

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**REDISEÑO VIAL CON PRIORIDAD EN TRANSPORTE SOSTENIBLE
Y MICROSIMULACIÓN DE LA AV. DOS DE MAYO – CALLAO
ENTRE LA AVENIDA SÁENZ PEÑA Y CALLE MONTEAGUDO**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Miguel Alberto Calderon Pintado

ASESOR:

Félix Israel Cabrera Vega

Lima, Agosto, 2023

Informe de Similitud

Yo, Felix Cabrera Vega docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis titulada “Rediseño Vial con Prioridad en Transporte Sostenible y Micro simulación de la Av. Dos de Mayo – Callao entre la avenida Sáenz Peña y calle Monteagudo”, del autor Miguel Alberto Calderón Pintado, 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 26/07/2023.
- 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: Lima, 26 de julio 2023

Apellidos y nombres del asesor <u>Cabrera Vega Felix Israel</u>	
DNI: 22309049	Firma 
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1917-9840	

RESUMEN

Durante las medidas de restricción impuestas a causa de la pandemia por COVID-19, el uso de medios de transporte sostenible aumentó; ello dejó en evidencia que el diseño vial de las principales avenidas no estaban preparadas para dicho aumento de demanda; por el contrario, el diseño vial actual prioriza el uso de las vías para el transporte automotor. En este caso, una de las principales vías del Callao, la avenida Dos de Mayo, presente este diseño vial poco eficiente y seguro para los transeúntes y ciclistas.

La presente tesis plantea una mejora de las condiciones actuales de accesibilidad, circulación y sostenibilidad en la avenida Dos de Mayo, entre la avenida Sáenz Peña y la calle Monteagudo, en el Callao, considerando prioridad para el peatón y el ciclista. Para ello, se presenta un enfoque práctico e investigativo cualitativo. Se analizaron los datos geométricos y de tránsito en esta avenida, así como una aproximación histórica del contexto; con ello, se plantea una revisión técnica y normativa del estado actual; y se formula una propuesta de rediseño vial, la cual es evaluada mediante la microsimulación en el programa PTV Vissim.

A partir de la evaluación mediante microsimulación del rediseño propuesto, para la intersección de la avenida Dos de Mayo con la avenida Sáenz Peña, se observan mejoras en términos de accesibilidad y seguridad para el transporte sostenible; sin embargo, se presentan ligeros efectos secundarios sobre la longitud máxima de cola para el transporte vehicular; por tanto, en el proceso de priorización al transporte sostenible, se deben considerar también medidas de mitigación de estos efectos sobre el transporte automotor. De este modo, se concluye principalmente que, dada la tendencia de aumento en la demanda de medios de transporte sostenible, se debe considerar la masificación de rediseños viales enfocados en la priorización de medios de transporte sostenible, pero presentando medidas de mitigación de los efectos secundarios en el tránsito automotor durante el proceso de transición.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por ayudarme a mantener el enfoque y darme las fuerzas necesarias. A mis padres, por su indescriptible esfuerzo para darme las condiciones de haber llegado hasta acá, por su enorme apoyo y comprensión durante estos años, por su confianza y amor, por ser ejemplo de vida y porque sé que siempre serán mi luz en momentos de oscuridad. A mi familia, porque cada uno forma parte importante de mi vida y, de alguna manera, influyeron en construir lo que soy como profesional y como persona. A mi novia, Gabriela, por haberme apoyado estos meses de trabajo constante y ser un importante soporte en esta etapa de mi vida.

Miguel Alberto Calderón Pintado



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
1. Generalidades	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivo general	1
1.3 Objetivos específicos.....	2
1.4 Justificación.....	2
1.5 Alcance.....	2
2. Revisión de la literatura	3
2.1 Espacios públicos	3
2.1.1 Aproximación teórica.....	3
2.1.2 Dimensiones del espacio público	3
2.1.3 Espacio público y movilidad	6
2.2 Movilidad sostenible	8
2.2.1 Aproximación teórica.....	8
2.2.2 Principales retos de la movilidad sostenible.....	9
2.2.3 El uso de la bicicleta como alternativa sostenible	10
2.3 Diseño vial urbano	13
2.3.1 Aproximación teórica.....	13
2.3.2 Dimensiones de los componentes de las vías urbanas.....	14
2.3.3 Intersecciones en vías urbanas	14
2.4 Gestión semafórica.....	16
2.4.1 Fundamentos teóricos de semaforización.....	16
2.4.2 Tipos de semáforos según su uso	17
2.4.3 Implementación y configuración del ciclo semafórico	18
2.5 Marco normativo.....	20
2.5.1 Diseño urbano	21
2.5.2 Dispositivos de control del tránsito	21
2.5.3 Regulación del uso de la bicicleta	21
2.5.4 Mantenimiento vial	22
2.6 Microsimulación en Vissim	23
2.6.1 Fundamentos teóricos.....	23
2.6.2 Finalidad.....	24
2.6.3 Modelos de tránsito	24
2.6.4 Calibración y validación del modelo.....	27
2.6.5 Criterios de análisis de resultados	28

3.	Metodología	29
3.1	Levantamiento de datos.....	29
3.2	Procesado de datos	30
3.3	Análisis general de caso de estudio.....	31
3.4	Propuestas de mejora.....	33
3.5	Microsimulación.....	34
3.5.1	Selección de intersección a modelar	34
3.5.2	Desarrollo de modelo	35
3.5.3	Calibración y validación del modelo.....	35
3.5.4	Análisis de parámetros de eficiencia actuales	36
3.5.5	Desarrollo de modelo de propuesta de mejora	36
3.5.6	Análisis comparativo de parámetros de eficiencia	37
4.	Caso de Estudio: Av. Dos de Mayo - Callao	38
4.1	Introducción: Av. Dos de Mayo.....	38
4.2	Recolección y análisis de datos geométricos y de composición vial	41
4.3	Observación y análisis de estado de la infraestructura vial.....	46
5.	Propuestas de mejora en la Av. Dos de Mayo.....	51
5.1	Mejoras en el diseño vial urbano.....	51
5.2	Mejoras para actividades y usos del espacio	59
5.3	Mejoras de seguridad vial	64
6.	Microsimulación de intersección de Av. 2 de Mayo con Av. Sáenz Peña.....	66
6.1	Modelo de microsimulación.....	66
6.1.1	Modelo base de estado actual de la intersección	66
6.1.2	Composición y demandas vehiculares y ciclistas.....	67
6.1.3	Fases semafóricas	69
6.1.4	Parámetros de eficiencia.....	71
6.2	Calibración y validación del modelo.....	71
6.2.1	Tiempos de viaje vehicular.....	71
6.2.2	Calibración	73
6.2.3	Validación	76
6.3	Problemas hallados.....	77
6.4	Implementación de mejoras en el modelo	79
6.5	Análisis y comparación de parámetros de eficiencia	80
7.	Análisis de resultados.....	84
8.	Conclusiones y recomendaciones	86
9.	REFERENCIAS	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de espacio público.....	4
Figura 2. Ejemplo de expresión política en espacio público.....	4
Figura 3. Ejemplo de uso social en espacios públicos.	5
Figura 4. Ambulantes apropiándose del espacio público	5
Figura 5. Manifestación cultural en espacio público.....	6
Figura 6. Espacio público ganado para el peatón.....	7
Figura 7. Uso recreativo de la bicicleta.an	10
Figura 8. Ejemplo de ciclocarril para bicicletas.....	11
Figura 9. Ejemplo de ciclo acera en Lima	11
Figura 10. Ejemplo de infraestructura de ciclo vía en Lima.....	12
Figura 11. Ejemplo de carril compartido ciclista con automóviles.....	12
Figura 12. Ejemplo de diagrama de fases para semáforo.....	20
Figura 13. Ejemplo de modelo de simulación en el programa PTV Vissim.....	24
Figura 14. Ejemplo de submodelo de seguimiento vehicular usado en PTV Vissim.....	26
Figura 15. Esquema del modelo de seguimiento vehicular.....	26
Figura 16. Tramo de la av. Dos de mayo en el Callao.....	32
Figura 17. Avenida 2 de mayo.....	38
Figura 18. Plano de principales edificaciones en la avenida 2 de mayo.	39
Figura 19. Mapa de índice de criminalidad en el distrito del Callao.....	40
Figura 20. Mapa de delimitación de área de estudio.....	40
Figura 21. Sección vial de la avenida 2 de mayo.....	41
Figura 22. Paradero existente en la avenida 2 de mayo.....	42
Figura 23. Esquema resumen de análisis de datos geométricos y composición vial.....	45
Figura 24. Pavimento rígido existente.	46
Figura 25 y 26. Estado de conservación de veredas.	46
Figura 27. Daño en sardinel de concreto y áreas verdes producto de cruce peatonal informal frente a Poder Judicial.....	47
Figura 28. Daño en áreas verdes producto de cruce peatonal informal.....	47
Figura 29. Cruce peatonal sin mantenimiento ni repintado.....	48
Figura 30. Señal vertical faltante frente a Poder Judicial.	48
Figura 31. Esquema resumen de análisis de estado de infraestructura vial.	50
Figura 32. Estado actual de la cuadra 1 de la avenida 2 de mayo.	52
Figura 33. Propuesta de rediseño de la avenida 2 de mayo.....	52
Figura 34. Inclusión de ciclo vía segregada en mediana de la Av. 2 de Mayo.	55
Figura 35. Imagen referencial de implementación de paradero.	55
Figura 36. Materiales para cada tipo de pavimento.....	56
Figura 37. Ruta de baldosas podotáctiles.....	57
Figura 38. Semáforo vibratorio para invidentes.	57

Figura 39. Sección vial actual de la avenida 2 de mayo.	58
Figura 40. Sección vial típica propuesta de la avenida 2 de mayo.	58
Figura 41. Árboles mayores a 2.20 m. que delimitan mediana.	59
Figura 42. Banca de parque con cobertura de madera individual.	60
Figura 43. Imagen referencial de anfiteatro a implementar.	62
Figura 44. Visualización 3D de gimnasio al aire libre a implementar en Av. 2 de Mayo. ..	62
Figura 45. Plano de rediseño de zona de juegos infantiles a implementar en Av. 2 de Mayo.....	63
Figura 46. Aplicación de semáforo para ciclistas.	64
Figura 47. Señales verticales a implementar.....	65
Figura 50. Modelo base de Av. 2 de Mayo con Av. Sáenz Peña en PTV Vissim.....	66
Figura 51. Grabación de videovigilancia utilizada para conteo vehicular y ciclista.	67
Figura 52. Flujograma de demanda vehicular para Av. 2 de Mayo de norte a sur.	68
Figura 53. Diagrama de fases semafóricas en intersección.....	70
Figura 54. Asignación de control semafórico en software PTV Vissim.....	70
Figura 55. Tramo seleccionado para contabilización de tiempo de viaje en Av. Sáenz Peña.....	72
Figura 56. Gráfico de StatKey para la calibración del modelo en la Av. Sáenz Peña.....	76
Figura 57. Gráfico de StatKey para la validación del modelo en la Av. Sáenz Peña.	77
Figura 58. Modelo de microsimulación de propuesta en PTV Vissim.....	79
Figura 59. Fases semafóricas propuestas como mejora.	80
Figura 60. Comparación de tiempos de viaje vehicular en las vías de análisis.....	82
Figura 61. Comparación de longitud máxima de cola en las vías de análisis.	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla que indica las dimensiones mínimas para los elementos de vías urbanas..	14
Tabla 2. Flujos vehiculares mínimos por tipo de vía para poder ser semaforizada.....	18
Tabla 3. Resumen de trabajos de mantenimiento vial dispuesto por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial.....	22
Tabla 4. Clasificación de los modelos de tránsito vehicular en PTV Vissim.....	25
Tabla 5. Resumen de metodología usada para la etapa de levantamiento de datos.....	30
Tabla 6. Resumen de metodología usada para la etapa de procesado de datos.....	30
Tabla 7. Resumen de metodología usada para análisis general del caso de estudio.....	31
Tabla 8. Resumen de metodología usada para la etapa de propuestas de mejora.	33
Tabla 9. Resumen de metodología usada para etapa de microsimulación.....	34
Tabla 10. Variables sugeridas para parámetros de calibración en PTV Vissim.	36
Tabla 11. Resumen de propuestas de cambio en el diseño vial.	51
Tabla 12. Resumen de datos de ciclo vía propuesta.	54
Tabla 13. Resumen de propuestas por cada recomendación de Jan Gehl.	61
Tabla 14. Resumen de señales verticales propuestas a implementar.	65
Tabla 17. Resumen de vehículos y velocidades asignadas en PTV Vissim.....	67
Tabla 18. Formato de conteo para Av. 2 de Mayo de norte a sur.....	68
Tabla 19. Resumen de demanda vehicular para Av. 2 de Mayo de norte a sur.	69
Tabla 20. Resumen de composición vehicular de Av. 2 de Mayo de norte a sur.....	69
Tabla 22. Formato de toma de tiempos de semáforo en Av. Sáenz Peña	70
Tabla 23. Tramos de medición de tiempos de viaje.....	71
Tabla 24. Formato de conteo de tiempos de viaje en Av. Sáenz Peña	72
Tabla 25. Resumen de valores de parámetros W74 para iteración de calibración del modelo	73
Tabla 26. Resumen de tiempos de viaje obtenidos mediante juego de parámetros N°1	74
Tabla 27. Resumen de tiempos de viaje obtenidos para la calibración mediante W74	75
Tabla 28. Calibración del modelo mediante juego de parámetros N°6.....	75
Tabla 29. Resumen de conteo vehicular del día 24 de mayo del 2022 en Av. Sáenz Peña ..	76
Tabla 30. Validación del modelo mediante juego de parámetros N°6.....	77
Tabla 31. Tiempo de viaje vehicular para microsimulación de estado actual.	78
Tabla 32. Longitud de cola para microsimulación de estado actual.....	78
Tabla 33. Tiempos de viaje vehicular para microsimulación de propuesta.....	81
Tabla 34. Longitud de cola para microsimulación de propuesta.....	81
Tabla 35. Variación porcentual comparativa de tiempos de viaje.....	82
Tabla 36. Variación porcentual comparativa de longitud máxima de cola.	83

ÍNDICE DE ANEXOS

1. Planos de estado actual de la Av. 2 de Mayo
 - 1.1. Plano de planta actual de la Av. 2 de Mayo – Cuadra 1
 - 1.2. Plano de planta actual de la Av. 2 de Mayo – Cuadra 2
 - 1.3. Plano de planta actual de la Av. 2 de Mayo – Cuadra 3
 - 1.4. Plano de planta actual de la Av. 2 de Mayo – Cuadra 4
 - 1.5. Plano de corte típico actual de la Av. 2 de Mayo
2. Planos de propuesta de rediseño de la Av. 2 de Mayo
 - 2.1. Plano de propuesta de rediseño de Av. 2 de Mayo en cuadra 1
 - 2.2. Plano de propuesta de rediseño de Av. 2 de Mayo en cuadra 2
 - 2.3. Plano de propuesta de rediseño de Av. 2 de Mayo en cuadra 3
 - 2.4. Plano de propuesta de rediseño de Av. 2 de Mayo en cuadra 4
 - 2.5. Plano de corte típico de propuesta de rediseño de Av. 2 de Mayo
3. Vistas 3D de propuesta de mejora de la Av. 2 de Mayo
4. Datos de composición y demandas vehiculares
 - 4.1. Ciclo semafórico en Av. 2 de Mayo con Av. Sáenz Peña
 - 4.2. Av. 2 de Mayo (Sentido de Norte a Sur)
 - 4.3. Av. 2 de Mayo (Sentido de Sur a Norte)
 - 4.4. Av. Sáenz Peña
 - 4.5. Ciclovía en Av. Sáenz Peña (Sentido de Este a Oeste)
 - 4.6. Ciclovía en Av. Sáenz Peña (Sentido de Oeste a Este)
5. Datos de tiempos de viaje vehiculares en campo
 - 5.1. Tiempos de viaje vehiculares en Av. 2 de Mayo
 - 5.2. Tiempos de viaje vehiculares en Av. Sáenz Peña
6. Calibración de modelo de microsimulación
 - 6.1. Tiempos de viaje vehiculares obtenidos en Vissim
 - 6.2. Diferencia de medias mediante StatKey para calibración
7. Validación de modelo de microsimulación
 - 7.1. Tiempos de viaje vehiculares medidos en campo para validación
 - 7.2. Tiempos de viaje vehiculares obtenidos en Vissim para validación
 - 7.3. Diferencia de medias mediante StatKey para validación
8. Comparación de resultados de microsimulación
 - 8.1. Resultados de microsimulación de propuesta
 - 8.2. Comparación de variación porcentual
 - 8.3. Gráficos comparativos de variación

1. Generalidades

1.1 Introducción

El uso de transportes sostenibles no motorizados ha aumentado en los últimos meses, a causa la pandemia por COVID-19; por tanto, muchas más personas están optando por movilizarse en bicicletas, patines, o incluso a pie, con la finalidad de mantener el distanciamiento social mínimo requerido, prácticamente imposible de existir en los medios de transporte masivos. Sin embargo, el diseño vial existente en la gran mayoría de avenidas está enfocado en priorizar el transporte motorizado (particular y público), pero relega la infraestructura vial para los medios de transporte sostenible. Sin embargo, el transporte vía bicicleta y caminar hacia el destino reducen el contagio del COVID-19, ya que son actividades que se realizan en espacios abiertos (Dextre & Aranda, 2021). Por ello, en los criterios modernos de diseño urbano se ha reformulado la asignación de prioridades, con la finalidad de incrementar el uso de medios de transporte sostenibles.

La avenida Dos de Mayo es una avenida altamente transitada en el centro comercial y financiero del Callao. Por allí circulan principalmente autos particulares y buses de transporte público; fue diseñada para priorizar el transporte motorizado; sin embargo, también cuenta con una mediana amplia para peatones. Esta principal avenida, que sirve de conexión entre zonas residenciales y el centro de Cercado Callao, debe ser rediseñada para conseguir una infraestructura vial con mayor variedad de opciones de medios de transporte. “Se puede considerar principalmente tres sistemas de transporte: vehículos motorizados, no motorizados y a pie” (Transportation Research Board, 2000).

El presente proyecto de investigación pretende rediseñar la av. Dos de Mayo, en el tramo comprendido entre la av. Sáenz Peña y la calle Monteagudo. Se prioriza la movilidad del peatón y el transporte por bicicleta. Con ello, se pretende mejorar las condiciones de servicio de esta vía en el Callao. Posteriormente, la eficiencia de dicha propuesta será evaluada por medio de la microsimulación.

1.2 Objetivo general

El objetivo general de este proyecto es mejorar las condiciones actuales de accesibilidad, circulación y sostenibilidad de la av. Dos de Mayo, entre la av. Sáenz Peña y la calle Monteagudo, con un rediseño sostenible, considerando prioridad al peatón y ciclista.

1.3 Objetivos específicos

Los objetivos específicos del presente proyecto se presentan a continuación:

- Analizar el diseño actual de la infraestructura vial en el tramo de la avenida.
- Rediseñar y redistribuir la vía según criterios de movilidad sostenible y priorizando al peatón y a los sistemas de transporte sostenible no motorizado.
- Evaluar la eficiencia de la propuesta de rediseño mediante la aplicación de la microsimulación en la intersección más compleja de la avenida.

1.4 Justificación

Actualmente, en el marco de las medidas de restricción impuestas por el Estado, debido a la pandemia por COVID-19, el uso de los medios de transporte sostenibles ha aumentado; por ello, el diseño vial de las principales avenidas del Callao requiere sustentar la actual demanda de medios de transporte alternativos. Sin embargo, el diseño vial proyectado actualmente denota amplia prioridad en el uso de la vía para el transporte automotor, principalmente el vehículo particular.

Por ello, con el objetivo de mejorar la eficiencia del uso de la vía, redistribuir las alternativas de transporte y mejorar la seguridad de los transeúntes, resulta necesario plantear un rediseño vial aplicable en el tramo de la vía seleccionado. Posteriormente, también debe ser microsimulado para compatibilizarlo con las condiciones actuales y validar las consecuencias directas de su implementación.

1.5 Alcance

La avenida Dos de Mayo es una principal avenida del Callao, ubicada cerca de la Fortaleza del Real Felipe y la avenida Sáenz Peña, polo comercial del distrito. El presente proyecto tiene como alcance la propuesta de un rediseño vial de la avenida Dos de Mayo, en el tramo comprendido entre la avenida Sáenz Peña y la calle Monteagudo, y evaluar el rediseño mediante el uso del software VISSIM para la microsimulación de las condiciones de la vía; para ello, también se implementarán cambios en los ciclos semafóricos de la intersección entre la avenida Dos de Mayo y la avenida Sáenz Peña.

2. Revisión de la literatura

2.1 Espacios públicos

2.1.1 Aproximación teórica

El concepto de espacio público es amplio, y puede ser analizado multidisciplinariamente; sin embargo, una primera aproximación a su definición está dirigida a la descripción morfológica de la palabra; es decir, un espacio público es la representación de un territorio físico en la ciudad y que está marcado principalmente por el acceso libre y público. Según se referencia preliminarmente en el estudio Espacio público en la ciudad popular, un espacio público es un espacio abierto de libre tránsito y permanencia para las personas; sin embargo, también pueden ser espacios cerrados, pero de libre acceso; en tal sentido, esta libertad tiene condición de derecho. (Takano & Tokeshi, 2007).

Con esta primera aproximación, surge la descripción desde el ámbito normativo y constitucional, desde el concepto de que un espacio público debe ser accesible, como un derecho inherente a la condición de ciudadano, sin distinciones. En este sentido, se construye un concepto de espacio público enfocado no sólo en el aspecto físico territorial, sino también como un derecho constitucional y un elemento urbanístico proveedor de justicia social e igualdad. Desde este ámbito, el espacio público otorga igualdad de condiciones para cualquier ciudadano, independientemente de su estrato socioeconómico o cultura. (Aramburu, 2008).

Con la construcción de este concepto más completo de espacio público, se debe entender que va más allá de la infraestructura y la disposición de mobiliario urbano de manera utilitaria, según se comentó líneas arriba, es también un derecho ciudadano; por tanto, un espacio público está definido primordialmente por el uso de las personas. En este sentido, el espacio público permite identificar a las ciudades y sus habitantes, a través de un sentido de pertenencia e identidad que surge desde la apropiación de los espacios (Fonseca, 2014), y adicionalmente, elemento que está definido por las dinámicas sociales que allí se realizan.

2.1.2 Dimensiones del espacio público

El espacio público también es analizado desde determinadas dimensiones, las cuales permiten desglosar las características y dinámicas involucradas en este. Este tipo de divisiones permite categorizar espacios públicos desde sus diferentes raíces. Según la investigación y experiencia de Guillermo Takano y Juan Tokeshi en los estudios del Programa Urbano de Desco, plantean las siguientes dimensiones: Físico-Territorial, Política, Social, Económica y Cultural (Takano &

Tokeshi, 2007). Por otro lado, Garriz y Schroeder profundizan en las dimensiones del espacio público (Garriz & Schroeder, 2014). Cuyos alcances se describen a continuación:

- Dimensión Físico-Territorial:

Esta dimensión refleja el aspecto espacial del concepto, así como su ubicación respecto al entorno urbano, con características como la visibilidad, accesibilidad y centralidad. De igual modo, el espacio debe ser reconocido como componente de la ciudad en su distribución urbana, como un punto común que puede ser accesible bajo cualquier contexto y tiempo.



Figura 1. Ejemplo de espacio público.

Fuente: Tomada de (Banco de desarrollo de América Latina, 2019).

- Dimensión Política:

Esta dimensión refleja el aspecto normativo y jurídico de un espacio público, donde se le caracteriza desde el derecho al libre acceso de la ciudadanía y legitima la apropiación del espacio público, desde el ejercicio final del uso. Aquí es relevante determinar los alcances, responsabilidades y derechos de los actores involucrados en el espacio público; o sea, la administración pública del Estado y los ciudadanos.



Figura 2. Ejemplo de expresión política en espacio público.

Fuente: Tomada de (Educación en Red, 2018).

- Dimensión Social

Esta dimensión refleja las dinámicas sociales e intervenciones de la ciudadanía, las cuales componen y otorgan el carácter final del espacio público. Aquí se analizan los conflictos, interacciones, compatibilidades e incompatibilidades entre los propietarios últimos del espacio (ciudadanos); por ejemplo, conflictos entre el uso comercial y residencial, o el concepto de sólo tránsito o zona de descanso y/o recreativa.



Figura 3. Ejemplo de uso social en espacios públicos.
Fuente: Tomada de (Universidad de Costa Rica, 2011).

- Dimensión Económica

Esta dimensión caracteriza el espacio público desde su rol en la economía de un barrio, zona o ciudad, especialmente en el Perú con el surgimiento de los comerciantes ambulantes, puestos de periódico y otros. En este sentido, se reconoce los distintos usos productivos que se pueden enmarcar en un espacio público, con el fin de categorizar estos usos y ser analizados desde la planificación y diseño, para ser incorporados como elementos afines al espacio público, otorgando así valor y armonía en el espacio, y reduciendo los conflictos sociales generados por incompatibilidades.



Figura 4. Ambulantes apropiándose del espacio público
Fuente: Tomada de (Arquine, 2016)

- Dimensión Cultural

Esta dimensión caracteriza el espacio público desde el contexto histórico y la capacidad identitaria de este. Por ejemplo, la colocación de monumentos en parques y plazas, hasta la ubicación estratégica e histórica del espacio. Por ello, analizar un espacio público incluye también tomar en cuenta las características históricas asociadas a este, así como la representación física de los elementos características que representan identitariamente a la sociedad o colectivo que usará de manera última el espacio público. Según comentan Garriz y Schroeder, la cultura de un espacio público no solo se presenta en el aspecto material, sino más en el aspecto inmaterial (Garriz & Schroeder, 2014).



Figura 5. Manifestación cultural en espacio público.
Fuente: Tomada de (Cuarto Poder, 2021).

2.1.3 Espacio público y movilidad

Un concepto importante relacionado al espacio público es la movilidad, cuya definición puede ser preliminarmente caracterizada por los desplazamientos de individuos o grandes poblaciones. Estos desplazamientos se originan en la necesidad de los ciudadanos de realizar sus actividades laborales, paseo y demás. La movilidad, es actualmente un área fundamental para el desarrollo del hombre en la sociedad actual (Vega, 2006). En este sentido, la movilidad depende de factores principales o componentes medulares para su correcto funcionamiento, “el medio usado para el desplazamiento (tipo de transporte), la frecuencia del mismo y la calidad del viaje” (Díaz-Osorio & Marroquón, 2016, p. 128).

De este modo, se entiende que la movilidad es realizada en el marco de espacios físicos destinados para ello; aquí surge la relación entre el espacio público y la movilidad. Sin embargo, se debe definir la escala de la movilidad, y ello depende del tipo de transporte utilizado. Por ejemplo, para el caso del transporte a pie, el espacio físico en donde se realiza esta actividad pueden ser las veredas y bulevares, mientras que, para el caso del uso de transporte público para movilizarse distancias más largas, el espacio físico es la calzada, vías expresas y otros. Actualmente, en las ciudades se suele dividir los espacios a utilizar por los vehículos y por los peatones (Landau, 1992).

Por ello, con esta primera aproximación a la relación entre movilidad y espacio público, se concibe también que los criterios de diseño de espacios públicos deben contener también el concepto de eficiencia para los desplazamientos de los ciudadanos, según se definió previamente, es un espacio donde cualquier individuo o peatón puede, por derecho inherente, ocupar o circular. Sin embargo, deben destinarse espacios que permitan el desarrollo integrado de diversos tipos de transporte.

Por otro lado, también surge una relación indirecta entre la movilidad y el espacio público; se debe considerar entonces que los espacios públicos representan nodos de interconexión entre destinos distantes físicamente y puntos intermedios del sistema de transporte; por ejemplo, paraderos, estaciones de bus, parques y otros. Es decir, los espacios públicos representan espacios físicos de descanso para los ciudadanos que se movilizan a través de la ciudad (Díaz-Orsorio & Marroquín, 2016).



Figura 6. Espacio público ganado para el peatón.
Fuente: Tomada de (Bogdanovich, 2020).

2.2 Movilidad sostenible

2.2.1 Aproximación teórica

El concepto de movilidad sostenible parte desde la definición de la movilidad como una necesidad humana, en el marco del transporte de personas para las actividades cotidianas o recreativas; sin embargo, la condición de sostenible surge a partir del impacto futuro de esta necesidad. La movilidad sostenible pretende establecer criterios para que los movimientos en las ciudades sean realizados de la manera más eficiente posible, desde el punto de vista medioambiental y garantizando el cumplimiento de las necesidades de las personas, sin dañar o perjudicar el entorno (Valenzuela, 2021). De este modo, esta concepción preliminar establece la accesibilidad y la eficiencia como medios para conservar el ambiente.

Sin embargo, esta primera aproximación no refleja el alcance general de la accesibilidad y la eficiencia propuesta; por tanto, se requiere una precisión mayor acerca de los medios para conservar el medioambiente y cumplir con las necesidades de las personas. De este modo, se denota que este concepto posee un carácter multidisciplinario.

Los estudios y los planes sobre la movilidad no se limitan únicamente al desarrollo de sistemas que minimicen los tiempos y costos de desplazamiento de personas y mercancías, sino también analizan su contribución al desarrollo social, al uso racional de bienes escasos y a los impactos sobre el medio ambiente (Acevedo & Bocarejo, 2014, p. 2).

En el marco de esta construcción multidisciplinaria, surge la importancia de este concepto, desde el aspecto normativo, la movilidad está íntimamente relacionada con los derechos fundamentales del ser humano, como medio de acceso para la educación, salud y otras necesidades básicas. En este sentido, el Banco Mundial propone cuatro atributos como marco de referencia que debe presentar la movilidad: “ser equitativa (acceso universal), eficiente, segura y ser sensible respecto del ambiente” (Banco Mundial, 2017).

De manera análoga, Guillamón y Hoyos en “Movilidad sostenible: De la teoría a la práctica”, proponen objetivos mínimos para guiar el proceso hacia una movilidad sostenible (Guillamón & Hoyos, 2005):

- Reducir la demanda del transporte, a través de la planificación del uso del territorio.
- Mejorar e implementar el transporte público.
- Incentivar la creación de infraestructura para el transporte sostenible.
- Gestionar el transporte y conservar la infraestructura vial destinada a este.
- Intercambiar información relevante entre países, regiones, zonas metropolitanas y locales.
- Volver a evaluar los patrones de producción y consumo.

De este modo, el concepto de movilidad sostenible se entiende desde su enfoque multidisciplinar, como complementos para el alcance de los objetivos propuestos y los atributos mencionados previamente.

2.2.2 Principales retos de la movilidad sostenible

En el contexto actual, basado en la globalización, el crecimiento de las urbes y el surgimiento de nuevas comunidades, la movilidad se presenta como un medio cada vez más frecuente e incidente en las ciudades. De este modo, las distancias a recorrer por parte de los ciudadanos se han incrementado, ello a través de la expansión de las ciudades y el desarrollo económico y tecnológico involucrado, así la demanda de movilización urbana ha ido creciendo en los últimos años (Lizarraga, 2006). A raíz de este aumento de las distancias de desplazamiento, los efectos colaterales del mismo también pueden aumentar.

Sin embargo, una característica que pasa desapercibida en el problema general, es el problema específico de la desigualdad, también presente en la crisis de la movilidad. Usualmente, este problema genera más perjuicios en las personas con bajos recursos, que suelen transportarse diariamente en medios de transporte precarios, incómodos, y de poca eficiencia. Así, el reto de alcanzar la movilidad sostenible no es sólo un problema ambiental o ingenieril, sino también social; por lo que, debe solucionarse desde políticas públicas.

Con ello, los beneficios de la movilidad sostenible no sólo se enfocan en un mayor desarrollo económico, sino también en necesidad no materiales, como el estado de salud y el bienestar (Gallopín, 2003). Para esto, Samar (2019) plantea tres pilares para la movilidad sostenible, con lo que plantea a su vez un desafío (Samar, 2019):

- Uso del suelo que incorpore las necesidades de movilidad: Plantea un reto ingenieril y urbanístico, que contemple los principales medios de transporte sostenibles y reduzca las distancias a través de la planificación del crecimiento urbano.
- Restricción del uso del vehículo privado: Plantea un reto legislativo por parte del Estado, pero también un reto social relacionado con la apertura al cambio y las intenciones de mejora.
- Promoción de un sistema de transporte público eficaz: Plantea un reto ingenieril y normativo, con la creación de sistema de transporte integrados y accesibles, así como la regulación del transporte público que no cumpla con los criterios mínimos de eficiencia.

En este sentido, el Perú también refleja estos retos multidisciplinarios, que deben ser abordados estructuralmente por los actores responsables y la ciudadanía en general.

2.2.3 El uso de la bicicleta como alternativa sostenible

Con las consideraciones previas y los retos a superar en materia de movilidad sostenible, se esbozan alternativas de movilidad acordes a las características de sostenibilidad y reducción del impacto de la movilidad. Así, en lo que respecta, David Guillamón y David Hoyos en “Movilidad sostenible: De la teoría a la práctica”, proponen una primera aproximación a las alternativas a ser priorizadas; la caminata, uso de la bicicleta, y el transporte público masivo (Guillamón & Hoyos, 2005). De estas propuestas, las más ideales son aquellas que no generan efectos nocivos al ambiente: marcha andando y la bicicleta.



Figura 7. Uso recreativo de la bicicleta.

Fuente: Tomada de (Shop Store, 2021).

Por ello, según se mencionó líneas arriba, las inversiones públicas deben priorizar estos medios de transporte sostenible; por lo que, en el caso peruano, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento publicó el Reglamento de Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano Sostenible, aprobado por Decreto Supremo N°022-2016-VIVIENDA, donde se define el término de movilidad urbana sostenible, como un grupo de estrategias y planes para mejorar la calidad del espacio y aumentar la eficiencia del transporte, tanto de personas como de recursos, con énfasis en medios de transporte que sean menos dañinos para el medio ambiente.

En este sentido, basado en la recomendación de la bicicleta como alternativa sostenible y el marco legal que la sustenta, el uso de este medio también requiere la implementación de infraestructura vial destinada para su circulación. Según comenta el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, es necesario que la implementación de ciclovías brinde las debidas condiciones de seguridad para los usuarios, esto debido a la desproporcionalidad entre los vehículos motorizados y los usuarios de bicicleta; para ello, se pueden disponer dispositivos de segregación entre el tráfico motorizado y la ciclovía (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020).

La infraestructura vial destinada al transporte por bicicleta puede ser dividida en 4 tipos: ciclocarril, cicloacera, ciclo vía y carril compartido (Ministerio de Transporte de Colombia, 2016). Esta división depende principalmente de la velocidad y la cantidad de automóviles en la vía.

- Ciclocarril: Consiste en destinar una sección de la vía para el tránsito de ciclistas, sólo con señalización horizontal que la segregue de la vía principal. Usualmente sirven como vías colectoras para ciclistas en calles de bajo flujo y velocidad.



Figura 8. Ejemplo de ciclocarril para bicicletas.
Fuente: Tomada de (COPE, 2020).

- Cicloacera: Consiste en destinar una sección de la acera para el tránsito de ciclistas, donde se comparte el tránsito de ciclistas y peatones, segregado por medio de señalización horizontal.



Figura 9. Ejemplo de ciclo acera en Lima .
Fuente: Tomada de (RPP Noticias, 2019).

