

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**ANÁLISIS Y REDISEÑO VIAL DE UNA INTERSECCIÓN DESDE EL**

**ENFOQUE DE SEGURIDAD VIAL Y ACCESIBILIDAD**

**CASO: AVENIDAS REPÚBLICA DE POLONIA Y SANTA ROSA DE**

**LIMA, DISTRITO DE SAN JUAN DE LURIGANCHO**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil**

**AUTOR:**

Wilmer Alexander Montes Chavez

**ASESOR(ES):**

Juan Carlos Dextre Quijandria

Fiorella Nicole Aranda Jiménez

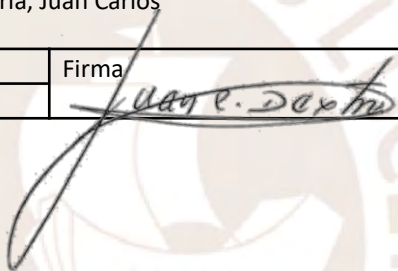
Lima, noviembre, 2025

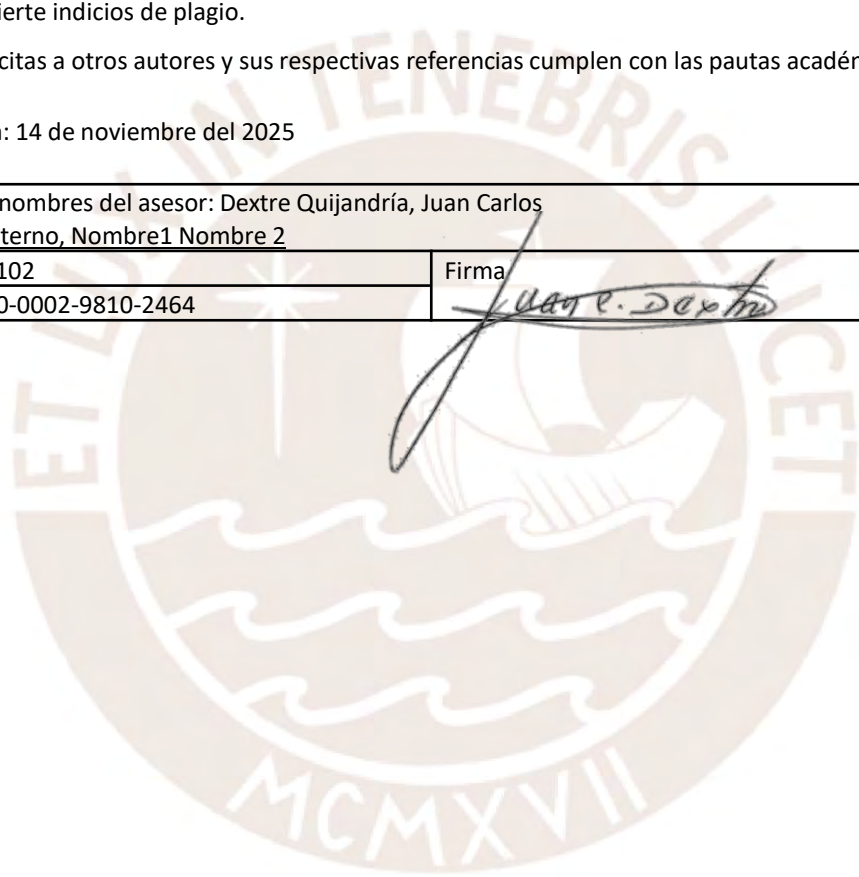
### Informe de Similitud

Yo, Juan Carlos Dextre Quijandría, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis titulado “ANÁLISIS Y REDISEÑO VIAL DESDE EL ENFOQUE DE SEGURIDAD VIAL Y ACCESIBILIDAD CASO: INTERSECCIÓN DE LAS AVENIDAS REPÚBLICA DE POLONIA Y SANTA ROSA DE LIMA, DISTRITO DE SAN JUAN DE LURIGANCHO”, del autor(a) Wilmer Alexander Montes Chavez, dejó constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 18%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 08/11/2025.
- 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: 14 de noviembre del 2025

Apellidos y nombres del asesor: Dextre Quijandría, Juan Carlos Paterno Materno, Nombre1 Nombre 2	
DNI: 21413102	Firma
ORCID: 0000-0002-9810-2464	



## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por su constante guía y protección, por abrir caminos y brindarme los medios y las personas que hicieron posible este logro. Reconozco que cada paso dado y cada logro alcanzado son un regalo de su gracia y misericordia.*

*A mi querida madre, Zenaida, quien siempre fue mi fuente inagotable de inspiración, amor, apoyo y fortaleza. Aunque físicamente ya no está conmigo, su espíritu y sus enseñanzas han sido mi guía constante durante este proceso. Madre, sé que estás presente en cada paso que doy y en cada logro que alcanzo.*

*A mi querido padre, Ignacio, por su apoyo constante, sus sabios consejos y la confianza que siempre depositó en mí. Su ejemplo y sus palabras me dieron la fortaleza para seguir adelante y afrontar cada reto que surgió a lo largo de este camino.*

*A mi amor bonito, Guisela, por acompañarme con cariño y fortaleza durante este largo proceso. Su apoyo incondicional, su paciencia y sus palabras de ánimo me dieron la energía necesaria para seguir adelante y culminar esta etapa tan importante de mi vida.*

*A mis familiares y personas cercanas por acompañarme con su cariño y apoyo sincero a lo largo de esta etapa universitaria.*

*A mis asesores, los ingenieros Juan Carlos Dextre y Fiorella Aranda por su tiempo, enseñanzas y recomendaciones.*

## RESUMEN

El presente proyecto de ingeniería tiene como propósito analizar las condiciones actuales del tránsito vehicular y peatonal en el cruce de las avenidas República de Polonia con Santa Rosa de Lima, ubicada en el distrito de San Juan de Lurigancho, con el objetivo de proponer mejoras en seguridad vial y accesibilidad. El trabajo se divide en varias etapas: diagnóstico de la seguridad vial mediante listas de verificación, recopilación y procesamiento de información, microsimulación del escenario actual utilizando los programas PTV Vissim y Viswalk, formulación de propuestas de mejora, microsimulación del escenario propuesto, evaluación del comportamiento del modelo propuesto y finalmente, implementación de las propuestas sugeridas. Entre las distintas problemáticas identificadas con la lista de chequeo están la falta de señalización y semaforización, iluminación deficiente, conflictos entre los distintos actores viales y fallas en el diseño de la infraestructura como calzadas, radios de giro, aceras, rampas peatonales, medianas e islas de refugio. Estos hallazgos fueron fundamentales para desarrollar medidas basadas en la Guía Global de Diseño de Calles (2016) y el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor (2024), priorizando la seguridad de los usuarios no motorizados sobre los motorizados. Las mejoras planteadas incluyen ajustes geométricos en la infraestructura vial, ampliación de aceras, rediseño de rampas peatonales, implementación de ciclovías, instalación de señalización y semaforización, y mejoras en el espacio público. La implementación de estas medidas en el modelo simulado mostró diferentes cambios positivos tanto cuantitativos, como la disminución en tiempos de viaje para peatones y vehículos; así como cualitativos, facilitando el desplazamiento, promoviendo la movilidad sostenible, regulando el tránsito, advirtiendo riesgos y mejorando la seguridad pública. En conclusión, la tesis logra satisfactoriamente su objetivo principal de proponer mejoras integrales en seguridad vial y accesibilidad para la intersección estudiada, beneficiando a todos los usuarios que transitan por ella.

**Palabras clave:** seguridad vial, accesibilidad, regulación del tránsito, movilidad sostenible, microsimulación, rediseño, señalización, semaforización

## ABSTRACT

This engineering project aims to analyze the current conditions of vehicular and pedestrian traffic at the intersection of República de Polonia and Santa Rosa de Lima avenues, located in the San Juan de Lurigancho district, with the objective of proposing improvements in road safety and accessibility. The work is divided into several stages: road safety diagnosis using checklists, data collection and processing, microsimulation of the current scenario using the PTV Vissim and Viswalk programs, formulation of improvement proposals, microsimulation of the proposed scenario, evaluation of the proposed model's performance, and finally, implementation of the suggested proposals. Among the various problems identified using the checklist are a lack of signage and traffic lights, inadequate lighting, conflicts between different road users, and flaws in the design of infrastructure such as roadways, turning radii, sidewalks, pedestrian ramps, medians, and refuge islands. These findings were fundamental in developing measures based on the Global Street Design Guidelines (2016) and the Manual on Motor Vehicle Traffic Control Devices (2024), prioritizing the safety of non-motorized users over motorized users. The proposed improvements include geometric adjustments to the road infrastructure, widening of sidewalks, redesign of pedestrian ramps, implementation of bike lanes, installation of signage and traffic signals, and improvements to public space. The implementation of these measures in the simulated model showed various positive changes, both quantitative, such as reduced travel times for pedestrians and vehicles, and qualitative, facilitating movement, promoting sustainable mobility, regulating traffic, warning of risks, and improving public safety. In conclusion, the thesis successfully achieves its main objective of proposing comprehensive improvements in road safety and accessibility for the studied intersection, benefiting all users who travel through it.

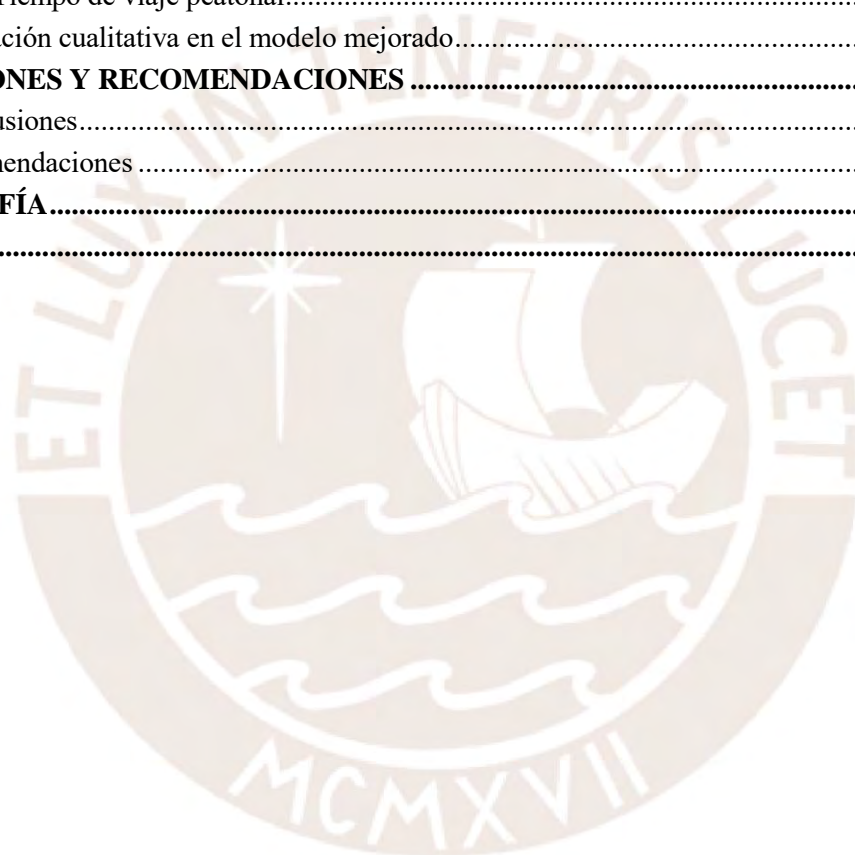
**Keywords:** road safety, accessibility, traffic regulation, sustainable mobility, microsimulation, redesign, signage, traffic light

## TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1: GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo principal.....	2
1.2.2 Objetivo específicos.....	2
1.3 Realidad problemática.....	2
1.3.1 Panorama actual de la seguridad vial.....	2
1.3.2 Panorama actual el tránsito urbano.....	3
1.3.3 Necesidades y vulnerabilidad de los usuarios.....	4
1.4 Alcances y limitaciones.....	6
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>7</b>
2.1 Conceptualización de términos.....	7
2.1.1 Transporte.....	7
2.1.2 Movilidad urbana.....	7
2.1.3 Seguridad vial.....	8
2.1.4 Accesibilidad.....	8
2.2 Inspección de Seguridad Vial.....	9
2.2.1 Conceptualización.....	9
2.2.2 Metodología de desarrollo.....	9
2.2.3 Lista de chequeo.....	10
2.3 Espacios públicos.....	11
2.3.1 Conceptualización.....	11
2.3.2 Importancia de los espacios públicos.....	12
2.3.3 Dimensiones del espacio público.....	12
2.3.4 Espacio público y movilidad.....	14
2.4 Ciclovías.....	15
2.4.1 Conceptualización.....	15
2.4.2 Tipos de ciclovías.....	15
2.4.3 Consideraciones de diseño e implementación.....	17
2.5 Diseño urbano inclusivo.....	17
2.5.1 Conceptualización.....	17
2.5.2 Elementos de diseño de calles.....	18
2.5.3 Elementos de diseño de intersección.....	20
2.5.4 Elementos de diseño de ciclovías.....	23
2.6 Semaforización.....	24
2.6.1 Fundamentos de la semaforización.....	24
2.6.2 Tipos de semáforos según su uso.....	25
2.6.3 Programación semafórica.....	26
2.7 Sistema y modelo.....	30
2.8 Simulación de tráfico.....	31
2.8.1 Generalidades.....	31

2.8.2	Microsimulación en VISSIM y VISWALK.....	31
2.8.3	Calibración y validación del modelo .....	32
<b>CAPÍTULO 3:</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>33</b>
3.1	Inspección de seguridad vial en el área de estudio.....	33
3.2	Recolección y preparación de datos.....	34
3.2.1	Geometría de la intersección .....	34
3.2.2	Flujos vehiculares.....	34
3.2.3	Flujos peatonales .....	36
3.2.4	Ciclos y fases semafóricos.....	37
3.2.5	Longitudes de cola .....	37
3.2.6	Tiempos de viaje vehicular y peatonal .....	37
3.3	Microsimulación del escenario actual.....	38
3.3.1	Modelación.....	38
3.3.2	Calibración.....	39
3.3.3	Validación.....	41
3.4	Desarrollo de propuestas de mejora y microsimulación del escenario propuesto.....	41
3.5	Evaluación del comportamiento de los modelos .....	42
3.6	Implementación de medidas de mejora.....	42
<b>CAPÍTULO 4:</b>	<b>INSPECCIÓN, RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS.....</b>	<b>43</b>
4.1	Observación del área de estudio.....	43
4.1.1	Observación de la infraestructura vial .....	43
4.1.2	Observación de las condiciones de accesibilidad .....	44
4.1.3	Observación de las condiciones de seguridad vial.....	45
4.1.4	Observación de la composición vehicular y peatonal.....	45
4.2	Inspección de seguridad vial en el área de estudio.....	45
4.3	Grabación del área de estudio .....	51
4.4	Procesamiento de datos en campo.....	51
4.4.1	Geometría de la intersección .....	51
4.4.2	Tiempos de viaje vehicular.....	52
4.4.3	Tiempos de viaje peatonal .....	53
4.4.4	Tiempos de parada de vehículos.....	54
4.4.5	Velocidad vehicular deseada .....	55
4.4.6	Velocidad peatonal deseada.....	56
4.4.7	Velocidad de giro vehicular.....	57
4.5	Procesamiento de datos en gabinete.....	58
4.5.1	Flujos vehiculares.....	58
4.5.2	Flujos peatonales .....	60
<b>CAPÍTULO 5:</b>	<b>MICROSIMULACIÓN ACTUAL EN PTV VISSIM Y VISWALK .....</b>	<b>63</b>
5.1	Elaboración e inserción de nuevos vehículos a Vissim.....	63
5.2	Elaboración del modelo .....	65
5.3	Asignación de parámetros de eficiencia y parámetros de simulación .....	69
5.4	Calibración del modelo actual.....	71
5.4.1	Calibración vehicular .....	71
5.4.2	Calibración peatonal.....	73

