las medidas planteadas no han sido implementadas físicamente, no es posible evaluar la seguridad sustantiva mediante la reducción real de accidentes. No obstante, se espera que las intervenciones propuestas en el escenario con mejoras contribuyan significativamente a disminuir la tasa de siniestros dentro de la intersección, ya que se diseñaron considerando las carencias, los conflictos e interacciones inseguras en el estado actuales. Por otro lado, gracias al rediseño geométrico, de señalización, semaforización y luminotecnia, siguiendo las recomendaciones de la GSDG, la NACTO y el MTC, se puede señalar que las medidas implementadas mejorar en gran medida en la seguridad nominal de la intersección. En consecuencia, al configurar integralmente la intersección de estudio en el escenario de mejoras, cuyos componentes se relacionan de manera lógica, funcional y actúan como un todo, permite a los usuarios interpretar las rutas con facilidad,

desplazarse con fluidez, comodidad y sin maniobras bruscas, lo que disminuye el riesgo de accidentes e incrementa la percepción de seguridad.

En tercer lugar, a través la implementación de medidas de rediseño geométrico, optimización del sistema semafórico y señalización horizontal y vertical en el escenario con mejoras, desde el enfoque de seguridad vial, también se ha logrado mejorar en mediana medida los parámetros de eficiencia de la intersección respecto al escenario actual. En síntesis, se disminuyó los grados de saturación de los accesos y la intersección de estudio, se pasó de un nivel de servicio de la Intersección de F a D, y se redujeron los tiempos de desplazamiento vehicular y peatonal.

Finalmente, se aplicó el capítulo 16 de Intersección Semaforizada (*Chapter 16 – Signalized Intersection*) del *Highway Capacity Manual* (HMC), para analizar y evaluar los tiempos de demoras, los grados de saturación y niveles de servicio en los cuatro accesos e intersección de análisis entre el estado actual y el estado con las propuestas de mejoras. En ese sentido, se puede señalar que las mejoras y estandarización del rediseño geométrico como el ancho de carril y la optimización del ciclo semafórico desde el enfoque de mejora de la seguridad vial, tienen un alto impacto en la mejora de los parámetros de eficiencia de la intersección de análisis.

8.2. Recomendaciones

Con el objetivo de alcanzar el ideal de la movilidad sostenible, se recomienda realizar un estudio futuro enfocado en la micromovilidad de la intersección entre la Av. Mariscal Castilla y la Av. Julio Sumar. La recomendación se fundamenta en que se ha registrado un porcentaje mínimo de bicicletas, pero suficiente como para ser tratado, de usuarios de este tipo de microvehículos. Debido a la limitación de espacio en la intersección y la existencia de un circuito de ciclismo en el caso de estudio se ha decidido la redistribución de los usuarios de

bicicletas. Se sugiere la búsqueda de nuevas vías e intersecciones en donde los microvehículos puedan circular de manera segura, fluida y con un espacio propio. Es importante mencionar que, las nuevas rutas deben ser lo más cercanas posibles y obedecer la línea de deseo de paso de los usuarios.

A partir de los resultados obtenidos y el análisis estadístico realizado, se recomienda proceder con la implementación de las mejoras propuestas en ambos tramos del cruce peatonal. Las mejoras no solo han demostrado reducir significativamente los tiempos de viaje peatonal, sino que también incluir medidas nominales que mejoren la seguridad vial para los usuarios. Es crucial mantener y, de ser posible, extender estas estrategias de diseño a otras áreas del cruce peatonal para optimizar el flujo peatonal y garantizar la seguridad. En ese sentido, se sugiere después de incorporar las mejoras de la situación de mejoras monitorear continuamente el comportamiento peatonal, evaluar y realizar ajustes adicionales según sea necesario para minimizar los conflictos y, mejorar el tiempo de viaje peatonal y seguridad del tránsito en la intersección. En correlación, se recomienda como tema de una investigación futura se incluya el análisis de los plazos de ejecución, la evaluación de precios unitarios locales y la estimación del presupuesto necesario para implementar las mejoras propuestas, con el fin de fortalecer la seguridad sustantiva de la intersección, ya que este se relaciona directamente con la medición del número de accidentes después de su implementación. No obstante, se espera que, una vez que se hayan aplicado las medidas, estas coadyuven en la reducción significativa de la tasa de accidentes, pues las intervenciones han sido aplicadas basadas en los problemas de primer plano y considerando los comportamientos actuales.

Para garantizar la efectividad y sostenibilidad de las mejoras en la seguridad vial, se recomienda un monitoreo continuo del comportamiento peatonal y vehicular después de implementar las mejoras, evaluando el impacto en la reducción de accidentes y en la percepción

de seguridad de los usuarios. Además, realizar evaluaciones periódicas permitirá identificar áreas de mejora y hacer los ajustes necesarios en la infraestructura y señalización, abordando cualquier nuevo riesgo identificado y manteniendo la efectividad de las medidas.

Es fundamental implementar campañas de educación y sensibilización para los usuarios de la vía, enfocadas en el respeto a las normas de tráfico y la importancia de comportamientos seguros, especialmente en áreas con alta vulnerabilidad peatonal. Fomentar la colaboración entre las autoridades locales, diseñadores de infraestructura vial y la comunidad asegurará que las soluciones sean apropiadas y eficaces.



REFERENCIAS

- Blue, V. J., & Adler, J. L. (2001). *Cellular automata microsimulation for modeling bi-directional pedestrian walkways*. *Transportation Research Part B: Methodological*, 35(3), 293-312. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(99\)00052-1](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(99)00052-1)
- Button, K. y Elgar, E. (2010). *Transport Economics 3rd Edition (3rd Edition)*. Edward Elgar Publishing. Inc.
- Cabrera F. (2012). *Micro Simulación de vehículos y peatones* (Revista Civilizate CIV, 2012, NOV vol.1). <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/issue/view/985>
- Cogollos Paja, M., Muñoz Medina, M., & Zaragoza Ramírez, A. (2006). Libro Verde de la Seguridad Vial. *La sociedad civil ante el reto de la seguridad vial* (1er ed.). Asociación Española de la Carretera. https://www.aecarretera.com/Libro_Verde2daEd2.pdf
- Connell, B. R., Jones, M., Mace, R., Mueller, J., Mullick, A., Ostroff, E., Sanford, J., Steinfeld, E., Story, M., & Vanderheiden, G. (1997). *The Principles of Universal Design, Version 2.0*. Center for Universal Design, NC State University.
- Contrastes de Hipótesis. (s.f.). *Contrastes de hipótesis*. <https://www.uv.es/mlejarza/azar/T6.pdf>
- Dangond, C., Jolly, J., Monteoliva, A., y Rojas, F. (2011). *Algunas reflexiones sobre la movilidad urbana en Colombia desde la perspectiva del desarrollo humano*. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77722772007>
- Dextre, J. (2010). *SEGURIDAD VIAL la necesidad de un nuevo marco teórico*. [tesis doctoral, Departamento de Geografía]. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Dextre, J. y Avellaneda, P. (2014). *Movilidad En Zonas*. PUCP - Fondo Editorial.
- FHWA - Federal Highway Administration (2004). *Traffic Analysis Toolbox Volumen III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software*. https://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysistools/tat_vol3/vol3_guidelines.pdf
- Fonseca J. (2020). *Pedestrian Behavior Modelling*. (investigación Maestría Universidade Do Porto). Extraído: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/128538/2/412400.pdf>