- **Ciclovía:** Consiste en destinar una sección del diseño vial para el tránsito de ciclistas, cuenta con una segregación física tipo barrera. Usualmente son vías principales para ciclistas y presentan mayor atractividad por su seguridad y diseño.



Figura 10. Ejemplo de infraestructura de ciclovía en Lima.

Fuente: Tomada de (Caretas, 2020).

- **Carril compartido:** Consiste en señalar horizontalmente el pavimento y compartir el carril entre automóviles y ciclistas, para ello se regula la velocidad del vehículo automotor al mínimo, para disminuir los accidentes de tránsito y las interferencias riesgosas.



Figura 11. Ejemplo de carril compartido ciclista con automóviles.

Fuente: Tomada de (HOY, 2016).

De este modo, el uso de la bicicleta como alternativa de movilidad sostenible requiere la implementación de infraestructura que la promueva. Por ello, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su Guía de Implementación de Sistemas de Transporte Sostenible No Motorizado, plantea algunos principios básicos para el diseño de vías para ciclistas (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020):

- Seguridad para los ciclistas
 - Directividad en el trazado de rutas
 - Coherencia y continuidad en las rutas
 - Comodidad para incentivar el uso de la bicicleta
 - Atractividad para incentivar su uso

2.3 Diseño vial urbano

2.3.1 Aproximación teórica

Las áreas urbanas requieren un diseño, con la finalidad de satisfacer las necesidades de los ciudadanos y facilitar la movilidad. En este sentido, debido a la escala y la interacción de peatones, el diseño de una vía urbana es diferente al diseño de una carretera. Es competencia de las Habilitaciones Urbanas el diseño y planificación del diseño de vías urbanas, comprendido dentro del área de espacios públicos. “Los espacios públicos están representados por las calzadas, veredas, parques y demás plazas que sean de acceso público” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

En este sentido, para un correcto diseño urbano, deben tomarse ciertas consideraciones; según Jan Bazant en su “Manual de criterios de diseño urbano”, propone algunos principios: simular las actividades y necesidades de las personas que ocuparán estos espacios; y registrar debidamente los flujos de peatones y vehículos en un determinado espacio (Bazant, 1998). La finalidad es generar un diseño accesible y amigable para todos los usuarios y medios de transporte, y que además represente un espacio público funcional, en todas sus dimensiones y objetivos.

Principalmente, el diseño de estas vías está basada en la clasificación de la vía; las vías son clasificadas por su funcionamiento, tráfico, uso del suelo, espaciamiento, nivel de servicio, características físicas y compatibilidad; por ello, la “Norma Técnica GH.020 de Componentes de Diseño Urbano” por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, propone 5 clases de vías urbanas (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006):

- Vías expresas: Estas vías conectan el sistema interurbano y el urbano, a través de zonas de alto tránsito y sólo para viajes vehiculares, entre áreas distantes.
- Vías arteriales: Estas vías conectan los sistemas de vías expresas y las del tráfico urbano a menor escala. Presentan alto flujo de tráfico y deben evitarse interrupciones en el flujo.
- Vías colectoras: Estas vías conectan las vías locales hacia el sistema de vías arteriales, también presentan características de acceso a propiedades adyacentes, así como tránsito al paso.
- Vías locales: Estas vías proveen acceso a los predios, en el caso de ingreso y salida; transitan principalmente vehículos livianos y tránsito peatonal libre.
- Vías especiales: Pueden ser vías peatonales, pasajes peatonales, malecones, paseos, vías de parques o vías en túneles. Estas vías no son adaptables a las clasificaciones previas y deben ser tratadas específicamente.

2.3.2 Dimensiones de los componentes de las vías urbanas

Estas vías urbanas están compuestas por diferentes elementos de infraestructura que permiten delimitar y satisfacer las necesidades requeridas para cada tipo de vía, según lo mencionado previamente. Estos componentes dependen primordialmente del uso de la vía (Correa, 2021). Los componentes a considerarse corresponden a la sección transversal de la vía diseñada, y se complementan para reforzar la capacidad o distintos tipos de uso de la vía, de igual manera congruente con su diseño geométrico. Algunos de estos componentes son las aceras o veredas, estacionamientos y calzadas.

El Reglamento Nacional de Edificaciones, estipula algunas dimensiones mínimas para estos elementos de las vías urbanas, los cuales dependen de su tipología de uso e importancia de la vía a nivel de la red urbana, estos datos se presentan resumidos en la siguiente tabla (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006):

Tabla 1. Tabla que indica las dimensiones mínimas para los elementos de vías urbanas.

Tipos de vías	Vivienda			Comercial	Industrial	Usos especiales
Vías locales principales						
ACERAS VEREDAS	1.80	2.40	3.00	3.00	2.40	3.00
ESTACIONAMIENTO	2.40	2.40	3.00	3.00 - 6.00	3.00	3.00 - 6.00
PISTAS CALZADAS	SIN SEPARADOR CENTRAL 2 MÓDULOS DE	CON SEPARADOR CENTRAL 2 MÓDULOS A CADA LADO DEL SEPARADOR		SIN SEPARADOR 2 MÓDULOS DE 3.60	SIN SEPARADOR 2 MÓDULOS DE 3.60	SIN SEPARADOR 2 MÓDULOS DE 3.30 - 3.60
		3.60	3.00	3.30	CON SEPARAD. CENTRAL: 2 MÓDULOS A C/ LADO	
Vías locales secundarias						
ACERAS VEREDAS	1.20			2.40	1.80	1.80 - 2.40
ESTACIONAMIENTO	1.80			5.40	3.00	2.20 - 5.40
PISTAS CALZADAS	DOS MÓDULOS DE 2.70			DOS MÓDULOS DE 3.00	DOS MÓDULOS DE 3.60	DOS MÓDULOS DE 3.00

Fuente: Adaptada de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2006).

2.3.3 Intersecciones en vías urbanas

Las vías urbanas, conformadas por calles o avenidas, según su clasificación, forman una trama urbana interconectada entre sí; estas vías se cortan y se conectan para formar un sistema vial ordenado. Las intersecciones son todos aquellos cruces de dos o más vías, al mismo nivel y en el mismo espacio físico. Estos cruces suelen presentar condiciones especiales de tránsito, debido a las interferencias ocasionadas por el tránsito en diferentes sentidos, así como la alta cantidad de

maniobras generadas por los vehículos al cambiar de dirección o incorporarse a otras vías; por tanto, existe un tratamiento específico para estos nodos de la trama urbana.

Según el Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas, se deben tomar algunas características principales para el diseño geométrico de intersecciones (VCHI, 2005):

- Preferencia a movimientos más importantes: Se debe jerarquizar a las vías de acuerdo a su flujo e importancia, con la finalidad de dotar a la intersección de elementos de control y señalización, para reducir las interferencias y ordenar el tránsito de acuerdo a esta jerarquía de giros y maniobras.
- Reducción de áreas abiertas: Se debe limitar el espacio libre pavimentado, con la finalidad de canalizar adecuadamente el tránsito y evitar las confusiones por parte de los peatones y conductores.
- Perpendicularidad de trayectorias cuando se corta: Se recomienda que las vías de una intersección se corten formando un ángulo recto, esto debido a las condiciones de visibilidad. Esta consideración pretende reducir las interferencias y accidentes en el tránsito, especialmente para intersecciones no semaforizadas.
- Separación de los puntos de conflicto: Se recomienda canalizar los puntos de conflicto, como giros peligrosos o maniobras específicas, ya que esto permita aliviar el flujo del tránsito principal.
- Control de velocidad: Se debe reducir la velocidad de aproximación del vehículo a una intersección, según el Reglamento de Tránsito esta velocidad de aproximación debe ser reducida a 30 km/h. Adicionalmente, en caso de intersecciones no semaforizadas, se pueden considerar elementos de reducción de velocidad.
- Visibilidad: Se debe proveer condiciones de visibilidad para las intersecciones, para lo cual se debe reducir la velocidad de aproximación y los elementos que puedan obstaculizar la visibilidad de los conductores que se aproximan a la intersección.
- Previsión: Se debe analizar las condiciones de las intersecciones en el proceso de diseño y construcción, con la finalidad de prever ampliaciones en el futuro.
- Sencillez y claridad: Se debe priorizar los diseños geométricos con fácil entendimiento, para que las reacciones de los conductores puedan ser rápidas también.

En términos generales, existen dos tipos de intersecciones a nivel: canalizadas y no canalizadas. Las intersecciones canalizadas son aquellas en las que se incluyen elementos físicos o demarcaciones que delimitan la intersección los movimientos y guían al conductor, de esta manera son las más eficientes y seguras. Según indica Guzmán, existen tres tipos de canalizaciones: direccionales, separadoras y de seguridad (Guzmán, 2003).

En primer lugar, las canalizaciones direccionales favorecen el entendimiento y claridad de las intersecciones, ya que permite comunicar visualmente al conductor la ruta que debe seguir en la intersección, con la finalidad de mantener un flujo constante y ordenado. En segundo lugar, las canalizaciones separadoras permiten dividir el tránsito y prever al conductor de la proximidad de una intersección. Por último, las canalizaciones de seguridad están enfocadas principalmente para favorecer el cruce de peatones o demás usuarios vulnerables de la vía, reduciendo así los conflictos e interferencias con los vehículos motorizados.

2.4 Gestión semafórica

2.4.1 Fundamentos teóricos de semaforización

Las intersecciones urbanas suelen representar riesgos, dado que son ubicaciones complejas donde confluyen diferentes medios de transporte, con diferentes direcciones y distintos niveles de fragilidad; por ejemplo, interferencias entre automóviles y peatones, donde el más desfavorecido es el peatón, de acuerdo a sus características físicas. En este sentido, se suelen implementar semáforos para controlar estas interferencias, a través del control de tiempo de paso entre los vehículos, peatones y demás usuarios de la vía (Valencia, 2000).

Los semáforos son dispositivos que utilizan criterios cromáticos para controlar el tránsito, donde el rojo prohíbe el tránsito para la vía, el verde permite el tránsito, y el ámbar dispone un tiempo para ceder el paso y liberar la intersección. Según el “Manual de señalización de tránsito” del Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones de Colombia, las principales ventajas del uso de semáforos son las siguientes (Ministerio de Transporte de Colombia, 2015):

- Aumento de la seguridad vial: Reducción de accidentes de gravedad, a causa de los flujos en diferentes direcciones.
- Disminución de conflictos: Permite gestionar la preferencia de paso entre las diferentes direcciones de flujo en una intersección, de manera alternada.
- Disminución de demoras vehiculares: Permite reducir las demoras en viajes, a raíz de gestionar el flujo prioritario.
- Disminución de demoras peatonales: Permite gestionar la prioridad de cruce para peatones, sobre medios de transporte más favorecidos.
- Operación coordinada: Permite operar los semáforos desde una red interconectada de distintas vías, con el fin de generar la mayor eficiencia en el tránsito.
- Menor uso de espacio vial: Permite controlar el tránsito a través de dispositivos de menor impacto físico como una rotonda.

Los semáforos están divididos mediante componentes, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el “Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras”, divide la composición física del semáforo en 2 partes, mientras que consta de 3 elementos operativos adicionales que complementan su funcionamiento (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016):

- Soporte del semáforo: Estructura metálica que sostiene la cabeza del semáforo, permite ubicarlo de una manera óptima, a través de ajustes angulares, verticales y horizontales.
- Cabeza del semáforo: Armadura que contiene los sistemas eléctricos y electrónicos que componen la parte visible y de configuración para el correcto funcionamiento del semáforo. A su vez está dividido en la cara, el módulo luminoso, el lente, la visera y la pantalla antirreflejante.
- Unidad de control: Es el gabinete que contiene el mecanismo electrónico para controlar los cambios en la emisión de señales luminosas, configurado previamente. La programación de estas unidades puede clasificarse según los de tiempo fijo, donde ninguna fase depende del tránsito actual; semi-accionado, algunas fases dependen del tránsito actual; y totalmente accionado, donde todas las fases dependen del tránsito actual.
- Estación central: Emite y distribuye las señales de control para los semáforos.
- Detectores: Pueden existir en algunos casos, y pueden medir variables para la adaptación del control del tránsito; por ejemplo, flujos vehiculares y demás parámetros.

2.4.2 Tipos de semáforos según su uso

Actualmente, en el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, se reconoce distintos tipos de semáforos según su uso y finalidad. En este sentido, se determinan 3 tipos de semáforos: semáforos para vehículos, semáforos para peatones y semáforos para usos especiales (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

- Semáforos para vehículos: Controlan el tránsito vehicular, y puede tratarse de semáforos configurados de diferentes maneras.
- Semáforos para peatones: Controlan el tránsito peatonal y permiten hacer uso de los cruces peatonales, y en conjunto con demarcación en el pavimento.
- Semáforos especiales: Son usados para controlar y regular el tránsito en carriles especiales, o para demarcar casos especiales.

Adicionalmente, se puede complementar la gestión semafórica de intersecciones con el uso de semáforos para ciclistas, los cuales cumplen la misma función de regular y priorizar el flujo de tránsito en la intersección definida.

2.4.3 Implementación y configuración del ciclo semafórico

Las intersecciones semaforizadas permiten mejorar las condiciones de las intersecciones complejas, reduciendo así los puntos de conflicto y controlarlos. El fundamento de la semaforización es la segregación de las maniobras conflictivas vehiculares, en diferentes fases temporales. Según comenta Cabrera (2015), las fases de un semáforo pueden variar entre dos y ocho, esto dependiendo de la complejidad de la intersección. En este sentido, la configuración de las fases semafóricas incluye un estudio detallado de las condiciones específicas de la intersección a semaforizar, para ello, se debe realizar el análisis de tránsito determinado. A continuación, se presentan algunas consideraciones a tomar en cuenta en la configuración del ciclo semafórico (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018):

- Demanda del giro a la izquierda
- Demanda del movimiento de frente
- Accidentes
- Disponibilidad de carriles exclusivos para giro a la izquierda
- Operación del sistema general de semáforos en otras intersecciones
- Actividad peatonal

Las consideraciones presentadas, dependen en parte de los estudios ingenieriles pertinentes, pero también de las condiciones específicas de operación de las intersecciones; por ejemplo, en caso de intersecciones conflictivas con altos niveles de accidentes de tránsito, se puede priorizar la instalación de un sistema semafórico. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016), en el Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras aprobado por Resolución Directoral N°16-2016-MTC/15 el 31 de mayo de 2016, plantea requisitos mínimos para la instalación de semáforos en intersecciones, referidos al volumen mínimo de vehículos, criterios de interrupción del tránsito y volumen mínimo de peatones, a continuación, se presentan estas condiciones mínimas:

Volumen mínimo de vehículos: Condición indicada para intersecciones con alto volumen de tránsito vehicular, donde se generan interferencias entre el flujo de la vía principal y la secundaria.

Tabla 2. Flujos vehiculares mínimos por tipo de vía para poder ser semaforizada.

Número de carriles de circulación por accesos		V/h en la vía principal	V/h acceso de mayor volumen en vías secundarias
Vía principal	Vía secundaria		
1	2 o más	600	150

Fuente: Adaptada de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

- Interrupción del tránsito continuo: Condición indicada para intersecciones donde se generan retrasos considerables en las vías de acceso secundarias, debido a las interferencias ocasionadas con la vía principal.
- Volumen mínimo de peatones: Afluencia peatonal permanente y que demande cruzar una intersección, los vehículos deben ser detenidos mediante un semáforo.

Con las consideraciones pertinentes, se determina la metodología de configuración de ciclos semafóricos, según Cal y Mayor & Cárdenas, donde se resume y esquematiza el método analítico de Webster (1957) para el cálculo del ciclo óptimo de semáforos (Cal y Mayor & Cárdenas, Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y aplicaciones, 2018). Dichos cálculos se resumen a continuación:

- Longitud de intervalos de cambio (y_i): Es el intervalo de cambio de fase, definido usualmente como la suma de ámbar más todo rojo. Depende principalmente de seis valores; el tiempo de percepción-reacción del conductor (t), la velocidad de aproximación del vehículo (v), la tasa de desaceleración (a), ancho del cruce peatonal (w), el ancho de la intersección a cruzar (W), y la longitud del vehículo (L), a través de la siguiente fórmula.

$$y_i = \left(t + \frac{v}{2a} \right) + \frac{w + W + L}{v}$$

- Tiempo perdido en todo el ciclo (L): El tiempo perdido total en todo el ciclo es la suma del tiempo entre verdes de todas las fases del semáforo, a través de la suma de todos los valores de ámbar y todo rojo.
- Relaciones máximas en cada fase (Y_i): Se pondera el flujo crítico o máximo por cada carril de la fase “ i ”. Depende del flujo de saturación (s), y la cantidad de vehículos por fase (q). A continuación, se presenta la fórmula de relación para cada fase:

$$Y_i = \frac{q_i \text{ máx}}{s}$$

- Longitud del ciclo óptimo (C_o): El ciclo semafórico óptimo puede ser calculado a través de los parámetros del tiempo perdido en todo el ciclo y las relaciones máximas en cada fase. Para ello, se usa la siguiente fórmula, donde “ L ” es el tiempo perdido, y “ Y_i ” son las relaciones máximas para cada fase:

$$Co = \frac{(1.5 * L + 5)}{(1 - \sum Yi)}$$

- Tiempo de verde efectivo total (gt): Es el tiempo real de verde, sin considerar el tiempo perdido total (L).

$$gt = Co - L$$

- Reparto del tiempo de verde efectivo total (gi): El tiempo de verde efectivo total (gt) es repartido para cada fase considerada en el ciclo semafórico, a través de una ponderación con las relaciones máximas (Yi) en cada fase.

$$gi = \frac{(Yi * gt)}{\sum Yi}$$

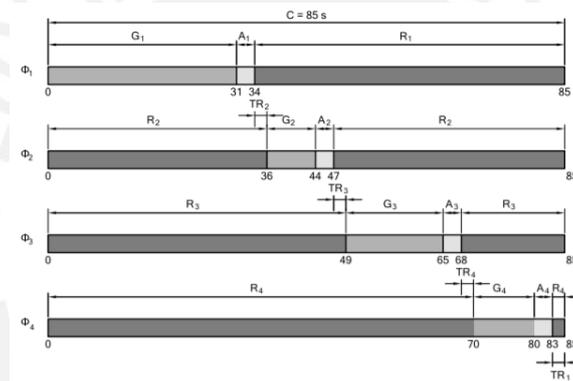


Figura 12. Ejemplo de diagrama de fases para semáforo.

Fuente: Tomada de (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018).

2.5 Marco normativo

Para el proyecto en cuestión, al tratarse de una intervención en una vía pública y de competencia provincial, es necesario definir el marco normativo y legal aplicable para las propuestas de rediseño a ser planteadas posteriormente. En este sentido, se definen algunas de las áreas a ser contempladas dentro del proyecto, y la normativa vigente aplicable para cada uno de los casos. Así, al tratarse de un proyecto de rediseño vial, se prioriza la norma técnica que regula los criterios de diseño urbano, y los dispositivos de control del tránsito a implementarse, para la mejora de la seguridad vial. Por otro lado, en el marco de los objetivos de la movilidad sostenible, se implementa el marco normativo vigente para la regulación del uso de la bicicleta. Asimismo, el mantenimiento vial necesario para la manutención posterior a la posible implementación.

2.5.1 Diseño urbano

Para el caso del diseño urbano en las ciudades, dentro del Reglamento Nacional de Edificaciones, en el título segundo de habilitaciones urbanas, se comprende la Norma GH.020 de componentes de diseño urbano, donde se regula lo siguiente: “ diseño de vías, la lotización, aportes de habilitación urbana, planeamiento integral, mobiliario urbano y señalización, obras de carácter regional o provincial, nomenclatura, y los componentes y características de los proyectos”.

Los criterios específicos para el diseño vial urbano aplicado al presente proyecto, está contenido dentro del segundo capítulo de diseño de vías, donde estipula las medidas estándar según tipo de habilitación y tipos de vías, desde el componente de aceras o veredas, estacionamientos y las calzadas por módulo. A continuación, se resumen estas condiciones mínimas para diseño de vías en habilitaciones urbanas:

2.5.2 Dispositivos de control del tránsito

La implementación de vías urbanas requiere también dispositivos para el control del tránsito, con la finalidad de informar a los usuarios del reglamento vigente y las diferentes consideraciones a tomar en cuenta. Los dispositivos de control del tránsito son variados y los hay de todo tipo, las que dependen de su funcionalidad, tipología, color, tamaños y formas. En este sentido, el **Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, aprobado por Resolución Directoral N°16-2016-MTC/14**, es el manual técnico y normativo para su cumplimiento obligatorio. La normativa presente en dicho manual es de cumplimiento obligatorio a nivel nacional, regional y local.

Este manual contiene 6 capítulos, dividido por secciones y subsecciones. En primer lugar, el capítulo primero resume las generalidades del instrumento técnico normativo. En segundo lugar, el capítulo segundo regula la señalización vertical; es decir, aquella que tiene por finalidad informar, prevenir y reglamentar el tránsito a través de palabras o símbolos, ubicados en postes al lado de la vía. En tercer lugar, el capítulo tercero regula las marcas en el pavimento o demarcaciones de señalización horizontal. En cuarto lugar, el capítulo cuarto regula los dispositivos de control del tránsito de casos especiales. En quinto lugar, el capítulo quinto regula los dispositivos de control del tránsito en zonas de trabajo. Por último, el capítulo sexto regula la implementación y uso de los semáforos.

2.5.3 Regulación del uso de la bicicleta

El uso de la bicicleta es reglamentado a través de la **Ley N°30936**, “Ley que promueve y regula el uso de la bicicleta como medio de transporte sostenible”, cuya finalidad es establecer medidas

de promoción y regulación del uso de la bicicleta. Esta ley presenta 11 artículos, donde se regula la construcción de infraestructura ciclo vial, medidas de transporte, medidas de promoción, derechos de los ciclistas y demás obligaciones, infracciones y sanciones a los conductores de bicicletas. Esta Ley involucra a distintas instituciones, como es el caso del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Instituto Nacional de Estadísticas e Informática, y el Ministerio de Educación. Asimismo, considera también la inclusión de este medio de transporte sostenible dentro del Reglamento Nacional de Tránsito.

2.5.4 Mantenimiento vial

El mantenimiento de las vías, en especial de las vías urbanas, está reglamentado mediante el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, aprobado por Decreto Supremo N°034-2008-MTC; este reglamento permita plantear las normas técnicas de planificación, estudios, diseños, construcción y mantenimiento de la infraestructura vial, aplicable a nivel nacional. El capítulo sexto de Mantenimiento Vial, estipula que los programas de mantenimiento vial serán elaborados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Gobiernos Regionales y Municipalidades, según corresponda. El presente reglamento también estipula pautas para normar los trabajos de mantenimiento vial; en este sentido, plantea las pautas no limitativas mostradas a continuación:

Por otro lado, este Reglamento estipula los tipos de mantenimiento dentro de 2 actividades a realizarse:

- Mantenimiento Rutinario: Actividades de mantenimiento simple y preventivo, con la finalidad de mejorar las condiciones de comodidad en la vía.
- Mantenimiento Periódico: Actividades especializadas de mantenimiento correctivo para deterioros más importantes en la superficie de rodadura.

Tabla 3. Resumen de trabajos de mantenimiento vial dispuesto por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial.

Tipo	Descripción
Trabajos Preliminares	Movilización y desmovilización, topografía y georreferenciación, campamentos y obras provisionales, mantenimiento de tránsito temporal, seguridad vial.
Mantenimiento de las explanaciones	Limpieza general, remoción de derrumbes y huaycos, eliminación del material de la subrasante, relleno de plataforma erosionada por asentamiento, formación de terraplenes, pedraplenes, construcción de pasos provisionales, construcción de plazoletas de cruce.

Continuación de la Tabla 3.

Mantenimiento de la superficie de rodadura	Reparación y/o mantenimiento de afirmado, perfilado y compactación de la rasante, bacheo superficial, bacheo profundo, requisitos de los materiales, proceso constructivo, colocación y afirmado, exigencias del espesor, requisitos de la capa superior, método medición.
Mantenimiento de obras de arte y drenaje	Limpieza de cunetas y alcantarillas, reparación y/o mantenimiento de: cunetas (revestidas y/o sin revestir), alcantarillas (de piedra, concreto, metálica, etc.), badenes y muros (secos y de mampostería de piedra, concreto, etc.).
Señalización vial	Señalización regulativa, preventiva, informativa, hitos kilométricos, marcas en el pavimento.

Fuente: Adaptada de (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008).

2.6 Microsimulación en Vissim

2.6.1 Fundamentos teóricos

La microsimulación es un sistema que permite recrear el movimiento de los usuarios a través del tránsito y su interacción con el entorno y entre sí mismos (PTV Group, s.f.). La microsimulación es una herramienta bastante cómoda y versátil para analizar y planificar el tránsito, principalmente donde un análisis por el método analítico resulta impráctico o inviable. Los métodos analíticos son los más típicos de usar para el estudio del tránsito y han resultado relevantes a lo largo del tiempo; sin embargo, con el desarrollo de la tecnología y el poder de procesamiento, los métodos de microsimulación fueron desarrollados y utilizados desde hace décadas. Según comenta Acurio, la microsimulación del tránsito provee gran detalle en la definición del entorno de análisis y las unidades de análisis como los vehículos (Acurio, 2017).

La microsimulación está compuesta por 2 tipos de componentes: estáticos y dinámicos. Los componentes estáticos presentan la red inalterable que forma parte del entorno y escenario en que se simularán las condiciones del tránsito; por otro lado, los componentes dinámicos presentan los elementos móviles y mutables a lo largo de la simulación; es decir, la forma en la que el tránsito se mueve e interactúa entre sí. Existen diferentes softwares para la microsimulación del tránsito; por ejemplo, Vissim, Tranus y Aimsum.

El principal software utilizado masivamente para la microsimulación del tránsito es el PTV Vissim, desarrollado por PTV Group, empresa alemana dedicada a la ingeniería de tránsito.



Figura 13. Ejemplo de modelo de simulación en el programa PTV Vissim.

Fuente: Tomada de (National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 2021).

2.6.2 Finalidad

Los sistemas de microsimulación permiten imitar fielmente las condiciones del tránsito real e implementar modificaciones en el mismo, para evaluar los cambios y probar las mejoras implementadas. La principal finalidad de este sistema es facilitar la toma de decisiones, evitar errores de implementación costosos y, también, mejorar la comunicación entre los grupos interesados en las mejoras a implementar en el sistema de tránsito (PTV Group, s.f.).

2.6.3 Modelos de tránsito

Los modelos de tránsito son los entornos simulados a computadora que pretenden imitar el entorno real observado en la red vial analizada. En este sentido, estos modelos son bastante variados y dependen del entorno urbano real que se está tomando en cuenta. Según comenta Condori, estos modelos de tránsito pueden ser clasificados desde distintas tipologías, a partir de diferentes criterios, como puede ser la evolución, estado o aleatoriedad (Condori W. , Análisis y evaluación microscópica del tráfico en el óvalo Quiñones, haciendo uso del software PTV Vissim, 2018):

Tabla 4. Clasificación de los modelos de tránsito vehicular en PTV Vissim.

Criterio	Clasificación	Detalle
Evolución	Estático	Las variables no cambian a lo largo del tiempo, ni evolucionan a través de los cálculos realizados.
	Dinámico	Las variables pueden cambiar a lo largo del tiempo, pueden depender del marco temporal o los cálculos realizados.
Estado	Discreto	Son aquellos que dependen de variaciones por intervalos discretos de tiempo.
	Continuo	Son aquellos que dependen de una función del tiempo y cambian continuamente.
Aleatoriedad	Determinístico	Son aquellos que no consideran elementos aleatorios, sino que se basan en cálculos determinados para algunas variables de entrada.
	Estocástico	Son aquellos que están afectados a componentes y procesos aleatorios que pueden otorgar distintas variables de salida para variables de entrada similares.

Fuente: Adaptada de (Condori W., 2018).

El modelo de microsimulación utilizado por PTV Vissim utiliza submodelos internos para realizar la simulación del tránsito vehicular; por tanto, estos submodelos permiten simular las condiciones y acciones ejecutadas por los vehículos del modelo microscópico. A continuación, se presentan estos submodelos y sus características (PTV Group, 2018):

- Modelo de seguimiento vehicular (car-following)

El modelo de seguimiento vehicular permite describir y predecir las acciones de los conductores y vehículos a través de parámetros que incorporan las características físicas y psicológicas del tránsito, fue desarrollado por Wiedemann (1974). Este modelo describe el comportamiento del tránsito en un solo carril, donde un vehículo describe su movimiento en base a un vehículo precedente.

Este modelo presenta 4 estados de conducción, los que presentan características específicas y pueden ser presentados como se muestra a continuación.



Figura 14. Ejemplo de submodelo de seguimiento vehicular usado en PTV Vissim.
Fuente: Adaptada de (Condori W. , 2018)

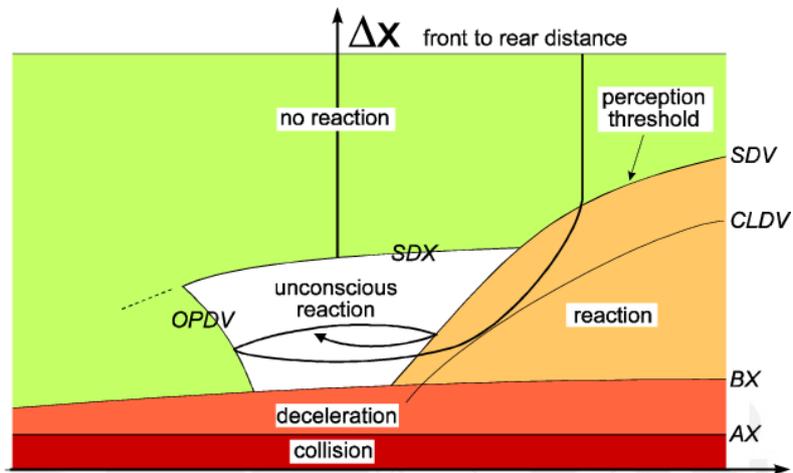


Figura 15. Esquema del modelo de seguimiento vehicular.
Fuente: Tomada de (Research Gate, 2001).

Según se observa, estos 4 estados de conducción son los siguientes: conducción libre, aproximación, seguimiento y frenado. En primer lugar, el estado de conducción libre se da cuando el vehículo analizado no recibe influencia alguna por parte de otros vehículos; es decir, puede transitar según su velocidad deseada y se mantiene dentro del rango de color verde en el gráfico anterior. En segundo lugar, el estado de aproximación se da cuando el vehículo analizado se acerca al vehículo precedente; por tanto, ya se ve influenciado por él y debe desacelerar para evitar la colisión, según se observa en la anterior gráfica. En tercer lugar, el estado de seguimiento vehicular se genera posterior a la aproximación, cuando el vehículo entra en un estado de aceleración y desaceleración buscando mantenerse a una velocidad similar al vehículo precedente. Por último, el estado de frenado, es cuando el vehículo percibe una distancia demasiado corta con el vehículo precedente y evita la colisión.

- Modelo de cambio de carril (Change lane)

Este modelo permite predecir y tomar decisiones en el cambio de carril de los vehículos analizados; por ejemplo, está compuesto por dos tipos de cambio de carril: cambio de carril

necesario y cambio de carril libre. En primer lugar, la decisión para el cambio de carril necesario está basada en las rutas designadas para el automóvil y el seguimiento obligatorio de estas rutas. Por otro lado, la decisión para el cambio de carril libre está basado en rebasar al vehículo precedente que puede ser más lento, considerando los riesgos de la maniobra de cambio de carril.

2.6.4 Calibración y validación del modelo

Posteriormente, se debe calibrar el modelo recreado; es decir, verificar las condiciones específicas de la vía a analizar. Para ello, según PTV Group, se pueden calibrar los submodelos, como es el submodelo de seguimiento vehicular de Wiedemann 74, donde se configura el modo de manejo y reacción de los conductores en el modelo de microsimulación (PTV Group, 2018). La finalidad de ello es que la reacción de los conductores simulados se asemeje a la conducción del entorno real; por ejemplo, en el Perú se observa un manejo más agresivo que en países de Europa.

Como se mencionó previamente, el submodelo de seguimiento vehicular define 4 fases de conducción, las cuales son definidas a partir de distintas variables. El submodelo de seguimiento vehicular está basado en la distancia mínima de seguridad que mantienen entre sí los vehículos, lo cual demuestra el grado de agresividad del conductor. A continuación, se muestran las ecuaciones involucradas en el modelo de seguimiento vehicular:

$$d = ax + bx$$

$$bx = (bxadd + bxmult \times z) \times \sqrt{v}$$

Donde:

- d: Distancia que guardan los vehículos entre sí
- bxadd: Distancia agregada deseada por seguridad
- bxmult: Distancia multiplicada deseada por seguridad
- z: Variable aleatoria entre 0 y 1
- v: Velocidad del vehículo en m/s

Estos parámetros deben ser modificados, a fin de conseguir el comportamiento más adecuado para la representación del entorno urbano estudiado. Con ello, se realizan múltiples simulaciones de la intersección y se recaudan datos de resultados, como longitudes de cola o tiempos de retraso. Posteriormente, para la etapa de la validación, se debe analizar condiciones de flujo diferentes a

la utilizada para el modelo y realizar simulaciones; esto permitirá validar la calibración realizada, siempre que los resultados de la simulación y las observadas en campo sean compatibles en entre sí.

2.6.5 Criterios de análisis de resultados

Previo a la simulación del escenario de tránsito estudiado, se definen y configuran las variables de salida a obtener tras la evaluación del modelo. En este sentido, tras la simulación, se obtienen dichos parámetros y pueden ser contrastados con otros escenarios previos, evaluando así las posibles mejoras.

Las principales variables de evaluación pueden ser las siguientes: longitud de cola, volumen vehicular, demora promedio y nivel de servicio. En primer lugar, la longitud de cola permite determinar las colas formadas por las interrupciones del tránsito; por ejemplo, en el caso intersecciones semaforizadas; el software PTV Vissim permite conocer la longitud de cola máxima y promedio. En segundo lugar, el volumen vehicular es el conteo del flujo total vehicular en una vía o una red de vías, considerado por cada tipo de vehículo. En tercer lugar, la demora promedio es el tiempo que los vehículos pierden en el tráfico, debido a interrupciones en el flujo. Por último, el nivel de servicio es la calidad de la ruta, medido a través de las variables definidas por el programa PTV Vissim.

3. Metodología

En este capítulo se detalla el marco metodológico utilizado para el desarrollo del proyecto de rediseño vial sostenible, según un enfoque práctico y también investigativo cualitativo. En primer lugar, se realizó el levantamiento de datos, tanto geométricos como de tránsito; en este caso, para la avenida Dos de Mayo, entre la avenida Sáenz Peña y la calle Monteagudo. En segundo lugar, se realizó el procesado computacional de los datos recolectados. En tercer lugar, se realizó el análisis del caso de estudio, donde se realizó una aproximación histórica y también una revisión técnica del diseño vial de la avenida Dos de mayo.

En cuarto lugar, con todos los datos obtenido, se realizó un proyecto de rediseño, con esta propuesta se pretendió mejorar las condiciones de la avenida, incorporando criterios de diseño y percepción del usuario. Por último, se realizó la microsimulación de la intersección más conflictiva, con la finalidad de evaluar la eficiencia de la propuesta de mejora.