5.5 Validación del modelo actual .....	75
5.5.1 Validación vehicular .....	75
5.5.2 Validación peatonal .....	76
<b>CAPÍTULO 6: PROPUESTAS DE MEJORA, EVALUACIÓN DEL ESCENARIO PROPUESTO Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>77</b>
6.1 Propuestas de mejora desde el enfoque de la accesibilidad y seguridad vial.....	77
6.1.1 Accesibilidad.....	77
6.1.2 Seguridad vial.....	79
6.1.3 Gestión del tránsito e infraestructura vial .....	83
6.1.4 Espacio público .....	86
6.2 Evaluación de parámetros de eficiencia en el modelo mejorado.....	86
6.2.1 Tiempo de viaje vehicular .....	87
6.2.2 Tiempo de viaje peatonal.....	88
6.3 Evaluación cualitativa en el modelo mejorado.....	90
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>92</b>
7.1 Conclusiones.....	92
7.2 Recomendaciones .....	94
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>101</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema de una ciclovía unidireccional .....	16
<b>Figura 2.</b> Esquema de una ciclovía bidireccional .....	16
<b>Figura 3.</b> Esquema adecuado para el diseño de carriles .....	18
<b>Figura 4.</b> Esquema adecuado para las aceras.....	19
<b>Figura 5.</b> Esquema adecuado para las extensiones de acera .....	20
<b>Figura 6.</b> Esquema adecuado para los cruces peatonales .....	20
<b>Figura 7.</b> Esquema adecuado para las islas de refugio peatonal .....	21
<b>Figura 8.</b> Esquema adecuado para los radios de giro.....	22
<b>Figura 9.</b> Esquema adecuado para las rampas peatonales.....	23
<b>Figura 10.</b> Esquema adecuado para las ciclovías.....	24
<b>Figura 11.</b> Movimientos traslapados para tres fases .....	26
<b>Figura 12.</b> Identificación de movimientos.....	27
<b>Figura 13.</b> Definición de fases.....	27
<b>Figura 14.</b> Esquema geométrico para determinación de intervalo de cambio de fase.....	28
<b>Figura 15.</b> Identificación de movimientos críticos .....	29
<b>Figura 16.</b> Esquema de diagrama de fases para semáforos.....	30
<b>Figura 17.</b> Metodología para el rediseño vial de la intersección.....	33
<b>Figura 18.</b> Líneas de movimiento vehicular en la intersección de las avenidas República de Polonia y Santa Rosa de Lima.....	35
<b>Figura 19.</b> Líneas de movimiento peatonal en la intersección de las avenidas República de Polonia y Santa Rosa de Lima.....	36
<b>Figura 20.</b> Procedimiento para modelamiento en Vissim.....	39
<b>Figura 21.</b> Procedimiento para calibración/validación en Vissim.....	40
<b>Figura 22.</b> Prueba no paramétrica de hipótesis nula de diferencia de medias .....	40
<b>Figura 23.</b> Intersección de las avenidas República de Polonia y Santa Rosa de Lima, San Juan de Lurigancho, Lima.....	43
<b>Figura 24.</b> Tramos de evaluación de tiempo de viaje vehicular.....	53
<b>Figura 25.</b> Tramos de evaluación de tiempo de viaje vehicular.....	53
<b>Figura 26.</b> Flujos vehiculares para el proceso de calibración (veh/h).....	60
<b>Figura 27.</b> Flujos vehiculares para el proceso de validación (veh/h).....	60
<b>Figura 28.</b> Líneas de movimiento de los peatones paralela avenida República de polonia.....	61
<b>Figura 29.</b> Líneas de movimiento de los peatones paralela a la avenida Santa Rosa de Lima.....	62
<b>Figura 30.</b> Vehículo 3D elaborado en Autodesk 3ds Max y transformado a un archivo con extensión (*.v3d).....	64
<b>Figura 31.</b> Vehículo con extensión (*.v3d) agregado al programa Vissim .....	65
<b>Figura 32.</b> Proceso de modelado de la intersección en Vissim .....	67
<b>Figura 33.</b> Proceso de asignación de reglas de prioridad y áreas de conflictos en el modelo .....	68
<b>Figura 34.</b> Configuración de los parámetros de eficiencia utilizados .....	70
<b>Figura 35.</b> Introducción de los parámetros de simulación del sistema.....	71
<b>Figura 36.</b> Visualización 3D detallada de las propuestas de mejora en cuanto a accesibilidad.....	79
<b>Figura 37.</b> Distribución de tiempos del ciclo semafórico propuesto.....	84

<b>Figura 38.</b> Visualización 3D detallada de las propuestas de mejora en cuanto a gestión del tránsito e infraestructura vial.....	85
<b>Figura 39.</b> Visualización 3D detallada de las propuestas de mejora en cuanto a espacio público .....	86
<b>Figura 40.</b> Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje vehicular de la avenida República de Polonia .....	87
<b>Figura 41.</b> Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje vehicular de la avenida Santa Rosa de Lima .....	88
<b>Figura 42.</b> Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje peatonal del cruce de la avenida República de Polonia.....	89
<b>Figura 43.</b> Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje peatonal del cruce de la avenida Santa Rosa de Lima.....	90
<b>Figura 44.</b> Visualización 3D de la intersección con las propuestas de mejora planteadas .....	91



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Principios para realizar el diseño de ciclovías.....	17
<b>Tabla 2.</b> Formato de aforo vehicular.....	35
<b>Tabla 3.</b> Formato de aforo peatonal.....	37
<b>Tabla 4.</b> Descripción y evidencia fotográfica de los hallazgos en la inspección de seguridad vial .....	46
<b>Tabla 5.</b> Dimensiones de los elementos que componen la intersección .....	52
<b>Tabla 6.</b> Gráfico de percentiles de tiempo de parada para los paraderos 1 y 2.....	54
<b>Tabla 7.</b> Gráfico de percentiles de velocidades deseadas para el automóvil, minivanes, mototaxi y motocicleta.....	55
<b>Tabla 8.</b> Gráfico de percentiles de velocidades deseadas para los peatones.....	56
<b>Tabla 9.</b> Gráfico de percentiles de velocidades de giro para las orientaciones 1 y 2.....	57
<b>Tabla 10.</b> Tipos de vehículos .....	59
<b>Tabla 11.</b> Tipos de peatones.....	61
<b>Tabla 12.</b> Flujos peatonales para el proceso de calibración(veh/h).....	62
<b>Tabla 13.</b> Flujos peatonales para el proceso de validación (veh/h).....	62
<b>Tabla 14.</b> Resultados estadísticos para verificar la calibración vehicular.....	73
<b>Tabla 15.</b> Resultados estadísticos para verificar la calibración peatonal.....	74
<b>Tabla 16.</b> Resultados estadísticos para verificar la validación vehicular.....	75
<b>Tabla 17.</b> Resultados estadísticos para verificar la validación peatonal.....	76
<b>Tabla 18.</b> Características de las señales horizontales propuestas .....	80
<b>Tabla 19.</b> Señales verticales propuestas para la implementación.....	81

## ÍNDICE DE ANEXO

<b>Anexo A.</b> Lista de chequeo de la inspección de seguridad vial.....	102
<b>Anexo B.</b> Tiempos de viaje vehicular .....	106
<b>Anexo C.</b> Tiempos de viaje peatonal.....	107
<b>Anexo D.</b> Tiempos de parada de vehículos .....	108
<b>Anexo E.</b> Velocidad vehicular deseada .....	109
<b>Anexo F.</b> Velocidad peatonal deseada .....	113
<b>Anexo G.</b> Velocidad de giro vehicular .....	114
<b>Anexo H.</b> Aforo vehicular para la calibración.....	116
<b>Anexo I.</b> Aforo vehicular para la validación .....	118
<b>Anexo J.</b> Aforo peatonal para la calibración.....	120
<b>Anexo K.</b> Aforo peatonal para la validación.....	122
<b>Anexo L.</b> Calibración vehicular del modelo .....	124
<b>Anexo M.</b> Validación vehicular del modelo.....	126
<b>Anexo N.</b> Calibración peatonal del modelo.....	128
<b>Anexo Ñ.</b> Validación peatonal del modelo.....	130
<b>Anexo O.</b> Características de las señales horizontales propuestas .....	132
<b>Anexo P.</b> Tiempos de viaje vehicular en el modelos actual y propuesto .....	136
<b>Anexo Q.</b> Tiempos de viaje peatonal en modelos actual y propuesto .....	137
<b>Anexo R.</b> Planos del estado actual y propuesto de la intersección .....	138

## CAPÍTULO 1: GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

Actualmente, la inseguridad vial y la congestión vehicular se han convertido en problemas críticos y persistentes para los países de América Latina. Según el Observatorio Nacional de Seguridad Vial, los peatones, ciclistas y motociclistas representaron el 60,9% del número total de muertes civiles en todo el país entre enero y julio de 2022 (Observatorio Nacional de Seguridad Vial [ONSV], 2023). Estas tendencias negativas, que vienen desde años anteriores, llevaron al Perú a unirse al Programa Iberoamericano de Seguridad Vial, con el fin de poder diseñar y aplicar políticas integrales e inclusivas en movilidad y seguridad vial para todos los usuarios vulnerables dentro de su territorio (Programa Iberoamericano de Seguridad Vial [PISV], s.f.). Sin embargo, a día de hoy no se observan resultados favorables, debido a la deficiente aplicación de estas políticas y acuerdos, lo que ha provocado un incremento de víctimas por siniestros viales.

Paralelamente, la congestión vehicular también constituye un problema urbano de gran impacto. Según el TomTom Traffic Index 2022, Lima es considerada la ciudad con mayor tráfico vehicular de Latinoamérica (TomTom, 2022). Esto se debe a la falta de planificación en el transporte urbano, el aumento del parque automotor, la informalidad, la limitada fiscalización y la inadecuada proyección de infraestructura vial que se ha realizado hasta el momento en el país (Solís et al., 2022). Pese a que las autoridades peruanas intentan resolver este problema, casi siempre recurren a las políticas públicas que tradicionalmente se han seguido para el diseño urbano del espacio público. Estas propuestas han sido de las más cuestionadas en los últimos años, ya que a través de una demanda inducida generan tiempos de viaje excesivos, altas tasas de accidentes y congestión vehicular (Guzmán, 2021).

No obstante, aún se pueden plantear y aplicar soluciones teniendo en cuenta las condiciones de circulación vehicular y peatonal que se presentan diariamente. Esto se puede lograr realizando el análisis del tráfico de las zonas críticas mediante modelos analíticos determinísticos (HCM 2010) o a través de la simulación del tráfico en softwares (PTV Vissim). Además, se debe tener en cuenta que las medidas de mejora que se propongan deben ser desde el enfoque de seguridad vial y accesibilidad con atención específica a los usuarios más vulnerables. Para ello, el uso de distintos manuales como la Guía global de diseño de calles y el Manual de accesibilidad son herramientas importantes en la formulación de propuestas sostenibles.

En ese contexto, el presente proyecto se centrará en el análisis de una intersección conflictiva de Lima: el cruce de las avenidas República de Polonia y Santa Rosa de Lima,

ubicado en el distrito de San Juan de Lurigancho. Esta intersección ha sido identificada como un punto crítico debido a la elevada frecuencia de accidentes y a los altos niveles de congestión que muestra. Por ello, se desarrollará un diagnóstico detallado que permita identificar los factores que contribuyen a esta problemática. Posteriormente, se propondrán alternativas de mejora desde un enfoque integral de seguridad vial y accesibilidad, priorizando a los usuarios más vulnerables. Finalmente, se evaluará la efectividad de estas propuestas mediante microsimulación con los softwares PTV Vissim y PTV Viswalk, asegurando así su viabilidad y eficiencia antes de su eventual implementación.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo principal**

Analizar la situación actual de la circulación peatonal y vehicular en la intersección de las avenidas República de Polonia y Santa Rosa de Lima , y proponer medidas de mejora desde el enfoque de seguridad vial y accesibilidad.

### **1.2.2 Objetivo específicos**

Los objetivos específicos del presente proyecto son los siguientes:

- Realizar el diagnóstico de la situación actual de circulación de peatones, ciclistas y vehículos motorizados en esta intersección mediante el uso de las listas de chequeo.
- Desarrollar propuestas de mejora, teniendo en cuenta los criterios de diseño de distintos manuales que se enfocan en la seguridad vial y la accesibilidad para peatones y ciclistas.
- Comparar la situación actual frente a la situación propuesta con las alternativas de mejora mediante la microsimulación en los softwares PTV Vissim y PTV Viswalk.

## **1.3 Realidad problemática**

### **1.3.1 Panorama actual de la seguridad vial**

Actualmente, la seguridad vial es uno de los pilares fundamentales que el país busca desarrollar, con el propósito de garantizar la protección de todos los usuarios de las vías y reducir las altas tasas de mortalidad. Sin embargo, alcanzar este propósito sigue siendo un desafío, debido principalmente a la falta de una cultura vial sólida entre los conductores, peatones y ciclistas, quienes frecuentemente incumplen las normas de tránsito (Asociación

Civil Luchemos por la vida, 2016). Esta situación provoca un incremento anual de los siniestros viales, transformándose en una preocupación de salud pública que impacta a toda la sociedad (Peden et al., 2004).

Según datos del informe anual de la Comunidad Andina (2019), casi la totalidad de los accidentes de tránsito, alrededor del 96%, se concentraron en entornos urbanos, mientras que las zonas rurales representaron una proporción mínima del 4% (Comunidad Andina, 2020). Por su parte, el Informe Estadístico de Siniestralidad de Tránsito con Peatones del Observatorio Nacional de Seguridad Vial (2021-2022) señala que los conductores son responsables del 94% de accidentes, mientras que los peatones causan el 5.1% y los pasajeros el 0.9%. Esta información obtenida permite inferir que los peatones y pasajeros, aunque en menor proporción, participan como actores que originan accidentes de tránsito en el espacio vial (ONSV, 2024).

Por ello, una de las decisiones primordiales que tomó el Perú para mejorar esta situación fue formar parte del Plan Mundial Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2021-2030, promovido por la Organización Mundial de la Salud y las Comisiones Regionales de la ONU. Una de las metas principales de este acuerdo es reducir mínimamente un 50% el número de muertes y lesiones —tanto graves como leves— causadas por accidentes de tránsito. Se busca cumplir este objetivo con premura, ya que los accidentes constituyen una de las principales barreras para el desarrollo sostenible de los países en crecimiento, pues además de causar lesiones y muertes, provocan importantes pérdidas económicas (Organización Mundial de la Salud [OMS] & Organización Panamericana de la Salud [OPS], 2021).

Por otro lado, internamente, el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) viene ejecutando la Política Nacional Multisectorial de Seguridad Vial al 2030, aprobada mediante el Decreto Supremo 009-2023-MTC. Esta política tiene como propósito reducir las muertes y accidentes ocasionados por siniestros de tránsito en un 50% al 2030. Entre sus principales lineamientos se encuentra la implementación de velocidades seguras en todo el país, la creación del Observatorio Nacional de Seguridad Vial y la sensibilización de la población sobre los impactos sociales y económicos que conllevan los accidentes de tránsito (Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC], 2023).