- García, E. y Casanova, W. (2024). *Modelación de flujos de tránsito en redes de carreteras*.
<https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=623&IdBoletin=213>
- Global Designing Cities Initiative & NACTO. (2016). *Global Street Design Guide*. IslandPress.
- Helbing, D., & Molnár, P. (1995). *Social force model for pedestrian dynamics*. *Physical Review E*, 51(5), 4282-4286. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.51.4282>
- Hoogendoorn, S. & Bovy, P. (2004). *Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models*. *Transportation Research Part B: Methodological*, 38(2), 169-190. [https://doi.org/10.1016/S0191-2615\(03\)00007-9](https://doi.org/10.1016/S0191-2615(03)00007-9)
- Howard, M. y Karlin, S. (1998). *An introduction to stochastic modeling* (third edition). San Diego: Academic press. https://appliedmath.arizona.edu/sites/default/files/0f04d86a836182cbf608dfc86c7a70f5e5f6_0.pdf
- Hurtado, A. (2015, p. 212-254). *Influencia del alumbrado público sobre la seguridad y la conducta* [tesis doctoral, Departamento de Ingeniería Civil]. Universidad de Granada. Consultado el 31 de marzo del 2024, de: <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/41093/25536461.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- J. Destre y F. Aranda. (2023). *Seguridad en Zonas Urbanas*. CIV355: Seguridad Vial. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Lima Cómo Vamos. (2021). *Reportes de indicadores – Lima Cómo Vamos*. Reporte Urbano de Indicadores de Calidad de Vida. Consultado el 31 de octubre del 2023, de: <https://www.limacomovamos.org/reportesindicadores/>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC. (2020). *MTC implementará carriles exclusivos para fomentar el uso de bicicletas - Noticias - Ministerio de Transportes y Comunicaciones - Plataforma del Estado Peruano*. Consultado el 31 de octubre del 2023, de: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/128025-mtc-implementara-carriles-exclusivos-para-fomentar-el-uso-de-bicicletas>

Montgomery County. (2021). *Montgomery county complete streets*.

https://montgomeryplanning.org/wp-content/uploads/2022/03/Montgomery-County-CSDG_Approved-2021.pdf

National Association of City Transportation Officials. (2013). *Urban Street Design Guide*. Washington: Island Press

Ogryzek, M., Adamska-Kmieć, D., y Klimach, A. (2020). *Sustainable transport: An efficient transportation network-case study*. *Sustainability* (Switzerland), 12(19). <https://doi.org/10.3390/su12198274>

Ortúzar, J. y Willumsen, L. (2011). *Modelling Transport*. <https://dl.thep.ir/Book/TransportationPlanning/Modelling%20Transport.pdf>

Park, S., Kim, B., Kang, C., Chung, C. y Choi, W. (2018). *Sequence-to-Sequence Prediction of Vehicle Trajectory via LSTM Encoder-Decoder Architecture*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1802.06338>

PTV Group. (2020). *The mind of movement*. https://cgi.ptvgroup.com/vision-help/VISSIM_2020_ENG/Content/4_BasisdatenSim/DasVerkehrsflussmodellnachWieDemann.htm?utm_source=chatgpt.com

PTV GROUP. (s.f.). *Pedestrian simulation software | PTV Viswalk | PTV Group*. 2023.

Consultado el 31 de octubre del 2023, de

<https://www.ptvgroup.com/en/products/pedestrian-simulation-software-ptv-viswalk>

PTV GROUP. (s.f.). *Traffic Simulation Software | PTV Vissim | PTV Group*. 2023.

Consultado el 31 de octubre del 2023, de <https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-vissim>

PTV Planung Transport Verkehr GmbH. (2025). *PTV Viswalk | El Software de simulación realista de peatones en múltiples entornos*. Extraído de <https://www.ptvgroup.com/es/productos/ptv-viswalk>

RACE | Real Automóvil Club de España (13 de mayo del 2022). *Diferencia entre puntos negros, tramos de concentración de accidentes y EuroRAP*. Real Automóvil Club de

España. Recuperado el 25 de diciembre del 2024 de <https://www.race.es/diferencia-puntos-negros-tramos-concentracion-accidentes-y-eurorap>

Robles, J. y Zarco, R. (2022). *Análisis y rediseño de una intersección vial de alto tránsito desde el enfoque de movilidad sostenible. Caso: intersección vial de las avenidas Brasil – San Felipe – Gral. Manuel Vivanco, Lima – Perú* [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la Pontificia Universidad Católica del Perú. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/188448>

Steinfeld, E., & Maisel, J. (2012). *Universal Design: Creating Inclusive Environments*. John Wiley & Sons.

SWOV. (2018). *Sustainable Safety 3rd edition – The advanced vision for 2018-2030* [Seguridad sostenible, 3.^a edición: la visión avanzada para el 2018-2030]. Dutch Institute for Road Safety Research. <https://swov.nl/nl/publicatie/sustainable-safety-3rd-edition-advanced-vision-2018-2030>

TomTom International BV. (s.f.). *Lima traffic report | TomTom Traffic Index*. Recuperado el 2 de septiembre de 2023, de <https://www.tomtom.com/traffic-index/lima-traffic/>

Transportation Research Board [TRB], (2000). *Highway Capacity Manual* (National Academy of Sciences, Library of Congress Cataloging in Publication Data). ISBN 0-309-06681-6

Uliana, N., Baruzzi, A. y Galarraga, J. (2021). *Calibración del modelo Vissim de intersecciones en autovías de la Provincia de Córdoba*. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/view/32206/35535>

Wyner A. (2023). *Sustainable Safety: The Dutch approach to safe road design [Seguridad sostenible: el enfoque holandés para el diseño de carreteras seguras]*. Recuperado el 20 de enero del 2025 de <https://il.boell.org/en/2023/03/29/sustainable-safety-dutch-approach-safe-road-design>

Zhou, S., Zheng, S., Tian, J., Jiang, R., y Zhang, M. (2025). *Twenty-Five Years of the Intelligent Driver Model: Foundations, Extensions, Applications and Future Directions*. <https://arxiv.org/abs/2506.05909>