3.1 Levantamiento de datos

Para la etapa del levantamiento de datos, se realizaron diversas visitas de campo a la zona de estudio, en el tramo comprendido entre la avenida Sáenz Peña y la calle Monteagudo, con la finalidad de realizar un reconocimiento preliminar del área y sus características espaciales específicas. En este sentido, se fotografió la zona de estudio desde sus principales componentes, a través de una cámara fotográfica de alta resolución; posteriormente, se revisó la composición geométrica y espacial de la avenida, a través de mediciones con cinta métrica, acerca del diseño vial actual, el ancho de las vías y demás elementos estructurales de la vía; además, se registró la ubicación de mobiliario urbano.

Tabla 5. Resumen de metodología usada para la etapa de levantamiento de datos.

Componente	Factores	Variables	Recursos
Levantamiento de datos	Geometría y espacio	Diseño vial actual Ancho de vía Mobiliario urbano	Cámara Cintra métrica
	Tránsito	Flujos de tránsito Ciclos semafóricos	Cámara de videovigilancia Cronómetro Formatos de conteo

Fuente: Elaboración propia.

De forma posterior, después de realizada la propuesta de mejora y rediseño de la vía, se recolectaron datos del flujo de los distintos medios de transporte habilitados en la zona, tanto vehicular, peatonal y ciclista, en el cruce de la avenida Sáenz Peña con la avenida Dos de Mayo, así como los ciclos semafóricos involucrados en esta avenida. Para ello, se utilizó cronómetros, cámara videogradora, cámara de videovigilancia de la Municipalidad Provincial del Callao, y formatos en hojas A4 para el levantamiento de datos. Adicionalmente, algunos datos de tránsito cedidos por la Municipalidad.

3.2 Procesado de datos

Con los datos obtenidos en las diferentes visitas en campo, se realizó la etapa de procesamiento de datos; esta etapa fue realizada en distintos momentos, a medida que los datos fueron recolectados y de acuerdo a la necesidad que requería la ejecución de la propuesta de rediseño. En este sentido, el trabajo de gabinete fue realizado a lo largo del desarrollo del presente proyecto, para lo cual se requirió el uso de una computadora portátil con almacenamiento suficiente y capacidad operativa para el uso de software de diseño en ingeniería y microsimulación.

Tabla 6. Resumen de metodología usada para la etapa de procesado de datos.

Componente	Factores	Variables	Recursos
Procesado de datos	Planos de vía	Plano de planta Secciones viales	AutoCAD
	Resumen de conteo	Resumen de conteo Resultados de conteo	MS Excel

Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, se procesaron los datos referentes a las medidas recolectadas en campo, así como la composición de la vía, para la realización de los planos correspondientes en el programa de AutoCAD de Autodesk; adicionalmente, se usó el programa auxiliar Streetmix. Este compendio digital de planos y fotografías permitió evaluar la vía de manera más eficiente y fidedigna en gabinete, para su evaluación y rediseño posterior. En segundo lugar, posterior a la realización del

conteo vehicular, peatonal y ciclista, se digitalizaron los datos recolectados en campo; para ello, se utilizó el programa Microsoft Excel, donde posterior a la digitalización de los datos se realizó también los gráficos resumen del estudio. Este trabajo de gabinete permitió determinar los flujos de medios de transporte, así como los flujos máximos en la zona de estudio, según las consideraciones estipuladas para estos estudios de tránsito.

3.3 Análisis general de caso de estudio

La avenida Dos de Mayo es una importante avenida del Callao, con gran relevancia geográfica, debido a su ubicación próxima al centro financiero, comercial e histórico del Callao; en este sentido, se analizó la ubicación geográfica, las características geográficas, existencia de barreras naturales y otros; para ello, se analizaron datos disponibles de manera pública, como datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), así como mapas catastrales y topográficos del Callao, elaborados por la Municipalidad Provincial del Callao (MPC), así como la revisión de bibliografía referente a la distribución geográfica y planificación urbana del Callao, y demás estudios referentes a esta avenida.

Tabla 7. Resumen de metodología usada para análisis general del caso de estudio.

Componente	Factores	Variables	Recursos
Análisis general del caso de estudio	Geografía	Ubicación Características	Mapas Datos INEI
	Historia	Línea temporal Construcción	Bibliografía histórica
	Estructura actual	Análisis de planos	AutoCAD Bibliografía
	Problemática	Diseño Inseguridad	Reportes periodísticos AutoCAD

Fuente: Elaboración propia.



Figura 16. Tramo de la av. Dos de mayo en el Callao.

Fuente: Tomada de (Inmobiliaria, 2021).

En primer lugar, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) presenta su informe de resultados del último censo, donde presenta las principales características de la Provincia Constitucional del Callao, desde las características de la población y su composición, así como las características de las viviendas y hogares del Callao. Esta información fue útil para la caracterización de la población del Callao y sus necesidades específicas, principalmente para conocer los requerimientos específicos de adecuación del espacio público y plantear los objetivos particulares de la intervención.

En segundo lugar, la Municipalidad Provincial del Callao, a través de la Gerencia General de Desarrollo Urbano, están encargados de la planificación urbana de la provincia, así como de la realización de los estudios necesarios para la ejecución de proyectos de inversión pública. En este sentido, disponen de planos catastrales y levantamientos topográficos del Callao, así como las secciones transversales de las vías en cuestión. Para este caso, se obtuvo la información referente a la avenida Dos de Mayo. Asimismo, la Municipalidad Provincial del Callao es la encargada de la elaboración del Plan de Desarrollo Metropolitano del Callao (PDM), donde se estipulan las proyecciones necesarias para el crecimiento urbano y metropolitano del Callao en los años siguientes, esto con la finalidad de proyectar mejoras, de acuerdo a los objetivos planteados en este documento.

En suma, se contextualizó el caso de estudio de manera general, desde su componente geográfico; la finalidad de esto es valorar la importancia de la avenida y conocer los criterios de diseño aplicados en los distintos cambios implementados en el caso de estudio. Así, las propuestas de

rediseño posteriores también responderán a las necesidades específicas de la población usuaria de esta vía.

Para el análisis técnico del caso de estudio; es decir, la avenida Dos de Mayo, se revisó en gabinete las condiciones actuales de la vía; es decir, el estado de su composición vial urbana y su condición respecto a la normativa vigente actual para avenidas urbanas, dentro de su clasificación de importancia de acuerdo a la Municipalidad Provincial del Callao. Para ello, se utilizaron los planos obtenidos de planta y secciones transversales, así como la Norma GH.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, donde estipula los criterios técnicos mínimos para las habilitaciones urbanas.

Posteriormente, tras analizar el estado actual de la vía de acuerdo a la normativa nacional vigente, se procedió a analizarse de acuerdo a los estándares internacionales de vías urbanas sostenibles; en el marco de la promoción de la implementación de sistemas de transporte sostenible no motorizado. Para ello, se utilizó bibliografía internacional de desarrollo urbano sustentable, y los principios para crear ciudades sustentables.

En este sentido, con la revisión y análisis del diseño vial actual, se caracteriza la problemática actual de la avenida; es decir, el diseño geométrico, los modos de transporte utilizados, y otros problemas adicionales. Esta caracterización permitirá conocer los puntos a tratar, y enfocar las propuestas de mejora en solucionar esta problemática.

3.4 Propuestas de mejora

Con el análisis general de la avenida estudiada, así como la percepción de los usuarios y la calidad de servicio de la vía, se caracterizó la problemática actual de esta avenida, y se definieron los objetivos de mejora a tomar en cuenta para las propuestas de mejora y rediseño. En este sentido, para esta etapa se tomó en cuenta la bibliografía nacional e internacional acerca de espacios público, diseño vial urbano, criterios de diseño sostenible, movilidad sostenible, gestión semafórica y demás estudios disponibles de manera pública.

Tabla 8. Resumen de metodología usada para la etapa de propuestas de mejora.

Componente	Factores	Variables	Recursos
Propuestas de mejora	Elaboración de propuestas	Secciones viales Problemática Mobiliario urbano	Bibliografía AutoCAD
	Diseño de propuestas	Planos Detalles	AutoCAD Sketchup

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las características actuales de la vía y las recomendaciones de diseño presentadas en estudios de similares características, se adecuaron estas propuestas de mejora a la avenida Dos de Mayo, a través del diseño por medio de planos y secciones transversales. En este sentido, se presentaron propuestas de redistribución de la sección vial, inclusión de medios de transporte sostenible, accesibilidad peatonal y espacios públicos eficientes a través de mobiliario urbano adecuado para las actividades ejecutadas en esta vía.

Estas propuestas de mejora fueron implementadas en los planos de diseño de la vía, así como en cuadros resumen. Asimismo, se detallaron las propuestas de rediseño planteadas, en planos de detalle constructivo u otros. Estas propuestas de rediseño son también presentadas a través del programa Streetmix.

3.5 Microsimulación

Con la finalidad de analizar el rediseño vial implementado y su eficiencia, se utilizó la herramienta de microsimulación, a través del software técnico PTV Vissim, con la finalidad de modelar virtualmente el estado de la avenida estudiada y revisar la eficiencia de la implementación virtual de las propuestas planteadas en el presente proyecto. De este modo, la eficiencia del estado actual se analizó a través de los parámetros resultados obtenidos por el programa PTV Vissim, así como los cambios en estos parámetros posterior a la implementación virtual de las propuestas de rediseño.

Tabla 9. Resumen de metodología usada para etapa de microsimulación.

Componente	Factores	Variables	Recursos
Microsimulación	Modelado y microsimulación	Modelo en Vissim Calibración Validación	PTV Vissim
	Evaluación del desempeño	Eficiencia	PTV Vissim

Fuente: Elaboración propia.

3.5.1 Selección de intersección a modelar

En primer lugar, se determinó una intersección en la avenida, en el tramo seleccionado, dicha intersección se escogió a través del análisis del tramo y sus condiciones de tránsito. En este sentido, se analizaron las intersecciones más importantes; es decir, con otras avenidas de alto flujo. Con ello, se determinó que la intersección semaforizada con la avenida Sáenz Peña sería microsimulada.

3.5.2 Desarrollo de modelo

En el programa PTV Vissim, se diseñó el modelo de la intersección a analizar. El área de influencia fue delimitada a partir de la influencia de la avenida analizada y también de la capacidad de procesamiento de datos de la licencia del programa Vissim. Para ello, fue necesario modelar la intersección a estudiar; es decir, su composición física y las condiciones de entorno; en este sentido, se siguió las metodologías y propuestas de diseño de Álvarez (2017) y Belloti (2019). Adicionalmente, para el procedimiento de construcción del modelo se puede utilizar el Manual de Usuario de Vissim 10; en este manual se disponen los pasos a seguir para el modelado de la intersección o vía a ser estudiada. Este procedimiento será revisado a detalle en la metodología, consta principalmente de las siguientes etapas (PTV Group, 2018):

- Configuración de parámetros de simulación
- Configuración de distribución de velocidades
- Configuración de las características de la composición vehicular del flujo
- Configuración de la composición vehicular y distribución del flujo vehicular
- Construcción del entorno geométrico de simulación
- Configuración de los volúmenes del flujo vehicular
- Configuración de las rutas en el flujo vehicular
- Configuración de restricciones o cambios de velocidad en el flujo vehicular
- Configuración de ciclos y controles semafóricos
- Configuración y ubicación de semáforos en la red

3.5.3 Calibración y validación del modelo

Después de crear el modelo de microsimulación en el programa Vissim, según las etapas descritas previamente, se procedió a la calibración de este modelo según las condiciones específicas de los conductores y las condiciones reales de tráfico en la intersección.

En primer lugar, se calibraron los parámetros del modelo de seguimiento vehicular, según la conducción del marco limeño; esta calibración permite simular las características de agresividad y distancias de seguimiento vehicular por parte de los conductores. Para la calibración de estos parámetros fueron usadas las observaciones en campo y procesos iterativos, considerando los valores entre los que el modelo recomienda variar, según los datos presentados en la Guía de Usuario de PTV Vissim (PTV Group, 2015):

Tabla 10. Variables sugeridas para parámetros de calibración en PTV Vissim.

PARÁMETRO DE CALIBRACIÓN	VALOR POR DEFECTO	RANGO SUGERIDO DE CALIBRACIÓN
SEGUIMIENTO VEHICULAR EN VIA ARTERIAL (WIEDEMANN 74)		
Distancia de parada promedio	6.56 ft	> 3.28 ft
Parte aditiva de la distancia de seguridad	2.00	1.00 – 3.50
Parte multiplicativa de la distancia de seguridad	3.00	2.00 – 4.50

Fuente: Adaptada de (PTV Group, 2021).

Por otro lado, posterior a la calibración y el corrido de diversas simulaciones, se procede a la etapa de validación. La validación consiste en la prueba del modelo de simulación con variables de entrada diferentes, con la finalidad de obtener resultados similares a los que se consiguieron en campo, con condiciones de tránsito y entorno diferentes a las usadas inicialmente para la calibración.

3.5.4 Análisis de parámetros de eficiencia actuales

Posterior a la calibración y validación del modelo, se obtuvieron los resultados de las distintas simulaciones e iteraciones realizadas, con ello se delimitaron los parámetros de eficiencia que se detallan a continuación: longitud de cola en los diferentes accesos de la intersección, volumen vehicular medido en la simulación, demora promedio y nivel de servicio obtenido por el programa Vissim.

3.5.5 Desarrollo de modelo de propuesta de mejora

Después de contar con un modelo calibrado y validado de la intersección, así como con los resultados y parámetros de eficiencia del estado actual de la vía en dicha intersección, se procede a modelar las mejoras o cambios planteados a través del rediseño de la vía. Para ello, se plantearon mejoras en la sección vial y la inclusión de medios de transporte sostenibles, así como la infraestructura necesaria para mantener la seguridad de los distintos medios de transporte.

En este sentido, se continuó con la misma metodología descrita previamente para el modelado y rediseño del modelo de microsimulación, así como para la asignación de las nuevas condiciones de tránsito o controles semafóricos dispuestos por el rediseño propuesto en el presente proyecto. Luego, se obtuvieron los resultados de las distintas simulaciones ejecutadas en el programa e iteraciones, para resumir estos parámetros en una tabla.

3.5.6 Análisis comparativo de parámetros de eficiencia

Finalmente, se realizó un análisis comparativo entre los resultados obtenidos para la simulación del estado actual de la intersección y los resultados obtenidos para la simulación del rediseño y propuesta de mejora planteada para esta área de influencia. Así, se analizó la eficacia de la propuesta y se realizaron las conclusiones pertinentes para el aspecto técnico y operativo del presente proyecto.



4. Caso de Estudio: Av. Dos de Mayo - Callao

4.1 Introducción: Av. Dos de Mayo

Descripción general

La avenida Dos de Mayo es una de las principales avenidas en la zona histórica de Cercado Callao, además de principal acceso a la zona monumental del Callao, debido a su conexión con el jirón Constitución. Esta avenida consta de diez cuadras, y se extiende desde la Plaza Garibaldi hasta la avenida Sáenz Peña, además representa la vía divisoria de dos importantes barrios de la zona de Cercado Callao: el barrio de Atahualpa y el barrio de Castilla. Inicialmente, para su construcción, se definió como nombre el jirón Piura.

El distrito de Cercado Callao es la capital de la Provincia Constitucional del Callao y reúne las principales edificaciones institucionales, industriales, históricas y monumentales de la Provincia, así como el puerto marítimo del Callao. Tiene una superficie de 45.65 kilómetros cuadrados, con más de 400 000 habitantes, divididos en zona norte, centro y sur. La avenida Dos de Mayo está interconectada con la avenida Argentina y la avenida Guardia Chalaca, a través de la Plaza Garibaldi, hasta la avenida Sáenz Peña, la principal avenida de Cercado Callao.

La vía se compone de veredas peatonales laterales, vías vehiculares en ambos sentidos y una amplia mediana. Estas vías vehiculares en ambos sentidos, presentan un primer tramo compuesto por tres carriles en cada sentido, en el tramo desde la Plaza Garibaldi hasta la calle Monteagudo; mientras que, tres carriles en cada sentido, para el tramo desde la calle Monteagudo hasta la avenida Sáenz Peña. Por otro lado, la mediana está compuesta por áreas verdes en sus laterales y una amplia senda peatonal en el centro, con bancas dispuestas en zonas de descanso. Asimismo, en la intersección de la calle Stiglich con la avenida Dos de Mayo se encuentra el monumento en homenaje a Los Héroes del Callao.



Figura 17. Avenida 2 de mayo.

Fuente: Fotografía propia. 02 de abril del 2022.

Las principales edificaciones ubicadas en esta avenida se mencionan a continuación. En primer lugar, el colegio Nuestra Señora de Guadalupe N°5007. En segundo lugar, el comedor popular “Teresa Izquierdo”. En tercer lugar, la parroquia “La Inmaculada Concepción”. En cuarto lugar, la Corte Superior de Justicia del Callao. En quinto lugar, la Reniec del Callao. En sexto lugar, la Benemérita Decana Sesquicentenario Compañía de Bomberos Unión Chalaca N°1. En séptimo lugar, el Policlínico Alberto Leonardo Barton Thompson. En este sentido, son las principales edificaciones que cuentan con un acceso directo en la avenida Dos de Mayo.



Figura 18. Plano de principales edificaciones en la avenida 2 de mayo.
Fuente: Adaptado de (Municipalidad Provincial del Callao, 2019).

Datos específicos de seguridad ciudadana en la zona de estudio

En términos de inseguridad ciudadana e índice de criminalidad, se disponen de los datos del Sistema Integrado de Estadísticas de la Criminalidad y Seguridad Ciudadana (DATACRIM), de acceso público presentado por el INEI. En el caso de las zonas aledañas a la avenida Dos de Mayo se observa que, según la variable definida como la población de 15 y más años de edad que ha sido víctima de algún hecho delictivo, esta zona representa un valor del 24.3% al 29.1%, siendo así el segundo nivel más alto de criminalidad en la escala definida en la leyenda. Estos datos serán

contrastados posteriormente con su incidencia en hechos delictivos asociados a la zona de la avenida Dos de Mayo.



Figura 19. Mapa de índice de criminalidad en el distrito del Callao.
Fuente: Adaptada de (DATACRIM, 2021).

Delimitación de área de intervención

El área de intervención en la avenida 2 de mayo está demarcada entre la avenida Sáenz Peña y la Calle Monteagudo, lo cual se detalla en el mapa mostrado a continuación, delimitado por líneas punteadas.



Figura 20. Mapa de delimitación de área de estudio.
Fuente: Adaptada de (Municipalidad Provincial del Callao, 2019).

4.2 Recolección y análisis de datos geométricos y de composición vial

Observación y descripción de geometría vial

La Av. 2 de mayo es una amplia vía de 2 sentidos de circulación vehicular, mientras que el tramo analizado consta de las cuatro primeras cuadras entre la Av. Sáenz Peña y la Ca. Monteagudo, en sentido Sur a Norte. La sección vial está compuesta por los elementos que se describen a continuación.

En primer lugar, amplias veredas laterales de concreto, en ambos márgenes de la vía con un ancho de 5.10 metros en el margen izquierdo y 4.90 metros en el margen derecho, en sentido sur a norte. En segundo lugar, calzadas de 3 carriles de 3.00 metros en cada sentido de pavimento rígido, divididos por una amplia mediana. Por último, una mediana de 9.10 metros, compuesta por sardineles de concreto armado que la separan de la calzada, áreas verdes en ambos márgenes y una vereda de adoquines de concreto en el centro. Adicionalmente, algunas áreas de la mediana disponen de ensanchamientos en la vereda central con la finalidad de albergar bancas de concreto como zona de descanso para peatones. Esta distribución de la sección vial se aprecia en el siguiente corte transversal de la avenida.

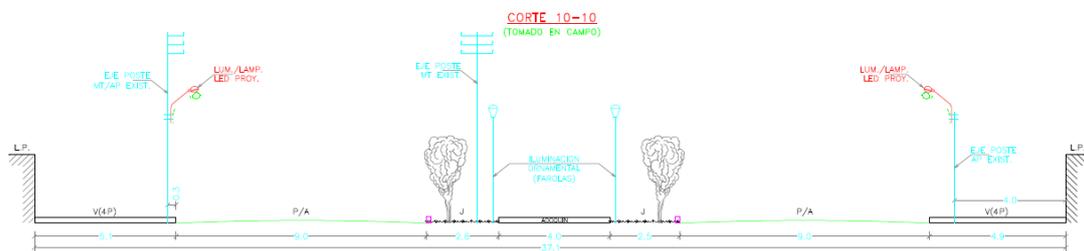


Figura 21. Sección vial de la avenida 2 de mayo.

Fuente: Tomada de (Municipalidad Provincial del Callao, 2021).

Esta sección vial se mantiene a lo largo del tramo seleccionado de la avenida, entre la Av. Sáenz Peña y la Ca. Monteagudo, el cual contempla 500 metros de la avenida. En este tramo están contenidas intersecciones con las siguientes vías: Av. Sáenz Peña, Ca. Castilla, Ca. Sucre, Ca. Montezuma, Ca. Stiglich, Ca. Moquegua y Ca. Monteagudo.

Observación y descripción de composición del tránsito

La avenida 2 de mayo es clasificada como una vía Arterial, mediante Ordenanza Municipal N°023-2019 de fecha 29 de noviembre de 2019, cuya finalidad es servir al tránsito originado en las vías colectoras. Según la Autoridad de Transporte Urbano (ATU), a través de la Subdirección

de Servicio de Transporte Regular, existen 2 paraderos autorizados en la zona de estudio, mientras que circulan en total 35 rutas por la vía, con una flota autorizada de 1333 vehículos. Adicionalmente, se registró visualmente el tránsito de peatones, ciclistas, vehículos menores, automóviles, combis de transporte público y buses de transporte público.

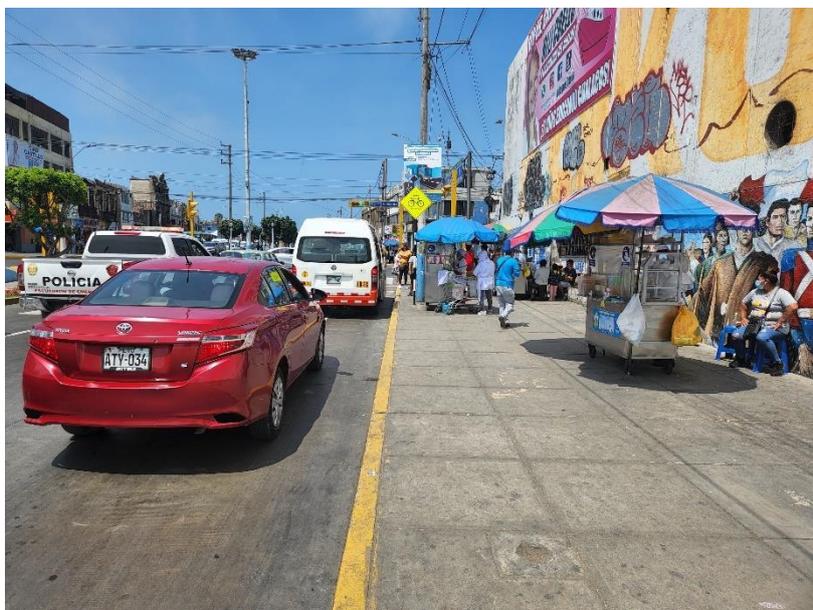


Figura 22. Paradero existente en la avenida 2 de mayo.
Fuente: Fotografía propia. 02 de abril del 2022.

Observación y descripción de condiciones de accesibilidad

A nivel de accesibilidad, se registró en el área delimitada la existencia de 30 rampas peatonales en algunos de los principales cruces de la avenida 2 de mayo, de las que se registraron sus medidas y se clasificó según los criterios mínimos de accesibilidad dispuestos en la Norma A.120 de Accesibilidad. De estas 30 rampas, apenas 16 de ellas cumplen con los criterios mínimos dispuestos en la Norma; por lo que, la mayoría de ellas registran pendientes muy elevadas para su tránsito, así como interferencias u obstáculos que dificultan el tránsito. Por otro lado, se registró que no existe ningún tipo de facilidad para personas con algún tipo de discapacidad.

Análisis de la problemática actual en geometría y composición vial

Ancho insuficiente de carriles y capacidad vial sobreestimada

Según se mencionó previamente, la avenida 2 de mayo es una vía de clasificación tipo arterial, con 3 carriles de 3.00 metros cada uno en ambos sentidos; asimismo, a nivel reglamentario mediante Decreto Supremo N°025-2021-MTC se redujo la velocidad máxima de 60 km/h a 50

km/h en avenidas de Lima y Callao. En este sentido, según los criterios dispuestos por el Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas, para vías arteriales con velocidad de 50 a 60 km/h, se recomienda un ancho por carril de 3.30 metros, mientras que el ancho mínimo para carriles de tipo Solo Bus es de 3.50 metros; por tanto, las características actuales de la vía no se encuentran de acuerdo a los valores recomendados en dicha guía. Por otro lado, se recomienda entre 2 a 3 carriles por cada sentido, mientras que preferentemente los buses autorizados deberían circular por carriles de tipo “Solo Bus”. Por ello, se determina que el ancho de los carriles actualmente dispuestos no está de acuerdo al ancho recomendable.

Falta de inclusión de ciclovías y facilidades para el peatón

Según se registró previamente, la circulación en esta vía está compuesta por vehículos livianos, combis y buses de transporte público, así como también por peatones y ciclistas. En tal sentido, el actual diseño vial dispone de calzadas para transporte automotor en ambos sentidos y veredas de concreto laterales y central para la movilización de peatones; sin embargo, no dispone de infraestructura vial exclusiva para medios de transporte sostenible no motorizado. Adicionalmente, las vías de circulación peatonal no consideran adecuadamente criterios de accesibilidad para personas con algún tipo de discapacidad.

Paraderos autorizados no señalizados

Según se mencionó previamente, en la vía existen 2 paraderos autorizados y 35 rutas que circulan por la vía; sin embargo, estos paraderos no se encuentran debidamente señalizados ni delimitados, así como tampoco disponen de infraestructura para zona de espera de peatones. En este sentido, considerando que los paraderos cumplen un importante rol en la dinámica de viajes de la ciudad, así como en esta importante vía del Callao. Por otro lado, también se debe considerar que mediante Resolución Gerencial N°090-2019-MML/GTU, a través de su Instructivo N°01-2019-MML/GTU en consideración de ubicación de paraderos, se determina que es recomendable, para vías arteriales, una distancia entre paraderos de 300 a 500 metros, así como criterios adicionales a tomar en cuenta, como seguridad, usos de suelo, costumbre y accesibilidad.

Mobiliario urbano deteriorado e insuficiente

Por un lado, se registró la ubicación de tachos de basura de tipo basculante, para los cuales, según el Manual de Mobiliario Urbano de la Municipalidad de San Isidro, deberían disponerse en una distancia mínima recomendada de 25 metros; por lo que, este espaciamiento recomendado se cumple en el área de la mediana, mientras que no se cumple en las veredas laterales de tránsito

peatonal, donde apenas se cuenta con mobiliario urbano para el acopio de residuos. Por otro lado, se registró la falta de bancas en el espacio público de la mediana, ya que en algunas zonas se observa que las bancas previamente existentes han sido demolidas y retiradas.

Pavimentos con texturas y daños perjudiciales para tránsito de personas con movilidad reducida

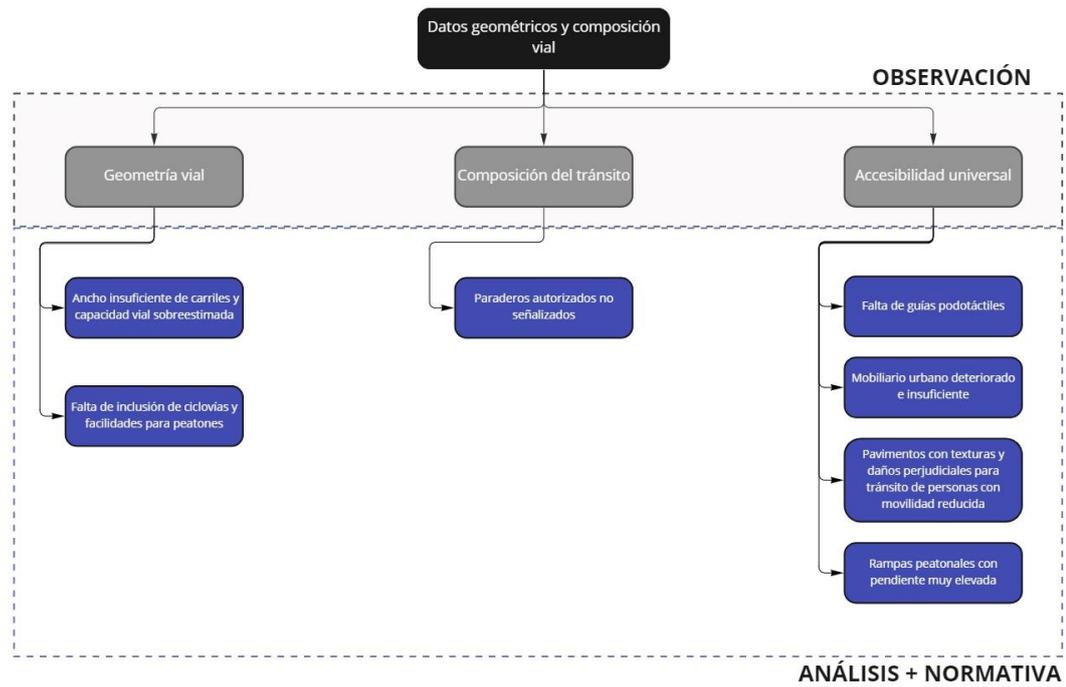
Se registró que la mediana está habilitada con adoquines de concreto, con la existencia de grietas y daños notables en algunas zonas de la vía; con ello, se recomienda que para aceras el material del pavimento debe ser estable, sin rugosidades, liso y antideslizante, con la finalidad de facilitar la movilidad en dichas áreas; por lo que, se suele recomendar el uso de baldosas y hormigón debidamente texturizados, mientras que el uso de adoquines no está recomendado debido a sus irregularidades. Asimismo, se recomienda el uso de texturas diferenciadas como indicador de cambios de sentido y nivel, hecho que no se evidencia en el diseño de las veredas y mediana en la avenida dos de mayo.

Falta de guías podotáctiles

Se recomienda las guías o bandas táctiles en las zonas de tránsito peatonal, con la finalidad de informar a través de cambios de texturas y color a las personas con algún tipo de discapacidad visual; en este sentido, no se registró existencia de dichos criterios de accesibilidad en el diseño de la avenida. Asimismo, a nivel informativo, se recomienda la implementación de señales sonoras y paneles informativos para la correcta canalización del flujo peatonal.

Rampas peatonales con pendiente muy elevada

En cuanto a los cruces peatonales, se debe disponer de rebajes a nivel cero, sin ningún tipo de desnivel entre la vereda y la calzada. Para esto, la Norma A.020 de Accesibilidad Universal dispone criterios técnicos mínimos para la implementación de rampas accesibles para personas con movilidad reducida, así se define como criterios mínimos que el ancho mínimo de una rampa debe ser de 1.00 metro, mientras que la pendiente depende del desnivel a rebajar, y puede variar entre 2% a 12%. En este sentido, según se registró, existen 14 de 30 rampas peatonales que no cumple con alguno de estos criterios dispuesto en la normativa vigente.



miro

Figura 23. Esquema resumen de análisis de datos geométricos y composición vial.
Fuente: Elaboración propia.

4.3 Observación y análisis de estado de la infraestructura vial

Observación y descripción de estado de la infraestructura vial

La calzada de la avenida 2 de mayo es de tipo pavimento rígido de concreto, el pavimento se encuentra en muy buen estado de conservación, no presenta ningún tipo de falla superficial o estructural según se ilustra a continuación.



Figura 24. Pavimento rígido existente.

Fuente: Fotografía propia.

Las franjas laterales están compuestas de veredas de concreto con acabado frotachado y bruñado, las cuales presentan evidencia de daños estructurales y amplias grietas, las que dificultan el tránsito en algunos tramos de la vía. De igual modo, esto acontece en la mediana de tránsito peatonal, la cual está compuesta de baldosas de concreto con acabado bruñado y pintura roja, las que presentan daños estructurales en algunos tramos y también dificultan el tránsito de peatones.



Figura 25 y 26. Estado de conservación de veredas.

Fuente: Fotografía propia. 02 de abril del 2022.

En el caso de los sardineles de concreto y las áreas verdes, en general presentan un buen estado de mantenimiento y conservación; sin embargo, en algunas ubicaciones específicas se registró evidencia de daños estructurales en los sardineles y destrucción del área verde, señal de que algunas de estas zonas son usadas como cruceros peatonales en áreas donde no está habilitado para dicho tránsito.



Figura 27. Daño en sardinel de concreto y áreas verdes producto de cruce peatonal informal frente a Poder Judicial.

Fuente: Fotografía propia. 02 de abril del 2022.



Figura 28. Daño en áreas verdes producto de cruce peatonal informal.

Fuente: Fotografía propia. 02 de abril del 2022.

En el caso de la señalización en la vía, a nivel de señalización horizontal y marcas en el pavimento, se observa que se encuentra delimitado el tránsito de acuerdo al Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones; sin embargo, para el caso de los paraderos autorizados, no se encuentran

debidamente delimitados con marcas en el pavimento. Asimismo, la señalización de cruces peatonales se encuentra deteriorados y dificultan su identificación.



Figura 29. Cruce peatonal sin mantenimiento ni repintado.
Fuente: Fotografía propia. 02 de abril del 2022.

A nivel de señalización vertical, apenas se encuentran 4 señales verticales a lo largo del tramo seleccionado: la primera es una señal de tipo P-46, que indica la proximidad a un cruce ciclista y hace referencia a la intersección con la Av. Sáenz Peña, la cual cuenta con una ciclovía existente; la segunda es una señal de tipo R-1, que indica la palabra “PARE”, la que hace referencia al cruce peatonal ubicado en la intersección con la Calle Monteagudo; la tercera es una señal de tipo R-42, que indica la existencia de un tramo de ciclovía, la misma que se encuentra en la mediana de la avenida; sin embargo, esta zona no se encuentra acondicionada ni considerada como ciclovía actualmente; por último, se encuentra un poste metálico sin señalética, por lo que se intuye que fue retirado.

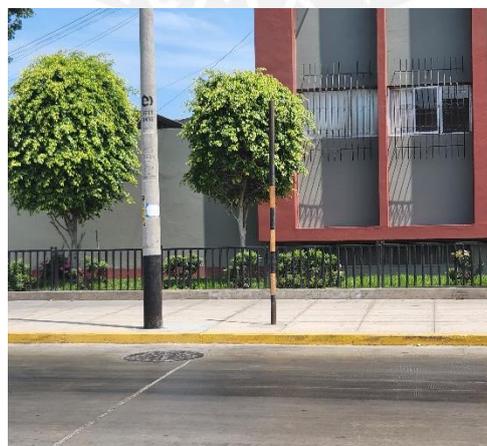


Figura 30. Señal vertical faltante frente a Poder Judicial.
Fuente: Fotografía propia. 02 de abril del 2022.