### **1.3.2 Panorama actual el tránsito urbano**

La congestión vehicular es un problema social que se ha venido agudizando con el paso del tiempo en muchas ciudades de América Latina. Según el TomTom Traffic Index

2022, actualmente desplazarse 10 kilómetros en Lima demora 27 minutos con 10 segundos, 2 minutos más que el registro del 2021 TomTom,2022). Entre los principales factores que provocan congestión y retrasos se encuentran la carencia de señalización y demarcación vial, la mala ubicación de los paraderos en sectores estrechos, el deterioro del pavimento por falta de mantenimiento y la deficiente coordinación de los semáforos (Thomson & Bull, 2001).

Este pésimo estado del transporte urbano en Lima y Callao tiene un efecto negativo en el crecimiento de la economía, la expansión industrial, los costos del sector privado y la vida cotidiana de las personas que viven en ella (Fundación Transitemos, 2018). Alberto Morisaki, gerente de Estudios Económicos y Estadísticas de la Asociación Automotriz del Perú (AAP), indica lo siguiente: “Lima pierde más de 11 mil millones de soles por temas de congestión porque las personas pierden horas que podrían dedicarlas al trabajo, pero también crea pérdidas por la sobre combustión. Hay combustible que estás quemando porque estás detenido en el tráfico” (Morisaki, 2023).

Por otro lado, según la Defensoría del Pueblo (s.f, como se citó en TV Perú noticias, 2020), existen alrededor de 245 puntos viales críticos en Lima y Callao, donde 20 de ellos son intersecciones con alto índice de fallecidos. Los problemas que más se observan en todos estos puntos de estudio son la falta de mantenimiento de pistas, veredas, paraderos, semáforos y cruces peatonales. Para darle una solución a este problema “se necesita un bono de chatarreo, crear una agencia nacional de tránsito y seguridad vial que se encargue justamente de diseño, señalización, semaforización y que se fiscalice a todas las entidades públicas que tengan que ver con el tránsito” (Morisaki, 2023).

### **1.3.3 Necesidades y vulnerabilidad de los usuarios**

Las personas consideradas como usuarios vulnerables de la vía (VRU) son aquellas que, por la manera en que se desplazan, están más expuestas a sufrir accidentes de tránsito que pueden causarles lesiones graves o incluso la muerte. De acuerdo con la Organización Panamericana de la Salud (2021), este grupo se conforma principalmente por peatones, ciclistas y motociclistas, quienes utilizan la vía pública para realizar sus desplazamientos cotidianos, ya sea con fines laborales o personales, y que carecen de una estructura de protección frente a posibles impactos. Por un lado, se tiene a los peatones, usuarios que transitan a pie por cualquier parte de la vía pública. Estos son vulnerables, ya que en el país es habitual que los conductores no cumplan con las reglas de tránsito e ignoren la prioridad de paso que tienen los peatones, exista o no semaforización (Asociación Civil Luchemos por la

vida, 2016).

Nohelia Pasapera, docente del Departamento de Comunicaciones y experta en movilidad sostenible, indica que ante este panorama es esencial la pacificación de las calles, debido a la multitud de ciudadanos que se trasladan de un lugar a otro, donde prevalece la cultura del más fuerte. Esta pacificación se puede lograr mediante la creación de infraestructura vial que incluya veredas amplias, cruceros peatonales, reductores de velocidad y semaforización. Asimismo, es necesario vigilar y sancionar a los conductores que no respeten la prioridad peatonal y las velocidades máximas permitidas (Pasapera, 2023).

Por otra parte, la bicicleta se ha consolidado como una alternativa ecológica, accesible y práctica para moverse por Lima, tendencia que se intensificó a partir del inicio de la pandemia. Ante esta nueva realidad, la Municipalidad de Lima impulsó la construcción de ciclovías con el propósito de fortalecer la seguridad vial y facilitar el acceso hacia puntos clave de la ciudad, como centros de salud, mercados, bancos y comisarías. Sin embargo, la expansión de esta red aún resulta insuficiente, ya que muchos distritos periféricos de Lima Metropolitana permanecen desconectados. En consecuencia, numerosos ciclistas se ven obligados a compartir la calzada con vehículos motorizados, lo que incrementa considerablemente su nivel de exposición al riesgo. Desde su experiencia, Yasbell Escobar, Comunicadora social y ciclista urbana y de competencia indica lo siguiente:

“Para todo ciclista, manejar en Lima es un gran reto ya que enfrentamos diversos problemas que se han normalizado. Uno de los más comunes son las ciclovías, lamentablemente no todas cuentan con una infraestructura adecuada, tienen desgastes, huecos, montículos de desmontes, basura, las pinturas ya no son visibles, algunas están discontinuas y no conectan entre sí, también se encuentran los peatones que dificultan el libre tránsito de los ciclistas. Además, a pesar de contar con la Ley 30936 – Ley del Ciclista, no es un respaldo suficiente para manejar por el lado derecho de la vía porque muchos choferes la desconocen, ni siquiera respetan el metro y medio de distancia, claramente hace falta la difusión de la ley y el reglamento de tránsito en los conductores de vehículos”. (Escobar, 2022)

Por lo tanto, es imprescindible tomar medidas para corregir la inseguridad vial y el sistema de transporte urbano deficiente en Lima y Callao. Se debe aspirar a tener buenos diseños de infraestructura vial, una buena gestión del tráfico y una programación semafórica, donde los usuarios más vulnerables tengan prioridad. Además, para lograr un tránsito más fluido, seguro y mejor, se debe aspirar a tener un sistema de transporte público ordenado, de

calidad, integrado y multimodal.

#### **1.4 Alcances y limitaciones**

En lo que respecta a los alcances, este proyecto se centra en el estudio del flujo vehicular y peatonal en la intersección formada por las avenidas República de Polonia y Santa Rosa de Lima, localizada en el distrito de San Juan de Lurigancho. El propósito principal del análisis es mejorar la movilidad y seguridad vial, especialmente para los usuarios más vulnerables, garantizando una mayor accesibilidad en las vías que emplean diariamente. Cabe destacar que el área de influencia considerada comprende un radio aproximado de 50 metros alrededor del punto de cruce entre ambas avenidas. Además, los datos utilizados sobre los flujos vehiculares y peatonales se registraron durante la hora de máxima demanda y en otro horario aleatorio distinto al periodo pico, con el fin de obtener una referencia comparativa.

Por otro lado, dentro de las limitaciones del estudio se reconocen las restricciones económicas y de tiempo, factores que condicionaron el desarrollo del trabajo. Debido a ello, el análisis se efectuó únicamente durante la hora de mayor afluencia, definida a partir de la experiencia directa en campo y no mediante una investigación prolongada en la zona. Asimismo, el área de influencia se mantiene reducida al radio de 50 metros establecido previamente. En cuanto a la elaboración del plano de la intersección, no se consideró la ejecución de un levantamiento topográfico ni el uso de fotogrametría, principalmente por limitaciones presupuestales. Finalmente, se presenta una dificultad adicional relacionada con la falta de información precisa sobre los siniestros viales ocurridos en la zona durante el último tiempo, debido a la escasez de registros formales en las comisarías cercanas.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Conceptualización de términos

#### 2.1.1 Transporte

De acuerdo con Montezuma(2003), la noción de transporte “se limita a una relación de oferta y demanda expresada esquemáticamente, en cantidad de infraestructuras, medios de transporte y en el número de desplazamientos por persona por día; según motivo, modo, itinerario y tiempo” (p. 175). En ese sentido, el autor explica que este concepto se enfoca principalmente en los aspectos cuantitativos y técnicos del sistema, sin incluir la dimensión social de los usuarios, es decir, sin considerar características como la edad, el género o la condición sociolaboral (Montezuma, 2003, p.175).

Por su parte, Gutiérrez (2010) señala que “el transporte se define como el componente material de la movilidad, ligado a los medios técnicos de desplazamiento” (p.86). Cuando se menciona el término "transporte", se busca enfatizar los medios de transporte más relevantes empleados para trasladar a las personas —como motos, automóviles, buses u otros— junto con su infraestructura y gestión correspondientes. Los estudios sobre el transporte no consideran la experiencia de moverse ni los desplazamientos complementarios de las personas (Hermida, 2016, p.21).

#### 2.1.2 Movilidad urbana

Montezuma (2003) señala que la movilidad se enfoca en abordar las dificultades a las que están expuestos los usuarios y su entorno, y no solo en los desplazamientos que suelen realizar. Este enfoque permite visibilizar a las poblaciones de bajos recursos, las cuales, pese a representar la mayoría en los países en crecimiento, han sido históricamente marginadas en las investigaciones sobre transporte urbano. Además, el campo de la movilidad estudia a las personas económicamente activas que no suelen moverse por una variedad de razones (p.175).

Por su parte, Sanz (2008) describe la movilidad como un concepto centrado en quienes desean trasladarse, en estrecha relación con los medios de transporte disponibles (p.16). Asimismo, Pontes (2010, como se citó en Velásquez, 2015) señala que “la movilidad está relacionada con la libertad de moverse y la posibilidad de acceso a los medios necesarios para tal fin” (p.48). Además, Herce, en su libro “Sobre la movilidad en la ciudad: Propuestas para recuperar un derecho ciudadano”, indica lo siguiente:

“La movilidad es la expresión de un derecho de los ciudadanos en el que descansa la realización de gran parte de sus necesidades de conexión social; se ha expuesto también cómo esa necesidad de movilidad se expresa en muy diferentes formas de desplazamiento que, a su vez, plantean requerimientos diferenciales, tanto en cuanto afecta a la organización del espacio público urbano como a la oferta de espacios de infraestructura adaptadas a cada una de esas formas” (Herce, 2009, p.51).

### **2.1.3 Seguridad vial**

El objetivo central de la seguridad vial es ofrecer a todos los actores del tránsito, —como conductores, ciclistas y peatones— las condiciones necesarias para desenvolverse en la vía pública de forma ordenada y segura. Su objetivo es evitar la ocurrencia de accidentes y disminuir las consecuencias que estos puedan ocasionar, garantizando así la protección y calidad de vida de quienes utilizan las vías (Fundación Mapfre, 2013). Por su parte, el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2013) señala que la seguridad vial es un requisito fundamental que todas las vías deben cumplir para proteger la vida de los usuarios y de los bienes materiales existentes. Asimismo, este principio debe considerarse en todas las etapas del ciclo de vida de los proyectos viales, tales como el diseño, construcción, mantenimiento y operación (p. 20).

### **2.1.4 Accesibilidad**

La accesibilidad se refiere al nivel de facilidad con el que las personas pueden utilizar distintos modos de transporte para llegar a diversas actividades, considerando tanto las características del entorno como los sistemas de transporte disponibles. Este concepto integra factores como el transporte, la organización del suelo, el tiempo y las particularidades individuales, lo que permite establecer indicadores relacionados con la infraestructura, las actividades y su utilidad. A diferencia de enfoques centrados en la calidad, eficiencia y productividad de un sistema, la accesibilidad se enfoca en determinar cuán sencillo es para una persona o población acceder a bienes y servicios en diferentes escalas territoriales, comenzando desde el nivel local (Geurs y Van Eck, 2001).

Por su parte, Gutiérrez (2010) plantea que el acceso se relaciona con la posibilidad real de que los usuarios satisfagan las necesidades que originan su desplazamiento, mientras que la accesibilidad se caracteriza por el nivel de dificultad que existe para realizar un recorrido específico. El término "accesibilidad" se usa con frecuencia para describir varios aspectos de la movilidad y la facilidad de realizar recorridos de acceso al transporte público.

## **2.2 Inspección de Seguridad Vial**

### **2.2.1 Conceptualización**

La definición de Inspección de Seguridad Vial (ISV) varía según el país y depende de las actividades que involucra y cómo se relaciona con los accidentes de tránsito para iniciar y llevar a cabo las etapas de inspección. Muchos países las reconocen como revisiones de seguridad vial, mientras que otros las llaman auditorías de seguridad vial en vías existentes. Las ISV son herramientas preventivas creadas por un equipo independiente de especialistas en seguridad vial, a través de inspecciones regulares e in situ de un tramo de la vía o carretera. El objetivo es identificar condiciones de riesgo, fallos funcionales o deficiencias en la vía que puedan provocar accidentes de tránsito, para luego sugerir mejoras correctivas y dar seguimiento a su implementación (Pineda et al., 2018, p.45).

### **2.2.2 Metodología de desarrollo**

Según Pineda et al. (2018), las ISV se distinguen por su organización, estructura y cumplimiento de procedimientos documentados y confidenciales (p.48). La metodología utilizada para llevar a cabo las ISV suele estructurarse en diversas fases que incluyen: planificación, preparación, evaluación en campo, elaboración y revisión del informe, aplicación de medidas correctivas y, finalmente, monitoreo de los resultados.

El proceso se inicia con la planificación de la inspección, que implica la formulación de un programa de ISV por parte de la institución encargada de gestionar y mantener la red vial, tanto urbana como rural. Este programa debe desarrollarse siguiendo un calendario periódico o ponerse en marcha cuando surjan condiciones nuevas que comprometan la seguridad en determinados tramos. A continuación, se desarrolla la fase de preparación, que antecede al trabajo de campo y comprende la recolección y análisis de información técnica sobre la vía, así como la organización logística del equipo inspector, garantizando el cumplimiento de protocolos de seguridad y protección personal (Pineda et al., 2018, p.49).

Posteriormente, se realiza la evaluación in situ, cuyo propósito es identificar riesgos y condiciones potencialmente peligrosas que puedan derivar en accidentes de tránsito. Durante esta etapa, se examinan aspectos relacionados con la infraestructura, el entorno vial, la señalización, la demarcación y otros elementos físicos que puedan afectar la seguridad de los usuarios, en especial de los usuarios vulnerables. Luego, se elabora un informe técnico detallado que resume los hallazgos, observaciones y recomendaciones derivadas de la inspección realizada.

Este informe debe incluir una introducción donde se incluya datos clave de la vía evaluada, el equipo de inspección, el proceso de inspección y la metodología que se empleó para la calificación de los hallazgos. Mientras que, para la parte de los resultados de la ISV se debe considerar el detalle de las actividades realizadas, hallazgos y recomendaciones para cada uno de estos (Pineda et al., 2018, pp.50-52).

Después de culminar la inspección, la entidad solicitante realiza la revisión de los resultados, mediante una reunión técnica en la que participan todos los actores involucrados en la gestión de la vía. Este encuentro tiene como finalidad analizar detalladamente los hallazgos, comprender las razones que sustentan su clasificación como factores de riesgo para los usuarios y recoger aportes o comentarios de los responsables de la administración y operación vial. Una vez que las recomendaciones han sido evaluadas, debatidas y validadas, la autoridad encargada de la infraestructura debe elaborar un plan de acción orientado a ejecutar las medidas correctivas propuestas. Finalmente, las intervenciones derivadas del proceso de ISV deben someterse a un seguimiento y control continuo, con el objetivo de verificar su grado de cumplimiento y medir su efectividad en la reducción de riesgos viales (Pineda et al., 2018, pp.52–54).

### **2.2.3 Lista de chequeo**

La lista de chequeo es un instrumento esencial dentro del proceso de Inspección de Seguridad Vial (ISV), pues permite orientar el trabajo del equipo evaluador y detectar los principales factores que comprometen la seguridad en las vías. Su finalidad es asegurar que se consideren todos los aspectos que puedan influir en la protección y bienestar de los usuarios (Federal Highway Administration [FHWA], 2006, p.51; Comisión Nacional de Seguridad del Tránsito [CONASET], 2003, p.37). En cuanto a su estructura, estas listas presentan una organización sistemática, donde los ítems de evaluación se agrupan según el ámbito de análisis, tales como el diseño geométrico de la vía, la superficie de rodadura, la señalización horizontal y vertical, los elementos viales complementarios y los usuarios del sistema de transporte (Dextre et al., 2018, p.8).