Anexo A

Tabla A1

Lista de chequeo empleada en la metodología

LISTA DE CHEQUEO DE UNA INTERSECCIÓN									
	FASE DE OPERACION	Configuración y volúmenes	RESPUESTA			Grupo de carril	OBSERVACIONES	EVIDENCIA	
			SI	NO	N/A				
DISEÑO GEOMÉTRICO	1	¿La configuración de la intersección permite que los conductores manobren en ella de manera segura?							
	2	¿El diseño de la intersección contempla la circulación de todo tipo de vehículos?							
	3	¿Hay vehículos de carga?							
	4	¿Hay vehículos antiguos?							
	5	¿Hay transporte público?							
	7	¿Hay motocicletas?							
	8	¿Hay ciclistas?							
	10	¿Los volúmenes vehiculares, en horas punta, exceden la capacidad de la intersección?							
	Accesos								
	11	¿Los carriles de los accesos están alineados con los carriles de salida?							
12	¿Existen accesos oblicuos?								
13	¿Se registró que alguno de los accesos se encuentra cerca de una curva?								
Curvas									
14	¿Los radios de giro y los anchos de calzada en las esquinas permiten la circulación de vehículos de gran tamaño?								
Sección Transversal									
17	¿Se registró pendientes verticales que pueden producir patinazos?								
19	¿Existen elementos que obstruyan el flujo vehicular?								
Visibilidad									
21	¿La configuración de la intersección obstruye la visibilidad del conductor?								
22	¿La percepción del conductor se ve afectada por el estrechamiento del acceso?								
23	¿La visibilidad lateral del conductor no es obstruida por ningún elemento?								
24	¿La visibilidad de los refugios peatonales es clara para los conductores?								
27	¿El pavimento está libre de estancamiento de aguas o baches que puedan causar problemas de seguridad?								
ESTADO DEL PAVIMENTO	Horizontal								
	32	¿Si existe un colegio, la línea de "Zona Escolar" está correctamente ubicada y es visible en la intersección?							
	33	¿En todos los accesos se cuenta con demarcaciones de carriles y flechas direccionales, y estas son claramente visibles?							
	35	¿La demarcación es la correcta y uniforme?							
	40	¿Las cebras peatonales están debidamente ubicadas y elaboradas?							
	Vertical								
	41	¿Todas las señales verticales de regulación, advertencia o información son necesarias y visibles?							
	43	¿Todas las señales están correctamente ubicadas o no obstruyen en la visibilidad del conductor?							
	45	¿Las señales verticales son retroreflectantes o están iluminadas satisfactoriamente?							
	46	¿Se usan las señales de "Pare" y "Ceda el paso" correctamente?							
48	¿Las señales verticales muestran con claridad el mensaje?								
49	¿La distancia del punto de decisión a la señal vertical es la adecuada según la velocidad de operación?								
SEÑALIZACIÓN	50	¿Los semáforos son completamente visibles por todos los usuarios desde cualquier ángulo?							
	52	¿La configuración de semáforos es la misma en todos los accesos?							
	53	¿La distribución de verdes está de acuerdo con la distribución de tránsito?							
	54	¿Los semáforos se encuentran en buen estado?							
	55	¿Los semáforos se encuentran correctamente ubicados?							
	56	¿Los semáforos están ubicados donde el caso y la salida del sol causan problemas de deslumbramiento?							
SEMAFORIZACIÓN	Iluminación en caso se vaya de noche								
	57	¿La iluminación de la intersección permite identificar la misma de noche?							
	58	¿Algunas características de la vía interrumpen total o parcialmente la iluminación?							
	59	¿La iluminación nocturna de las señales es de alta calidad?							
	60	¿Los postes de alumbrado son un riesgo al borde de la vía?							
	61	¿Es necesario la implementación de iluminación especial?							
	62	¿Hay conflicto entre la iluminación, los semáforos y señales verticales?							
	Valles Petonales								
	64	¿Se cuenta con valles peatonales a las afueras del colegio aldaño?							
	67	¿Están correctamente instaladas las valles peatonales?							
Elementos Viales									
68	¿El surdín se encuentra en buen estado?								
69	¿Se cuenta con veredas que protejan al flujo peatonal?								
70	¿Las veredas se encuentran en buen estado?								
MOBILIARIO VIAL	Cruces peatonales, en caso existieran estos elementos								
	71	¿Los cruces peatonales están debidamente señalizados?							
	72	¿La mediana cuenta con las dimensiones adecuadas para alojar la cantidad de peatones permisible?							
	73	¿La mediana de cruce se encuentra en buen estado?							
	Estacionamientos en calada								
	75	¿Los vehículos se estacionan en la calada de la intersección?							
	76	¿Existen estacionamientos que no quitan terreno a la calada?							
	77	¿Son suficientes las restricciones del estacionamiento cerca de la intersección?							
	Transporte Público								
	78	¿Los paraderos de buses están localizados de forma segura?							
79	¿Los paraderos de buses se encuentran en buen estado y tiene el espacio necesario para cubrir la demanda?								
Vehículos pesados									
82	¿Los vehículos pesados tienen restringido algún acceso de la intersección?								
83	¿Existen rutas alternas para el desvío del tránsito de vehículos pesados?								
Ciclistas, en caso existieran									
84	¿Los ciclistas respetan las líneas de cruce peatonal?								
85	¿El ancho de la ciclo vía es adecuado para el número de ciclistas que usa la ruta?								
86	¿La alineación y sección transversal son adecuadas para la operación de los ciclistas?								
USUARIOS VULNERABLES	Peatones								
	87	¿La configuración de la intersección identifica de manera clara los derechos preferentes de pasos y prioridades de peatones?							
	90	¿Los peatones respetan las líneas de cruce peatonal?							

Nota. Elaboración propia.

Anexo B

Figura B1. Fotografía durante la realización de la entrevista a un peatón de la intersección de estudio.

Listado de preguntas de la entrevista de seguridad vial aplicada**1.- Edad:**

10-20 años

20-40 años

40-60 años

60-80 años

Otro (especifique):

2.- Género:

Masculino

Femenino

Otro

3.- Origen:**4.- Destino:****5.- Propósito de viaje:**

Trabajo

Estudio

Diversión y ocio

Exploración cultural

Otro (especifique):

6.- Frecuencia de viaje y cruce por la intersección:

A diario

Semanal

Mensual

Ocasional

Raras veces

7.- Modo de transporte principal al cruzar la intersección:

A pie

Bicicleta y/o motocicleta

Automóvil

Transporte público

Otro (especifique):

8.- ¿Cuán fácil e intuitivo es para usted movilizarse a través de la intersección?

Muy fácil

Fácil

Ni fácil, ni complicado

Complicado

Muy complicado

9.- ¿Cuán seguro se siente usted al cruzar la intersección? Entiéndase por seguridad la no exposición a riesgos y peligros, y la no ocurrencia de accidentes de tránsito.

Muy seguro/a

Seguro/a

Ni seguro/a, ni inseguro/a

Inseguro/a

Muy inseguro/a

10.- ¿Qué sensación negativa percibe usted al cruzar la intersección?

Miedo

Estrés

Ansiedad

Ira

Otro (especifique):

11.- ¿Cuál de los siguientes factores cree usted que le causa la sensación descrita en el apartado anterior?