Análisis de la problemática actual en infraestructura vial

Mal estado de veredas y senderos peatonales

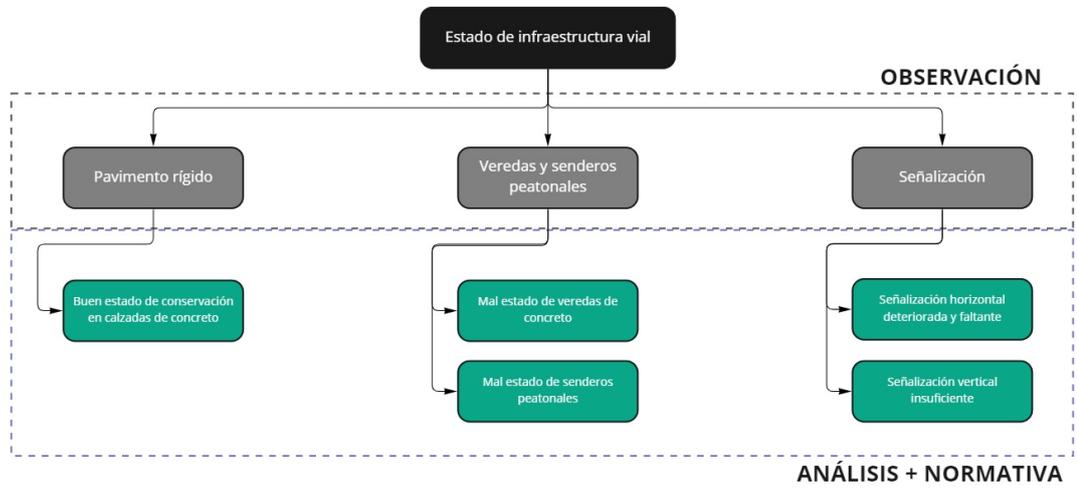
Respecto a los daños evidenciados en veredas y zonas de circulación peatonal, se puede notar la falta de mantenimiento y reparación de grietas y daños de gran magnitud, los que dificultan la circulación. Además, según se denota en las Figuras 30 y 31, existen zonas en donde hay daños estructurales que dificultan la circulación y aumentan el riesgo de cruces. En este sentido, se intuye que lo registrado puede corresponder a cruces peatonales no autorizados, así pues, tratándose de una avenida y una vía clasificada como arterial, este tipo de cruces peatonales no habilitados puede generar riesgo de accidentes de tránsito.

Señalización horizontal deteriorada y faltante

Respecto a la señalización horizontal, se evidencia que la señalización horizontal para el tránsito vehicular se encuentra en buen estado, mientras que para los cruces peatonales se registra un estado de deterioro y desgaste de la señalización. En este sentido, el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones refiere que para que las marcas en el pavimento cumplan su función adecuadamente deben mantener una uniformidad en sus dimensiones, diseño, símbolos, caracteres, colores y tipo de material utilizado.

Señalización vertical insuficiente

Respecto a la señalización vertical, se registró apenas 3 señales verticales en buen estado y 1 señal de la que apenas se encuentra el poste de fijación. En tal sentido, se evidencia que no existe señalización vertical referente a la ubicación de paraderos autorizados, ni referente a ubicación de cruces peatonales, y tampoco referente a la regulación de la velocidad máxima a transitar por esta vía. Según el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, el ámbito de aplicación es a nivel nacional y tiene carácter normativo, por lo que se deben cumplir los criterios mínimos para la instalación y correcta señalización de las vías.



miro

Figura 31. Esquema resumen de análisis de estado de infraestructura vial.
Fuente: Elaboración propia.

5. Propuestas de mejora en la Av. Dos de Mayo

5.1 Mejoras en el diseño vial urbano

Redistribución del tránsito vehicular

En primer lugar, de acuerdo al Decreto Supremo N°025-2021-MTC, se redujo la velocidad de circulación a máximo 50 km/h; en tal sentido, se propone como velocidad de diseño la velocidad máxima de circulación como velocidad de flujo libre.

En segundo lugar, según el Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas, para una vía arterial se dispone de una circulación para todo tipo de vehículos, pero con limitación y circulación mínima de vehículos pesados. Asimismo, el transporte público autorizado preferentemente debe circular por carriles exclusivos para buses con paraderos diseñados al exterior de la vía. Con ello, según el instructivo “Evaluación e implementación de paraderos de transporte público regular” se determina un ancho de carril de 3.50 metros para carriles exclusivos para buses.

En tercer lugar, según el Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas, para una vía arterial se puede disponer de 2 o 3 carriles en cada sentido, con un ancho mínimo de 3.30 metros, para el caso de vías bidireccionales (VCHI, 2005). Siempre que las condiciones del tránsito lo sustenten. Para este caso, actualmente la vía cuenta con 3 carriles de 3.00 metros en cada sentido; por lo que, se propone la reducción de 3 a 2 carriles, mientras que se aumente el ancho de cada carril de la siguiente manera: 1 carril de 3.50 metros exclusivo para buses y 1 carril de 3.30 metros; esta reducción será evaluada posteriormente en el capítulo de microsimulación. Así, se presenta el siguiente cuadro de modificaciones propuestas:

Tabla 11. Resumen de propuestas de cambio en el diseño vial.

Criterio	Actualmente	Propuesta
N° de sentidos	2	2
N° de carriles	3	2
Ancho de carriles	3 de 3.00m	1 de 3.50m 1 de 3.30m
Carril exclusivo para bus	No	Si

Fuente: Elaboración propia.

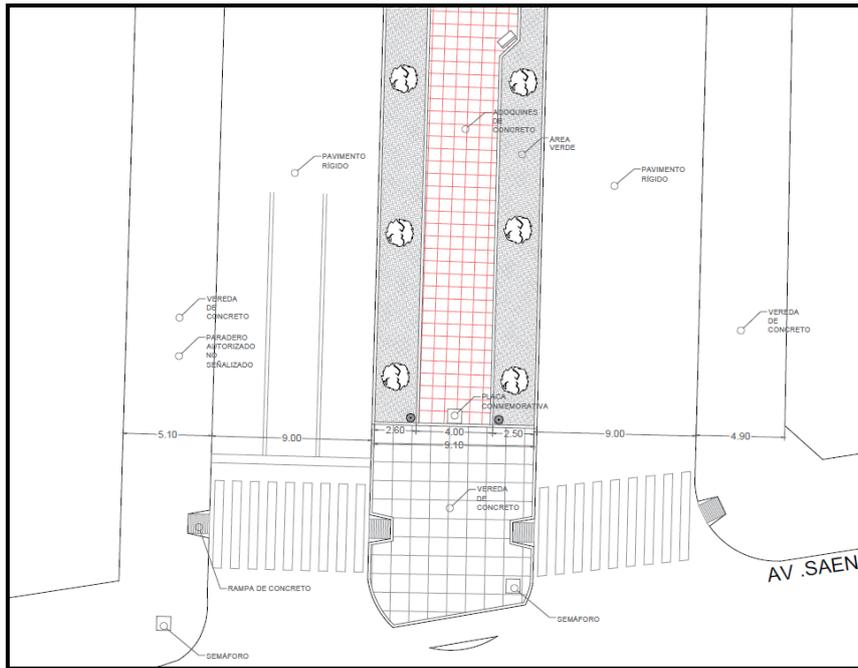


Figura 32. Estado actual de la cuadra 1 de la avenida 2 de mayo.
 Fuente: Adaptada de (Municipalidad Provincial del Callao, 2019).

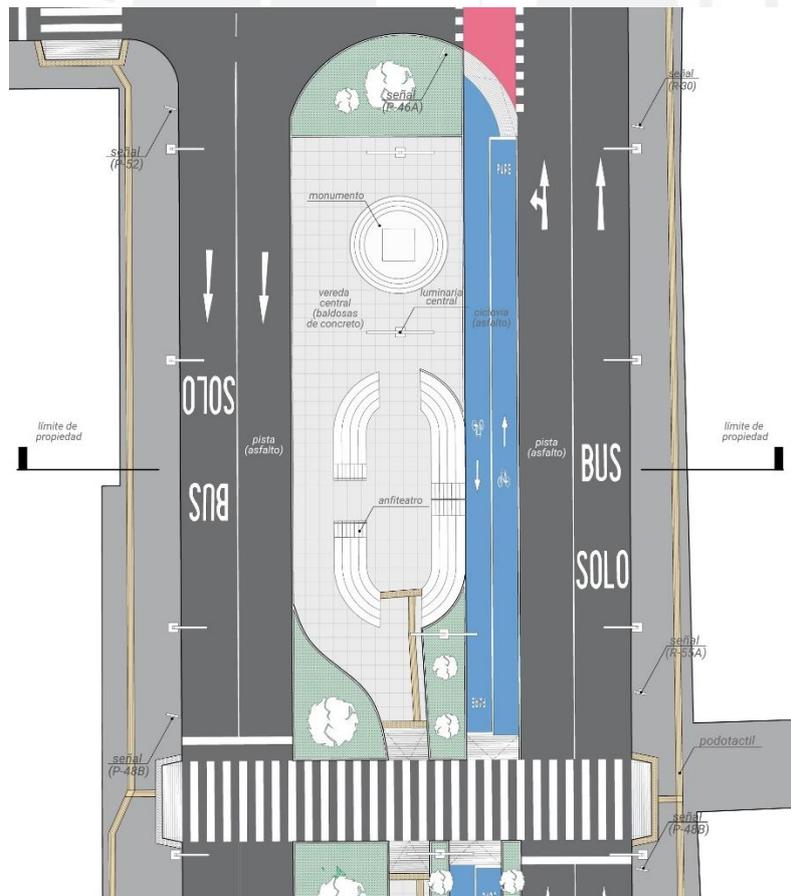


Figura 33. Propuesta de rediseño de la avenida 2 de mayo.
 Fuente: Elaboración propia.

Inclusión de medios de transporte sostenible

Con respecto a la diversidad de medios de transporte, se observa que no existe infraestructura dispuesta para medios de transporte sostenible; por ejemplo, uso de patinetas, bicicletas, scooter y otros similares. En este sentido, se propone la inclusión de infraestructura ciclovial de acuerdo a las recomendaciones dispuestas en la Guía de Implementación de Sistemas de Transporte Sostenible No Motorizado del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Para el caso de una vía arterial, se considera adecuado la inclusión de ciclovías segregadas físicamente del tránsito vehicular, así también se debe asumir como prioridad la inclusión de ciclovías en este tipo de vías de acuerdo al gran potencial de mejora que presentan. En este caso, la ciclovía propuesta estaría segregada de la calzada, dispuesta en un carril exclusivo ubicado en la mediana reacondicionada; esta ciclovía propuesta será bidireccional y presentará conexión directa con la ciclovía bidireccional existente en la avenida Sáenz Peña, de acuerdo a las dimensiones mínimas dispuestas en la normativa vigente.

La implementación de ciclovías debe cumplir con ciertos requisitos mínimos dispuestos en la bibliografía nacional e internacional, los que son los siguientes cinco requisitos: seguridad, comodidad, coherencia, directividad y atraktividad.

En primer lugar, la seguridad debe ser un factor predominante en la creación de la ciclovía, ya que los ciclistas deben ser adecuadamente protegidos de los vehículos motorizados; en este caso específico, la ciclovía se encontrará segregada eficazmente de la calzada, con un espacio adecuado para maniobras de acuerdo a la normativa vigente y además, contará con controles semafóricos para ciclistas en la principal intersección y conexión con la avenida Sáenz Peña.

En segundo lugar, la directividad debe proveerse en el trazado de la ruta de la ciclovía, para este caso, las vías arteriales permiten que el criterio de directividad se cumpla de manera adecuada, ya que es una ruta directa, sin desvíos y poca cantidad de intersecciones. Esta ciclovía estará implementada en el tramo de la avenida dos de mayo, desde la calle Monteagudo hasta la avenida Sáenz Peña, en la mediana, sin desvíos innecesarios.

En tercer lugar, la coherencia de la ciclovía se provee a través de la homogeneidad en la estructura de la vía, ya que la configuración de la vía permitirá una adecuada identificación de la ciclovía, con infraestructura homogénea y, además, con implementación de señalización horizontal y vertical. Adicionalmente, esta ciclovía recolectará el flujo de ciclistas generado en las principales edificaciones e instituciones ubicadas en la avenida dos de mayo y la distribuirá hacia la avenida

Sáenz Peña, la cual presenta una ciclovía existente interconectada con el resto de la red vial del Callao.

En cuarto lugar, la comodidad de la ciclovía permitirá incentivar el uso de esta nueva ciclovía, la cual será considerada en el ancho de la ciclovía adecuado, pavimentación flexible con una adecuada capa de rodadura, y presencia de vegetación y arborización a modo de barrera ecológica y segregador del tránsito vehicular.

Por último, la atractividad de la ciclovía se enfoca en una adecuada implementación y mejora del entorno que alberga la ruta, por lo que, debido al rediseño vial completo, se otorgará las condiciones adecuadas de iluminación, arborización, mobiliario urbano y espacios destinados para actividades en el espacio público.

El trazo de esta ruta de ciclovía se encuentra también sustentada en la ubicación de edificaciones e instituciones importantes en la avenida dos de mayo, lo cual identifica a la vía como un gran punto atractor y generador de viajes, así como su interconexión con la red de ciclovías existentes en el Callao, que está compuesta actualmente por la avenida Sáenz Peña, avenida Guardia Chalaca, avenida República de Panamá y jirón Adolfo King.

Tabla 12. Resumen de datos de ciclovía propuesta.

Criterio	Propuesta
Número de carriles	2 – Bidireccional
Ancho de cada carril	1.60 metros
Longitud	~500 metros
Ubicación	Mediana
Segregación	Sardineles de concreto armado

Fuente: Elaboración propia.



Figura 34. Inclusión de ciclovía segregada en mediana de la Av. 2 de Mayo.
Fuente: Elaboración propia.

Implementación de paraderos autorizados

En el caso de los paraderos autorizados por la Autoridad de Transporte Urbano de Lima y Callao (ATU), se cuenta con dos paraderos autorizados en el tramo a intervenir; sin embargo, no se encuentran debidamente delimitado, señalado, ni con infraestructura adecuada. En tal sentido, se propone implementar un espacio adecuado para los paraderos, de acuerdo al Instructivo N°01-2019-MML/GTU “Evaluación e implementación de paraderos de Transporte Público Regular”, en donde se disponen las dimensiones adecuadas para el área de espera, accesos, señalización horizontal y señalización vertical. Además, estas medidas se complementan con la implementación de un carril exclusivo de tipo “Solo Bus”.



Figura 35. Imagen referencial de implementación de paradero.
Fuente: Tomada de (Comercio, 2019)

Implementación de accesibilidad universal

En cuanto a los criterios de accesibilidad universal, no se contemplan dichas directivas en el diseño vial de la avenida dos de mayo, en tal sentido, se propone la inclusión de criterios de accesibilidad universal para su rediseño, así se debe enfocar el rediseño en brindar igualdad de oportunidades también a las personas con algún tipo de discapacidad. La finalidad es otorgar oportunidad de integración a todos los peatones.

En primer lugar, la Norma A.120 de Accesibilidad del Reglamento Nacional de Edificaciones dispone que se debe proveer a los usuarios de una ruta accesible, con un pavimento de superficie homogénea y antideslizante, libre de obstáculos (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006); por lo que, según el Instituto de Accesibilidad de Madrid, recomienda 7 soluciones accesibles de pavimento para utilizar en un espacio público (Madrid, 2022). Con esto, se determinó utilizar un pavimento de concreto sin pulir, para evitar que sea deslizante en mojado, con una superficie homogénea; mientras que, para espacios para actividades específicas como gimnasio al aire libre, se propone utilizar pavimento de caucho, que permite mitigar y amortiguar caídas. Por otro lado, para el caso de la ciclovía propuesta se propone pavimento asfáltico.



Figura 36. Materiales para cada tipo de pavimento.

Fuente: Elaboración propia.

En segundo lugar, aprovechando el ancho disponible en la acera y la mediana, se propone la inclusión de pavimento táctil que facilite el tránsito de personas con discapacidad visual, pero que no interfiera con el tránsito de las personas con movilidad reducida. Para este caso, se disponen de los criterios en “Diseño Universal en el Espacio Público”, donde se proponen dos tipos de baldosas táctiles: pavimento táctil de alerta y pavimento táctil de avance seguro. Para el caso del pavimento táctil de alerta, debe ser colocado al inicio y fin de rampas, inicio de rebaje de solera peatonal, andenes de locomoción, medianas, antes de accesos a estacionamientos público y en

general cualquier lugar donde exista un desnivel. Para el caso del pavimento táctil de avance seguro, se debe colocar a lo largo de la ruta accesible de una acera, sobre su eje y deberá contar con un espacio mínimo libre de 0.40 metros a cada lado. Este tipo de pavimento será incluido en las aceras peatonales y en el sendero peatonal de la mediana, según las disposiciones de diseño previamente expuestas.



Figura 37. Ruta de baldosas podotáctiles.
Fuente: Tomada de (Noticias, 2022)

Por último, se propone también el uso de señales vibratorias en los cruces semaforizados, a fin de disponer la información del estado del ciclo semafórico al peatón invidente; en este sentido, se propondrá de un módulo vibratorio previo al cruce, sincronizado con el semáforo y señalizado por medio de un pavimento táctil específico; este módulo vibrará a una frecuencia determinada según el temporizador del semáforo, vibrando a mayor o menor frecuencia respecto al tiempo de verde disponible para el cruce de la persona invidente.



Figura 38. Semáforo vibratorio para invidentes.
Fuente: Tomada de (Argentino, 2014)

Redistribución de espacios en la mediana

Para el caso de la mediana, se propone un rediseño en su espacio; en tal sentido, dicha mediana aumentará su ancho disponible, debido a la reducción de carriles; por lo que, en conjunto con la propuesta de ciclovías en su espacio, se integrarán nuevos espacios en su composición. Se propone incluir una senda peatonal accesible para todos, una ciclovía bidireccional según las disposiciones previamente expuestas, áreas verdes laterales con arborización tipo barrera, y espacios amplios circulares dispuestos convenientemente en el eje de la berma que permitan el desarrollo de actividades de uso público, las que serán detalladas posteriormente. El diseño en planta será presentado junto con la propuesta final de mejora.

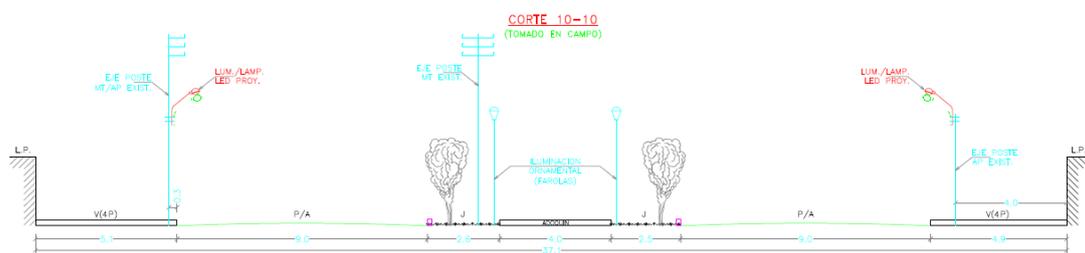


Figura 39. Sección vial actual de la avenida 2 de mayo.
Fuente: Tomada de Municipalidad Provincial del Callao.

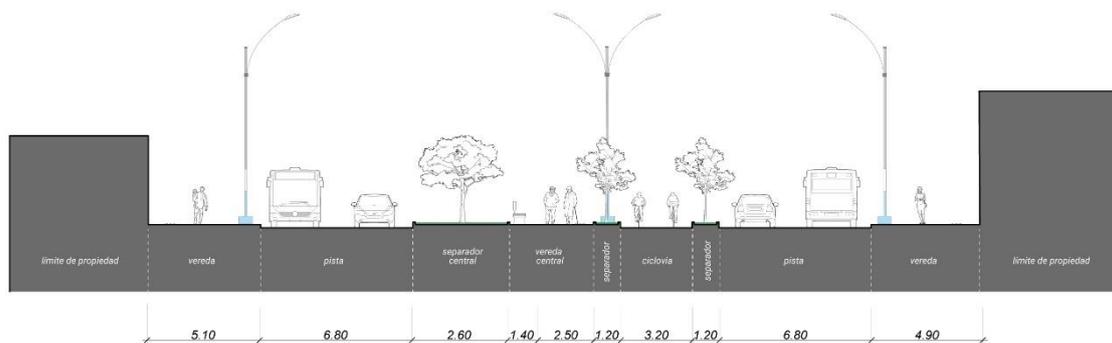


Figura 40. Sección vial típica propuesta de la avenida 2 de mayo.
Fuente: Elaboración propia.

5.2 Mejoras para actividades y usos del espacio

12 Criterios de Jan Gehl

Jan Gehl propone principalmente 3 grupos de criterios a tomar en cuenta para un espacio público de calidad: protección, confort y disfrute (Gehl, 2006).

Para el caso de protección contra el tránsito vehicular, se dispone de las mejoras descritas en el criterio de seguridad vial; sin embargo, también se propone que la mediana sea protegida a través de arborización en ambos laterales, a modo de barrera verde ante posibles accidentes de tránsito, sin embargo, dichos árboles estarán también de acuerdo a los criterios que serán planteados posteriormente, tales como seguridad ciudadana, visibilidad y otros.



Figura 41. Árboles mayores a 2.20 m. que delimitan mediana.
Fuente: Tomada de (21, 2015)

Para el caso de la protección contra el clima y demás experiencias negativas, se considera que la arborización de los laterales ya permitirá otorgar sombra al entorno, así como protección ante otros fenómenos; sin embargo, en los espacios de descanso y recreación se propondrá la instalación de cobertores a prueba de lluvia, sin que interfieran con el disfrute del sol y demás fenómenos agradables.



Figura 42. Banca de parque con cobertura de madera individual.
Fuente: Tomada de (Shugar, 2020)

Para el caso de las posibilidades para caminar, se propone un paseo peatonal central en la mediana, con acceso a zonas de recreación y zonas de descanso que serán ubicadas estratégicamente a lo largo de la mediana en el área de intervención. Asimismo, será congruente con los criterios de accesibilidad dispuestos previamente. De igual modo, estas zonas de descanso ubicadas también aportarán el criterio de posibilidades para sentarse, así como también posibilidades para estar, ya que se dispondrán espacios de recreación libres, espacios "vacíos" abiertos a actividades.

Para el caso específico de las actividades, se consideran 2 recomendaciones: posibilidades de recreación, y actividades de día y de noche. En tal sentido, en el tramo de influencia, se dispondrán estratégicamente de 3 espacios circulares o de medio círculo, en los que cada uno permitirá un tipo de actividad, a fin de cumplir con las condiciones necesarias para un espacio de calidad. Para la definición de las actividades e infraestructura en estos 3 espacios se utilizará como guía las entrevistas realizadas a los usuarios; sin embargo, uno de ellos será un espacio que será adaptable a los usuarios. Estas mejoras propuestas basadas en las 12 recomendaciones de Jan Gehl, se resumen en el cuadro a continuación:

Tabla 13. Resumen de propuestas por cada recomendación de Jan Gehl.

ASPECTO	RECOMENDACIÓN	PROPUESTA
Protección	Protección contra el tránsito vehicular	Mejoras en seguridad vial Arborización lateral
	Protección contra el crimen y violencia	Mejoras en seguridad ciudadana
	Protección contra el clima y demás experiencias negativas	Sombra por arborización Coberturas en zonas de descanso
Confort	Posibilidades para caminar	Paseo peatonal en mediana
	Posibilidades para “estar”	Zonas de descanso y recreación
	Posibilidades para sentarse	Zonas de descanso
	Posibilidades para ver	Paisajismo
	Posibilidades para recrearse	Espacios de recreación con distintas actividades
	Actividad de día y nocturno	Espacios para actividades y comercio
Disfrute	Escala	Correcta escala de infraestructura y mobiliario
	Posibilidades para disfrutar del clima	Espacios vacíos y espacios con cobertura para uso según clima
	Percepción estética	Arborización, paisajismo y mobiliario urbano

Fuente: Elaboración propia.

Actividades y percepción del usuario

Las actividades a ser priorizadas, así como el concepto a ser implementado en estos espacios a mejorar estará basado en la percepción de los usuarios, así como en sus propuestas e ideas de mejoras, lo que fue recaudado en el capítulo previo.

En primer lugar, se manifestó que esta vía era percibida como un entorno conflictivo y una especie de barrera natural ante barrios conflictivos; por tanto, se plantea que esta vía y su mejora esté enfocada en la integración social de estos barrios, que la nueva vía sea entendida como un punto de reunión y no como un elemento segregador del entorno urbano. En este sentido, las características de las actividades, así como el significado del espacio debe presentar características de la cultura urbana, de modo que recaude e integre distintos entornos de manera igualitaria. Para ello, se propone uno de los espacios como polo de reunión y representación de la cultura urbana. Para ello, se propone un pequeño anfiteatro central, que permitirá la realización de batallas de rap,

recitales, pequeños conciertos, manifestaciones u otros, convirtiéndose así en un espacio mutable y adaptable. Asimismo, será adornado con murales que reflejen y expongan la cultura urbana de su entorno, a fin de integrar visualmente estos espacios.



Figura 43. Imagen referencial de anfiteatro a implementar.
Fuente: Tomada de (Lima, 2022)

En segundo lugar, se manifestó que esta vía presenta alta cantidad de comercio ambulatorio e informal, por tanto, se manifestó que sería adecuada la formalización y aprovechamiento de esta mediana con fines de comercio y gastronomía. En tal sentido, uno de los espacios será dotado con infraestructura adaptable para el comercio, así como para eventos gastronómicos u algún otro tipo de eventos. Para ello, se propone un espacio semi circular cuyo detalle será presentado posteriormente.

Finalmente, el tercer espacio será dispuesto como espacio recreativo, tanto con algunos pequeños juegos para niños, como implementos para gimnasio al aire libre. De tal modo, se fomentará el desarrollo de actividades físicas y esparcimiento para los vecinos de la zona y transeúntes.

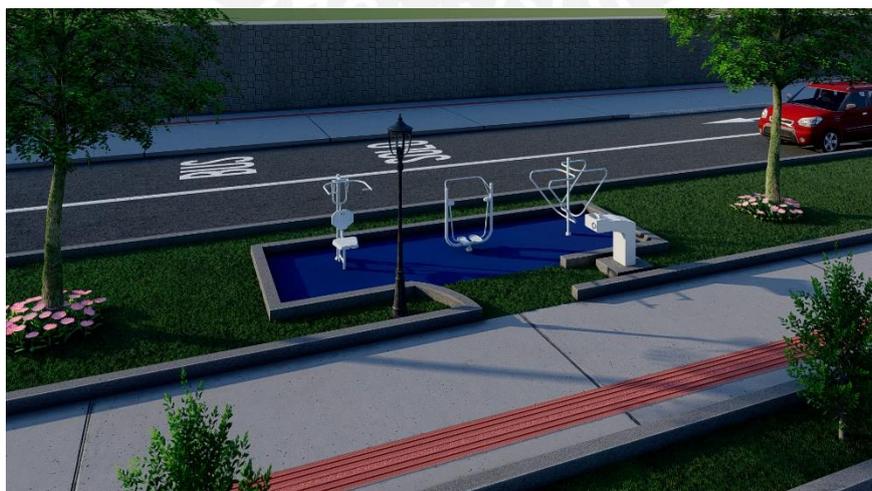


Figura 44. Visualización 3D de gimnasio al aire libre a implementar en Av. 2 de Mayo.
Fuente: Elaboración propia.

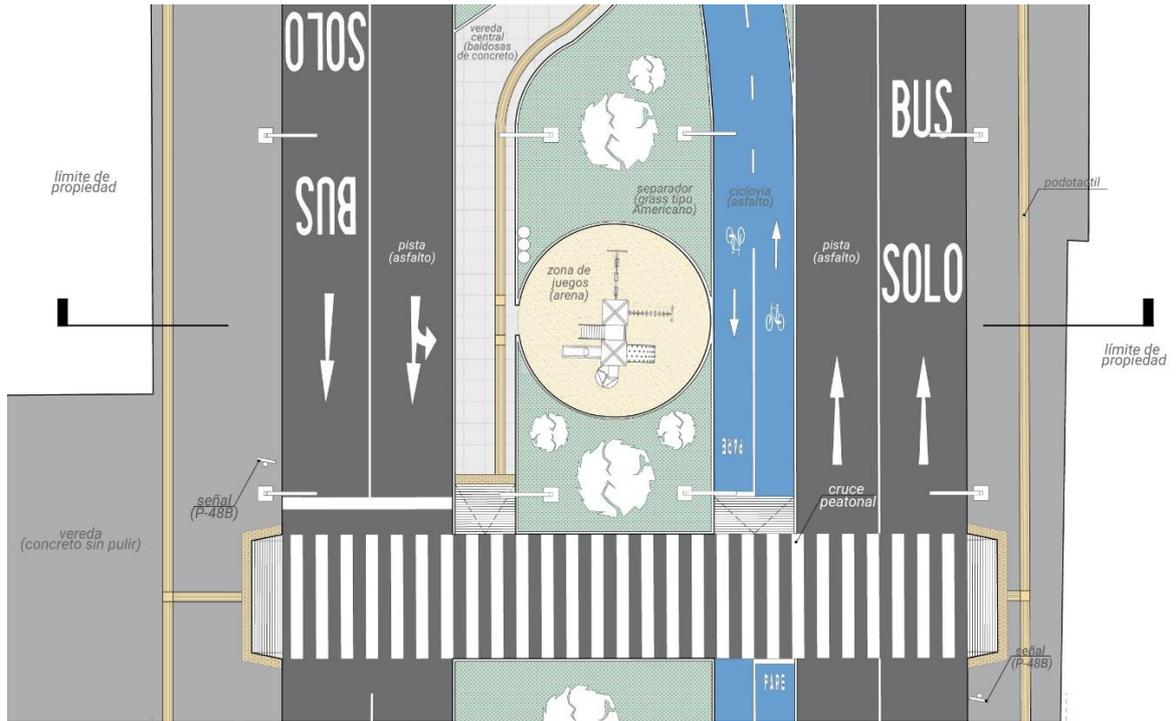


Figura 45. Plano de rediseño de zona de juegos infantiles a implementar en Av. 2 de Mayo.
 Fuente: Elaboración propia.

5.3 Mejoras de seguridad vial

Semaforización

La avenida dos de mayo, en el tramo seleccionado entre la avenida Sáenz Peña y la calle Monteagudo, cuenta con una intersección semaforizada, la cual es en el cruce a nivel entre la avenida dos de mayo y la avenida Sáenz Peña. Esta intersección presenta semaforización para autos, y también incluye semáforos para peatones; las condiciones de giros facilitan la seguridad vial del peatón en esta intersección, ya que no existe gran cantidad de interferencias.

Con esto, se propone la inclusión de un semáforo para ciclistas, lo cual permitirá reducir la cantidad de interferencias entre peatones, ciclistas y automóviles. En este sentido, se propone semaforizar esta intersección para ciclistas y rediseñar el ciclo semafórico dispuesto actualmente en la intersección. Para ello, se dispone de la metodología previamente revisada, por lo que se le otorgará un cruce seguro al ciclista.



Figura 46. Aplicación de semáforo para ciclistas.

Fuente: Tomada de (Earth, 2017)

Señalización horizontal

Se considerarán las demarcaciones en el pavimento según las características técnicas dispuestas a través de Resolución Gerencial N°090-2019-MML/GTU, por la Gerencia de Transporte Urbano, donde se brinda recomendaciones técnicas acerca de la evaluación e implementación de paraderos de transporte público regular.

Señalización vertical

Para el caso de la señalización vertical a implementar en la avenida dos de mayo, se tendrá en cuenta las características de la vía, a fin de proponer la señalización vertical pertinente para informar a los conductores y transeúntes, así como reglamentar las condiciones de circulación en la vía. En este sentido, se tomará en cuenta el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el que plantea los criterios técnicos de estas señales verticales.

A continuación, se presenta la tabla que resume las cantidades de señales verticales propuestas:

Tabla 14. Resumen de señales verticales propuestas a implementar.

Tipo	Señal	Descripción	Cantidad (und)
Reglamentaria	R-55A	Segregación de vía “Auto+Bus”	4
	R-47	Ubicación de paradero de autobús	2
	R-30	Velocidad máxima permitida “50 kph”	4
	R-42	Ubicación de ruta de ciclovia	2
Preventiva	P-46A	Ubicación de cruce ciclista	2
	P-52	Prevención de salida de bomberos	1
	P-48B	Ubicación de cruce peatonal	8
Turística	T-02	Proximidad a Museo	2

Fuente: Elaboración propia.



Figura 47. Señales verticales a implementar.

Fuente: Elaboración propia.

6. Microsimulación de intersección de Av. 2 de Mayo con Av. Sáenz Peña

6.1 Modelo de microsimulación

6.1.1 Modelo base de estado actual de la intersección

Para el análisis del efecto del rediseño vial, se consideró la microsimulación de la intersección más conflictiva en el tramo seleccionado de la avenida 2 de Mayo; en este caso, la intersección entre las avenidas 2 de Mayo y Sáenz Peña. En este caso, la avenida 2 de Mayo presenta dos sentidos de circulación, con tres carriles en cada sentido; mientras que, la avenida Sáenz Peña presenta un único sentido de circulación vehicular, con tres carriles de circulación. Adicionalmente, la avenida Sáenz Peña cuenta con una ciclovía bidireccional de 1 metro por carril; en tal sentido, dicha ciclovía también es considerada para los efectos del análisis mediante microsimulación.

En tal sentido, se obtiene la siguiente geometría base en el modelo de Vissim, donde se representa las vías de la intersección, así como los posibles giros y accesos en la situación actual. Se muestra a continuación dicho modelo base:



Figura 50. Modelo base de Av. 2 de Mayo con Av. Sáenz Peña en PTV Vissim.
Fuente: Elaboración propia en PTV Vissim.

6.1.2 Composición y demandas vehiculares y ciclistas

Para el análisis de esta intersección, se debe considerar la representación de los flujos vehiculares y ciclistas comprendidos en la situación actual, para ello se deben asignar los vehículos observados en la recolección de datos de campo, así como la velocidad deseada estimada para cada tipo. A continuación, se presentan los vehículos observados en la recolección de datos de campo, los que posteriormente son asignados para la microsimulación en el software PTV Vissim:

Tabla 17. Resumen de vehículos y velocidades asignadas en PTV Vissim.

Tipo de Vehículo	Velocidad Deseada (km/h)
Auto	40.00
Bus de Transporte Público	40.00
Camión (HGV)	30.00
Combi de Transporte Público	40.00
Motocicleta	40.00
Bicicleta	5.00

Fuente: Elaboración propia.

Con dicha composición y clasificación de vehículos asignada en el software PTV Vissim, se debe conocer la demanda de flujo vehicular y ciclista en la situación actual de la intersección a analizar. Para ello, se realizó el conteo vehicular y ciclista, considerando los 5 generadores de demanda, asignados en el software como cada “link” creado. Para cada uno de estos accesos se registró la cantidad de vehículos por cada tipo, en intervalos de 15 minutos, durante 1 hora de tránsito. Este conteo vehicular se realizó con una grabación de videovigilancia correspondiente al periodo de 8:00 a 9:00 a.m. del día lunes 23 de mayo del 2022.



Figura 51. Grabación de videovigilancia utilizada para conteo vehicular y ciclista.
Fuente: GGTU - Municipalidad Provincial del Callao.