Esta herramienta resulta especialmente útil porque puede aplicarse en cualquier etapa del proyecto vial, desde la planificación hasta la operación. Además, su formato claro y comprensible facilita su uso por parte de los diferentes integrantes del equipo de inspección, garantizando uniformidad en la evaluación y un enfoque preventivo frente a los riesgos viales. Asimismo, Dextre (2011, como se citó en Dextre et al., 2018) sugiere el uso constante

de las listas de chequeo en las ISV, ya que se trata de procesos formales que requieren seguir protocolos establecidos. No obstante, algunos inspectores no emplean estas herramientas, debido a que cuentan con una amplia experiencia que les ayuda a identificar con facilidad las deficiencias presentes en la vía evaluada.

## **2.3 Espacios públicos**

### **2.3.1 Conceptualización**

Una aproximación simple de espacio público engloba a aquellos lugares de naturaleza física, abiertos, de fácil identificación visual y acceso al público relativamente gratuito tales como calles, plazas, monumentos, parques, estadios y fuentes de agua (Palacios, 2020). No obstante, el concepto de espacio público posee un alcance extenso y multidimensional, pues se aborda desde perspectivas legales, políticas, ambientales o culturales, además de estar regulado por normas que determinan sus usos y finalidades específicas.

Según Fonseca (2014), los espacios públicos son sectores urbanos que permiten la libre circulación de las personas en su vida diaria. Estos lugares que suelen ser compartidos tienen diferentes propósitos según las necesidades o actividades de los usuarios; mientras que los espacios ya consolidados mantienen roles definidos de acuerdo con las dinámicas urbanas existentes (p.2). Asimismo, la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL, 2010) sostiene que el espacio público es considerado como un lugar de interacción social, donde la población encuentra oportunidades para convivir, recrearse y expresarse a través de actividades deportivas, artísticas y culturales. En este sentido, dichos espacios no solo favorecen la integración comunitaria, sino que también contribuyen al bienestar y vitalidad urbana (p. 7).

Del mismo modo, los espacios públicos actuales se originan a partir de la distinción legal entre los terrenos de propiedad privada y aquellos considerados de uso público (Segovia y Jordán, 2005, como se citó en Fonseca, 2014). Esta división establece que las áreas libres de edificaciones sean destinadas a funciones sociales propias del entorno urbano, como el esparcimiento, las reuniones colectivas, el transporte, la cultura e incluso algunas actividades comerciales. Por tanto, desde un enfoque jurídico, Borja (2000) define al espacio público como “un espacio sometido a una regulación específica por parte de la administración pública, propietaria o que posee la facultad de dominio del suelo, que garantiza su accesibilidad a todos y fija las condiciones de su utilización y de instalación de actividades” (pp. 12-13).

Además, Borja (2000) indica que el estudio de los espacios públicos es crucial ya que

es en estos lugares donde se presenta la crisis de una ciudad. Es decir, al examinar su estado y las actividades que allí tienen lugar, es posible identificar y valorar las carencias, costumbres y modos de vida urbanos (p. 12). En este sentido, los espacios públicos se constituyen como un elemento esencial para la formulación de políticas orientadas a construir ciudad. Estas deben estar acompañadas de programas sociales que respondan a las necesidades del entorno, con el fin de revitalizar y mejorar dichos espacios. Entre las acciones prioritarias se encuentran la recuperación de áreas comunes, el fortalecimiento de la seguridad urbana y la optimización de la movilidad (Fonseca 2014, p.3).

### **2.3.2 Importancia de los espacios públicos**

Los espacios públicos cumplen un papel importante dentro de la sociedad, son lugares sociales que no solo permiten el encuentro y la interacción entre ciudadanos, sino que también fomentan la cultura, la participación política, la identidad colectiva y el interés ciudadano por lo común. Cuando estos espacios están en condiciones adecuadas, la gente los aprovecha para hacer actividades recreativas y convivir. Por ejemplo, los jóvenes los usan para encontrarse con sus amigos y colectivos artísticos como bailarines, pintores o acróbatas los usan para exponer su arte e interactuar con el público (Fonseca, 2014, p. 2).

### **2.3.3 Dimensiones del espacio público**

Bellet-Sanfeliu (2009, como se citó en Garriz y Schroeder, 2014) describe diferentes aspectos de los espacios públicos, tales como las formas, los usos, las funciones y las relaciones de los espacios. Asimismo, considera las siguientes dimensiones: colectiva y cívica, simbólica y representativa, dinámico-funcional y la físico-urbanística. Por otro lado, Garriz y Schroeder (2014), disgregan aún más estas dimensiones planteadas y proponen las dimensiones que se muestran a continuación:

- *Dimensión físico territorial y urbanística:* Esta dimensión examina el espacio público considerando su función en el territorio y en la ciudad. Bajo este punto de vista, el espacio se entiende como un elemento territorial que debe tener una organización urbana apropiada, ser visible socialmente, tener acceso libre y ser capaz de realizar diversas funciones para atender las variadas necesidades de las personas. Además, en lo que respecta al ámbito físico, pretende otorgar carácter propio al sitio y detectar los factores que pueden restringir su uso total, como barreras de naturaleza física, simbólica, psicológica o normativa (Garriz & Schroeder, 2014, pp. 26-27).

- *Dimensión jurídico-política:* Esta dimensión trata el espacio público en términos legales y normativos, reconociendo que los ciudadanos tienen derecho a acceder libremente a estos lugares y a apropiarse de ellos de manera legítima. Es esencial, bajo esta perspectiva, determinar los derechos, obligaciones y límites de los diferentes participantes involucrados en su gestión, tales como el Estado, por medio de la administración pública, y los ciudadanos. En resumen, el espacio público se entiende como una área que está bajo regulación de las autoridades competentes, que tienen control sobre el suelo y garantizan su uso libre y accesible bajo condiciones definidas (Garriz & Schroeder, 2014, pp. 27-28).
- *Dimensión social:* Bajo esta perspectiva, el espacio público es examinado como un ámbito de interacción social en el que las personas ejercen su derecho a ocuparlo y asignarle significado. Esta perspectiva resalta la importancia que los usuarios conceden a las normas que regulan su uso y a la manera en que perciben dicho espacio como parte de su entorno cotidiano. No obstante, deben reconocerse las diferencias existentes entre los diversos grupos sociales, las cuales pueden generar tensiones o disputas por su uso. Por esta razón, se promueve que estos espacios funcionen como puntos de encuentro e integración, libres de discriminación por origen, condición social o forma de pensar, fomentando la convivencia armónica entre todos los ciudadanos (Garriz & Schroeder, 2014, p.28).
- *Dimensión cultural y simbólica:* Esta dimensión describe al espacio público desde el rol que tiene en el aspecto cultural, ya que la herencia histórica y valor patrimonial que tiene una cultura determinada tiene influencia en la sociedad. Dichos factores contribuyen a la creación y apropiación de espacios, tanto materiales como simbólicos, que responden a las necesidades culturales de los distintos grupos sociales, con la aceptación consciente o inconsciente de la comunidad. Por lo tanto, es crucial llevar a cabo una evaluación cultural del espacio público que tenga en cuenta su contexto histórico y los componentes representativos que muestran la identidad colectiva de las personas que lo utilizan (Garriz & Schroeder, 2014, p. 28).
- *Dimensión económica:* En este enfoque, el espacio público se analiza desde su función dentro del ámbito económico de una comunidad, barrio o ciudad. Existen distintas formas de apropiación de espacios públicos con fines económicos como es el

caso de los kioscos y paraderos en las calles, o la presencia de malabaristas y limpiaparabrisas en las esquinas semaforizadas. En este sentido, a través de esta dimensión se busca reconocer y entender los distintos usos económicos que surgen en esos espacios, con la finalidad de incorporarlos de manera apropiada a los procedimientos de diseño urbano y planificación. Así, se pretende darles valor y coherencia en el contexto urbano, con el fin de evitar las disputas sociales que resultan de usos incompatibles (Garriz & Schroeder, 2014, p. 29).

- *Dimensión de movilidad y apropiación:* Esta dimensión está centrada en la conexión entre la movilidad, el empleo y la apropiación del espacio público en el marco de los cambios territoriales. Su objetivo es demostrar cómo se relacionan los factores sociales, las tradiciones culturales, las decisiones de gestión y la relevancia del consenso en la determinación, el uso y la adaptación de los espacios públicos a las necesidades comunes (Garriz & Schroeder, 2014, p. 29).

### **2.3.4 Espacio público y movilidad**

En la actualidad, el espacio público se percibe como un entorno donde suelen manifestarse conflictos, actos de violencia, segregación social, inseguridad y temor entre sus usuarios. Esta situación se debe a que, con el paso del tiempo, estos lugares han perdido parte de su función y territorio, como consecuencia del crecimiento del sector inmobiliario, el aumento del parque automotor y la expansión del comercio informal, aun cuando su gestión está bajo la responsabilidad de las autoridades locales (Palacios, 2020). Como resultado, los espacios abiertos que antes favorecían la interacción social y las actividades comunitarias han sido reemplazados o desplazados por espacios cerrados o de uso privado. De igual manera, las calles, que en otro tiempo funcionaban como áreas de convivencia y encuentro, han ido transformándose en simples vías destinadas a la circulación vehicular (Vega, 2006, p. 3).

“El espacio público experimentó grandes transformaciones e inclusive mutilaciones con la introducción de nuevos parámetros para la movilidad espacial. Por una parte, el desarrollo de medios de transporte precisa de espacios diferenciados de manera creciente, mientras que de otro lado, la multiplicidad de desplazamientos llevará a que la circulación de personas se generalice como práctica cotidiana y no como un evento extraordinario; es decir, la vida cotidiana deja de concentrarse exclusivamente en los barrios y el circular por lugares distantes a la residencia se vuelve una práctica habitual” (Vega, 2006, p. 15).

En las ciudades modernas, surge la necesidad de contar con vías que conecten zonas distantes en el menor tiempo posible. Como resultado, los espacios que anteriormente estaban destinados principalmente al tránsito peatonal han sido modificados, destinándose una parte considerable de ellos al desplazamiento vehicular, lo que ha reducido el área disponible para los peatones. Este fenómeno responde a uno de los principales desafíos de las urbes contemporáneas: atender las diversas formas de movilidad que demandan los distintos grupos sociales para satisfacer sus necesidades dentro del entorno urbano. En este contexto, el acto de caminar como medio de desplazamiento ha perdido relevancia, quedando relegado a un espacio público secundario dentro del sistema de transporte actual, donde se prioriza el flujo vehicular (Serrano, 2019).

## **2.4 Ciclovías**

### **2.4.1 Conceptualización**

La ciclovía es un espacio destinado únicamente para la circulación de bicicletas, la cual puede estar separada física o visualmente, dependiendo de los criterios establecidos por la normativa nacional de cada país (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2020, p.9). Este tipo de infraestructura vial puede estar incorporado al nivel de la calzada o ubicarse contiguo al separador lateral o central de la vía. Los ciclistas suelen preferir estas rutas porque su recorrido se hace más cómodo y directo, en comparación con las cicloaceras ubicadas sobre la vereda. En consecuencia, la implementación de ciclovías ayuda a disminuir el conflicto entre los ciclistas, peatones y automóviles en las intersecciones (Municipalidad Metropolitana de Lima [MML], 2017, p.62).

### **2.4.2 Tipos de ciclovías**

Según el Manual de Criterios de Diseño de Infraestructura Ciclo-inclusiva y Guía de Circulación del Ciclista (2017), existen dos tipos de ciclovías:

- *Ciclovías unidireccionales*: Este tipo de ciclovías se sitúan preferentemente a la derecha de la vía, ya que permite a los ciclistas trasladarse en el mismo sentido del flujo vehicular y les brinda mejores condiciones cuando éstos deseen girar y cambiar de dirección para integrarse a nuevas vías. Además, representan una de las opciones más rentables por ser económicas, fáciles de implementar y por brindar mayores

niveles de seguridad y comodidad a los ciclistas(MML, 2017, p.62).

**Figura 1.**

*Esquema de una ciclovia unidireccional*



*Nota.* Tomado del *Manual de Criterios de Diseño de Infraestructura Ciclo-inclusiva y Guía de Circulación del Ciclista*, por MML, 2017.

- *Cicloviás bidireccionales:* Este tipo de cicloviás es preferible implementarlas en vías donde resulta complicado desplazarse de un lado al otro en las intersecciones y, que debido a esto, se requiere circular en ambos sentidos por el mismo lado. En estos casos, es esencial asegurar una adecuada gestión del diseño en los cruces, ya que exigen mayor habilidad y espacio de maniobra para que los ciclistas se integren con otras rutas, especialmente cuando la infraestructura se ubica en la mediana. Además, se debe tener en consideración que su ancho facilite el avance de los ciclistas en ambas direcciones y satisfaga eficientemente a todos los que se desplazan en hora punta (MML, 2017, p.62).

**Figura 2.**

*Esquema de una ciclovia bidireccional*



*Nota.* Tomado del *Manual de Criterios de Diseño de Infraestructura Ciclo-inclusiva y Guía de Circulación del Ciclista*, por MML, 2017.

### 2.4.3 Consideraciones de diseño e implementación

La Guía de Composición y Diseño Operacional de Ciclovías (2020) sugiere una serie de principios que deben guiar la planificación, diseño, implementación y mantenimiento de las ciclovías, los cuales se muestran a continuación:

**Tabla 1.**

*Principios para realizar el diseño de ciclovías*

PRINCIPIO	DESCRIPCIÓN
Convivencia	Deben promover la interacción armónica entre todos los usuarios del espacio vial, evitando generar obstáculos o condiciones de exclusión, especialmente para las personas con discapacidad.
Intermodalidad	Se debe favorecer la integración con otros modos de transporte, especialmente con el transporte público.
Conexa	Las rutas deben integrarse adecuadamente con otras vías existentes, garantizando la continuidad y la conexión efectiva entre los puntos de origen y destino.
Coherente	Deben tener adecuada señalización y demarcación para ayudar a los ciclistas a definir las trayectorias con claridad.
Cómoda	Las ciclovías deben procurar usar superficies adecuadas y tener geometría correcta para minimizar las interrupciones en el trayecto.
Directa	Las rutas deben ser trayectorias directas, es decir, se debe reducir al mínimo detenciones, desvíos o interacciones conflictivas con otros usuarios.
Segura	Se debe priorizar la reducción de siniestros que involucran a ciclistas y otros usuarios de la vía.
Atractiva	Se debe procurar que el entorno de las ciclovías resulte agradable y acogedor para quienes las utilizan.

*Nota.* Adaptado de *Guía de Composición y Diseño Operacional de Ciclovías* (p.11), por Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2020.

## 2.5 Diseño urbano inclusivo

### 2.5.1 Conceptualización

El diseño urbano inclusivo tiene como objetivo fomentar la creación de ciudades que aseguren la participación equitativa de todos los ciudadanos sin discriminación alguna. Su objetivo es garantizar que la infraestructura urbana y el espacio público sean accesibles para todos, promoviendo ambientes dinámicos, seguros, flexibles, sostenibles y accesibles que satisfagan las diferentes necesidades de los ciudadanos. Este objetivo se logra mediante el establecimiento de criterios y recomendaciones de diseño de ciudades con características inclusivas (Municipalidad Metropolitana de Lima, 2022). Una de las herramientas más

importantes que se tiene para realizar diseños viales en favor de los usuarios más vulnerables es la Guía Global de Diseño de Calles elaborada por la Asociación Nacional de Funcionarios de Transporte Urbano y la Iniciativa Global de Diseño de Ciudades en el año 2016. Esta guía establece una serie de parámetros que se deben utilizar a nivel mundial para el diseño de calles urbanas. Lo que busca es dar preferencia a los usuarios más vulnerables y trata de reconocer a las ciudades como espacios para los ciudadanos y no para los vehículos como actualmente se da en muchos países del mundo. En otras palabras, este manual incluye criterios de accesibilidad, seguridad y movilidad para todos los usuarios (Global Designing Cities Initiative y National Association of City Transportation Officials, 2016).