Exceso de velocidad

Falta de señalización horizontal y/o vertical

Mal diseño de la intersección

Conducción agresiva

Mal estado de la intersección

Otro (especifique):

12.- Recomendaciones para mejorar la seguridad al cruzar la intersección. Es posible marcar más de una opción.

Reducción de la velocidad máxima permitida

Rediseño de la infraestructura vial de la intersección (geometría vial, señalización y semaforización)

Mayor presencia policial para hacer respetar las normas de tránsito

Campañas de concientización de conductores y peatones

Otro (especifique):



Anexo C

Tabla C1

Parámetro de campo sobre geometría, volumen y ciclo semafórico en escenario actual

HOJA DE TRABAJO ESTADO ACTUAL													
Información general						Información del lugar							
Analistas	: Bécquer Melgarejo / Frank Camargo					Intersección	: av. Julio Sumary y av. Mariscal Castilla						
Tópico	: Tesis titulación PUCP					Tipo de área	: <input checked="" type="checkbox"/> CBD		: <input type="checkbox"/> Other				
Fecha	: 05/03/2025					Departamento	: Huancayo						
Periodo de análisis:	8:00-9:00 am					Año	: 2025						
Geometría de intersección													
Volumen y tiempo - Datos de campo													
	ACCESO N			ACCESO E			ACCESO S			ACCESO O			
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	
Volumen crítico, V (veh/h)	40	244	12	16	1160	4	332	124	28	128	1620	4	
% transp. Pesado, %HV	3%			5%			3%			5%			
Pretimed (P) or actuated (A)	P			P			P			P			
Start-up lost time, I _l (s)													
Parada de buses, NB (buses/h)		49			75			50			32		
Estacionamiento (Y or N)		Y			N			Y			N		
Maniobras de estacionamiento, Nm (man. /h)		0			0			0			0		
Volumen de Peatones que cruzan, vped (p/h)		93			332			89			29		
Fases de Semaforización - Campo													
DIAGRAMA													
Tiempo:	Verde = 60s Ámbar = 3s Todo rojo = 2s			Verde = 30s Ámbar = 3s Todo rojo = 2s									
Ciclo semafórico = 100s													

Nota. Elaboración propia.

Tabla C2

Flujo de saturación y factores de corrección en escenario actual

HOJA DE TRABAJO ESTADO ACTUAL												
Información general						Información del lugar						
Analistas	: Bécquer Melgarejo / Frank Camargo					Intersección	: av. Julio Sumar y av. Mariscal Castilla					
Tópico	: Tesis titulación PUCP					Tipo de área	: <input checked="" type="checkbox"/> CBD <input type="checkbox"/> Other					
Fecha	: 05/03/2025					Departamento	: Huancayo					
Periodo de análisis:	8:00-9:00 am					Año	: 2025					
Flujo de Saturación												
Volumen y tiempo - Datos de campo												
Número de fase	2			1			2			1		
	ACCESO N			ACCESO E			ACCESO S			ACCESO O		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volumen crítico, V (veh/h)	40	244	12	16	1160	4	332	124	28	128	1620	4
Grupo de carril												
Demanda crítica en el grupo de carriles, v (veh/h)	296			1180			484			1752		
Proporción de LT o RT	0.1351			0.0136			0.686			0.0731		
% transp. Pesado, % HV	3%			5%			3%			5%		
Pretimed (P) or actuated (A)	P			P			P			P		
Parada de buses, NB (buses/h)	61			75			53			28		
Estacionamiento (Y or N)	Y			N			Y			N		
Maniobras de estacionamiento, Nm (man./h)	0			0			0			0		
Volumen de Peatones que cruzan, vped (p/h)	93			332			89			29		
Flujo de saturación y factores de corrección												
Flujo de saturación de base, So (veh/h/carr)	1900			1900			1900			1900		
Número de carriles, N	1			2			1			1		
Factor de ajuste del ancho del carril, fw	1,061			1,006			1,014			1,022		
Factor de ajuste de vehículos pesados, FHV	0,971			0,952			0,971			0,952		
Factor de ajuste por pendiente del acceso, fg	1,025			0,995			0,965			1,005		
Factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carril, fp	1			1			1			1		
Factor de ajuste por bloqueo de buses que se detienen en la intersección, fbb	0,756			0,850			0,801			0,795		
Factor de ajuste por tipo de área, fa	0,900			0,900			0,900			0,900		
Factor de ajuste por utilización de carril, fLU	1,000			0,978			1,000			0,983		
Factor de ajuste por giro a la izquierda en el grupo de carril, fLT	0,998			1,000			0,997			1,000		
Factor de ajuste por giro a la derecha en el grupo de carril, fRT	0,982			0,998			0,907			0,990		
Factor de ajuste por giro a la izquierda de peatones y ciclistas, fLpb	0,963			0,999			0,953			1,000		
Factor de ajuste por giro a la derecha de peatones y ciclistas, fRpb	0,891			0,997			0,844			0,984		
Flujo de saturación corregido, S (veh/h) S = So · N · fw · fHV · fg · fp · fbb · fa · fLU · fLT · fRT · fLpb · fRpb	1147			2694			947			2998		

Nota. Elaboración propia.