Posteriormente, se realizó el conteo vehicular y ciclista en estas vías, consignando también las rutas asumidas por cada uno de los vehículos. De este modo, se presentan en el Anexo 4 las tablas resumen de conteo, en el periodo de 1 hora para intervalos de 15 minutos. A modo de ejemplo, se presenta el formato resumen de conteo para la Av. 2 de Mayo en el sentido de norte a sur, así como la leyenda de numeración para las rutas, de acuerdo a los conectores creados previamente:



Figura 52. Flujograma de demanda vehicular para Av. 2 de Mayo de norte a sur.
Fuente: Adaptada de GGTU - Municipalidad Provincial del Callao.

Tabla 18. Formato de conteo para Av. 2 de Mayo de norte a sur.

AV. DOS DE MAYO (SENTIDO N-S)				
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE VEHÍCULO	DESTINO		
		1 (Recto)	2 (Derecha)	3 (Giro U)
08:00 - 08:15	Automóvil	52	59	2
	Combi	15	0	10
	Bus	9	0	0
	Camión	4	0	1
	Motocicleta	7	6	4
	Bicicleta	0	0	0
08:15 - 08:30	Automóvil	59	66	2
	Combi	21	1	6
	Bus	8	0	0
	Camión	5	1	0
	Motocicleta	12	8	2
	Bicicleta	0	0	2
08:30 - 08:45	Automóvil	47	54	1
	Combi	25	0	5
	Bus	8	0	1
	Camión	0	0	0
	Motocicleta	0	3	1
	Bicicleta	0	0	0
08:45 - 09:00	Automóvil	38	59	1
	Combi	21	0	3
	Bus	4	0	0
	Camión	4	0	0
	Motocicleta	6	7	1
	Bicicleta	0	2	1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Resumen de demanda vehicular para Av. 2 de Mayo de norte a sur.

AV. DOS DE MAYO (SENTIDO N-S)		
PERIODO DE TIEMPO	FLUJO PARCIAL (veh/hora)	FLUJO ACUMULADO (veh/hora)
08:00 - 08:15	169	169
08:15 - 08:30	193	362
08:30 - 08:45	145	507
08:45 - 09:00	147	654

Fuente: Elaboración propia.

Asimismo, a fin de incluir la composición vehicular de la vía en el software de PTV Vissim, se presenta el cuadro resumen que muestra la proporción por tipo de vehículos en el conteo vehicular:

Tabla 20. Resumen de composición vehicular de Av. 2 de Mayo de norte a sur.

AV. DOS DE MAYO (SENTIDO N-S)		
TIPO DE VEHÍCULO	TOTAL	PARCIAL
Auto	440	0.673
Combi de Transporte Público	107	0.164
Bus de Transporte Público	30	0.046
Camión (HGV)	15	0.023
Motocicleta	57	0.087
Bicicleta	5	0.008
TOTAL	654	1.000

Fuente: Elaboración propia.

Del mismo modo, se configuran los tipos de vehículos y composición, así como la inserción de la demanda para cada uno de los accesos contemplados en el software PTV Vissim.

6.1.3 Fases semafóricas

La intersección entre la Av. 2 de Mayo y la Av. Sáenz Peña es una intersección semaforizada, y cuenta con 2 fases, una para la Av. 2 de Mayo y otra para la Av. Sáenz Peña. Para la configuración del control semafórico en el software PTV Vissim, se tomaron las medidas en campo según la tabla mostrada a continuación:

Tabla 21. Formato de toma de tiempos de semáforo en Av. 2 de Mayo.

N° MEDICIÓN	1	2	3	4	5	PROMEDIO (S)	TOMADO (S)
AV. 2 DE MAYO	TIEMPO (s)						
VERDE	39.60	39.98	40.12	39.70	40.02	39.88	40
ÁMBAR	3.34	3.12	3.01	3.25	2.94	3.13	3
ROJO	31.94	31.87	31.89	32.05	32.09	31.97	32

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Formato de toma de tiempos de semáforo en Av. Sáenz Peña

N° MEDICIÓN	1	2	3	4	5	PROMEDIO (S)	TOMADO (S)
AV. SÁENZ PEÑA	TIEMPO (s)						
VERDE	29.25	28.91	28.90	29.02	28.98	29.01	29
ÁMBAR	3.05	2.90	3.03	2.98	3.01	2.99	3
ROJO	43.02	42.99	43.15	43.01	42.98	43.03	43

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presenta las fases semafóricas obtenidas en campo, la cual es configurada posteriormente como “Signal Control” en el programa PTV Vissim:

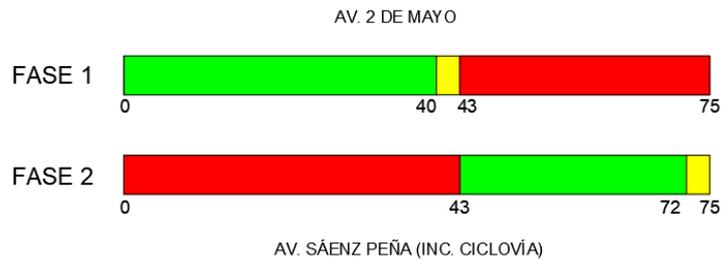


Figura 53. Diagrama de fases semafóricas en intersección.

Fuente: Elaboración propia.

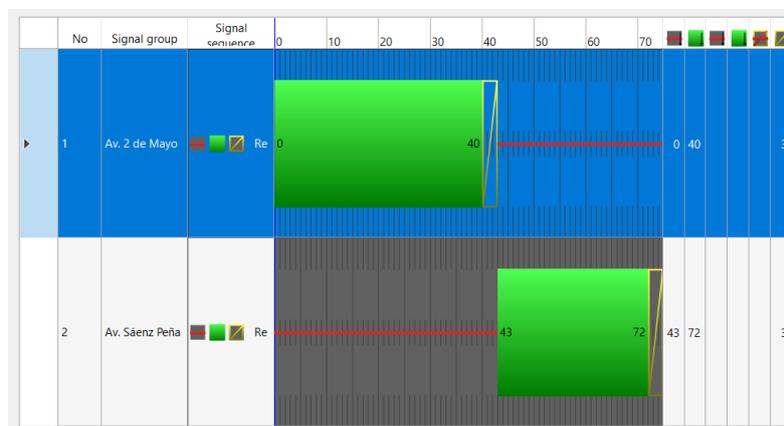


Figura 54. Asignación de control semafórico en software PTV Vissim.

Fuente: Elaboración propia.

6.1.4 Parámetros de eficiencia

Para el caso de la evaluación de los parámetros de eficiencia, se consideró la evaluación de los tiempos de viaje en la simulación de la intersección; este parámetro evalúa cuanto tiempo les toma a los vehículos transitar por una distancia predefinida por el usuario. En este caso, se consideró evaluar los tiempos de viaje para 3 tramos: el primero en la Av. Sáenz Peña, el segundo en la Av. 2 de mayo de norte a sur, y el tercero en la Av. 2 de mayo de sur a norte.

Con el fin de facilitar la calibración y validación del modelo, se asignó tres tramos de conteo de tiempos vehiculares, según la siguiente tabla:

Tabla 23. Tramos de medición de tiempos de viaje

N°	Nombre de vía	D (m)
1	Av. Sáenz Peña	25.00
2	Av. 2 de mayo (N-S)	17.00
3	Av. 2 de mayo (S-N)	30.00

Fuente: Elaboración propia.

Para la correcta medición de este parámetro, se configuró en el software PTV Vissim a través de la opción “Vehicle Travel Times”, y se otorgó en la evaluación un periodo de estabilización de 10 minutos, previo a la simulación de 1 hora.

6.2 Calibración y validación del modelo

6.2.1 Tiempos de viaje vehicular

Para la calibración del modelo de microsimulación, se procede a utilizar el parámetro de los tiempos de viaje; en este sentido, se realizó un conteo del tiempo de viaje para un tramo seleccionado en campo, con las condiciones reales de tránsito de la intersección. Posteriormente, con las simulaciones en el programa PTV Vissim, se calibrarán los parámetros de Wiedemann 74, hasta conseguir un comportamiento similar al observado en el tránsito actual.

Para ello, se presenta el tramo seleccionado en campo para el conteo de los tiempos de viaje para el acceso de la Av. Sáenz Peña, considerando aquellos vehículos que se mantienen en tránsito directo, así se escogió un tramo de 25 metros de longitud, según se observa:



Figura 55. Tramo seleccionado para contabilización de tiempo de viaje en Av. Sáenz Peña.
Fuente: Adaptada de GGTU - Municipalidad Provincial del Callao.

Así, se determinó el tiempo de viaje en campo, considerando el tiempo transcurrido para 40 vehículos escogidos de manera aleatoria, dentro del periodo de 1 hora escogido inicialmente para el aforo vehicular. Así, se obtuvieron los datos que se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 24. Formato de conteo de tiempos de viaje en Av. Sáenz Peña

AV. SÁENZ PEÑA			
Distancia (m)		25.00	
N° Medición	Tiempo (s)	N° Medición	Tiempo (s)
1	4.29	21	4.88
2	3.92	22	4.34
3	4.35	23	4
4	4.48	24	4.22
5	3.54	25	4.08
6	3.14	26	3.75
7	3.34	27	3.93
8	3.35	28	2.73
9	3.82	29	3.87
10	3.59	30	2.88
11	3.28	31	3.15
12	3.78	32	3.62
13	3.61	33	4.01
14	4.28	34	3.46
15	3.88	35	3.54
16	3.15	36	3.48
17	3.61	37	3.62
18	3.47	38	2.61
19	3.99	39	2.95
20	2.61	40	4.45
T medio (s)		3.676	
Desv. Estándar		0.533	

Fuente: Elaboración propia.

Los formatos de conteo de tiempos de viaje, así como el detalle de los tramos seleccionados para cada vía se encuentran en el Anexo 5.

6.2.2 Calibración

Para la etapa de calibración del modelo; es decir, la representación de las características reales de desempeño de la intersección, será utilizado el parámetro del tiempo de viaje para cada una de las vías analizadas. Con la finalidad de representar ello, se modifican los parámetros de Wiedemann, de acuerdo al comportamiento del conductor, a fin de representar un comportamiento cercano al real.

A continuación, se muestran los juegos de parámetros utilizados para calibrar el modelo, este proceso será realizado de manera iterativa hasta conseguir valores de tiempo de viaje cercanos al medido en la situación real:

Tabla 25. Resumen de valores de parámetros W74 para iteración de calibración del modelo

Medición	Parámetros W74		
	<i>ax</i>	<i>bx-add</i>	<i>bx-mult</i>
Campo	-	-	-
Default	2.00	2.00	3.00
1	1.00	1.50	2.50
2	1.00	1.50	2.00
3	1.50	1.00	2.00
4	2.00	1.50	1.00
5	1.00	3.00	2.50
6	1.00	1.00	2.00
7	1.50	1.50	2.50
8	2.00	2.50	2.50
9	2.00	1.00	2.00
10	1.00	2.00	2.00

Fuente: Elaboración propia.

Para realizar la simulación con los parámetros mencionados previamente, se realizaron 15 corridas para cada juego de parámetros, en un tiempo de 1 hora y considerando un tiempo de warm up de 10 minutos; es decir, en total 4200 segundos. A continuación, se presentan los resultados de tiempos de viaje obtenidos con el juego de parámetros número 1, donde finalmente se presenta la media de las 15 simulaciones, así como los parámetros estadísticos pertinentes:

Tabla 26. Resumen de tiempos de viaje obtenidos mediante juego de parámetros N°1

N° Corrida	Parámetros N°		1
	Av. Sáenz Peña	Av. 2 de mayo (N-S)	Av. 2 de mayo (S-N)
1	3.41	2.61	3.45
2	3.37	2.47	3.41
3	3.34	2.45	3.48
4	3.44	2.53	3.42
5	3.39	2.6	3.41
6	3.46	2.53	3.55
7	3.44	2.47	3.4
8	3.45	2.55	3.49
9	3.35	2.53	3.44
10	3.48	2.56	3.47
11	3.43	2.52	3.42
12	3.46	2.5	3.55
13	3.43	2.5	3.44
14	3.42	2.61	3.44
15	3.46	2.49	3.44
Media (s)	3.42	2.53	3.45
Desv. Est.	0.042	0.051	0.047
Error	0.083	0.099	0.092
t_{0.025, n-1}	2.1448	2.1448	2.1448
N° min de corridas	2	2	2

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso del número mínimo de corridas, se determinó que, según la fórmula, se obtuvo que el número mínimo es de 2 corridas; por tanto, al haberse realizado 15 corridas en todos los casos, para todos los juegos de parámetros; se concluye que el número de corridas es suficiente para que la muestra sea considerada representativa. Dicha ecuación se presenta a continuación:

$$N^{\circ} \text{ min } corridas = \left(\frac{t_{0.025; n-1} * S}{e} \right)^2$$

Donde:

- $t_{0.025; n-1}$: T de student para un error de 2.5%, con n-1 grados de libertad.
- s: Desviación estándar para el promedio de los datos tomados.
- e: Margen de error para la muestra.

En este sentido, se resumió los tiempos de viaje medios determinados para cada uno de los juegos de parámetros, los mismos que fueron contrastados con los tiempos de viaje medidos en campo; este resumen se muestra en la tabla presentada a continuación:

Tabla 27. Resumen de tiempos de viaje obtenidos para la calibración mediante W74

Medición	Parámetros W74			Media de tiempos de viaje (s)		
	<i>ax</i>	<i>bx-add</i>	<i>bx-mult</i>	<i>Av. Sáenz Peña</i>	<i>Av. 2 de mayo (N-S)</i>	<i>Av. 2 de mayo (S-N)</i>
Campo	-	-	-	3.496	2.631	3.514
Default	2.00	2.00	3.00	3.165	2.486	2.785
1	1.00	1.50	2.50	3.460	2.530	3.454
2	1.00	1.50	2.00	3.213	2.535	3.452
3	1.50	1.00	2.00	3.424	2.525	3.453
4	2.00	1.50	1.00	3.428	2.521	3.458
5	1.00	3.00	2.50	3.405	2.524	3.456
6	1.00	1.00	2.00	3.430	2.543	3.455
7	1.50	1.50	2.50	3.431	2.519	3.459
8	2.00	2.50	2.50	3.409	2.483	3.444
9	2.00	1.00	2.00	3.425	2.513	3.454
10	1.00	2.00	2.00	3.423	2.526	3.456

Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que los juegos de parámetros más cercanos a los datos de tiempo de viaje reales son los juegos de parámetros N°1 y 6; por tanto, estos datos son analizadas con el programa estadístico StatKey, a través de una prueba no paramétrica de comparación de medias. En este caso, se obtuvieron los datos de diferencia de medias y el intervalo de confianza para 95%. Así, se obtiene la siguiente tabla resumen para el juego de parámetros N°6:

Tabla 28. Calibración del modelo mediante juego de parámetros N°6

	Av. Sáenz Peña	Av. 2 de mayo (N-S)	Av. 2 de mayo (S-N)
Diferencia de medias	0.07	0.09	0.06
Intervalo de confianza del 95%	[-0.249 ; 0.249]	[-0.121 ; 0.120]	[-0.231 ; 0.215]

Fuente: Elaboración propia.

La calibración de determinó con el juego de parámetros N°6 a través de la prueba de hipótesis nula. La gráfica de distribución normal de comparación de medias se presenta a continuación, por lo que el modelo queda calibrado y listo para ser validado con un conteo de flujos vehiculares diferente:

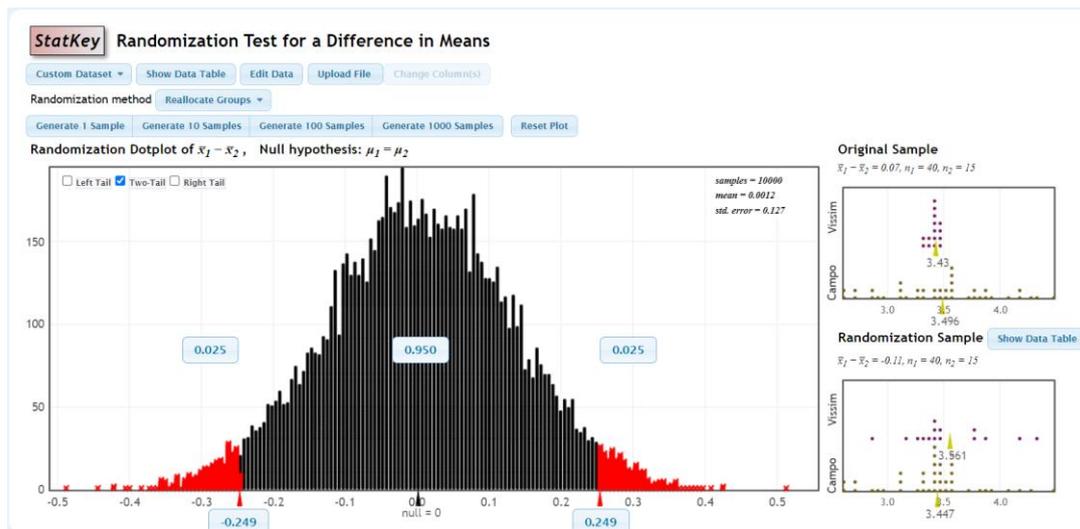


Figura 56. Gráfico de StatKey para la calibración del modelo en la Av. Sáenz Peña.
Fuente: Elaboración propia.

6.2.3 Validación

Posterior al proceso de calibración, se requiere efectuar la validación del modelo calibrado, a fin de comprobar su eficacia para representar las condiciones actuales de la zona de estudio. En tal sentido, se validó el modelo mediante un conteo de flujos vehiculares realizado el día 24 de mayo del 2022, en el periodo de 1 hora, entre las 8:00 y las 9:00 de la mañana. Los flujos vehiculares determinados para el conteo realizado en la Av. Sáenz Peña se muestran a continuación, mientras que el resto de datos se muestran en el Anexo 7:

Tabla 29. Resumen de conteo vehicular del día 24 de mayo del 2022 en Av. Sáenz Peña

AV. SAENZ PEÑA		
PERIODO DE TIEMPO	FLUJO PARCIAL (veh/hora)	FLUJO ACUMULADO (veh/hora)
08:00 - 08:15	172	172
08:15 - 08:30	186	358
08:30 - 08:45	159	517
08:45 - 09:00	124	641

Fuente: Elaboración propia

Para el comportamiento del modelo de seguimiento vehicular se utilizó los parámetros de W74 correspondientes al juego de parámetros N°6 determinados en la etapa de calibración, dado que demostraron comportamientos más cercanos a los observados en el estado actual de las vías. De este modo, a través de la prueba de diferencia de medias se determina si estos datos cumplen con la validación, mediante la comparación entre los datos de tiempos de viaje determinados en campo y el obtenido mediante la microsimulación. Para ello, se realizó el conteo de tiempos de viaje que

se muestra en el Anexo 6 para cada una de las vías involucradas y, posteriormente, se determinó dicho parámetro en la microsimulación. Esta prueba estadística se muestra a continuación:

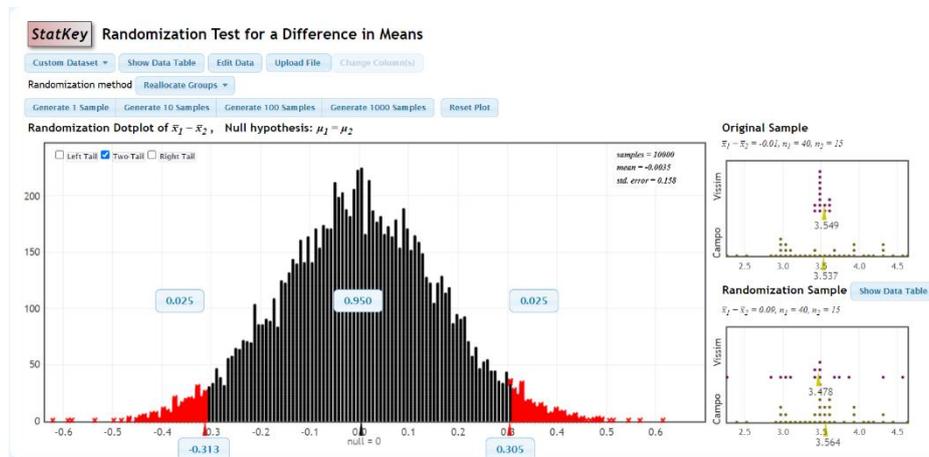


Figura 57. Gráfico de StatKey para la validación del modelo en la Av. Sáenz Peña.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, los resultados de la validación mediante el método de la comparación de medias a través del programa StatKey determinó que el modelo se valida con los datos de flujos vehiculares tomados en campo el día 24 de mayo del 2022. Para ello, se muestra a continuación la tabla resumen de los resultados de comparación de medias obtenidos, con un intervalo de confianza del 95%:

Tabla 30. Validación del modelo mediante juego de parámetros N°6

	Av. Sáenz Peña	Av. 2 de mayo (N-S)	Av. 2 de mayo (S-N)
Diferencia de medias	-0.01	0.05	0.06
Intervalo de confianza del 95%	[-0.313 ; 0.305]	[-0.275 ; 0.265]	[-0.256 ; 0.261]

Fuente: Elaboración propia

6.3 Problemas hallados

En el proceso de evaluación del modelo actual de microsimulación, se analizó el comportamiento del tránsito en esta intersección bajo los parámetros de tiempo de viaje vehicular para el tramo descrito en la etapa de calibración y validación, y longitud de cola formada en cada vía. Por un lado, se evaluaron las vías desde tramos seleccionados y el programa PTV Vissim determinó el tiempo medio que le toma a los vehículos recorrer dicho tramo, para ello se realizaron 15 corridas y se determinó el promedio de dichas corridas:

Tabla 31. Tiempo de viaje vehicular para microsimulación de estado actual.

Vía	Tiempo medio (s)
Av. Sáenz Peña	3.55
Av. 2 de Mayo (Norte a Sur)	2.60
Av. 2 de Mayo (Sur a Norte)	3.48

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se determinaron las longitudes de cola promedio y máximas para cada una de las vías, mediante 15 corridas de simulación en el programa PTV Vissim:

Tabla 32. Longitud de cola para microsimulación de estado actual.

Vía	Longitud de Cola Promedio (m)	Longitud de Cola Máxima (m)
Av. Sáenz Peña	7.57	35.44
Av. 2 de Mayo (Norte a Sur)	6.69	45.36
Av. 2 de Mayo (Sur a Norte)	11.97	80.89

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados permitirán su evaluación posterior y contraste con los parámetros de la simulación para la propuesta de rediseño vial. Adicionalmente, en el proceso de recolección de datos y microsimulación se determinaron una serie de problemas en el ordenamiento y control del tránsito vehicular, los cuales se detallan a continuación.

En primer lugar, se observó la realización de una maniobra vehicular riesgosa y no permitida, el giro en U de vehículos que transitan por la avenida 2 de Mayo en sentido de norte a sur, y se incorporan al sentido de sur a norte, a través de un giro en “U” en la intersección con la avenida Sáenz Peña, lo que corresponde a una interferencia en sentido contrario al tráfico por parte de dichos vehículos.

En segundo lugar, se observó que existen interferencias entre dos movimientos en la avenida 2 de mayo de sentido norte a sur, específicamente entre los vehículos que siguen de frente y aquellos que giran a la derecha para incorporarse a la avenida Sáenz Peña; esto debido a que el carril derecho de la avenida 2 de mayo es utilizado por los buses de transporte público, que ocupan el carril para el recojo de pasajeros; por tanto, promueven que los vehículos que desean girar a la derecha, se vean obligados a hacer dicha maniobra desde el segundo, o hasta del tercer carril, generando así interferencias entre los buses y los vehículos particulares.

Por último, se observó que el ciclo semafórico actual apenas cuenta con dos fases, que resultan insuficientes, tomando en consideración la existencia de maniobras con interferencias, la presencia de una ciclovía, el tipo de transporte mixto y el cruce de peatones. De igual modo, se observa que no se considera el uso del “Todo Rojo” en el ciclo semafórico, a fin de facilitar las maniobras y cruce de peatones en esta intersección.

6.4 Implementación de mejoras en el modelo

En esta etapa de la microsimulación, se incluyeron modificaciones y mejoras de la intersección en el programa PTV Vissim. Como se menciona, estas modificaciones y rediseño se pueden clasificar en tres grupos: modificaciones geométricas, modificaciones operacionales y modificaciones de restricción.

En primer lugar, las modificaciones geométricas corresponden al rediseño de la vía propuesta en capítulos anteriores, el que considera la reducción de 3 a 2 carriles por sentido en la avenida 2 de mayo, así como la ampliación del ancho de cada carril de 3.00 metros a 3.30 y 3.50 metros dependiendo del uso del carril. Estas variaciones geométricas se observan en el modelo base a continuación:



Figura 58. Modelo de microsimulación de propuesta en PTV Vissim.
Fuente: PTV Vissim.

En segundo lugar, las modificaciones operacionales refieren a cambios en la utilización y dispositivos de control en las vías que componen la intersección en análisis. Por un lado, según lo descrito en capítulos anteriores, se determinó que, para cada sentido de circulación en la avenida 2 de mayo, el carril derecho sería exclusivo para el transporte público, mientras que el carril izquierdo sería de uso libre para el resto de vehículos en la vía. Esta modificación fue incluida en el modelo de microsimulación.

Por otro lado, debido a los problemas e interferencias halladas en el tránsito, se determinó la modificación del ciclo semafórico; para lo cual, se propone la inclusión de 4 fases semafóricas, las que se desagregan de la siguiente manera: una fase para el tránsito de la avenida Sáenz Peña; una fase para el tránsito total de la avenida 2 de mayo en sentido de sur a norte; una fase para el carril exclusivo para transporte público en la avenida 2 de mayo en sentido de norte a sur; y una fase para el giro y continuidad del tránsito del carril izquierdo en la avenida 2 de mayo en sentido de norte a sur. Con estas últimas dos fases se permite reducir las interferencias observadas entre el giro a la derecha y el tránsito continuo de buses en la avenida 2 de mayo en sentido de norte a sur. Para el cálculo de este nuevo ciclo semafórico se tomaron en cuenta las recomendaciones dispuestas en la metodología del HCM, a través de la estimación del grado de saturación de cada vía, además de considerar la proporción de vehículos de transporte público y otros tipos de vehículos en el sentido de la vía que incorporará doble fase, el ciclo semafórico incluido en el modelo de microsimulación se muestra a continuación:

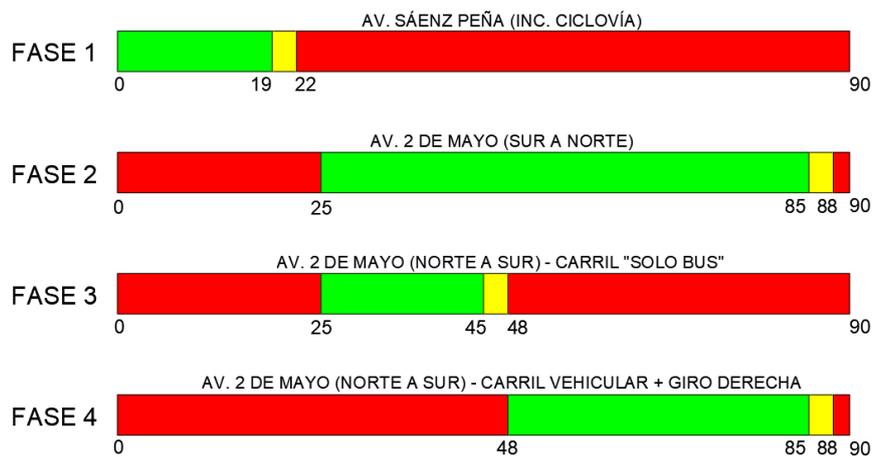


Figura 59. Fases semafóricas propuestas como mejora.
Fuente: Elaboración propia.

Por último, la modificación de restricción comprende la inhabilitación y prohibición de la maniobra observada de giro en “U”, por lo que dicha decisión de ruta ya no fue considerada en el nuevo modelo de simulación. Esta modificación sería concretada a través de la colocación de señalización vertical que indique la prohibición de esta maniobra, señalización que actualmente no se encuentra presente en la intersección.

6.5 Análisis y comparación de parámetros de eficiencia

Tras la simulación del nuevo modelo que incluye las modificaciones propuestas previamente, se obtuvieron los parámetros de eficiencia correspondientes a los tiempos de viaje y longitud de cola,

de manera similar a los parámetros obtenidos para el modelo de simulación del estado actual. En este caso, se muestran los resultados de dichos parámetros a continuación:

Tabla 33. Tiempos de viaje vehicular para microsimulación de propuesta.

Vía	Tiempo medio (s)
Av. Sáenz Peña	3.59
Av. 2 de Mayo (Norte a Sur)	2.46
Av. 2 de Mayo (Sur a Norte)	3.55

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Longitud de cola para microsimulación de propuesta.

Vía	Longitud de Cola Promedio (m)	Longitud de Cola Máxima (m)
Av. Sáenz Peña	7.87	41.66
Av. 2 de Mayo (Norte a Sur)	55.48	69.10
Av. 2 de Mayo (Sur a Norte)	6.19	73.15

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos para estos parámetros de eficiencia, tras implementar las modificaciones, son comparados con los resultados de parámetros obtenidos para el estado actual, con la finalidad de contrastar el efecto de la reducción de 1 carril de circulación vehicular en cada sentido, así como de las modificaciones operaciones y restrictivas en la intersección.

Por un lado, a modo comparativo, se presenta el gráfico de variación entre los tiempos de viaje vehicular para cada vía en análisis, entre el estado actual y la modificación propuesta. Asimismo, se calcula la variación porcentual de los tiempos de viaje obtenidos para la propuesta, respecto del estado actual:

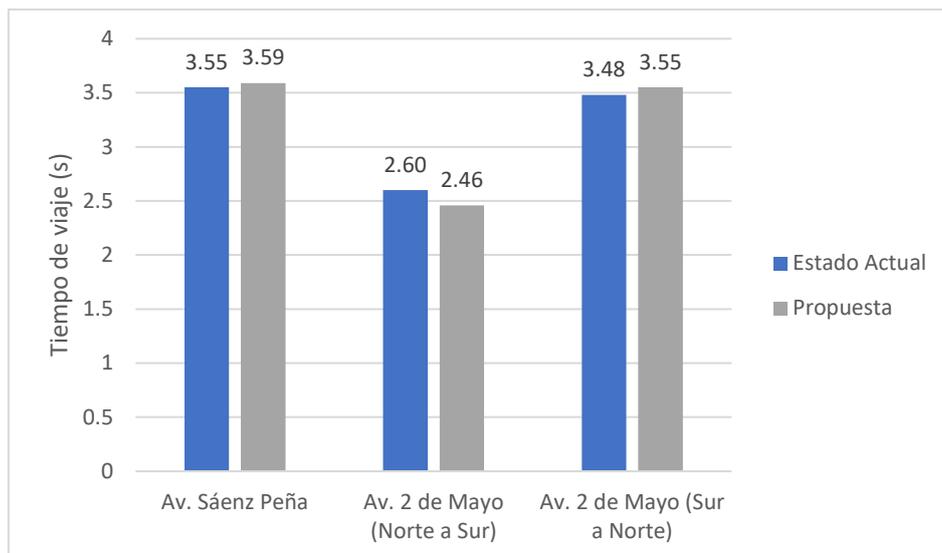


Figura 60. Comparación de tiempos de viaje vehicular en las vías de análisis.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35. Variación porcentual comparativa de tiempos de viaje.

Vía	Variación Porcentual (%)
Av. Sáenz Peña	1.13%
Av. 2 de Mayo (Norte a Sur)	-5.38%
Av. 2 de Mayo (Sur a Norte)	2.01%

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, a modo comparativo, se presenta el gráfico de variación entre la longitud de cola máxima para cada vía en análisis, entre el estado actual y la modificación propuesta. Asimismo, se calcula la variación porcentual de los tiempos de viaje obtenidos para la propuesta, respecto del estado actual:

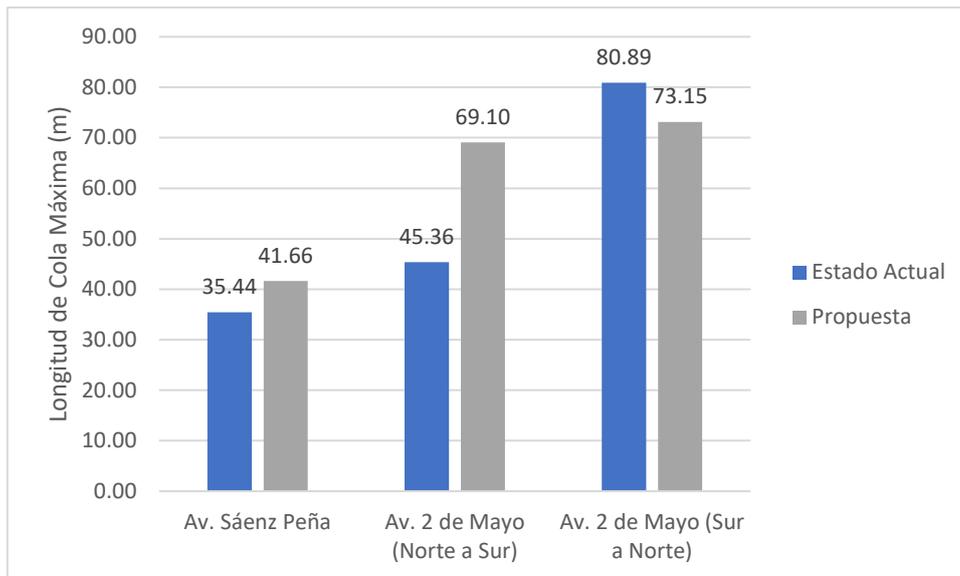


Figura 61. Comparación de longitud máxima de cola en las vías de análisis.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36. Variación porcentual comparativa de longitud máxima de cola.

Vía	Variación Porcentual (%)
Av. Sáenz Peña	17.55%
Av. 2 de Mayo (Norte a Sur)	52.34%
Av. 2 de Mayo (Sur a Norte)	-9.57%

Fuente: Elaboración propia

Según se puede observar, las demoras en el tiempo de viaje vehicular, para el mismo tramo en las vías presentó variaciones porcentuales menores al 6%; en el caso de la avenida Sáenz Peña y la avenida 2 de Mayo en sentido de sur a norte se observó un aumento del tiempo de viaje vehicular; es decir, un incremento de la demora de 1.13% y 2.01%, respectivamente; mientras que para el caso de la avenida 2 de Mayo en sentido de norte a sur se observó una reducción del tiempo de viaje vehicular de un 5.38%.

Así también, la longitud de cola máxima formada en las vías presentó variaciones porcentuales más elevadas. En el caso de la avenida Sáenz Peña y la avenida 2 de Mayo en sentido de norte a sur se observó un aumento de la longitud de cola máxima de 17.55% y 52.34%, respectivamente; mientras que para el caso de la Av. 2 de Mayo en sentido de sur a norte se observó una disminución de la longitud de cola máxima de 9.57%.

7. Análisis de resultados

La avenida 2 de Mayo, dada su ubicación y su importancia en la red vial, representa un foco de relevante para la implementación de facilidades para medios de transporte sostenible; en este sentido, con la implementación de una ruta para ciclistas se promueve el uso de nuevos medios de transporte, a través de infraestructura adecuada y segura para su aprovechamiento. En términos numéricos, previamente un 50.4% de la sección vial estaba destinada para el transporte motorizado, mientras que el porcentaje restante estaba destinado para los peatones. Actualmente, con el rediseño propuesto se ha disminuido dicha cifra a un 38.1% de la sección vial para el transporte motorizado, mientras que el porcentaje restante se ha aprovechado para ser incrementado el espacio para el peatón e incluir a los medios de transporte sostenible. Este rediseño reduce la capacidad vial en un 33.3% para cada sentido de circulación, debido a la reducción de 3 a 2 carriles.