### 2.5.2 Elementos de diseño de calles

- *Ancho de carril:*

La Guía Global de Diseño de Calles (2016) sugiere que los anchos de carril más apropiados para las áreas urbanas deben ser de 3 m. Por otro lado, para las rutas de transporte público o de camiones se sugiere emplear anchos que van entre 3,3 y 3,5m. Además, en algunos casos se puede colocar anchos de carril de 3 a 3,3m para zonas de tráfico mixto. Excepcionalmente, se puede tener carriles vehiculares angostos de 2,7 - 3 m. La recomendación es que se debe evitar utilizar carriles de más de 3 m, ya que estos generan excesos de velocidad no deseados y estacionamientos indeseados en la vía. Para el caso de los estacionamientos la guía sugiere anchos que van de 1,8 a 2,5 m. Si los carriles son bidireccionales el ancho recomendado es de 4,75 - 5,5 m.

#### Figura 3.

*Esquema adecuado para el diseño de carriles*



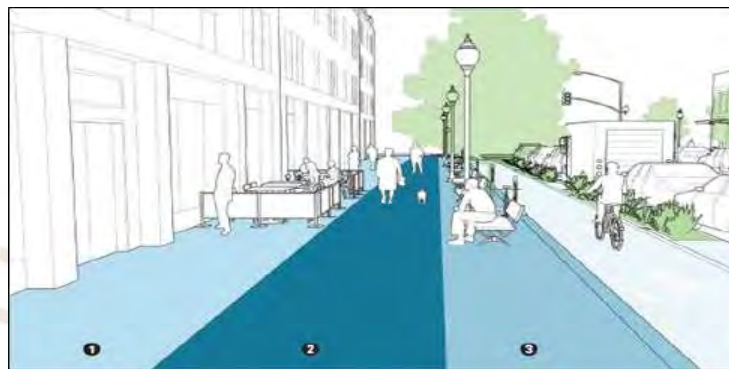
*Nota.* Adaptado de *Global Street Design Guide*, por National Association of City Transportation Officials & Global Designing Cities Initiative, 2016.

- *Aceras*

Las aceras son muy importantes para los usuarios ya que permiten el tránsito peatonal seguro y mejoran la conectividad entre un lugar y otro. Además, las aceras sirven como espacios públicos donde los usuarios pueden desenvolverse social y económicamente. La Guía Global de Diseño de Calles (2016) sugiere tener como mínimo 0.6m ancho en la fachada (1), 1,80-2,40 m de ancho para la zona de circulación peatonal (2) y 1,5 m de ancho para el mobiliario urbano (3).

**Figura 4.**

*Esquema adecuado para las aceras*



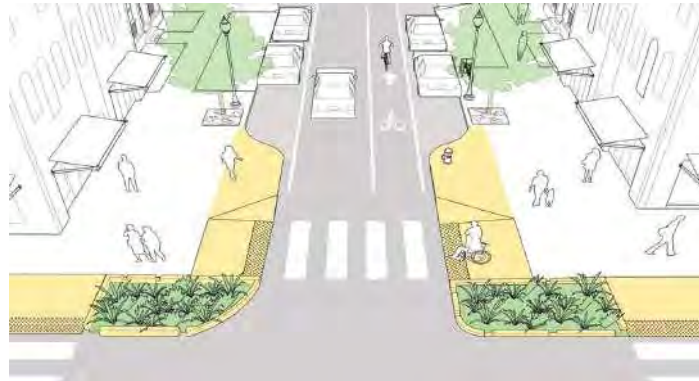
*Nota.* (1) Ancho de fachada, (2) Ancho para zona de circulación peatonal y (3) Ancho para mobiliario urbano. Adaptado de *Global Street Design Guide*, por National Association of City Transportation Officials & Global Designing Cities Initiative, 2016.

- *Extensiones de acera*

Las extensiones de aceras usualmente se utilizan con la finalidad de reducir física y visualmente el ancho de la calzada. Además, se implementan en el diseño con el objetivo de proporcionar áreas para mobiliario urbano, zonas de espera para transporte público y áreas verdes. Estas pueden implementarse a lo largo de la ciudad y tienen tamaños diferentes tal como lo indica la Guía Global de Diseño de Calles (2016), la cual sugiere que la extensión de acera generalmente debe ser entre 31 y 62 cm más angosta que el carril de estacionamiento, excepto cuando el carril de estacionamiento esté tratado con materiales que lo integren a la estructura de la acera. En cuanto a la longitud, la guía establece que esta debe tener al menos el mismo ancho que el cruce peatonal, aunque se sugiere que se prolongue preferiblemente hasta alcanzar la línea de parada.

**Figura 5.**

*Esquema adecuado para las extensiones de acera*



*Nota.* Adaptado de *Global Street Design Guide*, por National Association of City Transportation Officials & Global Designing Cities Initiative, 2016.

### 2.5.3 Elementos de diseño de intersección

#### - *Cruceros peatonales*

Los cruces peatonales deben diseñarse para ofrecer la mayor comodidad y protección a los peatones. Es recomendable que estos espacios sean lo más compactos posible, de modo que sitúen a los peatones dentro del campo visual directo del conductor y se facilite así el contacto visual entre ambos. La Guía Global de Diseño de Calles (2016) sugiere que el ancho mínimo sea de 3m, la línea de parada debe estar colocada a 2,44 m por detrás del inicio de la cebrada peatonal y se sugiere que cada 80-100 m debe haber cruceros peatonales.

**Figura 6.**

*Esquema adecuado para los cruceros peatonales*



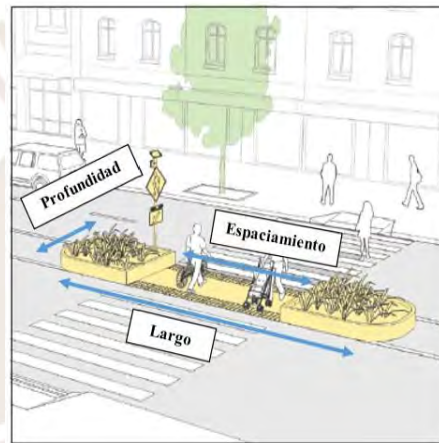
*Nota.* Adaptado de *Global Street Design Guide*, por National Association of City Transportation Officials & Global Designing Cities Initiative, 2016.

- *Islas de refugio peatonal*

La isla de seguridad para peatones se implementa con el fin de disminuir el tiempo de exposición que tiene un peatón cuando cruza una avenida. Estas islas se suelen implementar tanto en calles anchas como estrechas, pero generalmente se aplican en lugares donde las velocidades y la alta cantidad de vehículos complican los cruces de los peatones y los exponen a posibles accidentes. La Guía Global de Diseño de Calles (2016) sugiere que tengan como mínimo de 10 a 12m de largo, 1,8-2,4 m de profundidad y 3m de espaciamento.

**Figura 7.**

*Esquema adecuado para las islas de refugio peatonal*



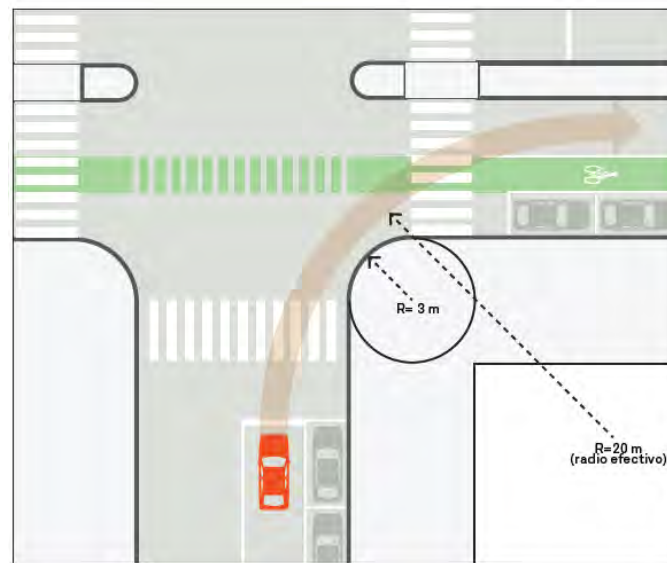
*Nota.* Adaptado de *Global Street Design Guide*, por National Association of City Transportation Officials & Global Designing Cities Initiative, 2016.

- *Radios de giro*

La reducción de los radios de esquina tiene como objetivo principal disminuir la velocidad de giro de los vehículos, lo que contribuye a que los cruces e intersecciones sean más seguros para los peatones. De acuerdo con la *Guía Global de Diseño de Calles* (2016), en zonas urbanas se recomienda que los radios de esquina se mantengan entre 3 y 5 metros, aunque se sugiere priorizar valores inferiores a 1,5 metros para mejorar la seguridad vial. Solo en situaciones particulares se deberían emplear radios mayores a 5 metros, ya que las maniobras de giro deben realizarse a velocidades menores o iguales a 15 mph.

**Figura 8.**

*Esquema adecuado para los radios de giro*



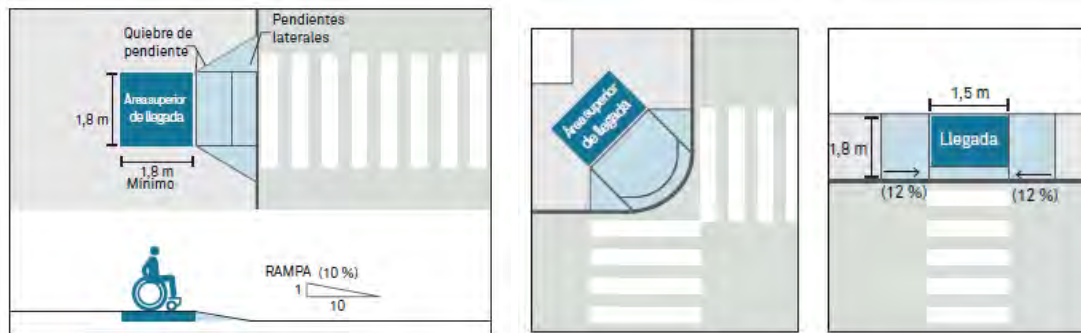
*Nota.* Adaptado de *Global Street Design Guide*, por National Association of City Transportation Officials & Global Designing Cities Initiative, 2016.

- *Rampas peatonales*

Las rampas peatonales se diseñan con el propósito de mejorar la accesibilidad hacia las aceras, especialmente para personas con discapacidad o quienes se desplazan empujando coches de bebé, carritos o equipaje pesado. Estas estructuras suelen estar conformadas por una superficie inclinada, un espacio de llegada en la parte superior y bordes laterales de contención. En cuanto a la pendiente, se recomienda que no supere el 10 % al 12 %, y que tenga un ancho igual al de la franja de circulación peatonal, siendo 1,8 m el mínimo y 2,4 m el valor óptimo. Respecto al área superior de llegada, esta debe poseer dimensiones similares a la zona de circulación peatonal, o al menos contar con 1,8 m de ancho para permitir un desplazamiento cómodo y seguro. Finalmente, los laterales de la rampa no deben presentar pendientes mayores al 10 %, y los cambios de inclinación en la parte superior e inferior deben realizarse en ángulo recto respecto a la dirección del tránsito peatonal (Guía Global de Diseño de Calles, 2016).

**Figura 9.**

*Esquema adecuado para las rampas peatonales*



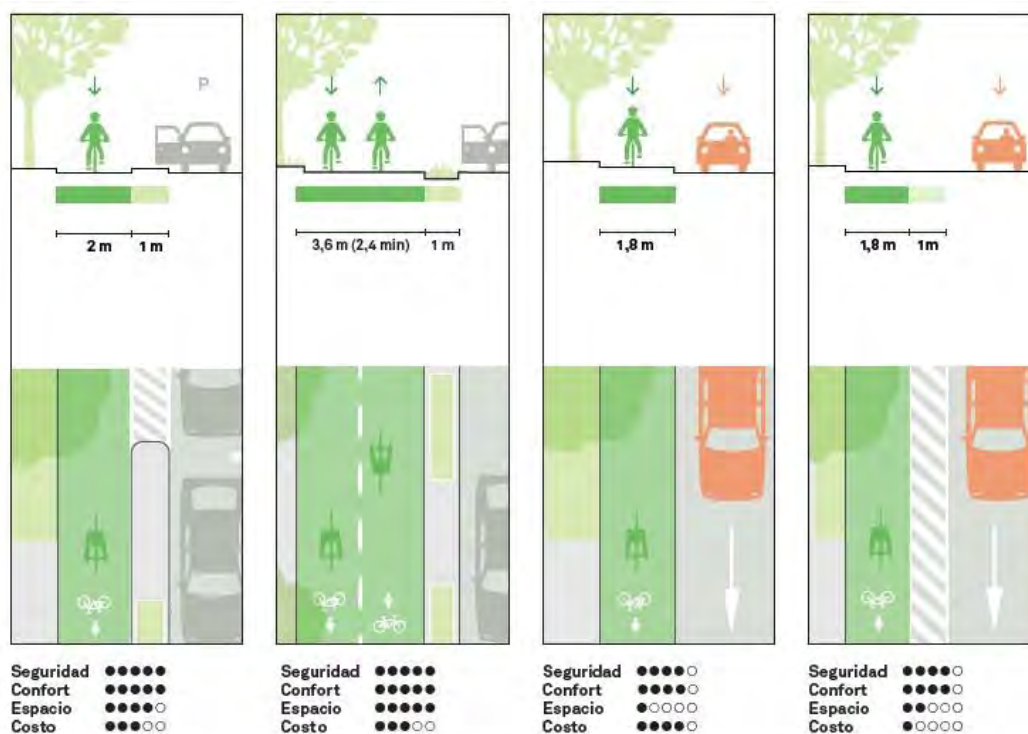
Nota. Adaptado de *Global Street Design Guide*, por National Association of City Transportation Officials & Global Designing Cities Initiative, 2016.

#### 2.5.4 Elementos de diseño de ciclovías

La franja destinada al desplazamiento de ciclistas debe garantizar un recorrido continuo, seguro y libre de obstáculos, de modo que se asegure la fluidez y comodidad durante el tránsito en bicicleta. La guía sugiere que esta vía de circulación varíe entre 1,8 y 2,0 m para rutas unidireccionales; mientras que para rutas bidireccionales puede tener de 2,4 a 3,6 m de ancho. Por otra parte, se considera necesaria la existencia de una zona de separación, cuya función principal es dividir el flujo ciclista del tráfico vehicular. Esta franja puede estar a nivel del pavimento o ligeramente elevada; sin embargo, su ancho no debe ser menor a 1 metro. Asimismo, se debe considerar la incorporación de separadores físicos o elementos verticales entre ambas vías, pues esto contribuye significativamente a reforzar la seguridad y el confort tanto de los ciclistas como de los conductores. En consecuencia, se recomienda implementar estas medidas en todas aquellas calles donde la velocidad de los vehículos supere los 30 km/h o exista un alto volumen de tránsito (Guía Global de Diseño de Calles, 2016).

**Figura 10.**

Esquema adecuado para las ciclovías



Nota. (1) Ciclovía unidireccional protegida, (2) Ciclovía bidireccional protegida, (3) Ciclovía unidireccional elevada y (4) Ciclovía señalizada al costado de la acera. Adaptado de *Global Street Design Guide*, por National Association of City Transportation Officials & Global Designing Cities Initiative, 2016.