Tabla C3

Capacidad y Nivel de Servicio en escenario actual

HOJA DE TRABAJO ESTADO ACTUAL												
Información general						Información del lugar						
Analistas : Bécquer Melgarejo / Frank Camargo						Intersección : av. Julio Sumar y av. Mariscal Castilla						
Tópico : Tesis titulación PUCP						Tipo de área : <input checked="" type="checkbox"/> CBD <input type="checkbox"/> Other						
Fecha : 05/03/2024						Departamento : Huancayo						
Periodo de análisis: 8:00-9:00 am						Año : 2025						
Flujo de Saturación												
Capacidad de carril e intersección												
Número de fase	2			1			2			1		
	ACCESO N			ACCESO E			ACCESO S			ACCESO O		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volumen crítico, V (veh/h)	40	244	12	16	1160	4	332	124	28	128	1620	4
Grupo de carril												
Demanda crítica en el grupo de carriles, v (veh/h)	296			1180			484			1752		
Flujo de saturación corregido, S (veh/h) s = so · N · fw · fHV · fg · fp · fbb · fa · fLU · fLT · fR T · fl · pb · fRpb	1147			2694			947			2998		
Tiempo perdido, $\Pi = I + Y - e$	3			3			3			3		
Verde efectivo, g (s), $g = G + Y - tL$	30			60			30			60		
Ratio verde, g/C	0,3			0,6			0,3			0,6		
Capacidad del grupo de carriles, c = s(g/C), (veh/h)	344			1616			284			1799		
Grado de saturación por grupo, $X = v/c$	0,86			0,7300 17322			1,70			0,97		
Relación de flujo, v/s							0,51			0,58		
Grupo de carril crítico en la fase (Y o N)	N			N			Y			Y		
Suma de las relaciones de flujo para grupos de carriles críticos, $Y_c = \sum$ (grupos de carriles críticos) (v/s)							1,10					
Tiempo total perdido por ciclo, L (s)							6					
Relación caudal crítico/capacidad, X_c $X_c = (Y_c)(C)/(C - L)$							1,17					
Nivel de Servicio y tiempos de demora												
	ACCESO N			ACCESO E			ACCESO S			ACCESO O		
Grupo de carril												
Demanda crítica en el grupo de carriles, v (veh/h)	296			1180			484			1752		
Capacidad del grupo de carriles, c = s(g/C), (veh/h)	344			1616			284			1799		
Grado de saturación por grupo, $X = v/c$	0,86			0,73			1,70			0,97		
Ratio verde, g/C	0,3			0,6			0,3			0,6		
Retraso uniforme, $d1 = (s/veh)$	33,02			14,24			35,00			19,25		
Calibración de Retraso incremental, k	0,50			0,50			0,50			0,50		
Retraso incremental, $d2$ (s/veh)	23,45			2,94			331,29			15,89		
Retraso de cola inicial, $d3$ (s/veh)	0			0			0			0		
Factor de ajuste de progresión, PF	0,057			1,250			0,057			2,260		
Retraso, $d = d1(PF) + d2 + d3$ (s/veh)	25,336			20,734			333,29 3			59,394		
Nivel de Servicio por grupo de carril (LOS - GC)	C			C			F			E		
Retraso por aproximación, $dA = \sum(d)(v)/\sum v$ (s/veh)	25,3			20,7			333,2			59,4		
Nivel de servicio por Aproximación	C			C			F			E		
Demanda de aproximación, vA (veh/h)	296			1180			484			1752		
Retraso de intersección, $dI = \sum(dA)(vA)/\sum vA$ (s/veh)							80,1					
Nivel de Servicio Intersección (LOS)							F					

Nota. Elaboración propia.

Tabla C4

Parámetro de campo sobre geometría, volumen y ciclo semafórico en escenario con mejoras

HOJA DE TRABAJO ESTADO CON MEJORAS												
Información general						Información del lugar						
Analistas : Bécquer Melgarejo / Frank Camargo						Intersección : av. Julio Sumar y av. Mariscal Castilla						
Tópico : Tesis titulación PUCP						Tipo de área : <input checked="" type="checkbox"/> CBD <input type="checkbox"/> Other						
Fecha : 05/03/2025						Departamento : Huancayo						
Periodo de análisis : 8:00-9:00 am						Año : 2025						
Geometría de intersección												
Volumen y tiempo - Datos de campo												
	ACCESO N			ACCESO E			ACCESO S			ACCESO O		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volumen crítico, V (veh/h)	40	244	12	16	1160	4	332	124	28	128	1620	4
% transp. Pesado, %HV	3%			5%			3%			5%		
Pretimed (P) or actuated (A)	P			P			P			P		
Start-up lost time, I _l (s)												
Parada de buses, NB (buses/h)		49			75			50			32	
Estacionamiento (Y or N)		Y			N			Y			N	
Maniobras de estacionamiento, Nm (man./h)		0			0			0			0	
Volumen de Peatones que cruzan, vped (p/h)		93			332			89			29	
Fases de SemafORIZACIÓN - Campo												
DIAGRAMA												
Tiempo:	Verde = 45s Ámbar = 3s Todo rojo = 2s			Verde = 25s Ámbar = 3s Todo rojo = 2s								
Ciclo semafórico = 80s												

Nota. Elaboración propia.

Tabla C5









Flujo de saturación y factores de corrección en escenario de mejoras

HOJA DE TRABAJO ESTADO CON MEJORAS												
Información general						Información del lugar						
Analistas : Bécquer Melgarejo / Frank Camargo						Intersección : av. Julio Sumar y av. Mariscal Castilla						
Tópico : Tesis titulación PUCP						Tipo de área : <input checked="" type="checkbox"/> CBD <input type="checkbox"/> Other						
Fecha : 05/03/2025						Departamento : Huancayo						
Periodo de análisis: 8:00-9:00 am						Año : 2025						
Flujo de Saturación												
Volumen y tiempo - Datos de campo												
Número de fase	2			1			2			1		
	ACCESO N			ACCESO E			ACCESO S			ACCESO O		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volumen crítico, V (veh/h)	40	244	12	16	1160	4	332	124	28	128	1620	4
Grupo de carril												
Demanda crítica en el grupo de carriles, v (veh/h)	296			1180			484			1752		
Proporción de LTo RT	0.1351		0.0405	0.0136		0.9831	0.686		0.0579	0.0731		0.0023
% transp. Pesado, %HV	3%			5%			3%			5%		
Pretimed (P) or actuated (A)	P			P			P			P		
Parada de buses, NB (buses/h)	49			75			53			32		
Estacionamiento (Y or N)	Y			N			Y			N		
Maniobras de estacionamiento, Nm (man./h)	0			0			0			0		
Volumen de Peatones que cruzan, vped (p/h)	93			332			89			29		
Flujo de saturación y factores de corrección												
Flujo de saturación de base, So (veh/h/carr)	1900			1900			1900			1900		
Número de carriles, N	1			2			1			1		
Factor de ajuste del ancho del carril, fw	0.967			0.956			0.967			0.956		
Factor de ajuste de vehículos pesados, FHV	0.971			0.952			0.971			0.952		
Factor de ajuste por pendiente del acceso, fg	1.025			0.995			0.965			1.005		
Factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carril, fp	1			1			1			1		
Factor de ajuste por bloqueo de buses que se detienen en la intersección, fbb	0.756			0.85			1			0.9356		
Factor de ajuste por tipo de área, fa	0.9			0.9			0.9			0.9		
Factor de ajuste por utilización de carril, fLU	1			0.978			1			0.9831 64983		
Factor de ajuste por giro a la izquierda en el grupo de carril, fLT	0.998			1.000			0.997			1.000		
Factor de ajuste por giro a la derecha en el grupo de carril, fRT	0.982			0.998			0.907			0.990		
Factor de ajuste por giro a la izquierda de peatones y ciclistas, fLpb	0.966			0.999			0.957			0.999		
Factor de ajuste por giro a la derecha de peatones y ciclistas, fRpb	0.900			0.997			0.857			0.983		
Flujo de saturación corregido, S (veh/h) S = So · N · fw · fHV · fg · fp · fbb · fa · fLU · fLT · fRT · fLpb · fRpb	1059			2559			1150			2799		

Nota. Elaboración propia.