En el marco de la nueva redistribución de prioridades propuesta para la vía, se incluyeron mejoras para el uso del espacio público y el aprovechamiento por parte del peatón. Estas mejoras, a su vez, incluyen mejoras para la movilidad de peatones con dificultad visual. Se presume que estas mejoras aumentarán el uso de la avenida 2 de Mayo.

Posteriormente, con la nueva redistribución de prioridades, a través de una nueva propuesta de rediseño vial, se presumía un aumento en las demoras generadas en el tránsito vehicular; por ello, se incluyó la segregación del tránsito de transporte público, del privado; así como mejoras en las fases semafóricas incluidas en la intersección analizada, a fin de mitigar el efecto del rediseño en el tránsito vehicular.

De este modo, tras analizar los efectos del rediseño vial a través de la microsimulación vehicular en el software PTV Vissim, se obtuvo como resultado que las demoras por tiempo de viaje vehicular aumentaron en un porcentaje menor al 2%, efecto casi imperceptible en el tránsito vehicular. En tal sentido, el rediseño vial y reducción de la capacidad no afectó de manera significativa los tiempos de viaje vehiculares en la intersección analizada. Por el contrario, para la avenida 2 de Mayo en sentido de norte a sur, se observó una reducción del tiempo de viaje vehicular de 5.38%, lo cual no representa una mejora significativa; sin embargo, denota que los efectos secundarios del rediseño vial no afectan de manera significativa el tiempo de viaje en los vehículos que transitan por la intersección analizada.

Por otro lado, también se analizó el efecto del rediseño vial a través de las demoras generadas por la formación de colas vehiculares; así pues, se analizó la longitud máxima de las colas formadas en cada una de las vías en análisis. Para ello, se obtuvo un aumento significativo en el caso de la

avenida 2 de Mayo en sentido de norte a sur, un aumento de 52.34%, lo cual representa la formación de atascos mayores de tránsito vehicular en esta vía. Este efecto secundario del rediseño vial refleja lo esperado previamente, debido a la reducción prevista de la capacidad vial. Sin embargo, en el caso de la avenida 2 de Mayo en sentido de sur a norte, se obtuvo una reducción de casi el 10% para la longitud máxima de cola, efecto que deriva de las mejoras propuestas para el ciclo semafórico y la segregación del transporte público con el privado.

Por último, en el caso de la avenida Sáenz Peña, también se observó un aumento de aproximadamente un 18% en la longitud máxima de cola esperada; sin embargo, en esta vía no se redujo la capacidad vial; por lo que, este efecto sería a causa de la redistribución de los tiempos del ciclo semafórico. En el caso de esta vía, se determina que los efectos secundarios generados por el rediseño vial en la avenida 2 de Mayo no son significativos, y están de acuerdo a la redistribución de prioridades de tránsito, ya que la avenida Sáenz Peña presenta sólo vehículos de transporte privado.



8. Conclusiones y recomendaciones

Las nuevas tendencias de diseño y estudios acerca del tránsito demuestran que se debería priorizar el uso de los medios de transporte sostenible, así como el contexto actual debido a la pandemia por COVID-19, que motivó el uso de estos medios de transporte alternativo, a fin de evitar el contagio y mantener el distanciamiento social mínimo. Por tanto, se debe considerar la masificación de rediseños viales enfocados en la priorización de medios de transporte sostenible, que mejoren las condiciones de seguridad y eficiencia a largo plazo.

Según se observó en el análisis de resultados basado en el tiempo de viaje vehicular y la longitud de cola máxima vehicular, se concluye que, al rediseñar la sección vial en un área de intervención, esta debe ser acompañada por medidas y mejoras para mitigar los efectos secundarios en el transporte vehicular, a fin de mantener un adecuado equilibrio en el proceso de transición hacia la nueva redistribución de prioridades en los medios de transporte.

La avenida 2 de Mayo presenta conexión directa hacia la nueva estación de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao; por lo que, se puede concluir que la demanda de tránsito peatonal y el uso de medios de transporte multimodal crecerá; en este sentido, el rediseño vial propuesto puede ser integrado con estas dinámicas futuras de transbordo.

Para el caso de la propuesta de mejora en el ciclo semafórico de la intersección más conflictiva, se concluye que resulta conveniente analizar las condiciones e interferencias presentes en los movimientos vehiculares, a fin de proponer fases exclusivas que reduzcan las interferencias entre los movimientos vehiculares, este rediseño del ciclo semafórico debería estar sustentado en un aforo vehicular que estime una distribución adecuada de los tiempos semafóricos.

En términos de accesibilidad, se concluye que la inclusión de facilidades de accesibilidad para peatones con necesidades específicas, es primordial para complementar y promover el uso de estos espacios públicos.

En términos de los parámetros de eficiencia, se concluye que el tiempo de viaje vehicular no se vio fuertemente afectado por el rediseño vial propuesto; sin embargo, la longitud máxima de cola formada para un periodo de 1 hora fue directamente afectada por el rediseño; en este sentido, este efecto debería ser considerado primordial a mitigar en el caso de rediseños similares.

Respecto a las limitaciones de análisis, se debe tomar en cuenta que, para un análisis más detallado, se debería considerar la recolección de datos de campo durante periodos diferentes y más largos, a fin de determinar cuál es el de mayor congestión. El uso del programa PTV Vissim es muy preciso en la obtención de resultados de microsimulación; sin embargo, debe ser

correctamente calibrado basado en mediciones variables de campo; por ello, esta variabilidad debe ser compensada con un análisis más detallado.

Respecto a las limitaciones de proyección de demanda, se debe considerar que existen efectos no medidos, referentes al crecimiento o variación de la demanda de ciclistas o peatones, a causa de las mejoras en las condiciones de tránsito y usos del espacio público, tanto a nivel de tránsito como de disfrute del espacio público. En este sentido, dicha limitación no permite conocer de manera exacta cuál sería el comportamiento de la vía en un futuro cercano.



9. REFERENCIAS

- 21, P. (2015). *Municipio de Lima desautoriza a Carlos Bringas en ampliación de Av. Salaverry*. Obtenido de <https://peru21.pe/lima/municipio-lima-desautoriza-carlos-bringas-ampliacion-av-salaverry-170574-noticia/>
- Acevedo, J., & Bocarejo, J. P. (2014). Movilidad sostenible: una construcción multidisciplinaria. *Revista de ingeniería*, 1(29), 71-74. Obtenido de <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/246>
- Acurio, H. (29 de Mayo de 2017). *Sistemas de microsimulación y modelación de tráfico*. Obtenido de SIG y Transporte: <https://sigytransporte.wordpress.com/2017/05/29/sistemas-de-microsimulacion-y-mmodelacion-de-trafico/>
- Álvarez, J. (2017). *Micro-simulación intermodal en la ciudad del Cusco empleando los software Vissim 8 y Viswalk 8*. PUCP.
- Aramburu, M. (2008). *Usos y significados del espacio público*. Universitat Polit`.
- Argentino, E. (2014). *Proponen la implementación de semáforos para ciegos*. Obtenido de <https://www.diarioelargentino.com.ar/noticias/131813/proponen-la-implementacion-de-semaforos-para-ciegos>
- Arquine. (26 de Octubre de 2016). *Ambulantes [Fotografía]*. Obtenido de Arquine: <https://www.arquine.com/ambulantes-2/>
- Banco de desarrollo de América Latina. (09 de Enero de 2019). *Cómo recuperar las calles: espacio público, movilidad y medio ambiente [Fotografía]*. Obtenido de Banco de desarrollo de América Latina: <https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2019/01/recuperando-la-funcion-de-la-calle-espacio-publico-movilidad-y-medio-ambiente/>
- Banco Mundial. (01 de Diciembre de 2017). *Movilidad*. Obtenido de Banco Mundial: <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/mobility>
- Bazant, J. (1998). *Manual de criterios de diseño urbano*. Trillas.
- Belloti, M. (2019). *Vissim 8, uso y aplicación en una intersección urbana*. UNC.
- Bogdanovich, L. (2020). *Centro histórico de Lima: Un futuro con esperanza*. Obtenido de Urbanista.lat: <http://urbanistas.lat/centro-historico-de-lima-un-futuro-con-esperanza/>
- Cabrera, F. (2015). *Material escrito del curso virtual de Ingeniería de Tráfico [Esquema]*. PUCP.
- Cabrera, F. (2015). *Material escrito del curso virtual Ingeniería de Tráfico*. PUCP.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y aplicaciones*. Alfaomega.
- Cal y Mayor, R., & Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones [Ilustración]*. Alfaomega.
- Callao Querido. (10 de Febrero de 2012). *Calles y Plazuelas del Callao: La avenida 2 de mayo, ex jirón Piura [Fotografía]*. Obtenido de Callao Querido: <http://callao-querido.blogspot.com/2012/02/vias-publicas-en-el-callao.html>
- Caretas. (26 de Octubre de 2020). *Cerca de 100 personas fueron multadas con más de S/.300 por no usar mascarilla en Miraflores [Fotografía]*. Obtenido de Caretas: <https://caretas.pe/nacional/cerca-de-100-personas-fueron-multadas-con-mas-de-s-300-por-no-usar-mascarilla-en-miraflores/>
- Carrión, F. (2007). Espacio público: punto de partida para la alteridad. *Espacios públicos y construcción social. Hacia un ejercicio de la ciudadanía.*, 79-97. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/32828083/carrion_espacio_publico-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1638937510&Signature=HL9j0ALxXsb348R9m2swqGhCuk-tCjc8p8Mb1Ts0BkXP4IRMkPegf~fJ7k8uc2J7G9zyj-uAaba9VPJVtg5K1rqChxxqViP7HA~NCJJ-UcSToomj3Guy~JTfVmoHsswTPF87
- Chile, G. d. (s/f). Espacios urbanos seguros. En *Mobiliario urbano* (págs. 36-41).
- City, S. (20 de Marzo de 2022). *Safe City*. Obtenido de <https://safecitying.com/>
- Comercio, E. (2019). *Metropolitano: presentan los primeros paraderos iluminados con energía solar*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/lima/transporte/metropolitano-presentan-los->

- primeros-paraderos-iluminados-con-energia-solar-municipalidad-de-lima-pro-transporte-noticia/
- CONCREMOL SAC. (s/f). *Sardineles*. Obtenido de CONCREMOL SAC: <http://concremol.com/productos/sardineles>
- Condeter Ltda. (14 de Septiembre de 2015). *Modelos de Microsimulación Vissim 7-8 Condeter SAS*. Obtenido de Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=AOSid2_U0k4
- Condori, W. (2018). *Análisis y evaluación microscópica del tráfico en el óvalo Quiñones, haciendo uso del software PTV Vissim*. Universidad Católica de Santa María.
- Condori, W. (2018). *Análisis y evaluación microscópica del tráfico en el óvalo Quiñones, haciendo uso del software PTV Vissim [Esquema]*. UCSM.
- Condori, W. (2018). *Análisis y evaluación microscópica del tráfico en el óvalo Quiñones, haciendo uso del software PTV Vissim [Tabla]*. UCSM.
- COPE. (14 de Diciembre de 2020). *Ribó, sobre carril bici Gran Vía: Mejor uno compartido que por acera [Fotografía]*. Obtenido de COPE: https://www.cope.es/emisoras/comunidad-valenciana/valencia-provincia/valencia/noticias/ribo-sobre-carril-bici-gran-via-mejor-uno-compartido-que-por-acera-20201214_1044861
- Corporación Ciudad Accesible. (23 de Mayo de 2016). *El peatón y la accesibilidad en las veredas [Fotografía]*. Obtenido de Corporación Ciudad Accesible: <https://www.ciudadaccesible.cl/peaton-la-accesibilidad-las-veredas/>
- Correa, M. (2021). *Manual de diseño de vías urbanas*. Universidad EAFIT.
- Cuarto Poder. (Mayo de 2021). *Impulsa Castellanos movimiento cultural [Fotografía]*. Obtenido de Cuarto Poder: <https://www.cuartopoder.mx/chiapas/impulsacastellanosmovimientocultural/161056>
- Culturplaza. (s/f). *Aquí el cierre masivo de quioscos en las zonas paradigmáticas de la ciudad, un recorrido de instrucciones sobre cómo afrontar un declive sin frenos*. Obtenido de <https://valenciaplaza.com/cierre-quioscos-valencia>
- Dextre, J. C., & Aranda, F. (2021). *Avanzando con resiliencia: Una "nueva movilidad" para Lima y Callao*. PERÚ Debate 2021.
- Díaz-Osorio, M., & Marroquón, J. (2016). Las relaciones entre la movilidad y el espacio público, Transmilenio en Bogotá. *Revista de Arquitectura*, 18(1), 26-139. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/14842>
- Earth, B. (2017). *Cómo aumentar el uso de bicicletas en la ciudades*. Obtenido de <https://believe.earth/es/como-aumentar-el-uso-de-bicicletas-en-la-ciudades/>
- Educación en Red. (25 de Junio de 2018). *Docentes se concentran en la Plaza San Martín para recibir a dirigentes de provincias que acatan huelga indefinida [Fotografía]*. Obtenido de Educación en Red: <https://noticia.educacionenred.pe/2018/06/docentes-se-concentran-plaza-san-martin-recibir-dirigentes-provincias-que-acatan-153058.html>
- Fonseca, J. (2014). La importancia y la apropiación de los espacios públicos en las ciudades. *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*, 4(7), 1-9. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4990/499051556003.pdf>
- Funes. (2019). *El municipio colocó gimnasios al aire libre en plazas de la ciudad*. Obtenido de <https://www.funeshoy.com.ar/noticias/el-municipio-coloco-gimnasios-al-aire-libre-en-plazas-de-la-ciudad/>
- Gallopín, G. (2003). *Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico*. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos.
- Garriz, E., & Schroeder, R. (2014). Dimensiones del espacio público y su importancia en el ámbito urbano. *Revista Científica Guillermo de Ockham*, 12(2), 25-30. doi:<https://doi.org/10.21500/22563202.59>
- Gehl, J. (2006). *New city life*.
- Guillamón, D., & Hoyos, D. (2005). *Movilidad sostenible: de la teoría a la práctica*. Manu Robles-Arangiz Institutua.
- Guzmán, L. (2003). *Recomendaciones para un Diseño Integral de Vías Urbanas - Intersecciones a Desnivel*. Universidad de Los Andes.
- HOY. (12 de Septiembre de 2016). *Los ciclistas apoyan el nuevo modelo de carril-bici*. Obtenido de HOY: <https://www.hoy.es/badajoz/201609/12/ciclistas-apoyan-nuevo-modelo->

- 20160912002023-v.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.hoy.es%2Fbadajoz%2F201609%2F12%2Fciclistas-apoyan-nuevo-modelo-20160912002023-v.html
- Infantiles, P. (2017). *Parques infantiles diseñados para fomentar el aprendizaje a través del juego*. Obtenido de <https://www.parquesinfantiles.es/blog/a-362/parques-infantiles-disenados-para-fomentar-el-aprendizaje-a-traves-del-juego>
- Inmobiliaria. (2021). *Terreno urbano en Lima Capital en Venta, Cercado del Callao, Av 2 de Mayo, 1100 m2*. Obtenido de Inmobiliaria: <https://peru.inmobiliaria.com/terreno-urbano-en-lima-capital-1100m2-F876786>
- Klikglodok. (s/f). *Leica Disto X310 Meteran Laser Digital [Fotografía]*. Obtenido de Klikglodok: <http://www.klikglodok.com/perkakas/meteran-laser/14382-harga-leica-disto-x310-meteran-laser-digital.html>
- La Razón. (20 de Octubre de 2021). *Realizan pruebas gratuitas de descarte de COVID-19 en terminal Naranjal [Fotografía]*. Obtenido de La Razón : <https://larazon.pe/realizan-pruebas-gratuitas-de-descarte-de-covid-19-en-estacion-del-metropolitano/>
- Landau, B. (1992). La fabrication des rues de Paris au XIXe siècle: un territoire d'innovation technique et politique. *Annales de la recherche urbaine*, 1(1), 24-45. Obtenido de https://pmbdoc.eivp-paris.fr/opac/index.php?lvl=notice_display&id=18683
- Lima, M. d. (2022). *Parque Kennedy – Parque 7 de junio*. Obtenido de <https://www.museosdelima.com/parque-kennedy-parque-7-de-junio/>
- Lizarraga, C. (2006). Movilidad urbana sostenible: un reto para las ciudades del siglo XXI. *Economía, sociedad y territorio*, 6(22), 283-321. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/results/2017/12/01/mobility>
- Madrid, I. d. (20 de Marzo de 2022). *Pavimentos accesibles que pueden usarse para tener un parque accesible*. Obtenido de <https://institutodeaccesibilidad.com/blog/pavimentos-accesibles-para-tener-un-parque-accesible/>
- Metropolitana, S. R. (2011). *Diseño universal en el espacio público*. Chile.
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2015). *Manual de señalización vial*. Ministerio de Transporte de Colombia.
- Ministerio de Transporte de Colombia. (2016). *Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas*. Ministerio de Transporte de Colombia.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones [Tabla]*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial [Tabla]*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras [Tabla]*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2020). *Guía de Implementación de Sistemas de Transporte Sostenible no Motorizado*. MTC.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Municipalidad Distrital de Mala. (s/f). *Embellaciendo el área verde a la altura del terminal terrestre [Fotografía]*. Obtenido de Municipalidad Distrital de Mala: <https://munimala.gob.pe/embelleciendo-el-area-verde-a-la-altura-del-terminal-terrestre/>
- Nacional. (25 de Agosto de 2021). *Inauguran nueva ciclo vía en la av. Jorge Basadre en San Juan de Lurigancho*. Obtenido de Nacional: <https://www.radionacional.com.pe/noticias/locales/inauguran-nueva-ciclovía-en-la-av-jorge-basadre-en-san-juan-de-lurigancho>
- National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. (2021). *Science Circuit Logistics [Imagen]*. Obtenido de National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine: <https://nubip.edu.ua/node/1565/11>

- Noticias, T. (2022). *Instalan ruta podotáctil para personas con discapacidad visual en Palacio Municipal*. Obtenido de <https://tjnoticias.info/instalan-ruta-podotactil-para-personas-con-discapacidad-visual-en-palacio-municipal/>
- Páramo, P., & Burbano, A. (2014). Los usos y la apropiación del espacio público para el fortalecimiento de la democracia. *Revista de Arquitectura*, 16(1), 6-15. doi:doi:10.14718/RevArq.2014.16.2
- Peralta, J. H. (2014). *Discapacidad y diseño accesible. Diseño urbano y arquitectónico para personas con discapacidad*.
- PTV Group. (2018). *PTV Vissim 10 User Manual*. PTV Group.
- PTV Group. (2021). *Getting to know PTV Vissim [Imagen]*. Obtenido de PTV Group: <https://company.ptvgroup.com/en-us/getting-to-know-ptv-vissim>
- PTV Group. (2021). *Getting to know PTV Vissim [Tabla]*. Obtenido de PTV Group: <https://company.ptvgroup.com/en-us/getting-to-know-ptv-vissim>
- PTV Group. (s.f.). *PTV Vissim*. Recuperado el 10 de Noviembre de 2021, de PTV Group: <https://www.ptvgroup.com/es/soluciones/productos/ptv-vissim/>
- Research Gate. (Enero de 2001). *Car-following model of WIEDEMANN [Esquema]*. Obtenido de Research Gate: https://www.researchgate.net/figure/Car-following-model-of-WIEDEMANN-Thresholds-and-one-vehicle-trajectory_fig1_228991360
- Revista Gente de Cabecera. (14 de Agosto de 2014). *Una manzana de contrastes [Fotografía]*. Obtenido de Revista Gente de Cabecera: <https://www.gentedecabecera.com/2014/08/una-manzana-de-contrastes/>
- RPP Noticias. (14 de Septiembre de 2019). *MTC publica proyecto del reglamento de Ley que promueve uso de la bicicleta*. Obtenido de RPP Noticias: <https://rpp.pe/peru/actualidad/mtc-publica-proyecto-del-reglamento-de-ley-que-promueve-uso-de-la-bicicleta-noticia-1219581?ref=rpp>
- Samar, J. (16 de Julio de 2019). *Los tres pilares fundamentales involucrados en una movilidad más sostenible*. Obtenido de Movilidad Conectada: <https://movilidadconectada.com/2019/07/16/los-tres-pilares-fundamentales-involucrados-en-una-movilidad-mas-sostenible/>
- Scribd. (22 de Febrero de 2019). *Formato para aforo vehicular [Imagen]*. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/document/400264173/Formato-Para-Aforo-Vehicular>
- Segovia, O., & Jordán, R. (2005). *Espacios públicos urbanos, pobreza y construcción social*. Naciones Unidas.
- Shop Store. (2021). *Lima bike [Fotografía]*. Obtenido de Shop Store: <https://shop3s.top/products.aspx?cname=lima+bike&cid=115>
- Shugar, A. (2020). *Pinterest*. Obtenido de <https://www.pinterest.com/pin/741757001110786867/>
- Takana, G., & Tokeshi, J. (2007). *Espacio público en la ciudad popular: reflexiones y experiencias desde el sur*. DESCO.
- Transportation Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual*. Transportation Research Board.
- Universidad de Costa Rica. (30 de Setiembre de 2011). *Campus debe ser un espacio de encuentro*. Obtenido de Universidad de Costa Rica: <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2011/09/30/campus-debe-ser-un-espacio-de-encuentro.html>
- Valencia, V. (2000). *Principios sobre semáforos*. Universidad Nacional de Colombia.
- Valenzuela, H. (2021). Alcances sobre el derecho a la movilidad sostenible en el Perú. *Derecho público económico*, 1(1), 1-18. Obtenido de <https://journals.continental.edu.pe/index.php/derechopublicoeconomico/article/view/747/699>
- VCHI. (2005). *Manual de diseño geométrico de vías urbanas*. ICG.
- Vega, P. (2006). *El espacio público: la movilidad y la revaloración de la ciudad*. PUCP.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**REDISEÑO VIAL CON PRIORIDAD EN TRANSPORTE SOSTENIBLE Y
MICROSIMULACIÓN DE LA AV. DOS DE MAYO – CALLAO ENTRE LA AVENIDA
SÁENZ PEÑA Y LA CALLE MONTEAGUDO**

ANEXOS

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Calderón Pintado, Miguel Alberto

ASESOR:

Cabrera Vega, Félix Israel

Lima, Marzo, 2023

INDICE DE CONTENIDO

1.	PLANOS DE ESTADO ACTUAL DE LA AV. 2 DE MAYO	1
1.1.	Plano de planta actual de la Av. 2 de Mayo – Cuadra 1.....	1
1.2.	Plano de planta actual de la Av. 2 de Mayo – Cuadra 2.....	2
1.3.	Plano de planta actual de la Av. 2 de Mayo – Cuadra 3.....	3
1.4.	Plano de planta actual de la Av. 2 de Mayo – Cuadra 4.....	4
1.5.	Plano de corte típico actual de la Av. 2 de Mayo.....	5
2.	PLANOS DE PROPUESTA DE REDISEÑO DE LA AV. 2 DE MAYO	6
2.1.	Plano de propuesta de rediseño de Av. 2 de Mayo en cuadra 1	6
2.2.	Plano de propuesta de rediseño de Av. 2 de Mayo en cuadra 2	6
2.3.	Plano de propuesta de rediseño de Av. 2 de Mayo en cuadra 3	7
2.4.	Plano de propuesta de rediseño de Av. 2 de Mayo en cuadra 4	8
2.5.	Plano de corte típico de propuesta de rediseño de Av. 2 de Mayo.....	8
3.	VISTAS 3D DE PROPUESTA DE MEJORA DE LA AV. 2 DE MAYO.....	9
4.	DATOS DE COMPOSICIÓN Y DEMANDAS VEHICULARES.....	12
4.1.	Ciclo Semafórico en Av. 2 de Mayo con Av. Sáenz Peña	12
4.2.	Av. 2 de Mayo (Sentido de Norte a Sur).....	13
4.3.	Av. 2 de Mayo (Sentido de Sur a Norte).....	14
4.4.	Av. Sáenz Peña.....	16
4.5.	Ciclovía en Av. Sáenz Peña (Sentido de Este a Oeste).....	17
4.6.	Ciclovía en Av. Sáenz Peña (Sentido de Oeste a Este).....	18
5.	DATOS DE TIEMPOS DE VIAJE VEHICULARES EN CAMPO.....	20
5.1.	Tiempos de viaje vehiculares en Av. 2 de Mayo	20
5.2.	Tiempos de viaje vehiculares en Av. Sáenz Peña	21
6.	CALIBRACIÓN DE MODELO DE MICROSIMULACIÓN.....	22
6.1.	Tiempos de viaje vehiculares obtenidos en Vissim.....	22
6.2.	Diferencia de medias mediante StatKey para calibración.....	28
7.	VALIDACIÓN DE MODELO DE MICROSIMULACIÓN.....	30
7.1.	Tiempos de viaje vehiculares medidos en campo para validación.....	30
7.2.	Tiempos de viaje vehiculares obtenidos en Vissim para validación	31
7.3.	Diferencia de medias mediante StatKey para validación.....	32
8.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE MICROSIMULACIÓN.....	34
8.1.	Resultados de microsimulación de propuesta	34
8.2.	Comparación de variación porcentual.....	34
8.3.	Gráficos comparativos de variación.....	35

1. PLANOS DE ESTADO ACTUAL DE LA AV. 2 DE MAYO

1.1. Plano de planta actual de la Av. 2 de Mayo – Cuadra 1

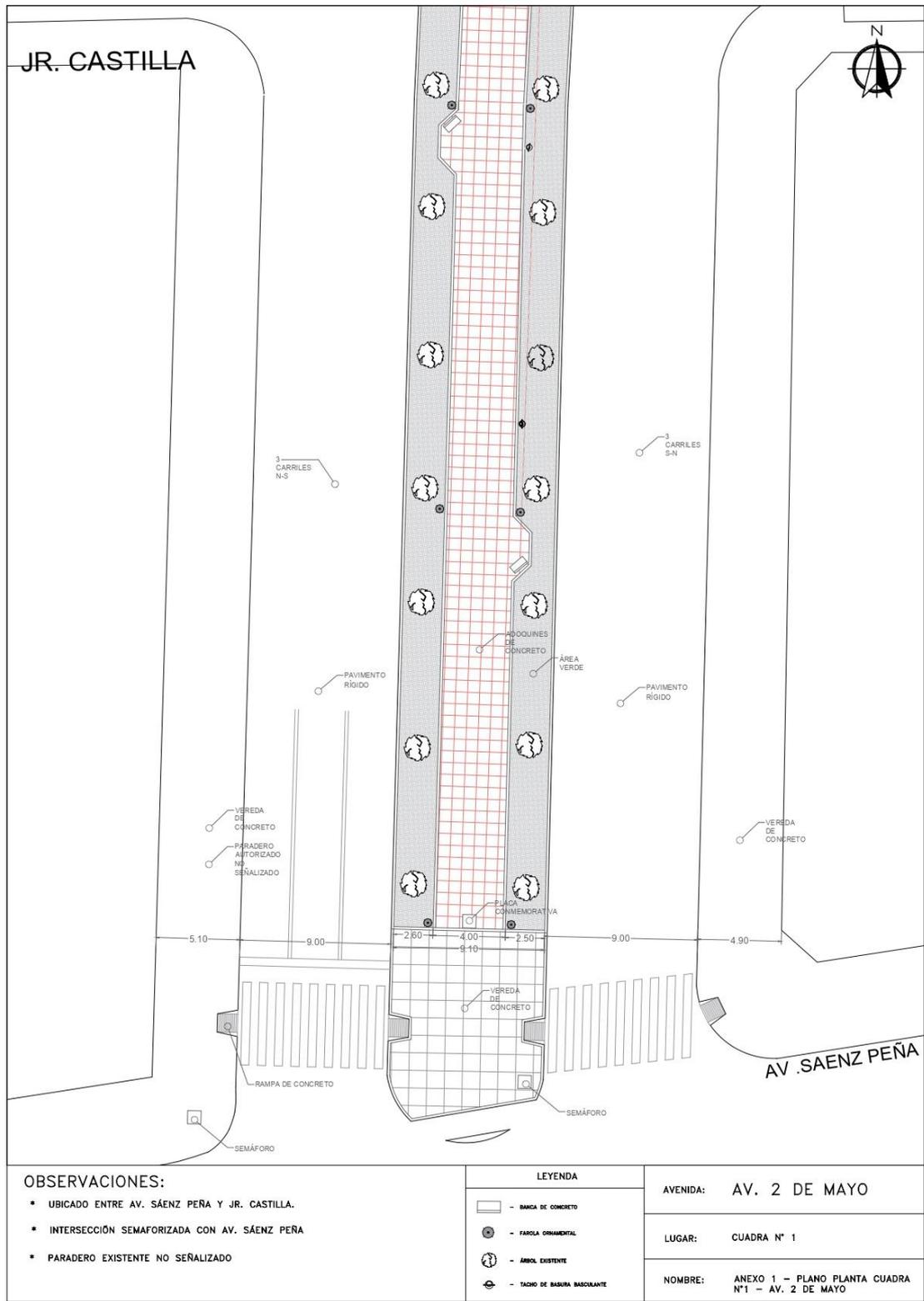


Figura 1. Plano de planta de estado actual de la Av. 2 de Mayo en la cuadra N°1.
Fuente: Elaboración propia

1.2. Plano de planta actual de la Av. 2 de Mayo – Cuadra 2



Figura 2. Plano de planta de estado actual de la Av. 2 de Mayo en la cuadra N°2.
Fuente: Elaboración propia

1.3.Plano de planta actual de la Av. 2 de Mayo – Cuadra 3

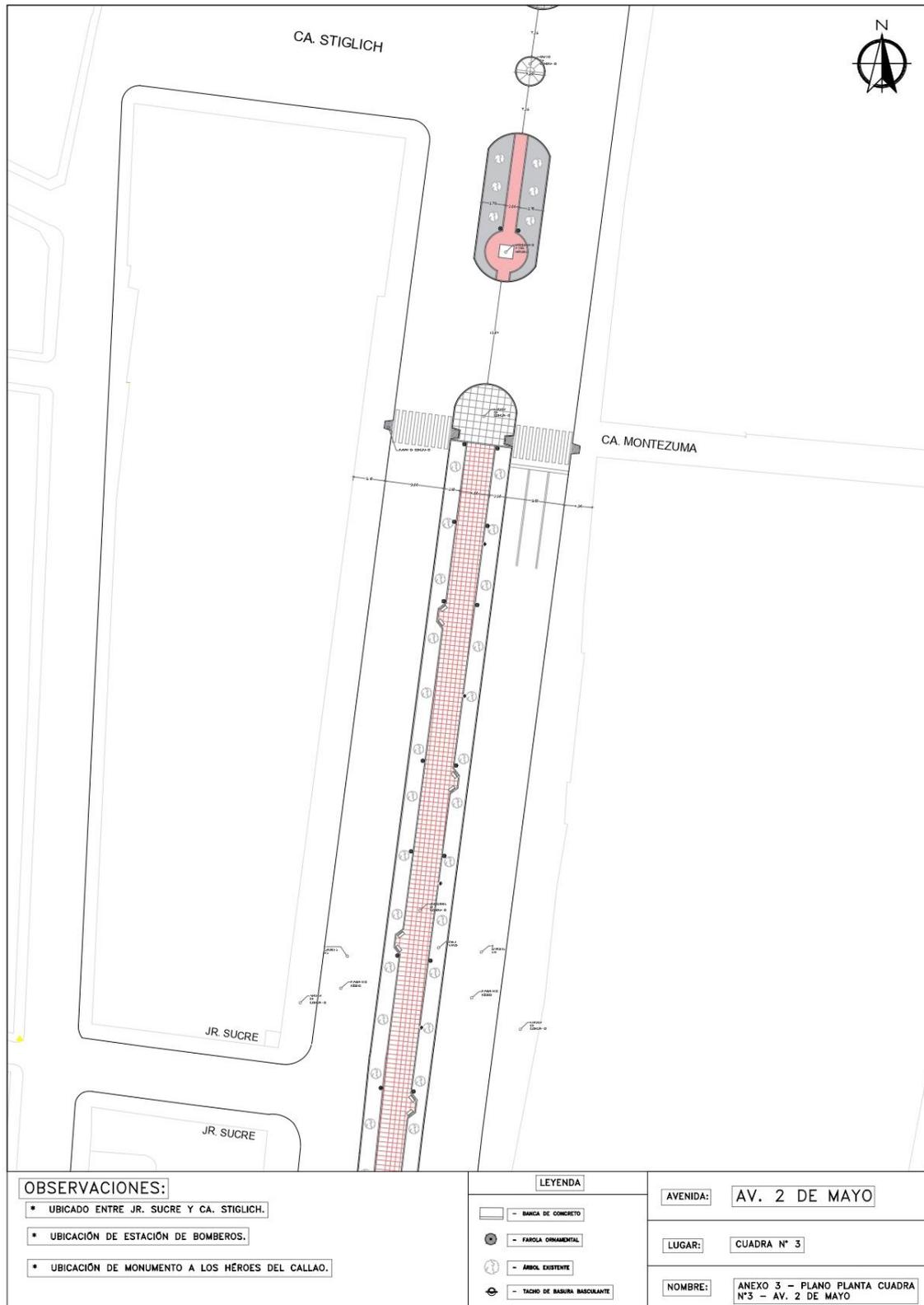


Figura 3. Plano de planta de estado actual de la Av. 2 de Mayo en la cuadra N°3.
Fuente: Elaboración propia

1.4. Plano de planta actual de la Av. 2 de Mayo – Cuadra 4

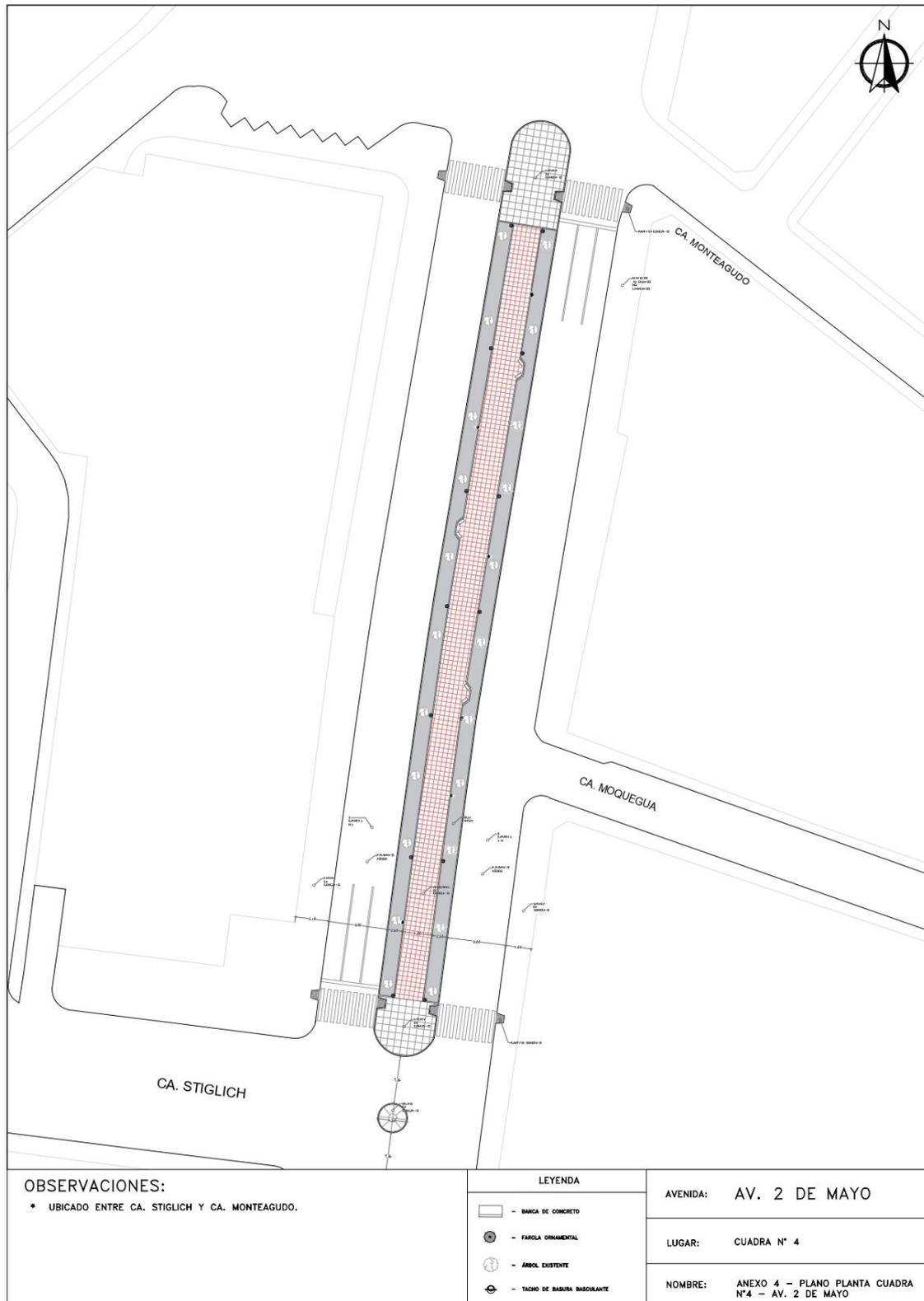


Figura 4. Plano de planta de estado actual de la Av. 2 de Mayo en la cuadra N°4.
 Fuente: Elaboración propia

1.5. Plano de corte típico actual de la Av. 2 de Mayo

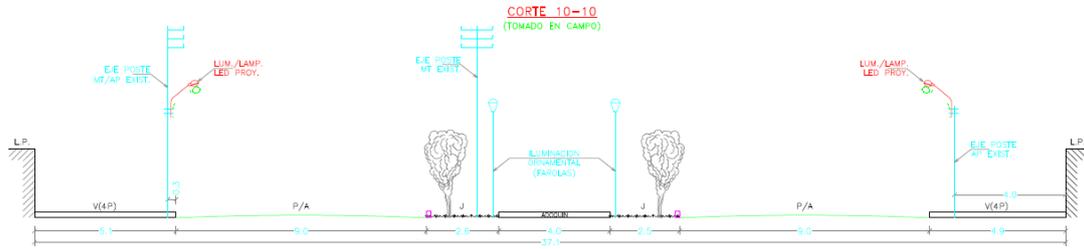


Figura 5. Plano de corte típico del estado actual de la Av. 2 de Mayo.
Fuente: Elaboración propia



2. PLANOS DE PROPUESTA DE REDISEÑO DE LA AV. 2 DE MAYO

Se presentan los planos de planta de la propuesta de rediseño de la Av. 2 de Mayo en algunas ubicaciones específicas que serán aprovechadas para usos múltiples.