## 2.6 SemafORIZACIÓN

### 2.6.1 Fundamentos de la semafORIZACIÓN

En la última década, se ha experimentado el aumento tanto del congestionamiento vehicular y los accidentes de tránsito, debido a los constantes conflictos que se producen en las intersecciones y cruces peatonales. Esta problemática ha generado la necesidad de implementar medidas orientadas a regular dichos puntos críticos, con el objetivo de garantizar adecuados niveles de servicio y seguridad vial aceptables para todos los usuarios. Una de las medidas más utilizadas en todo el mundo para disminuir estos efectos negativos es el uso de semáforos. En las grandes ciudades, se utilizan modernos sistemas semafóricos, los cuales están coordinados de manera computarizada. Además, estos dispositivos están integrados con sensores automáticos que detectan la presencia de vehículos y ayudan al semáforo a ajustarse de acuerdo a la hora de aproximación mayoritaria de los motorizados (Cal y Mayor y Cárdenas, 2018, pp. 496-497).

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2024), en el Manual de Dispositivos

de Control del Tránsito Automotor, define a los semáforos como: “dispositivos de control del tránsito que tienen por finalidad regular y controlar el tránsito vehicular motorizado y no motorizado, y peatonal, a través de las indicaciones de luces de color rojo, verde y amarillo o ámbar” (p.400). Estos sistemas de semaforización, cuando operan de manera adecuada, contribuyen al ordenamiento del flujo vehicular en las intersecciones, mejoran la capacidad de las vías y reducen la posibilidad de accidentes (Cal y Mayor & Cárdenas, 2018, p.498). En cuanto al significado de las luces, el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor (MTC, 2024, p. 400), establece que el color rojo indica la detención total del tránsito vehicular y peatonal durante un lapso determinado; el ámbar advierte al conductor que debe disminuir la velocidad y detenerse antes de ingresar a la intersección; mientras que el verde autoriza el paso por un tiempo dado.

### 2.6.2 Tipos de semáforos según su uso

De acuerdo con el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2024), el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor establece una clasificación de los semáforos en función de su uso y propósito específico. En tal sentido, el documento distingue tres categorías principales: los semáforos destinados al control vehicular, los semáforos para el tránsito peatonal y aquellos empleados para fines especiales (MTC, 2024).

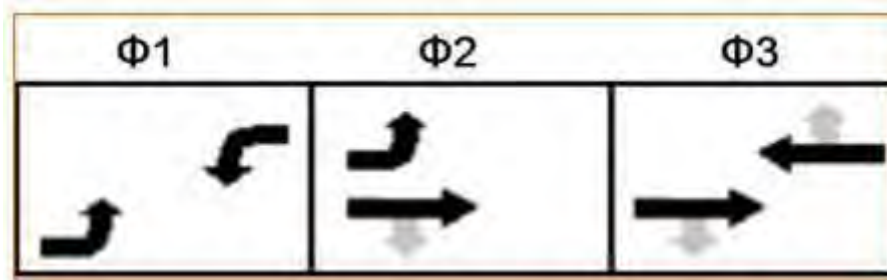
- *Semáforos para vehículos:* Tienen como función principal regular el flujo de tránsito automotor, pudiendo operar como equipos fijos, pre-sincronizados, parcialmente sincronizados o totalmente coordinados, dependiendo del volumen vehicular y la jerarquía de las vías (MTC,2024, p.422).
- *Semáforos para peatones:* Su propósito es gestionar el desplazamiento de los peatones, garantizando un tiempo adecuado para atravesar la calzada mediante los cruces señalizados. Además, su instalación debe acompañarse de una correcta demarcación horizontal que facilite el tránsito seguro de los usuarios (MTC, 2024, p.423).
- *Semáforos especiales:* Están destinados a controlar la circulación en carriles exclusivos o situaciones específicas, como el paso de trenes, vehículos de emergencia o el acceso a zonas de peaje (MTC, 2024, p.425).

### 2.6.3 Programación semafórica

Los semáforos que se emplearán en la intersección objeto de estudio en esta investigación serán programados conforme al método establecido por el Manual de Señalización de Tránsito, creado por la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (2012). Esta guía emplea el método contemporáneo, que se concentra en controlar grupos de movimientos y permite hallar respuestas más eficaces y versátiles para los usuarios. El propósito de este método es hacer el máximo número de movimientos superpuestos, incluso si eso implica incrementar el número de fases; así se disminuye el tiempo requerido para ejecutar las maniobras críticas (p. 30).

**Figura 11.**

*Movimientos traslapados para tres fases*



*Nota.* Tomado del *Traffic Signal Manual User Guide*, por Synchro, 2006.

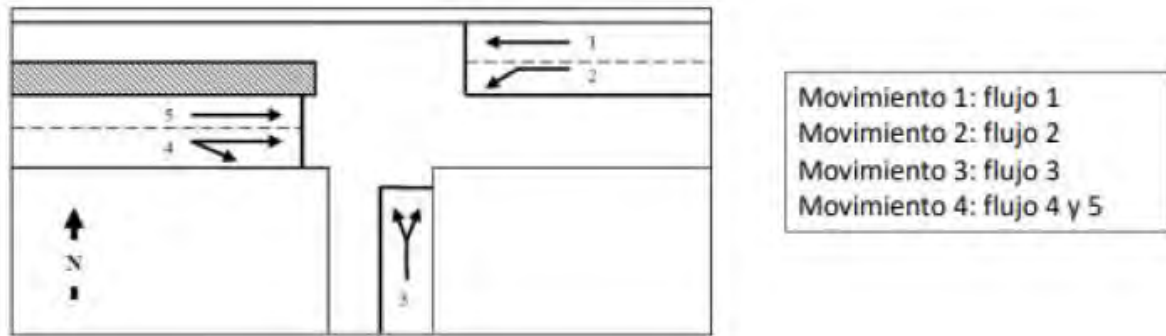
En este método, un movimiento puede ser prioritario en varias fases o existir más de un movimiento prioritario en una fase específica; por lo tanto, se generan dos tipos de movimientos: el movimiento crítico, que necesita más tiempo verde en el ciclo del semáforo porque se extiende la cola que se forma durante la luz roja; y el movimiento traslapado, que presenta verde en fases sucesivas. Después, el tiempo de entreverde que corresponde a esas fases no supone un impedimento para el movimiento superpuesto.

Para el método contemporáneo, el proceso que se sigue para diseñar el ciclo semafórico es el siguiente:

- *Diseño de fases:* Se identifican los movimientos, esto con la finalidad de determinar que flujos pueden tener verde separadamente (giros exclusivos a la izquierda, cruce de peatones de alta intensidad).

**Figura 12.**

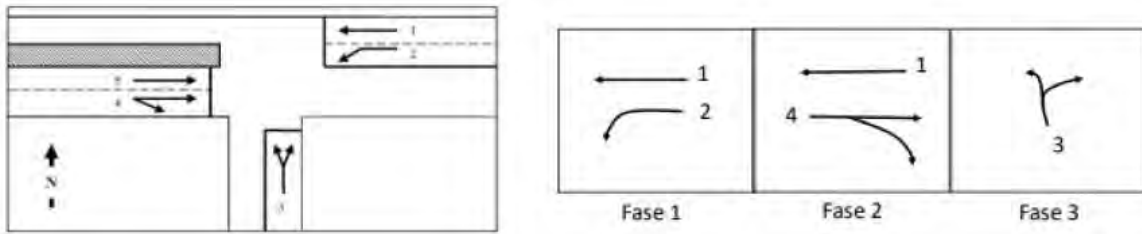
*Identificación de movimientos*



*Nota.* Adaptado de *Programación de semáforos aislados*, por Cabrera, 2023

**Figura 13.**

*Definición de fases*



*Nota.* Adaptado de *Programación de semáforos aislados*, por Cabrera, 2023.

- *Intervalos de cambio de fase:* Está definido por la suma del ámbar y el todo rojo. Para calcular este parámetro se considera el tiempo de percepción reacción del conductor, los requerimientos de la desaceleración y el tiempo necesario de despeje de la intersección, de acuerdo a la figura 5, se puede utilizar la siguiente expresión:

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

*Donde:*

*I = intervalo de cambio de fase, amarillo más todo rojo(s)*

*t = tiempo de percepción-reacción del conductor(usualmente 1s)*

*v = velocidad de aproximación de los vehículos*

*a = tasa de desaceleración(valor usual 3.05 m/s<sup>2</sup>)*

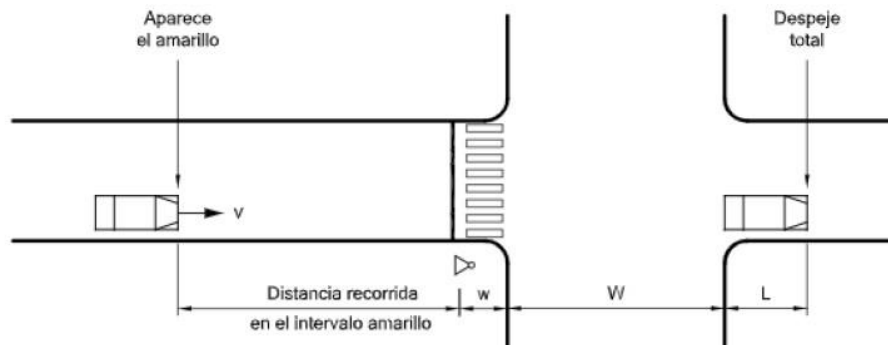
*w = ancho de cruce peatonal(m)*

*W = ancho de intersección a cruzar(m)*

*L = longitud del vehículo(valor típico 6.10 m)*

**Figura 14.**

Esquema geométrico para determinación de intervalo de cambio de fase



Nota. Tomado de *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y Aplicaciones*, por Cal y Mayor & Cárdenas, 2018.

- *Tiempo perdido en el ciclo:* Es la suma de todos los intervalos de cambio de fase

$$l = \sum_{i=1}^n I_i \dots (1)$$

Donde:

$l$  = tiempo perdido en cada ciclo

$I$  = intervalo de cambio de fase, amarillo más todo rojo(s)

- *Mínimo tiempo de verde:* Es el tiempo mínimo que los peatones se demoran en cruzar la pista. Este valor depende del número de peatones y de las dimensiones del cruce peatonal.

$$G_p = (5 + \frac{W_p}{V_p})$$

Donde:

$W_p$  = ancho que deben cruzar los peatones (m)

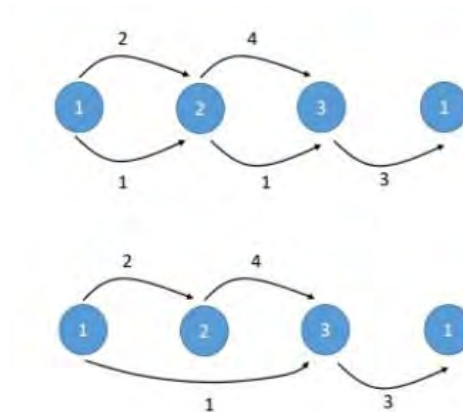
$V_p$  = velocidad media del peatón (1-1.5m/s)

Los 5 segundo adicionales son margen de seguridad

- *Identificación de movimientos críticos:* En las rutas del grafo, se identifica a los movimientos que componen la ruta que demora más tiempo en completar la fase

**Figura 15.**

Identificación de movimientos críticos



Nota. Adaptado de *Programación de semáforos aislados*, por Cabrera, 2023.

- *Determinación del ciclo*: V. Webster, apoyándose en simulaciones y observaciones de campo de un amplio espectro de condiciones de tránsito, evidenció que para una intersección con semáforos, la demora mínima se puede alcanzar a lo largo de una longitud de ciclo óptimo de:

$$C_o = \left( \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^n Y_i} \right)$$

Donde:

$C_o$  = tiempo óptimo de ciclo(s)

$L$  = tiempo total perdido por ciclo(s)

$Y_i$  = máximo valor de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación para el acceso o movimiento o carril crítico de la fase  $i$  ( $q/S$ )

$n$  = número de fases

El intervalo de valores aceptables para la longitud de un ciclo determinado, está entre el 75% y el 150% del ciclo óptimo, para el cual las demoras nunca serán mayores en más del 10% al 20% de la demora mínima.

- *Reparto de tiempo de verde efectivo total*: El tiempo de verde efectivo total ( $g_t$ ) es repartido para cada fase considerada en el ciclo semafórico, a través de una ponderación con las relaciones máximas ( $Y_i$ ) en cada fase.

$$g_i = (C - L) * \left( \frac{Y_i}{\sum_{i=1}^n Y_i} \right)$$

Donde:

$g_i$  = tiempo de verde efectivo(s)

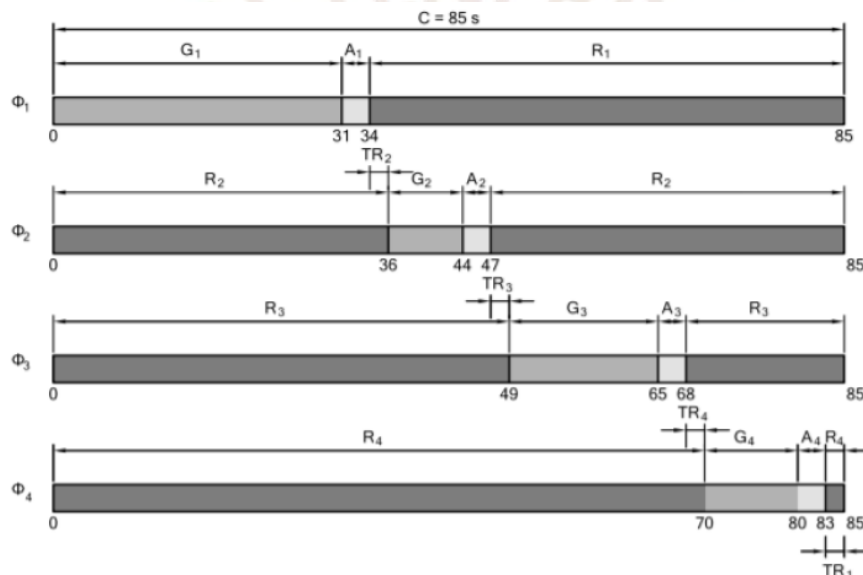
$C_o$  = tiempo óptimo de ciclo(s)

$L$  = tiempo total perdido por ciclo(s)

$Y_i$  = máximo valor de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación para el acceso o movimiento o carril crítico de la fase  $i$  (q/S)

**Figura 16.**

Esquema de diagrama de fases para semáforos



Nota. Tomado de *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y Aplicaciones*, por Cal y Mayor & Cárdenas, 2018.

## 2.7 Sistema y modelo

De acuerdo con Gonzáles (2006), un sistema es una agrupación ordenada de elementos que colabora con otras partes de la red para conseguir un objetivo compartido. Esta interacción se caracteriza por la integridad, totalidad y unidad de las partes para lograr el óptimo funcionamiento del sistema (p.295). Por otro lado, los modelos se definen como la representación de la idea de un objeto, sistema o realidad que conserva sus rasgos y características, las cuales constituyen su esencia y lo distinguen de otras entidades similares (Gonzáles, 2006, p.299). Generalmente, los modelos se emplean como una herramienta eficaz para analizar el funcionamiento de un sistema y evaluar cómo este responde ante modificaciones en su entorno o en sus variables. Los modelos se utilizan para representar una

réplica de la realidad, que se diferencia en tamaño, material u otras características, sin afectar o alterar lo que sustenta su existencia en la realidad.