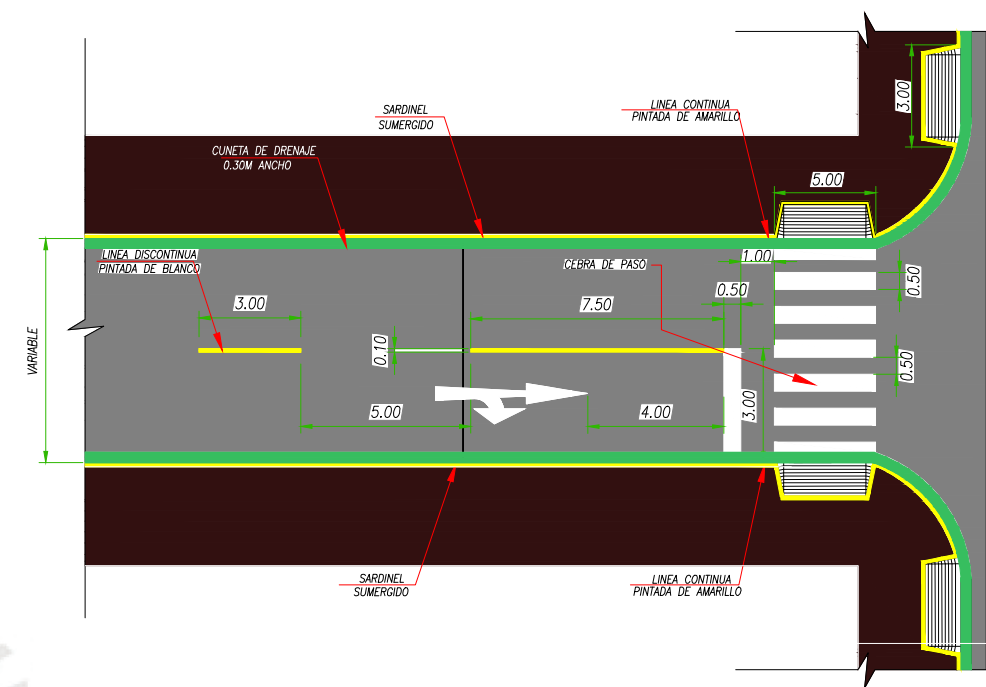
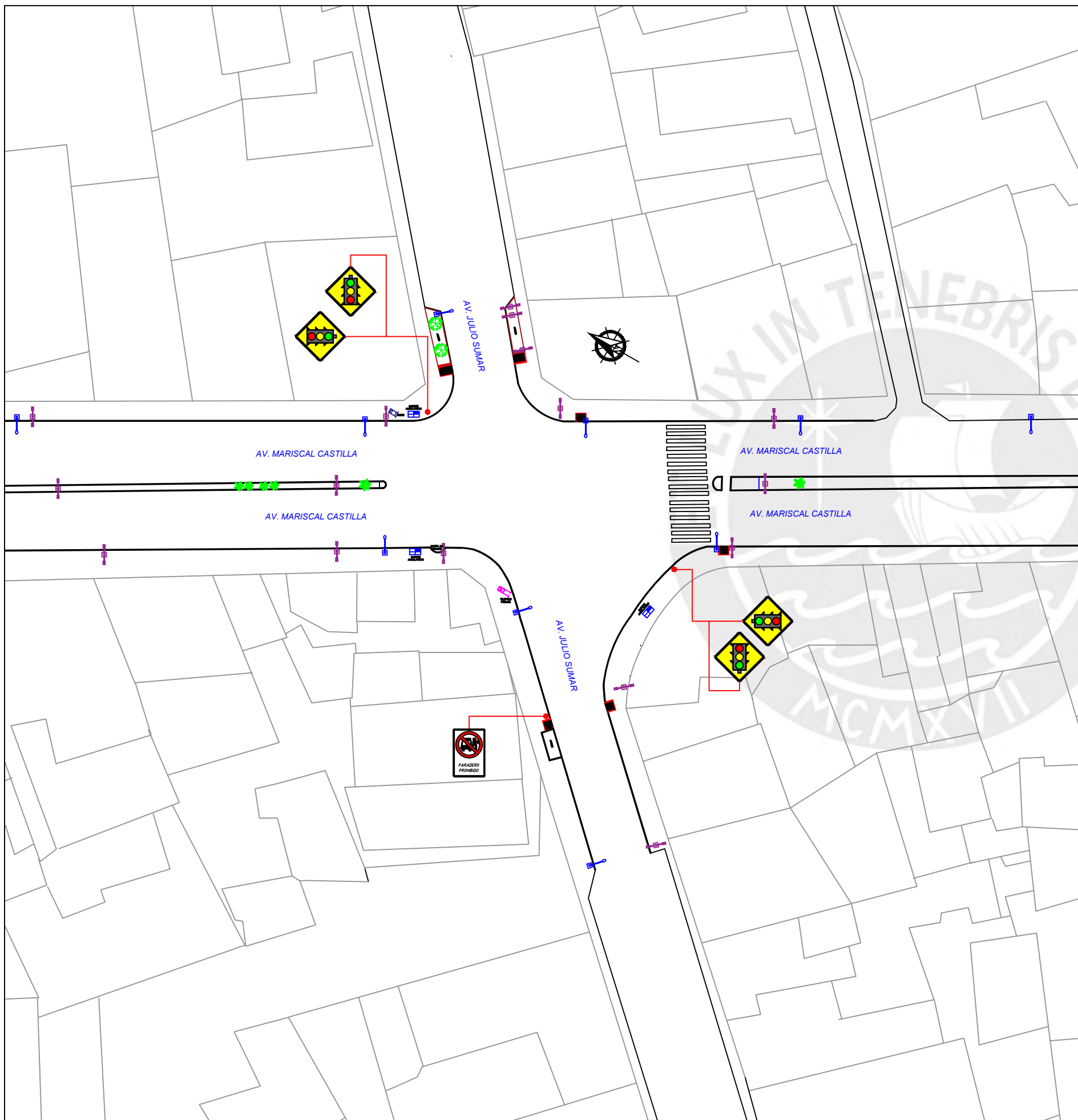
Tabla C6