2.1. Plano de propuesta de rediseño de Av. 2 de Mayo en cuadra 1

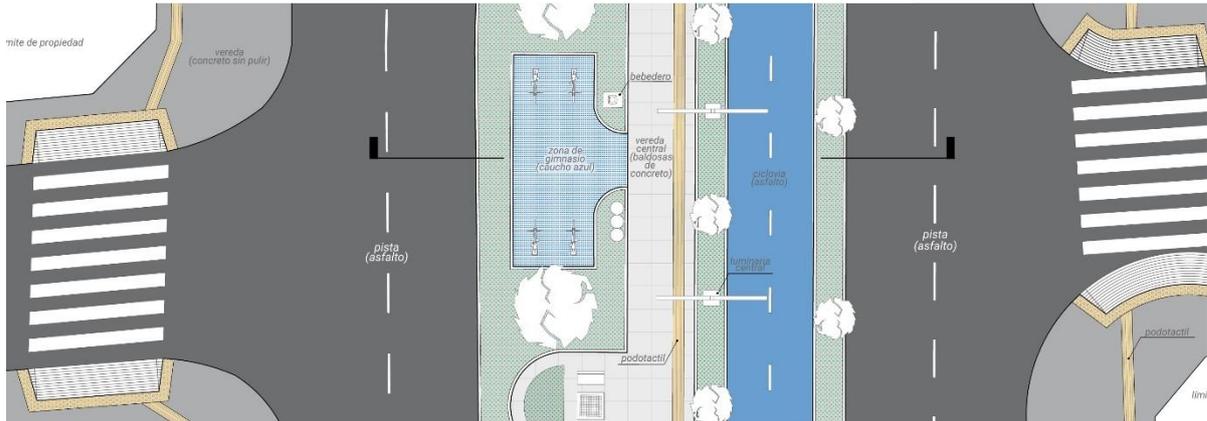


Figura 6. Plano de propuesta de rediseño en Av. 2 de Mayo con Jr. José Gálvez.
Fuente: Elaboración propia

2.2. Plano de propuesta de rediseño de Av. 2 de Mayo en cuadra 2

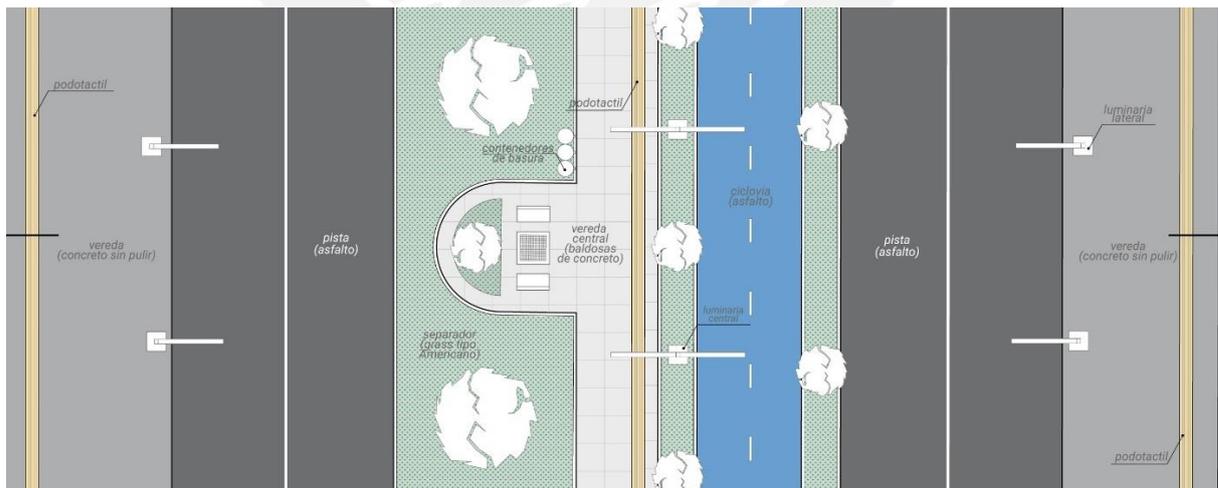


Figura 7. Plano de propuesta de rediseño en Av. 2 de Mayo cuadra 2
Fuente: Elaboración propia

2.3. Plano de propuesta de rediseño de Av. 2 de Mayo en cuadra 3

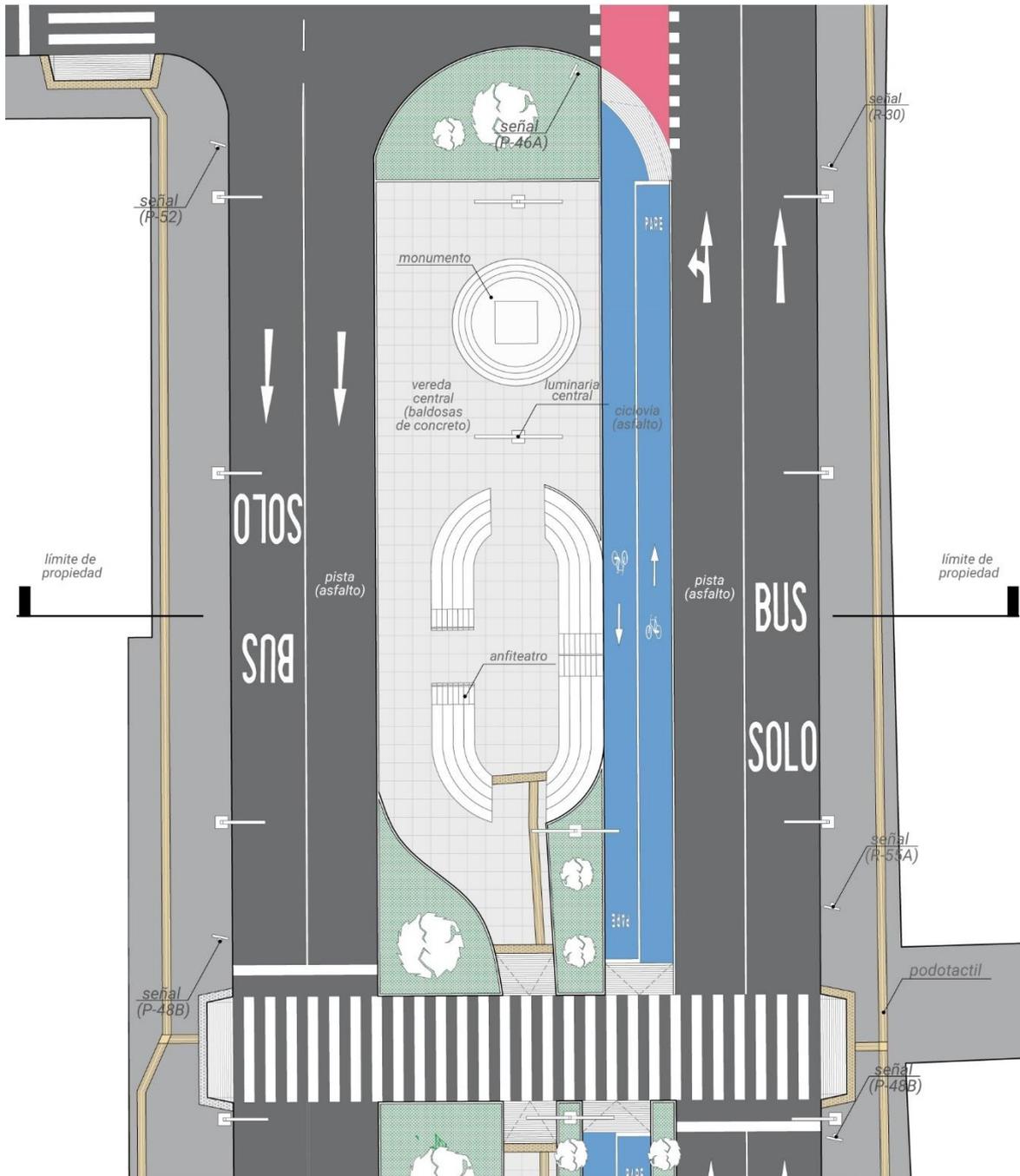


Figura 8. Plano de propuesta de rediseño en Av. 2 de Mayo, a la altura de estación de bomberos.
Fuente: Elaboración propia

2.4. Plano de propuesta de rediseño de Av. 2 de Mayo en cuadra 4

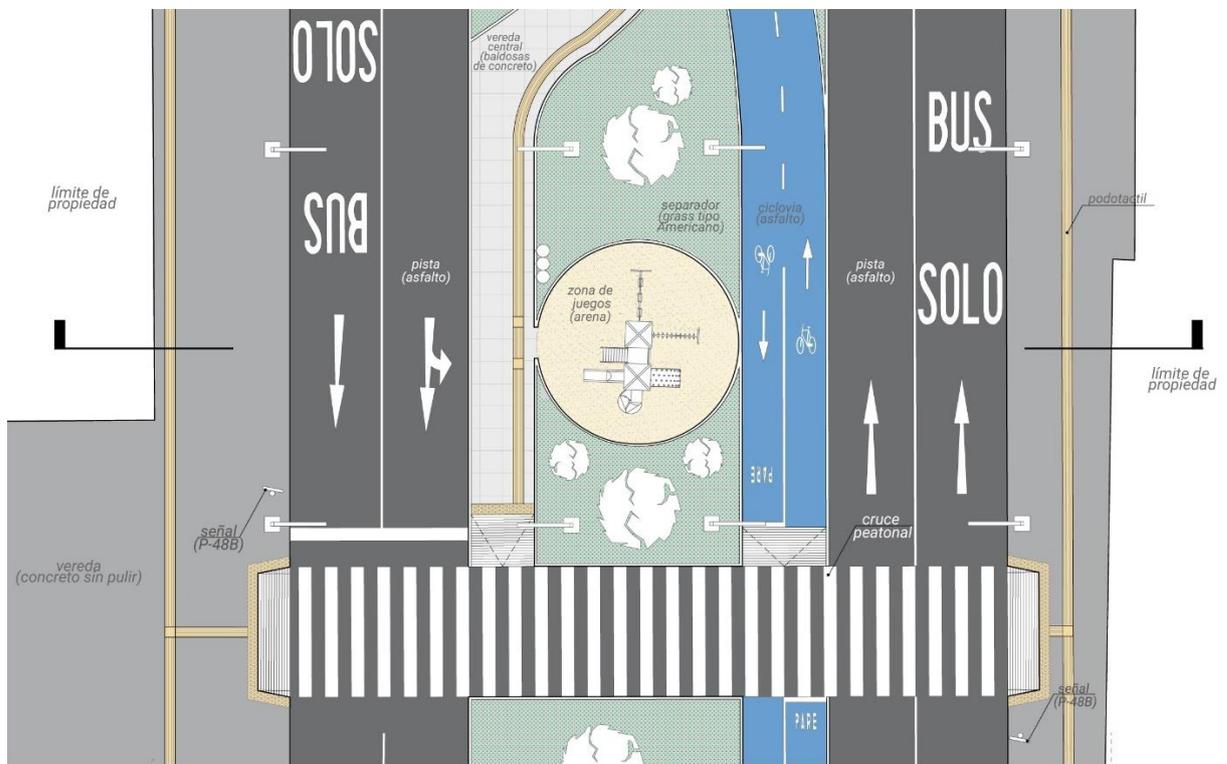


Figura 9. Plano de propuesta de rediseño en Av. 2 de Mayo en cuadra 4.
Fuente: Elaboración propia

2.5. Plano de corte típico de propuesta de rediseño de Av. 2 de Mayo

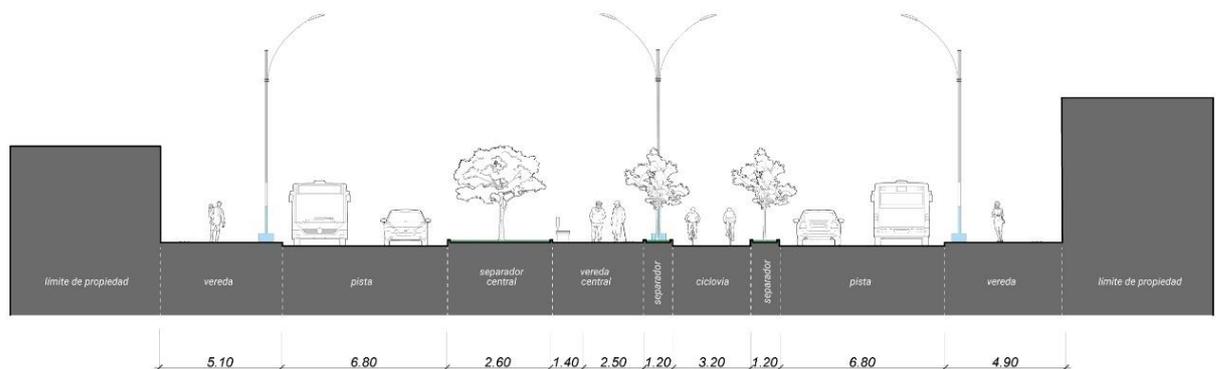


Figura 10. Sección vial típica de propuesta de rediseño en Av. 2 de Mayo.
Fuente: Elaboración propia

3. VISTAS 3D DE PROPUESTA DE MEJORA DE LA AV. 2 DE MAYO



Figura 11. Imagen 1 de propuesta de mejora para la Av. 2 de Mayo mediante modelado 3D.
Fuente: Elaboración propia



Figura 12. Imagen 2 de propuesta de mejora para la Av. 2 de Mayo mediante modelado 3D.
Fuente: Elaboración propia



Figura 13. Imagen 3 de propuesta de mejora para la Av. 2 de Mayo mediante modelado 3D.
Fuente: Elaboración propia



Figura 14. Imagen 4 de propuesta de mejora para la Av. 2 de Mayo mediante modelado 3D.
Fuente: Elaboración propia

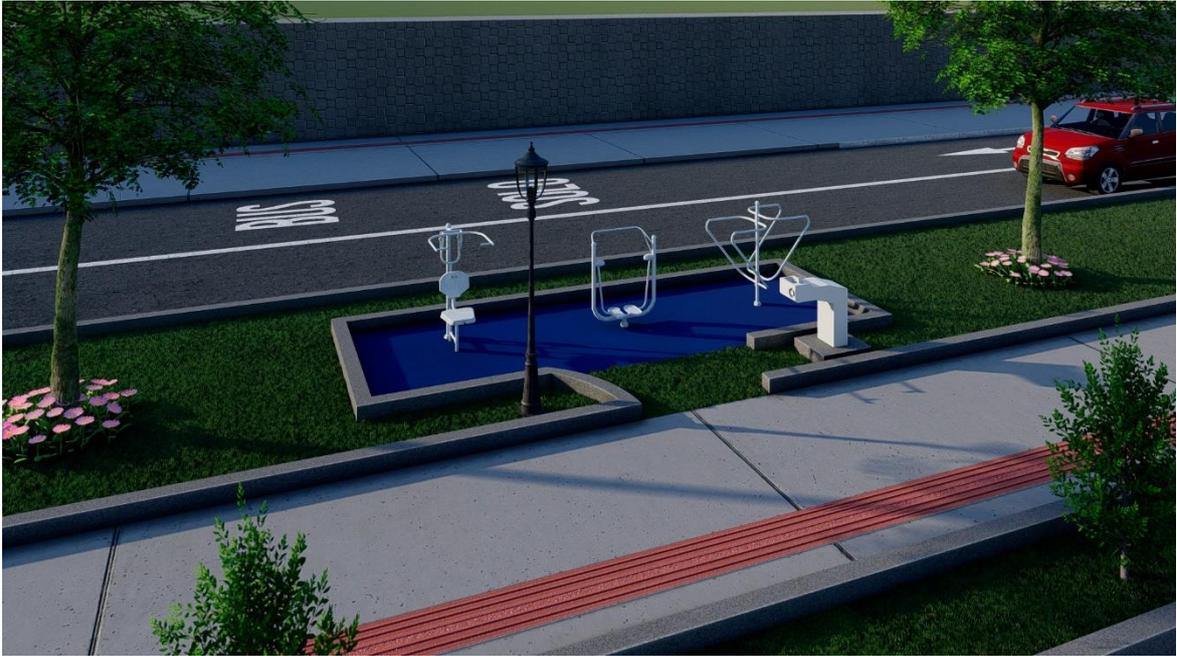
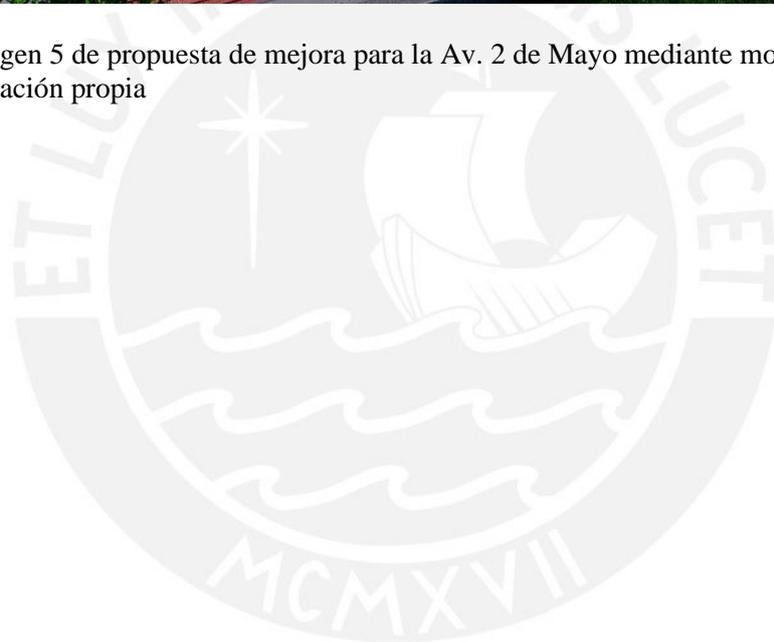


Figura 15. Imagen 5 de propuesta de mejora para la Av. 2 de Mayo mediante modelado 3D.
Fuente: Elaboración propia



4. DATOS DE COMPOSICIÓN Y DEMANDAS VEHICULARES

4.1. Ciclo Semafórico en Av. 2 de Mayo con Av. Sáenz Peña

A continuación, se muestra el formato de conteo de tiempos de las fases semafóricas involucradas en la intersección de la Av. 2 de mayo con la Av. Sáenz Peña:

Tabla 1. Resumen de conteo semafórico en Av. 2 de Mayo

N° MEDICIÓN	1	2	3	4	5	PROMEDIO (S)	TOMADO (S)
AV. 2 DE MAYO	TIEMPO (s)						
VERDE	39.60	39.98	40.12	39.70	40.02	39.88	40
ÁMBAR	3.34	3.12	3.01	3.25	2.94	3.13	3
ROJO	31.94	31.87	31.89	32.05	32.09	31.97	32

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Resumen de conteo semafórico en Av. Sáenz Peña

N° MEDICIÓN	1	2	3	4	5	PROMEDIO (S)	TOMADO (S)
AV. SÁENZ PEÑA	TIEMPO (s)						
VERDE	29.25	28.91	28.90	29.02	28.98	29.01	29
ÁMBAR	3.05	2.90	3.03	2.98	3.01	2.99	3
ROJO	43.02	42.99	43.15	43.01	42.98	43.03	43

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta el diagrama de fases adoptado para la situación actual de la intersección:

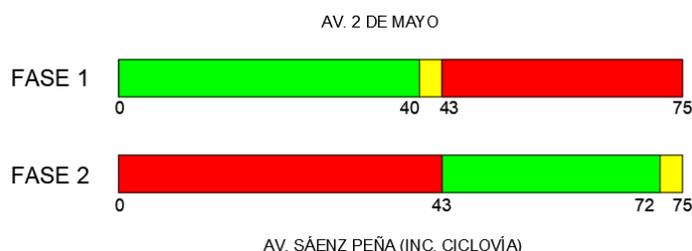


Figura 16. Diagrama de fases de semáforo en intersección de Av. 2 de Mayo con Av. Sáenz Peña
Fuente: Elaboración propia

4.2. Av. 2 de Mayo (Sentido de Norte a Sur)

4.2.1. Flujograma de aforo vehicular



Figura 17. Flujograma de conteo vehicular del día 23 de mayo de 2022 en Av. 2 de Mayo, en sentido de Norte a Sur.

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Datos recolectados de aforo vehicular

Tabla 3. Datos recolectados en campo de flujos vehiculares para Av. 2 de Mayo (Norte a Sur)

AV. DOS DE MAYO (SENTIDO N-S)				
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE VEHÍCULO	DESTINO		
		1 (Recto)	2 (Derecha)	3 (Giro U)
08:00 - 08:15	Automóvil	52	59	2
	Combi	15	0	10
	Bus	9	0	0
	Camión	4	0	1
	Motocicleta	7	6	4
	Bicicleta	0	0	0
08:15 - 08:30	Automóvil	59	66	2
	Combi	21	1	6
	Bus	8	0	0
	Camión	5	1	0
	Motocicleta	12	8	2
	Bicicleta	0	0	2
08:30 - 08:45	Automóvil	47	54	1
	Combi	25	0	5
	Bus	8	0	1
	Camión	0	0	0
	Motocicleta	0	3	1
	Bicicleta	0	0	0
08:45 - 09:00	Automóvil	38	59	1
	Combi	21	0	3
	Bus	4	0	0
	Camión	4	0	0
	Motocicleta	6	7	1
	Bicicleta	0	2	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Resumen de flujo vehicular parcial y acumulado en periodos de 15 minutos.

AV. DOS DE MAYO (SENTIDO N-S)		
PERIODO DE TIEMPO	FLUJO PARCIAL (veh/hora)	FLUJO ACUMULADO (veh/hora)
08:00 - 08:15	169	169
08:15 - 08:30	193	362
08:30 - 08:45	145	507
08:45 - 09:00	147	654

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Resumen de composición vehicular para Av. 2 de Mayo (Norte a Sur)

AV. DOS DE MAYO (SENTIDO N-S)		
TIPO DE VEHÍCULO	TOTAL	PARCIAL
Automóvil	440	0.673
Combi	107	0.164
Bus	30	0.046
Camión	15	0.023
Motocicleta	57	0.087
Bicicleta	5	0.008
TOTAL	654	1.000

Fuente: Elaboración propia

4.3. Av. 2 de Mayo (Sentido de Sur a Norte)

4.3.1. Flujograma de aforo vehicular



Figura 18. Flujograma de conteo vehicular del día 23 de mayo de 2022 en Av. 2 de Mayo, en sentido de Sur a Norte.

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Datos recolectados de aforo vehicular

Tabla 6. Datos recolectados en campo de flujos vehiculares para Av. 2 de Mayo (Sur a Norte)

AV. DOS DE MAYO (SENTIDO S-N)				
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE VEHÍCULO	DESTINO		
		1 (Recto)	2 (Izquierda)	3 (Giro U)
08:00 - 08:15	Automóvil	55	9	0
	Combi	50	0	0
	Bus	8	0	0
	Camión	3	0	0
	Motocicleta	9	0	0
	Bicicleta	0	1	0
08:15 - 08:30	Automóvil	75	15	0
	Combi	37	0	0
	Bus	5	0	0
	Camión	5	1	0
	Motocicleta	7	1	0
	Bicicleta	0	0	0
08:30 - 08:45	Automóvil	63	16	0
	Combi	52	0	0
	Bus	13	0	0
	Camión	3	0	0
	Motocicleta	6	0	0
	Bicicleta	0	0	0
08:45 - 09:00	Automóvil	54	14	0
	Combi	35	0	0
	Bus	9	0	0
	Camión	6	0	0
	Motocicleta	6	1	0
	Bicicleta	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Resumen de flujo vehicular parcial y acumulado en periodos de 15 minutos.

AV. DOS DE MAYO (SENTIDO S-N)		
PERIODO DE TIEMPO	FLUJO PARCIAL (veh/hora)	FLUJO ACUMULADO (veh/hora)
08:00 - 08:15	135	135
08:15 - 08:30	146	281
08:30 - 08:45	153	434
08:45 - 09:00	125	559

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Resumen de composición vehicular para Av. 2 de Mayo (Sur a Norte)

AV. DOS DE MAYO (SENTIDO S-N)		
TIPO DE VEHÍCULO	TOTAL	PARCIAL
Automóvil	301	0.538
Combi	174	0.311
Bus	35	0.063
Camión	18	0.032
Motocicleta	30	0.054
Bicicleta	1	0.002
TOTAL	559	1.000

Fuente: Elaboración propia

4.4. Av. Sáenz Peña

4.4.1. Flujograma de aforo vehicular



Figura 19. Flujograma de conteo vehicular del día 23 de mayo de 2022 en Av. Sáenz Peña.
Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Datos recolectados de aforo vehicular

Tabla 9. Datos recolectados en campo de flujos vehiculares para Av. Sáenz Peña

AV. SÁENZ PEÑA				
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE VEHÍCULO	DESTINO		
		1 (Recto)	2 (Derecha)	3 (Izquierda)
08:00 - 08:15	Automóvil	64	36	14
	Combi	0	0	0
	Bus	0	0	0
	Camión	1	1	0
	Motocicleta	5	0	1
	Bicicleta	0	0	0
08:15 - 08:30	Automóvil	83	39	17
	Combi	0	0	0
	Bus	0	0	0
	Camión	0	0	0
	Motocicleta	3	1	1
	Bicicleta	0	0	0
08:30 - 08:45	Automóvil	66	38	25
	Combi	0	0	0
	Bus	0	0	0
	Camión	0	0	0
	Motocicleta	3	0	5
	Bicicleta	0	0	0
08:45 - 09:00	Automóvil	73	37	13
	Combi	0	0	0
	Bus	0	0	0
	Camión	0	0	0
	Motocicleta	10	0	2
	Bicicleta	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Resumen de flujo vehicular parcial y acumulado en periodos de 15 minutos.

AV. SAENZ PEÑA		
PERIODO DE TIEMPO	FLUJO PARCIAL (veh/hora)	FLUJO ACUMULADO (veh/hora)
08:00 - 08:15	122	122
08:15 - 08:30	144	266
08:30 - 08:45	137	403
08:45 - 09:00	135	538

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Resumen de composición vehicular para Av. Sáenz Peña

AV. SAENZ PEÑA		
TIPO DE VEHÍCULO	TOTAL	PARCIAL
Automóvil	505	0.939
Camión	2	0.004
Motocicleta	31	0.058
TOTAL	538	1.000

Fuente: Elaboración propia

4.5. Ciclovía en Av. Sáenz Peña (Sentido de Este a Oeste)

4.5.1. Flujograma de aforo ciclista

FLUJOGRAMA CICLOVÍA DE AV. SÁENZ PEÑA (ESTE A OESTE)



Figura 20. Flujograma de conteo ciclista del día 23 de mayo de 2022 en ciclovía de Av. Sáenz Peña, en sentido de Este a Oeste.

Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Datos recolectados de aforo ciclista

Tabla 12. Datos recolectados en campo para flujos ciclista en Av. Sáenz Peña (Este a Oeste)

CICLOVÍA SÁENZ PEÑA (E-O)				
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE VEHÍCULO	DESTINO		
		1 (Recto)	2 (Derecha)	3 (Izquierda)
08:00 - 08:15	Bicicleta	14	0	0
08:15 - 08:30	Bicicleta	11	0	0
08:30 - 08:45	Bicicleta	2	0	0
08:45 - 09:00	Bicicleta	6	0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Resumen de flujo ciclista para periodos de 15 minutos

AV. SÁENZ PEÑA CICLOVÍA (E-O)		
PERIODO DE TIEMPO	FLUJO PARCIAL (veh/hora)	FLUJO ACUMULADO (veh/hora)
08:00 - 08:15	14	14
08:15 - 08:30	11	25
08:30 - 08:45	2	27
08:45 - 09:00	6	33

Fuente: Elaboración propia

4.6. Ciclovía en Av. Sáenz Peña (Sentido de Oeste a Este)

4.6.1. Flujograma de aforo ciclista



Figura 21. Flujograma de conteo ciclista del día 23 de mayo de 2022 en ciclovía de Av. Sáenz Peña, en sentido de Oeste a Este.

Fuente: Elaboración propia

4.6.2. Datos recolectados de aforo ciclista

Tabla 14. Datos recolectados en campo para flujos ciclistas en Av. Sáenz Peña (Oeste a Este)

CICLOVÍA SÁENZ PEÑA (O-E)				
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE VEHÍCULO	DESTINO		
		1 (Recto)	2 (Derecha)	3 (Izquierda)
08:00 - 08:15	Bicicleta	6	0	0
08:15 - 08:30	Bicicleta	7	0	0
08:30 - 08:45	Bicicleta	7	0	0
08:45 - 09:00	Bicicleta	3	0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Resumen de flujo ciclista para periodos de 15 minutos

AV. SÁENZ PEÑA CICLOVÍA (O-E)		
PERIODO DE TIEMPO	FLUJO PARCIAL	FLUJO ACUMULAD
08:00 - 08:15	6	6
08:15 - 08:30	7	13
08:30 - 08:45	7	20
08:45 - 09:00	3	23

Fuente: Elaboración propia

5. DATOS DE TIEMPOS DE VIAJE VEHICULARES EN CAMPO

5.1. Tiempos de viaje vehiculares en Av. 2 de Mayo

5.1.1. Detalle de tramos considerados para conteo de tiempos de viaje



Figura 22. Tramos considerados para conteo de tiempos de viaje en campo de Av. 2 de Mayo
Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Datos recolectados de tiempos de viaje para sentido de Norte a Sur

Tabla 16. Datos recolectados para tramo de Norte a Sur de tiempos de viaje vehicular

Av. 2 de Mayo (Sentido N-S)			
Distancia (m)		17.00	
N° Medición	Tiempo (s)	N° Medición	Tiempo (s)
1	2.88	21	2.55
2	2.74	22	2.13
3	2.81	23	2.52
4	2.62	24	2.29
5	2.42	25	2.54
6	2.88	26	2.39
7	2.45	27	3.01
8	2.54	28	2.88
9	2.15	29	2.69
10	2.67	30	2.85
11	2.97	31	2.53
12	2.15	32	2.55
13	2.55	33	2.57
14	3.15	34	2.68
15	2.4	35	2.83
16	2.54	36	2.65
17	2.79	37	2.85
18	2.86	38	2.49
19	2.89	39	2.63
20	2.49	40	2.65
Media		2.631	
Desv. Estándar		0.236	

Fuente: Elaboración propia

5.1.3. Datos recolectados de tiempos de viaje para sentido de Sur a Norte

Tabla 17. Datos recolectados para tramo de Sur a Norte de tiempos de viaje vehicular

Av. 2 de Mayo (Sentido S-N)			
Distancia (m)		30.00	
N° Medición	Tiempo (s)	N° Medición	Tiempo (s)
1	3.41	21	3.74
2	3.12	22	3.08
3	3.68	23	2.81
4	4.02	24	3.21
5	3.05	25	3.08
6	3.15	26	3.41
7	3.09	27	3.80
8	3.19	28	4.67
9	3.29	29	4.19
10	3.35	30	4.34
11	4.02	31	3.33
12	3.61	32	3.37
13	3.34	33	4.20
14	3.21	34	3.85
15	3.67	35	3.27
16	3.86	36	3.80
17	3.61	37	2.78
18	4.00	38	3.60
19	3.34	39	4.21
20	4.00	40	4.13
Media		3.572	
Desv. Estándar		0.448	

Fuente: Elaboración propia

5.2. Tiempos de viaje vehiculares en Av. Sáenz Peña

5.2.1. Detalle de tramo considerado para conteo de tiempos de viaje



Figura 23. Tramos considerados para conteo de tiempos de viaje en campo de Av. Sáenz Peña
Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Datos recolectados de tiempos de viaje para Av. Sáenz Peña

Tabla 18. Datos recolectados para tramo de Sáenz Peña de tiempos de viaje vehicular

AV. SÁENZ PEÑA			
Distancia (m)		25.00	
N° Medición	Tiempo (s)	N° Medición	Tiempo (s)
1	4.29	21	4.88
2	3.92	22	4.34
3	4.35	23	4
4	4.48	24	4.22
5	3.54	25	4.08
6	3.14	26	3.75
7	3.34	27	3.93
8	3.35	28	2.73
9	3.82	29	3.87
10	3.59	30	2.88
11	3.28	31	3.15
12	3.78	32	3.62
13	3.61	33	4.01
14	4.28	34	3.46
15	3.88	35	3.54
16	3.15	36	3.48
17	3.61	37	3.62
18	3.47	38	2.61
19	3.99	39	2.95
20	2.61	40	4.45
T medio (s)		3.676	
Desv. Estándar		0.533	

Fuente: Elaboración propia

6. CALIBRACIÓN DE MODELO DE MICROSIMULACIÓN

6.1. Tiempos de viaje vehiculares obtenidos en Vissim

Tabla 19. Datos de tiempos de viaje obtenidos mediante microsimulación para parámetros W74 por defecto.