## **2.8 Simulación de tráfico**

### **2.8.1 Generalidades**

Según Shannon (1975), la simulación consiste en la creación de un modelo que reproduce el comportamiento de un sistema real, con el propósito de analizar su funcionamiento y evaluar distintas alternativas que permitan optimizar su desempeño. En esa misma línea, el PTV Group (s.f.) la describe como una representación virtual de escenarios de tráfico, la cual posibilita reproducir y estudiar diversos elementos del sistema vial, tales como intersecciones, corredores, carreteras, intercambiadores o centros de transporte. Esta herramienta se utiliza comúnmente antes de implementar medidas en el entorno real, ya que permite ensayar múltiples escenarios hipotéticos y analizar sus posibles efectos sin incurrir en costos o riesgos directos. Para la construcción de un modelo de simulación, los datos de entrada se organizan en tres componentes principales:

- *Red de tráfico:* Incluye la infraestructura física como carreteras, intersecciones, vías férreas y zonas transitables.
- *Demanda de tráfico:* Corresponde al número y tipo de agentes que se desplazan desde un origen hacia un destino determinado.
- *Control de intersecciones:* Abarca los elementos de regulación como señales de ceda el paso, señales de alto y sistemas semafóricos (PTV Group, s.f.).

### **2.8.2 Microsimulación en VISSIM y VISWALK**

Los modelos de tráfico de microsimulación pueden ser una parte importante en el diseño de las estructuras de transporte, con la finalidad de garantizar tanto la accesibilidad al transporte público como la sostenibilidad requerida para todos los usuarios. Además, con el uso de modelos de microsimulación, es más sencillo encontrar la solución óptima a un problema determinado de tráfico. Por ello, en el presente proyecto se utilizará microsimulación y como herramientas importantes se tendrá a los softwares VISSIM para modelar el flujo vehicular, y VISWALK para representar los flujos peatonales de la intersección en estudio.

Por un lado, el programa PTV VISSIM es un programa de simulación microscópica

para modelar sistemas de tráfico multimodal y pertenece al paquete de software Vision Traffic Suite (PTV Group, 2020). Esta herramienta modela el comportamiento del tráfico urbano y no urbano, incluidos los peatones, de manera realista y detallada. La simulación del flujo vehicular se lleva a cabo considerando diversas condiciones y variables del entorno vial, tales como los parámetros de los carriles, la clasificación del flujo de tránsito, y el control del tráfico mediante dispositivos o equipos semaforicos. Además, se incluyen aspectos como el registro y comportamiento de los vehículos particulares y del transporte público. Gracias a este enfoque, es posible definir y analizar distintos escenarios hipotéticos, lo que permite evaluar previamente las medidas de gestión del tráfico y predecir sus posibles efectos antes de ser aplicadas en condiciones reales.

Por otro lado, el programa PTV VISWALK es una herramienta eficaz para crear modelos de microsimulación peatonal en carreteras, edificios, nodos de tránsito, pasajes, corredores y otras áreas destinadas a peatones (Krivda, 2021). Este programa modela la marcha humana basándose en el modelo de fuerza social (1995) del Prof. Dr. Dirk Helbing. La idea fundamental del modelo es representar el estímulo elemental al movimiento de los peatones de manera similar a la mecánica newtoniana. La aceleración es el parámetro que finalmente se obtiene a partir de las fuerzas sociales, psicológicas y físicas. Estas fuerzas provienen del anhelo del peatón de llegar a su destino y de cómo otros peatones y barreras en el entorno afectan este proceso (Helbing et al, 2009).

### **2.8.3 Calibración y validación del modelo**

Por un lado, la calibración busca definir un conjunto de parámetros óptimos ( $ax$ ,  $bx\_add$ ,  $bx\_mult$  y  $brecha\ crítica$ ) que logren minimizar la diferencia entre la salida de datos del modelo y los datos obtenidos en campo. Este proceso se desarrolla de manera iterativa, hasta identificar los valores más adecuados que reproduzcan fielmente las condiciones reales en la microsimulación con un nivel de precisión aceptable. Por otro lado, la validación es un proceso de comparación y verificación de los resultados generales del modelo con los conflictos observados/parámetros de comportamiento utilizando un conjunto de datos independiente (Federal Highway Administration, 2004). Cabe destacar que, en la mayoría de los casos, los modelos son calibrados y validados en un proceso de un solo paso, donde se comparan parámetros de eficiencia obtenidos del tráfico real y el simulado, tales como velocidad, tiempo de viaje y longitud de la cola (PTV Group, s.f).

## CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

El presente proyecto busca generar un nuevo diseño vial urbano para una intersección, a través de su desarrollo en distintas etapas. Esto se realiza con el objetivo de encontrar un funcionamiento óptimo de las vías para los usuarios de la zona en estudio. Por ello, en esta sección se muestra y detalla los pasos que se siguen para realizar un adecuado diseño vial, tomando como base el proceso general para desarrollar y aplicar un modelo de microsimulación a problemas de tráfico, sugerido por el Federal Highway Administration (2004). Por tanto, se dividirá en siete etapas: inspección del entorno de estudio, recopilación y preparación de los datos necesarios, microsimulación del estado actual, elaboración de propuestas de mejora, modelación del escenario optimizado, comparación de resultados entre escenarios y selección de las medidas más convenientes para su implementación.

**Figura 17.** Metodología para el rediseño vial de la intersección



*Nota.* Adaptado de *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for applying Traffic Microsimulation Modeling Software*, por Federal Highway Administration, 2004.

### 3.1 Inspección de seguridad vial en el área de estudio

En esta fase del proyecto, se lleva a cabo una visita de campo con el objetivo de ver el panorama del tráfico vehicular en su totalidad y detectar los problemas de seguridad vial en la intersección bajo estudio. Para ello, se utiliza una lista de verificación que posee un formato específico y cuyos ítems a evaluar están organizados en las siguientes áreas: diseño geométrico, superficie de rodadura, señalización vertical y horizontal, semaforización, mobiliario vial, administración del tránsito y usuarios vulnerables. En el Anexo A se presenta la lista de verificación que se propone para llevar a cabo la Inspección de Seguridad Vial en la intersección.

### **3.2 Recolección y preparación de datos**

Esta fase consiste en desarrollar actividades de campo y gabinete que permitan tener todos los datos listos para desarrollar la microsimulación en Vissim y Viswalk. Por un lado, los trabajos de campo engloban la grabación de la intersección con apoyo de un dron, recolección de datos geométricos, toma de tiempos de fases semafóricos y toma de distancias para determinar los tiempos de viaje de vehículos y peatones. Por otro lado, los trabajos de gabinete engloban la recolección de datos de flujos vehiculares, flujos peatonales, longitudes de cola y tiempos de viaje de vehículos y peatones. Adicionalmente, se debe tener en consideración que la grabación se desarrollará en dos días y horarios distintos. Las condiciones que debe cumplir la primera grabación (calibración) es que debe ser en un día típico y en hora punta; mientras que, la segunda grabación (validación) debe ser en un día atípico en cualquier horario. Además, es importante señalar, que por limitaciones económicas y de tiempo, los días y horarios elegidos son por experiencia propia; sin embargo, en proyectos reales se hacen estudios más sofisticados.

#### **3.2.1 Geometría de la intersección**

Para determinar las dimensiones, se debe tomar datos geométricos de la intersección, la cual se realizará con ayuda de una cinta métrica, un plano base de la intersección y el apoyo de una persona más. La cinta métrica ayudará a obtener las dimensiones (ancho y largo) de las veredas, rampas de acceso, cruces peatonales, islas peatonales, carriles, medianas y radios de giro de los martillos. Es importante señalar que para proyectos reales esta toma de datos geométricos se realiza de manera más sofisticada a través del uso de la estación total o fotogrametría, pero por fines académicos y limitaciones económicas este proceso se realizará con recursos de menor costo.

#### **3.2.2 Flujos vehiculares**

El conteo vehicular en la intersección se efectuará mediante la observación de las unidades registradas en las videograbaciones, identificando y clasificando los vehículos según su tipo y las trayectorias más comunes que siguen durante su desplazamiento. Para la toma de datos se consideran los dos días evaluados, las mediciones se deben realizar en intervalos de 15 minutos durante la hora, y se debe utilizar formatos de aforo de vehículos. En la Figura 18 se muestran las líneas de movimientos de los vehículos a través de los 4 accesos a la intersección y en la Tabla 2 se muestra el formato de aforo vehicular que se

utilizará.

**Figura 18.**

*Líneas de movimiento vehicular en la intersección de las avenidas República de Polonia y Santa Rosa de Lima*



Nota. Elaboración propia.

**Tabla 2.**

*Formato de aforo vehicular*

PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE VEHÍCULO	(SENTIDO - )		
		derecha(1)	recto(2)	izquierda(3)
	auto			
	minivan			
	camión			
	bus			
	mototaxi			
	motocicleta			
	bicicleta			
	auto			
	minivan			
	camión			
	bus			
	mototaxi			
	motocicleta			
	bicicleta			
	auto			
	minivan			
	camión			
	bus			
	mototaxi			

	motocicleta
	bicicleta
	auto
	minivan
	camión
	bus
	mototaxi
	motocicleta
	bicicleta

*Nota.* Elaboración propia.

### 3.2.3 Flujos peatonales

El conteo peatonal en la intersección se efectuará mediante la observación y registro directo de los transeúntes identificados en las videograbaciones. Durante esta recolección de datos, se considerará el género de las personas y las trayectorias de desplazamiento que siguen al cruzar la intersección. La toma de datos se realizará en dos días de evaluación, con mediciones en intervalos de 15 minutos por hora, utilizando los formatos de aforo peatonal establecidos. En la Figura 19 se muestran las líneas de movimientos de los peatones a través de los 4 accesos a la intersección y en la Tabla 3 se muestra el formato de aforo peatonal que se utilizará.

**Figura 19.**

*Líneas de movimiento peatonal en la intersección de las avenidas República de Polonia y Santa Rosa de Lima*



*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 3.***Formato de aforo peatonal*

AV. _		T1	T2	T3	T4	T5	T6
_____ - _____	varones - mujeres						
	niños - niñas						
	discapacitados						
_____ - _____	varones - mujeres						
	niños - niñas						
	discapacitados						
_____ - _____	varones - mujeres						
	niños - niñas						
	discapacitados						
_____ - _____	varones - mujeres						
	niños - niñas						
	discapacitados						

*Nota.* Elaboración propia.

### 3.2.4 Ciclos y fases semafóricos

La toma de los tiempos verde, ámbar y rojo de los semáforos existentes en la intersección se realizará con apoyo de un cronómetro y recomendablemente se tomarán 5 mediciones para observar si los tiempos de las fases y ciclos semafóricos son constantes en el tiempo. Es importante indicar que esta es una actividad que se realizará en campo y se tendrá en cuenta a todos los semáforos existentes, tanto vehiculares y peatonales de ser el caso.

### 3.2.5 Longitudes de cola

La recolección de datos de las longitudes de cola se realiza en cada acceso tomando como punto de inicio la parte delantera del primer vehículo detenido hasta el último vehículo detenido, cuando el semáforo está en luz roja. Estas mediciones se realizarán con apoyo de la cinta métrica y se utilizará como puntos de referencia a los postes, señalizaciones verticales o carteles publicitarios existentes.

### 3.2.6 Tiempos de viaje vehicular y peatonal

La toma de datos de los tiempos de viaje vehicular se realizará tomando en consideración un tramo de la vía previamente medida en campo. Para el registro de los

tiempos se utilizará un cronómetro y la forma de tomar los tiempos de viaje será aleatoria, tomando en cuenta que entre vehículos involucrados deben haber pasado 5 unidades vehiculares motorizadas de cualquier tipo. Para la toma de tiempos de peatones, se seguirá el mismo procedimiento pero el intervalo será cada 2 peatones.

### **3.3 Microsimulación del escenario actual**

#### **3.3.1 Modelación**

El modelamiento de la situación actual se realizará en los softwares PTV Vissim para analizar el flujo vehicular y PTV Viswalk para el flujo peatonal. Para su desarrollo, se requiere disponer del plano o imagen satelital de la intersección, así como de los datos recopilados previamente. El proceso comienza con la importación del plano o imagen satelital al software Vissim, el cual se escala y ajusta adecuadamente para servir como base o fondo de modelado. A partir de esta referencia, se procede a trazar la geometría de la intersección utilizando herramientas como *áreas* y *links*, representando los espacios destinados al tránsito de peatones, ciclistas y vehículos motorizados. Asimismo, se incorporan los elementos y obstáculos presentes en el entorno, de modo que la configuración obtenida reproduzca fielmente las condiciones reales.

Posteriormente, se establecen los porcentajes de participación de los distintos tipos de vehículos y peatones que ingresan por cada acceso, para luego asignar los volúmenes de flujo correspondientes a ambos grupos. A continuación, se definen las trayectorias o líneas de movimiento y se ingresan los tiempos de las fases semafóricas existentes en la intersección. También se ajusta el comportamiento del tránsito, tanto vehicular como peatonal, mediante la edición de las áreas de conflicto generadas por los cruces entre *links* y conectores, o a través de la incorporación de reglas de prioridad. Finalmente, se realiza una verificación integral del modelo con el fin de detectar posibles errores o inconsistencias durante la simulación. Si no se presentan inconvenientes, se procede a la etapa de calibración y validación. En seguida, se presenta un resumen de las fases que conforman el proceso de modelado de la intersección en los programas PTV Vissim y PTV Viswalk.

Figura 20.

Procedimiento para modelamiento en Vissim



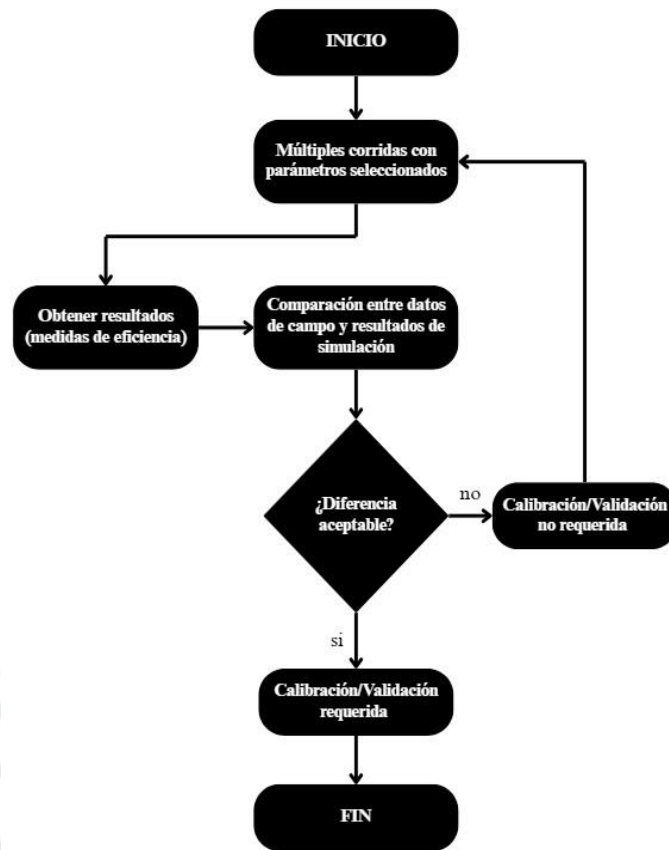
Nota. Elaboración propia.