Capacidad y Nivel de Servicio en escenario de mejoras

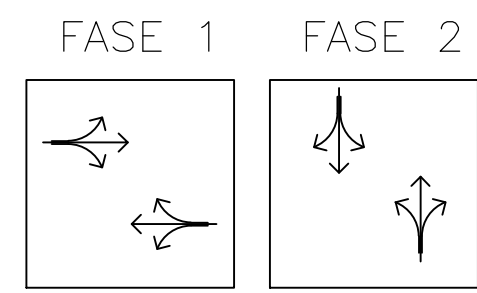
HOJA DE TRABAJO ESTADO CON MEJORAS												
Información general						Información del lugar						
Analistas	: Bécquer Melgarejo / Frank Camargo					Intersección	: av. Julio Sumar y av. Mariscal Castilla					
Tópico	: Tesis titulación PUCP					Tipo de área	: <input checked="" type="checkbox"/> CBD <input type="checkbox"/> Other					
Fecha	: 05/03/2025					Departamento	: Huancayo					
Periodo de análisis:	: 8:00-9:00 am					Año	: 2025					
Flujo de Saturación												
Volumen y tiempo - Datos de campo												
Número de fase	2			1			2			1		
	ACCESO N			ACCESO E			ACCESO S			ACCESO O		
	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT	LT	TH	RT
Volumen crítico, V (veh/h)	40	244	12	16	1160	4	332	124	28	128	1620	4
Grupo de carril												
Demanda crítica en el grupo de carriles, v (veh/h)	296			1180			484			1752		
Flujo de saturación corregido, S (veh/h) s = so · N · fw · fHV · fg · fp · fbb · fa · fLU · fLT · fR T · flpb · fRpb	1062			2559			1152			2797		
Tiempo perdido, Π=Π1+Y·e	2			2			2			2		
Verde efectivo, g (s), g=G+Y-tL	26			46			26			46		
Ratio verde, g/C	0,330			0,580			0,330			0,580		
Capacidad del grupo de carriles, c = s(g/C), (veh/h)	350			1484			380			1623		
Grado de saturación por grupo, X= v/c	0,845			0,795			1,273			1,080		
Relación de flujo, v/s							0,420			0,626		
Grupo de carril crítico en la fase (Y o N)	N			N			Y			Y		
Suma de las relaciones de flujo para grupos de carriles críticos, Yc= Σ (grupos de carriles críticos) (v/s)							1.05					
Tiempo total perdido por ciclo, L (s)							4					
Relación caudal crítico/capacidad, Xc Xc = (Yc)(C)/(C - L)							1.13					
Flujo de saturación y factores de corrección												
	ACCESO N			ACCESO E			ACCESO S			ACCESO O		
Grupo de carril												
Demanda crítica en el grupo de carriles, v (veh/h)	296			1180			484			1752		
Capacidad del grupo de carriles, c = s(g/C), (veh/h)	350			1484			380			1623		
Grado de saturación por grupo, X= v/c	0,84			0,80			1,27			1,08		
Ratio verde, g/C	0,33			0,58			0,33			0,58		
Retraso uniforme, d1 = (s/veh)	24,90			13,10			26,80			16,80		
Calibración de Retraso incremental, k	0,5			0,5			0,5			0,5		
Retraso incremental, d2 (s/veh)	21,42			4,49			142,05			47,30		
Retraso de cola inicial, d3 (s/veh)	0			0			0			0		
Factor de ajuste de progresión, PF	0,03			0,67			0,06			1,00		
Retraso, d = d1(PF) + d2 + d3 (s/veh)	22,17			13,22			143,65			64,12		
Nivel de Servicio por grupo de carril (LOS - GC)	C			B			F			E		
Retraso por aproximación, dA = Σ(d)(v)/Σv (s/veh)	22,17			13,22			143,65			64,12		
Nivel de servicio por Aproximación	C			B			F			E		
Demanda de aproximación, vA (veh/h)	296			1180			484			1752		
Retraso de intersección, dI =Σ(dA)(vA)/ΣvA (s/veh)							54,96					
Nivel de Servicio Intersección (LOS)							D					

Nota. Elaboración propia.

Anexo D



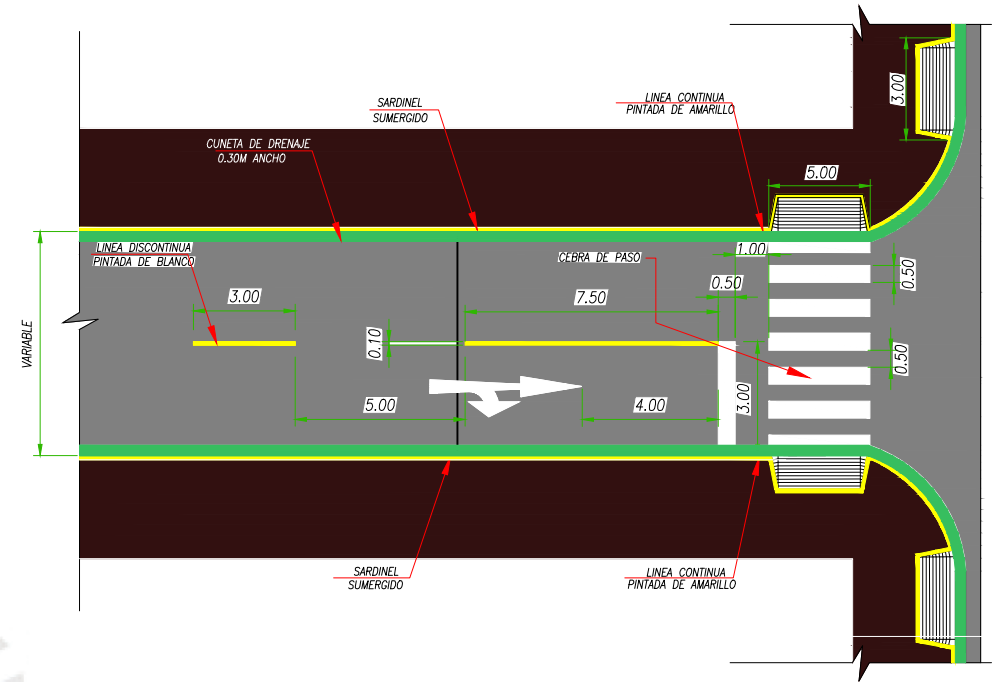
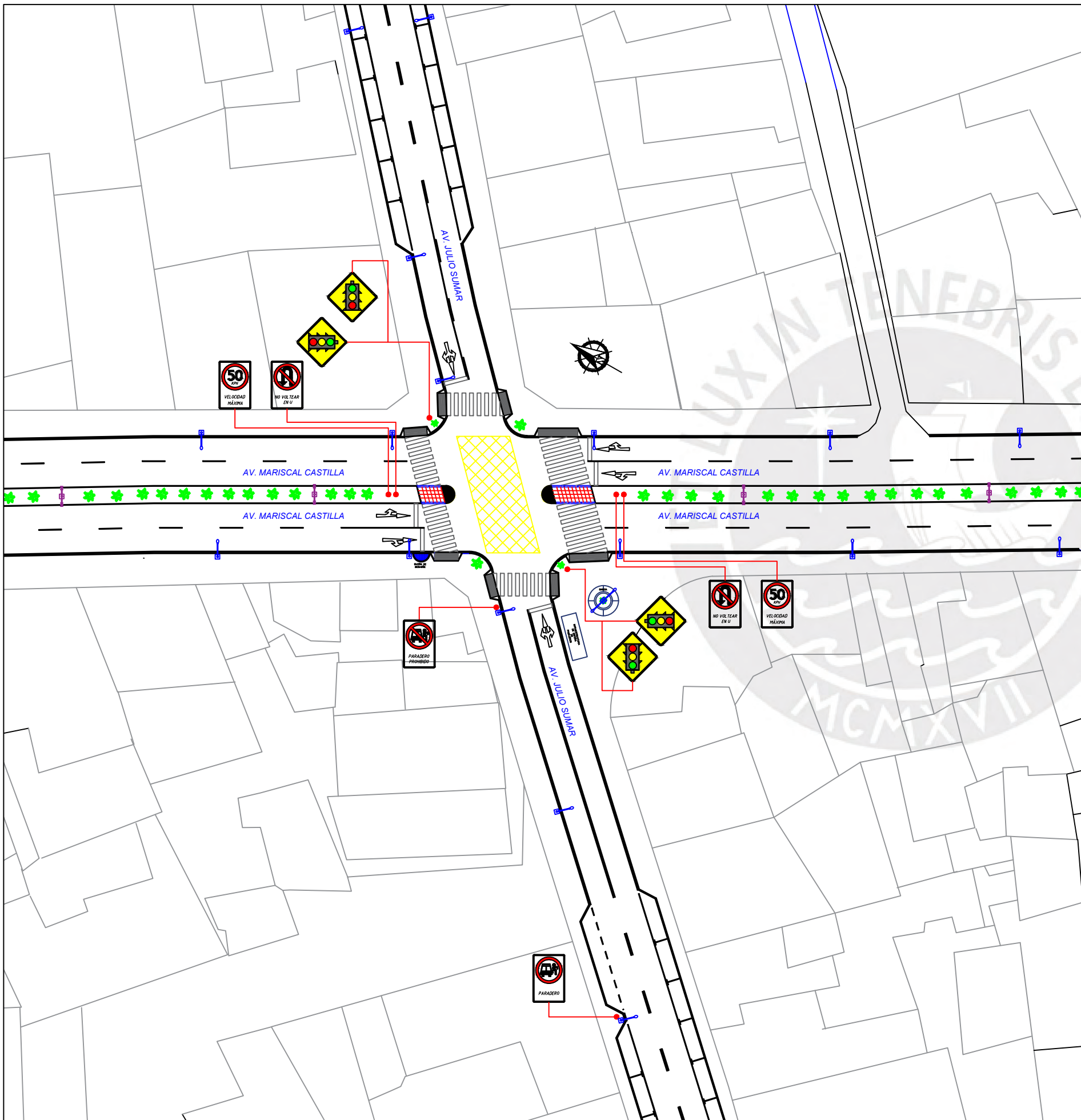
LEYENDA	
POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO	
POSTE DE CABLEADO ELÉCTRICO	
PLANTA H = 0.30 m	
CARRITO AMBULATORIO	
TACHO DE BASURA	
TELÉFONO PÚBLICO	