N° Corrida	Parámetros N°		Default
	Av. Sáenz Peña	Av. 2 de mayo (N-S)	Av. 2 de mayo (S-N)
1	3.23	2.50	2.76
2	3.11	2.44	2.75
3	3.10	2.45	2.84
4	3.20	2.50	2.76
5	3.07	2.50	2.72
6	3.21	2.55	2.79
7	3.25	2.43	2.77
8	3.18	2.46	2.81
9	3.08	2.46	2.77
10	3.09	2.54	2.81
11	3.25	2.45	2.77
12	3.20	2.43	2.91
13	3.11	2.45	2.78
14	3.21	2.60	2.76
15	3.18	2.53	2.77
Media (s)	3.16	2.49	2.78
Desv. Est.	0.064	0.051	0.045
Error	0.126	0.100	0.088
t0.025, n-1	2.1448	2.1448	2.1448
N° min de corridas	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Datos de tiempos de viaje obtenidos mediante microsimulación para parámetros W74 del juego de parámetros N°1.

N° Corrida	Parámetros N°		1
	Av. Sáenz Peña	Av. 2 de mayo (N-S)	Av. 2 de mayo (S-N)
1	3.41	2.61	3.45
2	3.37	2.47	3.41
3	3.34	2.45	3.48
4	3.44	2.53	3.42
5	3.39	2.6	3.41
6	3.46	2.53	3.55
7	3.44	2.47	3.4
8	3.45	2.55	3.49
9	3.35	2.53	3.44
10	3.48	2.56	3.47
11	3.43	2.52	3.42
12	3.46	2.5	3.55
13	3.43	2.5	3.44
14	3.42	2.61	3.44
15	3.46	2.49	3.44
Media (s)	3.42	2.53	3.45
Desv. Est.	0.042	0.051	0.047
Error	0.083	0.099	0.092
t0.025, n-1	2.1448	2.1448	2.1448
N° min de corridas	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Datos de tiempos de viaje obtenidos mediante microsimulación para parámetros W74 del juego de parámetros N°2.

N° Corrida	Parámetros N°		2
	Av. Sáenz Peña	Av. 2 de mayo (N-S)	Av. 2 de mayo (S-N)
1	3.3	2.63	3.46
2	3.21	2.46	3.41
3	3.16	2.49	3.48
4	3.16	2.5	3.41
5	3.17	2.6	3.41
6	3.24	2.57	3.56
7	3.24	2.47	3.42
8	3.19	2.56	3.48
9	3.15	2.52	3.45
10	3.17	2.59	3.43
11	3.29	2.5	3.43
12	3.23	2.52	3.53
13	3.2	2.49	3.46
14	3.23	2.62	3.44
15	3.26	2.5	3.41
Media (s)	3.21	2.53	3.45
Desv. Est.	0.048	0.056	0.045
Error	0.093	0.109	0.089
t0.025, n-1	2.1448	2.1448	2.1448
N° min de corridas	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Datos de tiempos de viaje obtenidos mediante microsimulación para parámetros W74 del juego de parámetros N°3.

N° Corrida	Parámetros N°		3
	Av. Sáenz Peña	Av. 2 de mayo (N-S)	Av. 2 de mayo (S-N)
1	3.43	2.58	3.46
2	3.36	2.54	3.41
3	3.4	2.45	3.47
4	3.42	2.51	3.42
5	3.39	2.62	3.4
6	3.51	2.57	3.54
7	3.46	2.51	3.41
8	3.42	2.48	3.49
9	3.35	2.51	3.44
10	3.45	2.52	3.43
11	3.42	2.47	3.43
12	3.43	2.53	3.53
13	3.42	2.49	3.49
14	3.43	2.56	3.44
15	3.47	2.53	3.44
Media (s)	3.42	2.52	3.45
Desv. Est.	0.040	0.045	0.043
Error	0.079	0.088	0.084
t0.025, n-1	2.1448	2.1448	2.1448
N° min de corridas	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Datos de tiempos de viaje obtenidos mediante microsimulación para parámetros W74 del juego de parámetros N°4.

N° Corrida	Parámetros N°		4
	Av. Sáenz Peña	Av. 2 de mayo (N-S)	Av. 2 de mayo (S-N)
1	3.42	2.55	3.48
2	3.34	2.45	3.43
3	3.35	2.45	3.46
4	3.43	2.5	3.41
5	3.39	2.54	3.4
6	3.5	2.58	3.55
7	3.53	2.49	3.4
8	3.47	2.57	3.51
9	3.39	2.51	3.46
10	3.4	2.54	3.47
11	3.49	2.58	3.42
12	3.4	2.46	3.55
13	3.39	2.5	3.46
14	3.46	2.57	3.44
15	3.46	2.52	3.43
Media (s)	3.43	2.52	3.46
Desv. Est.	0.055	0.046	0.048
Error	0.109	0.089	0.095
t0.025, n-1	2.1448	2.1448	2.1448
N° min de corridas	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Datos de tiempos de viaje obtenidos mediante microsimulación para parámetros W74 del juego de parámetros N°5.

N° Corrida	Parámetros N°		5
	Av. Sáenz Peña	Av. 2 de mayo (N-S)	Av. 2 de mayo (S-N)
1	3.36	2.56	3.5
2	3.37	2.54	3.43
3	3.36	2.5	3.47
4	3.41	2.53	3.41
5	3.32	2.55	3.41
6	3.44	2.55	3.5
7	3.51	2.5	3.4
8	3.45	2.44	3.47
9	3.35	2.5	3.45
10	3.37	2.57	3.47
11	3.45	2.56	3.42
12	3.4	2.51	3.55
13	3.39	2.47	3.47
14	3.41	2.52	3.45
15	3.48	2.56	3.44
Media (s)	3.405	2.524	3.456
Desv. Est.	0.053	0.037	0.041
Error	0.103	0.073	0.080
t0.025, n-1	2.1448	2.1448	2.1448
N° min de corridas	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Datos de tiempos de viaje obtenidos mediante microsimulación para parámetros W74 del juego de parámetros N°6.

N° Corrida	Parámetros N°		6
	Av. Sáenz Peña	Av. 2 de mayo (N-S)	Av. 2 de mayo (S-N)
1	3.42	2.57	3.45
2	3.38	2.49	3.41
3	3.34	2.53	3.46
4	3.49	2.52	3.41
5	3.5	2.67	3.41
6	3.51	2.53	3.55
7	3.47	2.49	3.42
8	3.43	2.57	3.5
9	3.34	2.59	3.45
10	3.42	2.53	3.44
11	3.45	2.57	3.42
12	3.43	2.56	3.52
13	3.41	2.48	3.45
14	3.42	2.6	3.44
15	3.44	2.45	3.49
Media (s)	3.430	2.543	3.455
Desv. Est.	0.051	0.056	0.043
Error	0.100	0.109	0.084
t0.025, n-1	2.1448	2.1448	2.1448
N° min de corridas	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Datos de tiempos de viaje obtenidos mediante microsimulación para parámetros W74 del juego de parámetros N°7.

N° Corrida	Parámetros N°		7
	Av. Sáenz Peña	Av. 2 de mayo (N-S)	Av. 2 de mayo (S-N)
1	3.44	2.5	3.47
2	3.4	2.52	3.43
3	3.36	2.47	3.5
4	3.41	2.53	3.41
5	3.42	2.59	3.41
6	3.53	2.62	3.54
7	3.5	2.47	3.4
8	3.46	2.47	3.51
9	3.41	2.5	3.44
10	3.42	2.55	3.48
11	3.48	2.51	3.42
12	3.43	2.48	3.55
13	3.4	2.5	3.47
14	3.4	2.61	3.44
15	3.41	2.47	3.42
Media (s)	3.431	2.519	3.459
Desv. Est.	0.044	0.051	0.048
Error	0.087	0.101	0.095
t0.025, n-1	2.1448	2.1448	2.1448
N° min de corridas	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Datos de tiempos de viaje obtenidos mediante microsimulación para parámetros W74 del juego de parámetros N°8.

N° Corrida	Parámetros N°		8
	Av. Sáenz Peña	Av. 2 de mayo (N-S)	Av. 2 de mayo (S-N)
1	3.37	2.52	3.47
2	3.41	2.45	3.43
3	3.41	2.43	3.44
4	3.43	2.48	3.41
5	3.4	2.56	3.41
6	3.41	2.53	3.49
7	3.46	2.44	3.41
8	3.44	2.43	3.47
9	3.37	2.46	3.45
10	3.37	2.55	3.45
11	3.44	2.48	3.41
12	3.38	2.44	3.53
13	3.36	2.43	3.43
14	3.44	2.53	3.45
15	3.44	2.52	3.41
Media (s)	3.41	2.48	3.44
Desv. Est.	0.032	0.047	0.035
Error	0.064	0.093	0.069
t0.025, n-1	2.1448	2.1448	2.1448
N° min de corridas	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Datos de tiempos de viaje obtenidos mediante microsimulación para parámetros W74 del juego de parámetros N°9.

N° Corrida	Parámetros N°		9
	Av. Sáenz Peña	Av. 2 de mayo (N-S)	Av. 2 de mayo (S-N)
1	3.42	2.59	3.46
2	3.35	2.48	3.42
3	3.36	2.44	3.49
4	3.45	2.47	3.41
5	3.4	2.53	3.39
6	3.52	2.54	3.54
7	3.51	2.42	3.41
8	3.43	2.51	3.51
9	3.42	2.46	3.45
10	3.43	2.51	3.47
11	3.45	2.54	3.42
12	3.36	2.48	3.55
13	3.4	2.55	3.43
14	3.43	2.66	3.43
15	3.44	2.52	3.43
Media (s)	3.42	2.51	3.45
Desv. Est.	0.049	0.061	0.049
Error	0.095	0.119	0.096
t0.025, n-1	2.1448	2.1448	2.1448
N° min de corridas	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Datos de tiempos de viaje obtenidos mediante microsimulación para parámetros W74 del juego de parámetros N°10.

N° Corrida	Parámetros N°		10
	Av. Sáenz Peña	Av. 2 de mayo (N-S)	Av. 2 de mayo (S-N)
1	3.4	2.56	3.45
2	3.32	2.46	3.42
3	3.35	2.49	3.45
4	3.45	2.52	3.41
5	3.43	2.64	3.4
6	3.47	2.55	3.56
7	3.45	2.48	3.4
8	3.45	2.53	3.48
9	3.38	2.54	3.45
10	3.44	2.56	3.47
11	3.45	2.53	3.43
12	3.45	2.51	3.55
13	3.42	2.44	3.47
14	3.42	2.55	3.46
15	3.47	2.53	3.44
Media (s)	3.42	2.53	3.46
Desv. Est.	0.044	0.048	0.047
Error	0.086	0.094	0.093
t0.025, n-1	2.1448	2.1448	2.1448
N° min de corridas	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

6.2. Diferencia de medias mediante StatKey para calibración

6.2.1. Diferencia de medias en Av. 2 de Mayo en sentido de Norte a Sur

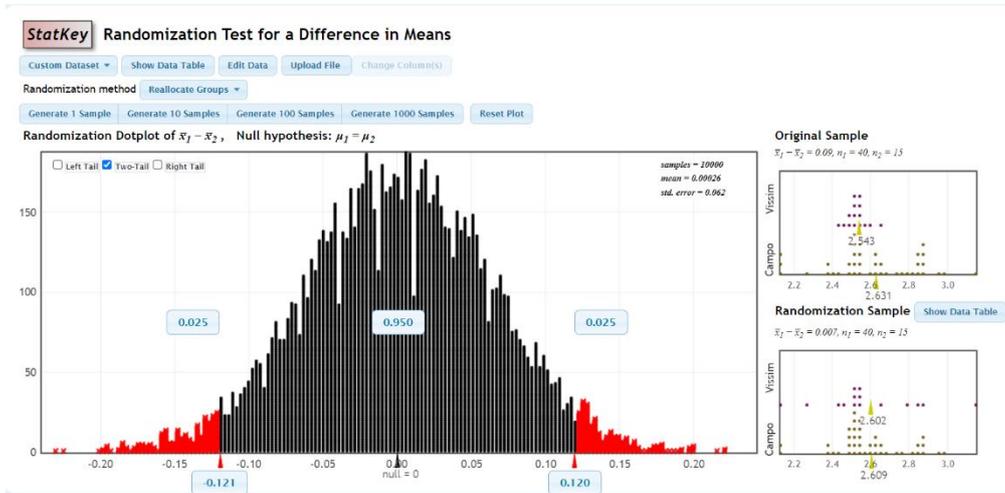


Figura 24. Gráfico estadístico de prueba de diferencia de medias para calibración con juego de parámetros N°6 en Av. 2 de Mayo (Norte a Sur).
Fuente: Elaboración propia

6.2.2. Diferencia de medias en Av. 2 de Mayo en sentido de Sur a Norte

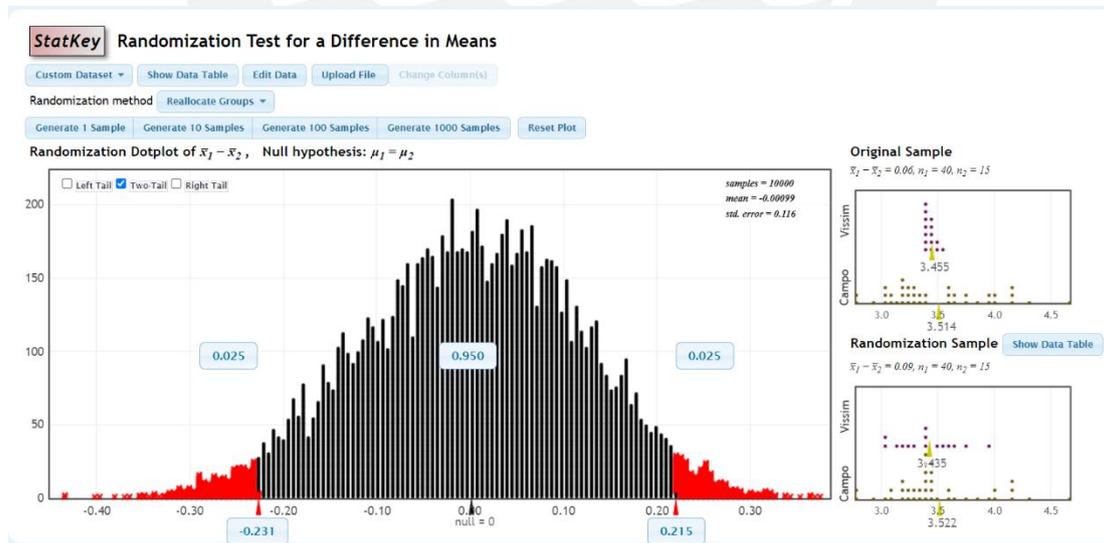


Figura 25. Gráfico estadístico de prueba de diferencia de medias para calibración con juego de parámetros N°6 en Av. 2 de Mayo (Sur a Norte).
Fuente: Elaboración propia

6.2.3. Diferencia de medias en Av. Sáenz Peña

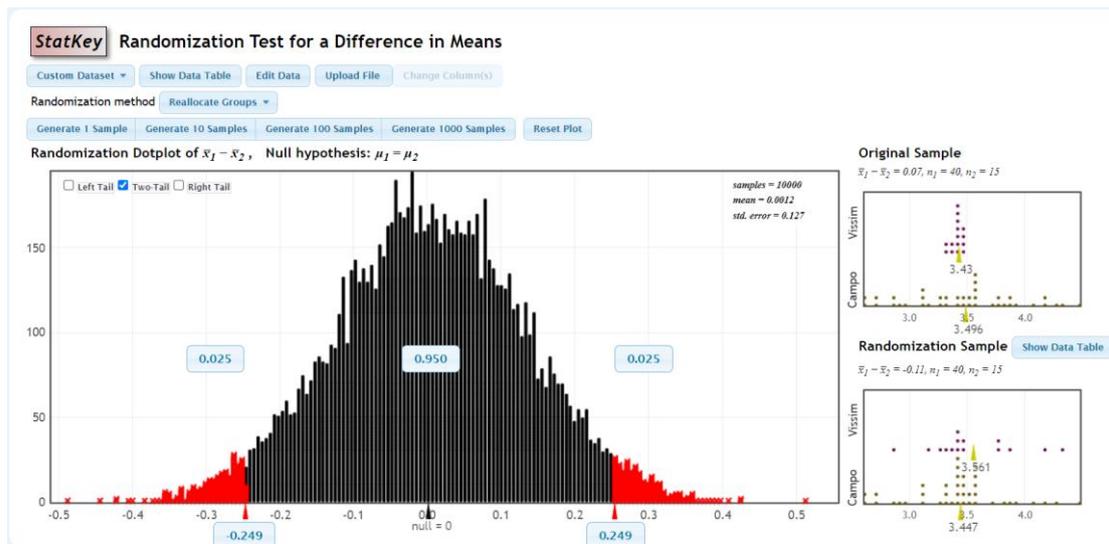


Figura 26. Gráfico estadístico de prueba de diferencia de medias para calibración con juegos de parámetros N°6 en Av. Sáenz Peña.

Fuente: Elaboración propia

7. VALIDACIÓN DE MODELO DE MICROSIMULACIÓN

7.1. Tiempos de viaje vehiculares medidos en campo para validación

7.1.1. Tiempos de viaje vehiculares en Av. 2 de Mayo en sentido de Norte a Sur

Tabla 30. Datos recolectados para tramo de Norte a Sur de tiempos de viaje vehicular para validación del día 24 de mayo del 2022

Av. 2 de Mayo (Sentido N-S)			
Distancia (m)		17.00	
N° Medición	Tiempo (s)	N° Medición	Tiempo (s)
1	2.61	21	3.63
2	2.81	22	2.98
3	2.86	23	1.88
4	2.01	24	2.34
5	2.88	25	3.32
6	2.81	26	3.11
7	2.34	27	1.83
8	1.88	28	3.56
9	2.09	29	3.48
10	2.25	30	3.05
11	2.13	31	1.95
12	3.42	32	2.9
13	2.88	33	2.42
14	1.98	34	3.18
15	2.85	35	2.45
16	2.32	36	2.97
17	3.14	37	2.36
18	3.63	38	2.39
19	2.95	39	2.59
20	1.81	40	1.98
Media		2.651	
Desv. Estándar		0.546	

Fuente: Elaboración propia

7.1.2. Tiempos de viaje vehiculares en Av. 2 de Mayo en sentido de Sur a Norte

Tabla 31. Datos recolectados para tramo de Sur a Norte de tiempos de viaje vehicular para validación del día 24 de mayo del 2022

Av. 2 de Mayo (Sentido S-N)			
Distancia (m)		30.00	
N° Medición	Tiempo (s)	N° Medición	Tiempo (s)
1	2.84	21	2.97
2	3.48	22	3.81
3	3.35	23	3.74
4	3.95	24	3.41
5	3.07	25	3.15
6	3.89	26	3.93
7	3.82	27	3.86
8	4.28	28	2.88
9	3.47	29	2.61
10	3.12	30	3.98
11	3.43	31	3.32
12	4.48	32	3.69
13	3.71	33	3.42
14	4.61	34	3.12
15	4.16	35	2.88
16	2.98	36	2.45
17	3.96	37	3.28
18	3.76	38	3.66
19	4.02	39	3.12
20	3.65	40	4.02
Media		3.533	
Desv. Estándar		0.502	

Fuente: Elaboración propia

7.1.3. Tiempos de viaje vehiculares en Av. Sáenz Peña

Tabla 32. Datos recolectados para tramo de Av. Sáenz Peña de tiempos de viaje vehicular para validación del día 24 de mayo del 2022

Av. Sáenz Peña			
Distancia (m)		25.00	
N° Medición	Tiempo (s)	N° Medición	Tiempo (s)
1	3.01	21	3.04
2	3.47	22	3.39
3	3.02	23	3.98
4	2.99	24	4.32
5	3.06	25	3.86
6	3.6	26	2.86
7	3.98	27	4.33
8	4.59	28	4.12
9	3.15	29	3.68
10	3.12	30	2.42
11	2.27	31	3.97
12	4.64	32	3.92
13	4.32	33	4.25
14	2.95	34	2.53
15	4.13	35	3.43
16	3.09	36	3.8
17	3.21	37	3.68
18	3.01	38	3.52
19	3.65	39	3.28
20	4.51	40	3.34
Media		3.537	
Desv. Estándar		0.606	

Fuente: Elaboración propia

7.2. Tiempos de viaje vehiculares obtenidos en Vissim para validación

Tabla 33. Datos de tiempos de viaje obtenidos mediante microsimulación para parámetros W74 del juego de parámetros N°2 en validación de modelo.

N° Corrida	Parámetros N°		2
	Av. Sáenz Peña	Av. 2 de mayo (N-S)	Av. 2 de mayo (S-N)
1	3.6	2.6	3.48
2	3.55	2.61	3.5
3	3.51	2.55	3.47
4	3.53	2.59	3.49
5	3.43	2.63	3.45
6	3.56	2.64	3.54
7	3.67	2.75	3.49
8	3.61	2.59	3.49
9	3.53	2.59	3.47
10	3.5	2.62	3.54
11	3.57	2.51	3.43
12	3.53	2.57	3.46
13	3.5	2.62	3.45
14	3.6	2.58	3.43
15	3.55	2.59	3.43
Media (s)	3.55	2.60	3.47
Desv. Est.	0.057	0.052	0.035
Error	0.097	0.088	0.060
t0.025, n-1	2.1448	2.1448	2.1448
N° min de corridas	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34. Datos de tiempos de viaje obtenidos mediante microsimulación para parámetros W74 del juego de parámetros N°6 en validación de modelo.

N° Corrida	Parámetros N°		6
	Av. Sáenz Peña	Av. 2 de mayo (N-S)	Av. 2 de mayo (S-N)
1	3.54	2.63	3.48
2	3.53	2.67	3.52
3	3.47	2.50	3.47
4	3.51	2.62	3.50
5	3.48	2.68	3.44
6	3.49	2.67	3.52
7	3.65	2.58	3.53
8	3.60	2.61	3.49
9	3.53	2.64	3.43
10	3.60	2.60	3.50
11	3.64	2.43	3.46
12	3.50	2.57	3.45
13	3.52	2.69	3.48
14	3.62	2.56	3.44
15	3.55	2.59	3.43
Media (s)	3.55	2.60	3.48
Desv. Est.	0.059	0.070	0.034
Error	0.100	0.119	0.057
t0.025, n-1	2.1448	2.1448	2.1448
N° min de corridas	2	2	2

Fuente: Elaboración propia

7.3. Diferencia de medias mediante StatKey para validación

7.3.1. Diferencia de medias en Av. 2 de Mayo en sentido de Norte a Sur

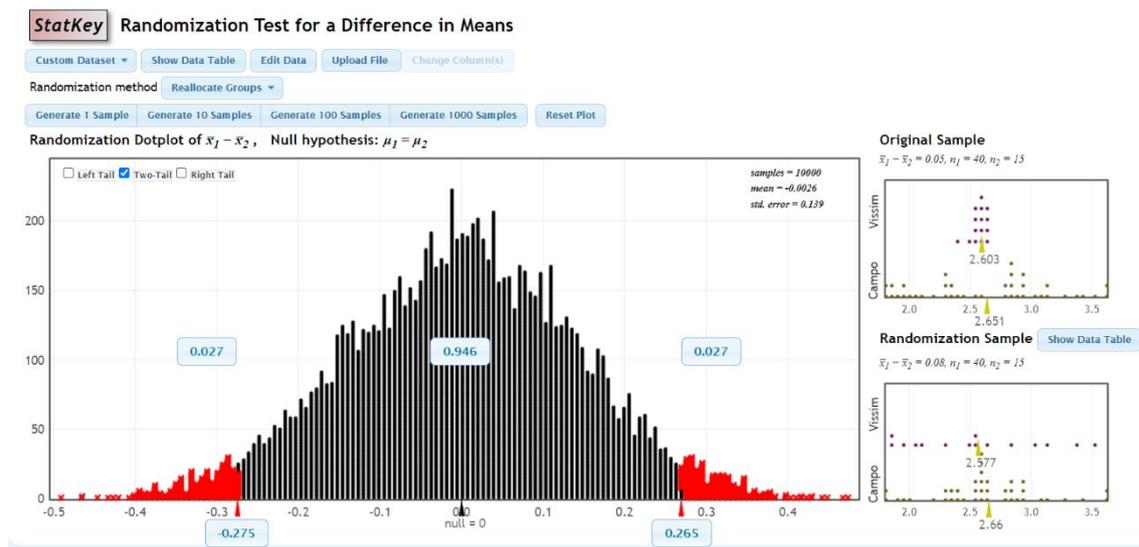


Figura 27. Gráfico estadístico de prueba de diferencia de medias para validación con juegos de parámetros N°6 en Av. 2 de Mayo de Norte a Sur.

Fuente: Elaboración propia

7.3.2. Diferencia de medias en Av. 2 de Mayo en sentido de Sur a Norte

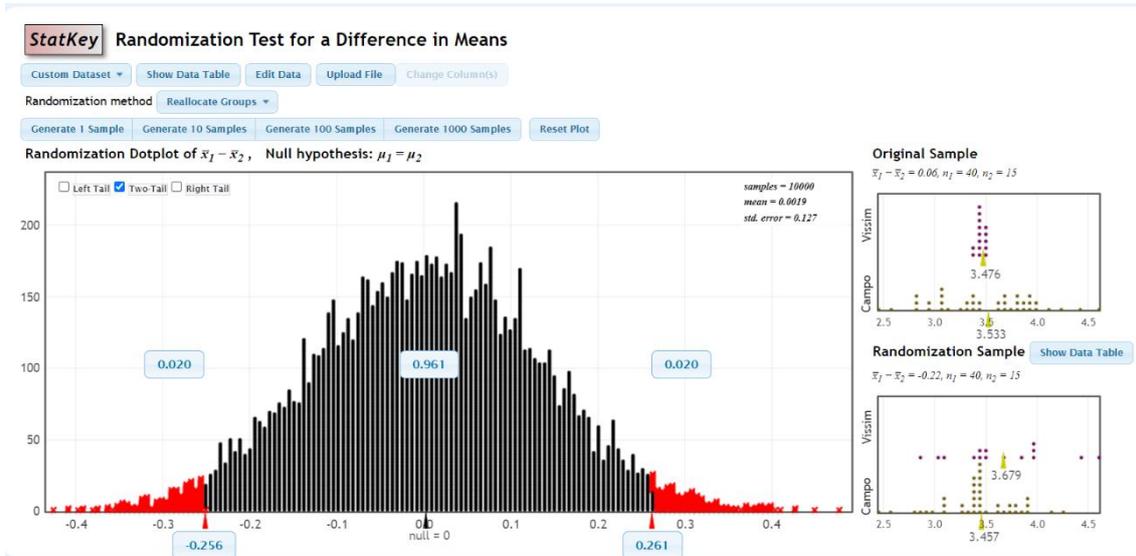


Figura 28. Gráfico estadístico de prueba de diferencia de medias para validación con juegos de parámetros N°6 en Av. 2 de Mayo de Sur a Norte.
Fuente: Elaboración propia

7.3.3. Diferencia de medias en Av. Sáenz Peña

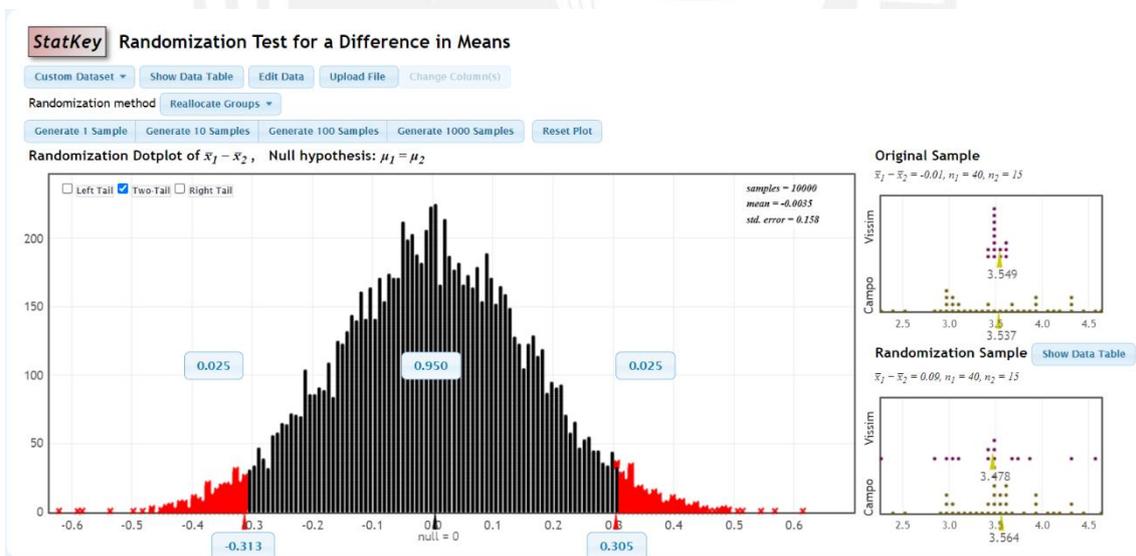


Figura 29. Gráfico estadístico de prueba de diferencia de medias para validación con juegos de parámetros N°6 en Av. Sáenz Peña.
Fuente: Elaboración propia

8. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE MICROSIMULACIÓN

8.1. Resultados de microsimulación de propuesta

Tabla 35. Resultados de tiempos de viaje para microsimulación de propuesta.

Vía	Tiempo medio (s)
Av. Sáenz Peña	3.59
Av. 2 de Mayo (Norte a Sur)	2.46
Av. 2 de Mayo (Sur a Norte)	3.55

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36. Resultados de longitud máxima de cola para microsimulación de propuesta.

Vía	Longitud de Cola Promedio (m)	Longitud de Cola Máxima (m)
Av. Sáenz Peña	7.87	41.66
Av. 2 de Mayo (Norte a Sur)	55.48	69.10
Av. 2 de Mayo (Sur a Norte)	6.19	73.15

Fuente: Elaboración propia

8.2. Comparación de variación porcentual

Tabla 37. Variación porcentual de tiempos de viaje para ambas situaciones.

Vía	Variación Porcentual (%)
Av. Sáenz Peña	1.13%
Av. 2 de Mayo (Norte a Sur)	-5.38%
Av. 2 de Mayo (Sur a Norte)	2.01%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Variación porcentual de longitud máxima de cola para ambas situaciones.

Vía	Variación Porcentual (%)
Av. Sáenz Peña	17.55%
Av. 2 de Mayo (Norte a Sur)	52.34%
Av. 2 de Mayo (Sur a Norte)	-9.57%

Fuente: Elaboración propia

8.3. Gráficos comparativos de variación

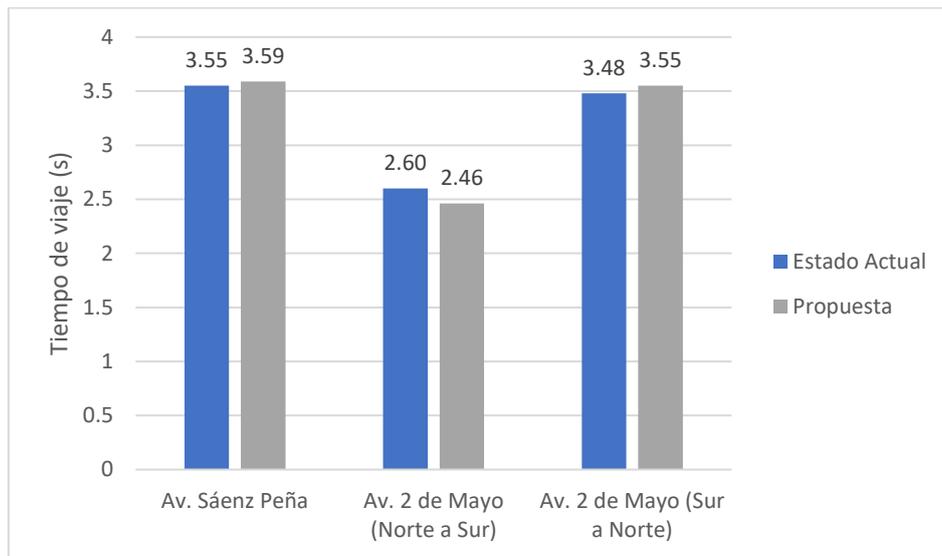


Figura 30. Gráfico comparativo para tiempo de viaje vehicular.
Fuente: Elaboración propia

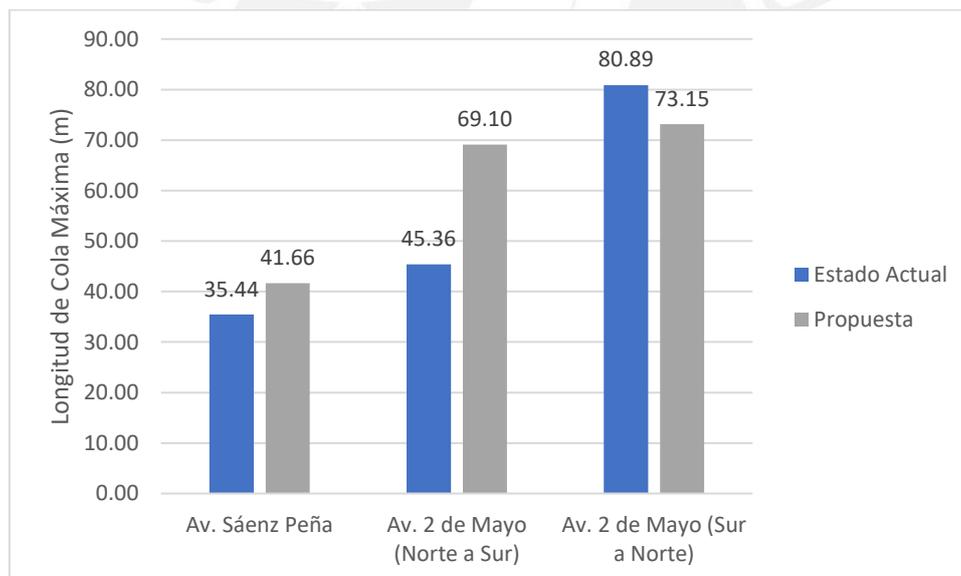


Figura 31. Gráfico comparativo de longitud máxima de cola.
Fuente: Elaboración propia