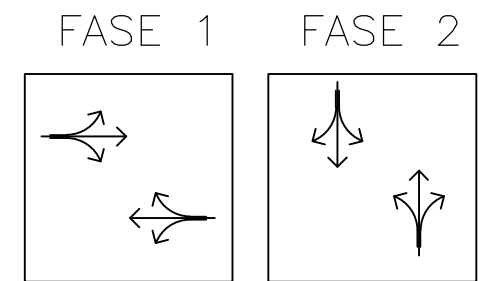
CICLO SEMAFÓRICO (100 s)



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Facultad de Ciencias e Ingeniería sección Ingeniería Civil				
Plano: PLANO DEL ESCENARIO ACTUAL DE LA INTERSECCIÓN				
Integrantes: MELGAREJO LÓPEZ, BÉCQUER AMÍLCAR - (20196055) ROJAS CAMARGO, FRANK ANYELO - (20195592)				
Asesor:	Departamento:	Provincia:	Distrito:	Lámina:
Ing. Juan Dextre	Junín	Huancayo	El Tambo	A-01
Coasesor:	Ubicación:	Escala:	Fecha:	
Ing. Fiorela Aranda	Intersección Av. Marical Castilla y Av. Julio Sumar	1:1500	Noviembre - 2025	



LEYENDA	
POSTE DE ALUMBRADO PÚBLICO	
POSTE DE CABLEADO ELÉCTRICO	
PLANTA H = 0.30 m	
CARRITO AMBULATORIO	
TACHO DE BASURA	
TELÉFONO PÚBLICO	



CICLO SEMAFÓRICO (80 s)



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ Facultad de Ciencias e Ingeniería sección Ingeniería Civil				
Plano:				
PLANO DEL ESCENARIO CON MEJORAS DE LA INTERSECCIÓN				
Integrantes:				
MELGAREJO LÓPEZ, BÉCQUER AMILCAR - (20196055) ROJAS CAMARGO, FRANK ANYELO - (20195592)				
Asesor:	Departamento:	Provincia:	Distrito:	Lámina:
Ing. Juan Dextre	Junín	Huancayo	El Tambo	A-02
Coasesor:	Ubicación:	Escala:	Fecha:	
Ing. Fiorela Aranda	Intersección Av. Mariscal Castilla y Av. Julio Sumar	1:1500	Noviembre - 2025	

Anexo E



Figura E1. Vista en planta del escenario actual.

Nota. Elaboración propia. Modelo tridimensional generado en Twinmotion.



Figura E2. Vista isométrica del escenario actual: Acceso Este.

Nota. Elaboración propia. Modelo tridimensional generado en Twinmotion.



Figura E3. Vista isométrica del escenario actual: Acceso Oeste.

Nota. Elaboración propia. Modelo tridimensional generado en Twinmotion.



Figura E4. Vista isométrica del escenario actual: Acceso Sur.

Nota. Elaboración propia. Modelo tridimensional generado en Twinmotion.



Figura E5. Perspectiva a nivel de peatón en la intersección: Escenario actual.

Nota. Elaboración propia. Modelo tridimensional generado en Twinmotion.



Figura E6. Vista panorámica y vista en elevación de la dinámica peatonal en el escenario actual (Escena nocturna).

Nota. Elaboración propia. Modelo tridimensional generado en Twinmotion.



Figura E7. Vista en planta del escenario con mejoras: Accesos Este – Oeste.

Nota. Elaboración propia. Modelo tridimensional generado en Twinmotion.



Figura E8. Vista en planta del escenario con mejoras: Accesos Norte - Sur.

Nota. Elaboración propia. Modelo tridimensional generado en Twinmotion.



Figura E9. Perspectiva a nivel de peatón en la intersección: Escenario con mejoras.

Nota. Elaboración propia. Modelo tridimensional generado en Twinmotion.



Figura E10. Vista isométrica del escenario con mejoras: Acceso Este.

Nota. Elaboración propia. Modelo tridimensional generado en Twinmotion.



Figura E11. Vista isométrica del escenario con mejoras: Acceso Oeste.
Nota. Elaboración propia. Modelo tridimensional generado en Twinmotion.



Figura E12. Vista isométrica del escenario con mejoras: Acceso Sur.
Nota. Elaboración propia. Modelo tridimensional generado en Twinmotion.



Figura E13. Vista panorámica y vista en elevación de la dinámica peatonal en el escenario actual (Escena nocturna).

Nota. Elaboración propia. Modelo tridimensional generado en Twinmotion.