### 3.3.2 Calibración

El proceso de calibración del modelo comprende una serie de acciones destinadas a asegurar que la simulación reproduzca de manera precisa el comportamiento real del tránsito vehicular y peatonal en la intersección analizada. En una primera etapa se define el indicador de desempeño que servirá como referencia para la calibración; en este caso, se opta por emplear el tiempo promedio de desplazamiento tanto de los vehículos como de los peatones. Posteriormente, se procede al ajuste de los parámetros que intervienen en los modelos de simulación. Para la parte vehicular se modifican la brecha crítica y los coeficientes correspondientes al modelo Wiedemann 74 ( $ax$ ,  $bx\_add$ ,  $bx\_mult$ ), mientras que para la parte peatonal se interviene sobre los parámetros del modelo de Fuerza Social ( $tau$  y  $lambda$ ). La simulación se ejecuta en varias repeticiones, generalmente entre cinco y veinte, hasta que se cumpla el número mínimo de corridas requerido según la fórmula establecida.

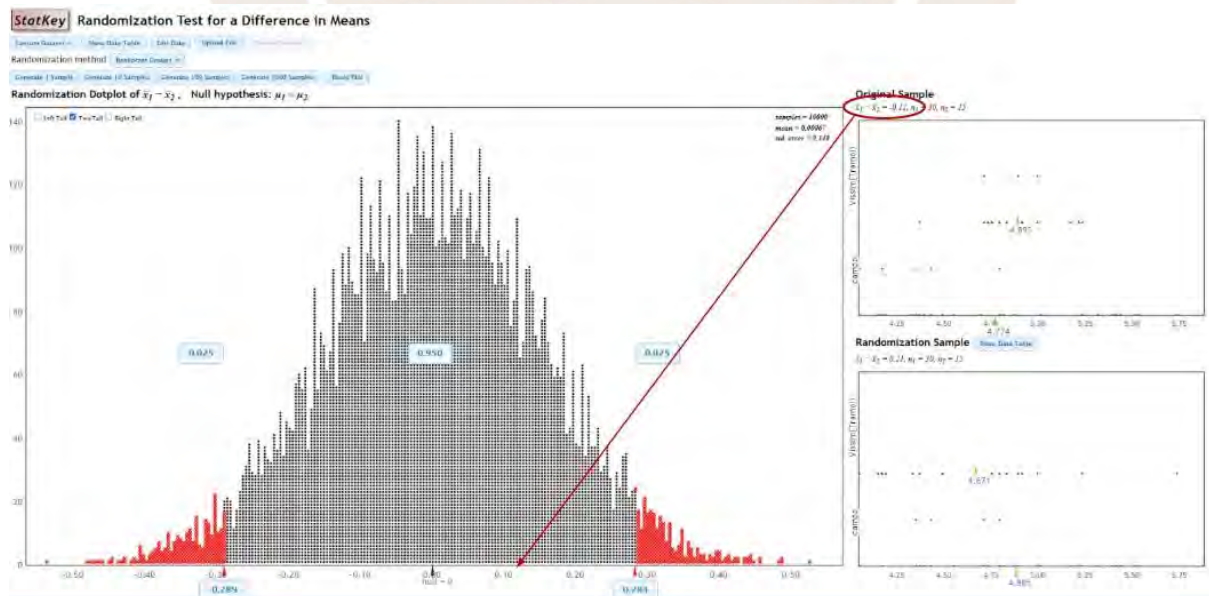
Una vez finalizadas las simulaciones, se realiza un contraste estadístico entre los datos observados en campo y los valores obtenidos en el modelo. El propósito es determinar si existen diferencias significativas entre las medias del parámetro analizado. Para ello, se emplea un nivel de confianza del 95 %, formulando la hipótesis nula y utilizando la herramienta *Randomization Test for a Difference in Means* del software StatKey. El modelo se considera adecuadamente calibrado cuando la diferencia entre medias se encuentra dentro del rango de no rechazo, tal como se muestra en la Figura 22. Si los resultados no cumplen este criterio, se reajustan los parámetros  $ax$ ,  $bx\_add$  y  $bx\_mult$  hasta lograr la convergencia requerida. Este mismo procedimiento se replica para el flujo peatonal, realizando iteraciones sobre los valores de  $Tau$ , que regula la dirección del desplazamiento, y  $Lambda$ , que define el grado de influencia de los agentes externos sobre el movimiento del peatón.

Figura 21. Procedimiento para calibración/validación en Vissim



Nota. Elaboración propia.

Figura 22. Prueba no paramétrica de hipótesis nula de diferencia de medias



Nota. Elaboración propia.

### 3.3.3 Validación

La validación del modelo se realiza con la finalidad de verificar que el modelo, con los parámetros calibrados  $ax$ ,  $bx\_add$ ,  $bx\_mult$  y brecha crítica, represente con cierto grado de aceptación un escenario construido con un nuevo juego de datos de flujos vehiculares y peatonales, distintos a los usados en la etapa de calibración. Estos nuevos datos se caracterizan por ser tomados en un día y hora diferente al usado en el modelo original. Los valores registrados en campo del parámetro que se está evaluando, se comparan siguiendo los mismos procedimientos estadísticos que la calibración. Si la diferencia de medias no pertenece al rango de aceptación, los parámetros elegidos en la etapa de calibración no son los correctos y el modelo se tiene que “calibrar y validar” nuevamente. Finalmente, se comprueba que el número de simulaciones ejecutadas supere el mínimo requerido, garantizando así la consistencia de los resultados. Una vez cumplido este requisito, se puede afirmar que el modelo reproduce con fiabilidad la realidad observada, lo que permite desarrollar con seguridad el análisis posterior y plantear las alternativas de mejora para el área de estudio.

### 3.4 Desarrollo de propuestas de mejora y microsimulación del escenario propuesto

Esta etapa consistirá en plantear soluciones para mejorar el funcionamiento de la zona de estudio. Estas propuestas tendrán en consideración a las necesidades de los distintos usuarios y buscarán mejorar las condiciones de accesibilidad, seguridad vial y la movilidad para todos los usuarios. Además, se buscará implementar ciclovías que una a las demás zonas. Para ello, se tendrá en cuenta a los siguientes guías y manuales:

- Global Street Design Guide (National Association of City Transportation Officials & Global Designing Cities Initiative, 2016)
- Manual de Accesibilidad Universal (Boudeguer et al., 2010)
- Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2024)
- Manual de Señalización de Tránsito (Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito, 2012)

Luego de obtener todas las mejoras, se realizará el modelamiento de la situación actual con la implementación de las medidas de mejora, utilizando los softwares PTV Vissim y PTV Viswalk.

### **3.5 Evaluación del comportamiento de los modelos**

La valoración de los modelos, tanto del estado actual como del escenario con mejoras propuestas, se llevará a cabo mediante la aplicación del método EEPI, una herramienta diseñada para analizar entornos de proximidad inclusivos a partir de indicadores cualitativos y cuantitativos ajustados a las necesidades de las personas con limitaciones de movilidad o dependencia funcional (Cabrera & Cebollada, 2021). Por un lado, la evaluación cuantitativa se basará en el contraste de los indicadores de desempeño obtenidos en ambas condiciones: la situación existente y la que incorpora las medidas de optimización. En el presente estudio, los parámetros de referencia serán la longitud promedio de las colas vehiculares, los tiempos de recorrido y las velocidades medias. Es importante señalar que los datos del escenario real provienen de observaciones de campo, mientras que los del modelo simulado se obtienen a partir de la ejecución del modelo previamente calibrado y validado. Por otro lado, la evaluación cualitativa se centra en comparar la situación actual con la situación que tiene implementada las medidas de mejora desde un enfoque de mejora a las condiciones de seguridad vial y accesibilidad para los usuarios más vulnerables de la vía como los peatones y ciclistas. En este caso, se verificará que las modificaciones propuestas cumplan con las normas y lineamientos técnicos vigentes que priorizan la movilidad segura e inclusiva de dichos grupos.

### **3.6 Implementación de medidas de mejora**

Para la implementación de las medidas de mejora se debe tener en consideración que si estas propuestas planteadas no generan cambios positivos o empeoran los problemas que se presentaron en la intersección analizada, se deberá realizar un ajuste de estas u optar por la implementación de otras soluciones más factibles y eficientes. Lo que se busca es que si se hayan cambios significativos para la circulación de los peatones, ciclistas y vehículos motorizados. Finalmente, con la verificación del funcionamiento de las propuestas de mejora geométricas y de gestión del tránsito, se procede a elaborar los planos finales de la intersección, junto con la definición y distribución de los tiempos correspondientes a los ciclos semafóricos.

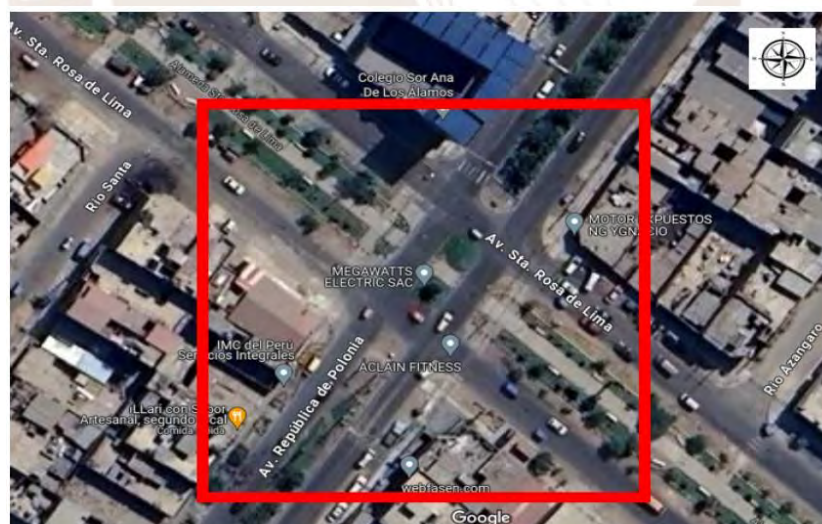
## CAPÍTULO 4: INSPECCIÓN, RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

### 4.1 Observación del área de estudio

La zona analizada corresponde a la intersección de las avenidas República de Polonia y Santa Rosa de Lima, ubicada en el distrito de San Juan de Lurigancho, Lima, Perú. Esta intersección se encuentra aproximadamente a 350 metros de la avenida Próceres de la Independencia, y a 650 metros de la avenida Canto Grande, ambas consideradas avenidas principales de alto flujo vehicular dentro de este distrito. En los alrededores del cruce se localizan diversos establecimientos, entre ellos centros educativos como el colegio Sor Ana de los Álamos, además de locales comerciales, hoteles, centros médicos y talleres mecánicos. Además, en las proximidades se encuentra la estación Santa Rosa de Lima de la Línea 1 del Metro, situada sobre la avenida Próceres de la Independencia. La presencia conjunta de estos servicios y actividades produce un aumento en el movimiento de peatones y vehículos dentro del sector en diversos momentos del día, especialmente durante las horas punta, que coinciden con los horarios escolares, comerciales y laborales. En la Figura 23 se observa el área de estudio para la evaluación de tránsito vehicular y peatonal.

**Figura 23.**

*Intersección de las avenidas República de Polonia y Santa Rosa de Lima, San Juan de Lurigancho, Lima*



*Nota.* Adaptado de Google Maps.

#### 4.1.1 Observación de la infraestructura vial

La intersección está conformada por avenidas que tienen 2 carriles para cada sentido de circulación vehicular y cuyo radio de giro es relativamente amplio en cada esquina. Esto permite a los vehículos menores y mayores dar giros a la derecha con relativa facilidad,

aunque estos últimos ocasionalmente invaden el otro carril. Respecto al pavimento de estos carriles, se observan grietas en su estructura, no se encuentran del todo alineadas en su acceso a la intersección y es notorio que los anchos de carril son de dimensiones variadas amplias para cada acceso vehicular. También, cada avenida cuenta con aceras laterales de bajo peralte, desalineadas, invadidas por postes de alumbrado público y con pequeñas grietas en su estructura. Además, este cruce presenta una isla de refugio peatonal con ciertos daños en sus bolardos y en algunos sardineles que la limitan. Es importante señalar que esta isla es utilizada por los peatones y ciclistas que transitan por la senda peatonal de la mediana que hay en la avenida Santa Rosa de Lima.

Otro elemento importante son las medianas, las cuales presentan ciertos problemas en su estructura, pero se encuentran en un estado aceptable, aunque algunos bolardos han sido destruidos, producto de los choques de los vehículos con estos elementos. Para el caso de la avenida Santa Rosa de Lima, la mediana se encuentra cercada con rejas hasta la altura del espaciamiento de cruce peatonal. Este elemento está compuesto por áreas verdes en las partes laterales, bancas para descanso, juegos infantiles de recreación y una amplia vía central por donde transitan los peatones y ciclistas. Además, esta mediana se encuentra protegida por pequeños arbustos plantados en los exteriores de las rejas. La situación es distinta para la mediana de la avenida República de Polonia, ya que el acceso sur - norte no se encuentra cercada; en cambio, el acceso norte - sur está parcialmente cercada con rejas hasta la altura del cruce peatonal, y en ambos casos las medianas están cubiertas por áreas verdes arborizadas en estado medio.

#### **4.1.2 Observación de las condiciones de accesibilidad**

Respecto al nivel de accesibilidad de la intersección, puede apreciarse que las aceras cuentan con una serie de rampas peatonales ubicadas en lugares inadecuados, con severos daños en su estructura y dimensiones reducidas. Estas condiciones exponen a los usuarios vulnerables como las personas con discapacidad a sufrir complicaciones o posibles accidentes en su desplazamiento por estos lugares. Además, se observa la ausencia de paraderos para la carga y descarga de pasajeros de los vehículos de transporte público, quienes se ven obligados a realizar estas actividades en lugares informales, exponiéndose de manera crítica a los usuarios. También, se evidencia la falta de infraestructura exclusiva para ciclistas, quienes se ven obligados a compartir carril con los peatones y vehículos motorizados.

### **4.1.3 Observación de las condiciones de seguridad vial**

Sobre las condiciones de seguridad vial en la intersección, se observan problemas tales como la ausencia de semaforización, señalización horizontal y vertical, e iluminación deficiente. Por un lado, la falta de la semaforización implica muchas complicaciones a los usuarios vulnerables en tiempo y seguridad, ya que los vehículos motorizados difícilmente brindan preferencia de paso a los peatones y ciclistas. Esta situación obliga a los peatones a esperar varios minutos para cruzar la pista o en algunos casos la desesperación los lleva a cruzar intempestivamente, exponiéndose a posibles accidentes como caídas y atropellos. Esta situación se agrava en las noches; puesto que, la iluminación del alumbrado público es deficiente y dificulta la visión de los peatones y conductores.

Por otro lado, se observa claramente la ausencia de señalización horizontal, pues no existen líneas delimitadoras de carril, líneas delimitadoras de estacionamiento, cruceros peatonales, flechas direccionales e indicadores de zona escolar. También, se nota la ausencia de señalización vertical, pues no se muestra ninguna señal que regule la velocidad, advierta la cercanía de un centro educativo o que brinde alguna otra información. Esto genera muchas complicaciones para los usuarios; puesto que, los vehículos invaden carriles, no dejan espacios para que los peatones crucen, se estacionan en cualquier lugar y exceden la velocidad en esta zona que tiene muy cerca al colegio. Además, al no existir cruceros peatonales las personas suelen cruzar por donde les parezca más fácil llegar al otro lado de la pista y se exponen a accidentes.

### **4.1.4 Observación de la composición vehicular y peatonal**

Se observó que la composición vehicular que usualmente se presenta en la zona está compuesta en mayor medida por automóviles, minivanes, mototaxis y motocicletas. También, se evidencia la presencia de buses, camiones y bicicletas en menor medida. Respecto a la composición peatonal, por la zona suelen transitar usualmente niños y adultos, y en menor cantidad ancianos y personas con discapacidad. Además, ocasionalmente se observa a heladeros y personas con carretas transitando por la mediana de la avenida Santa Rosa de Lima.

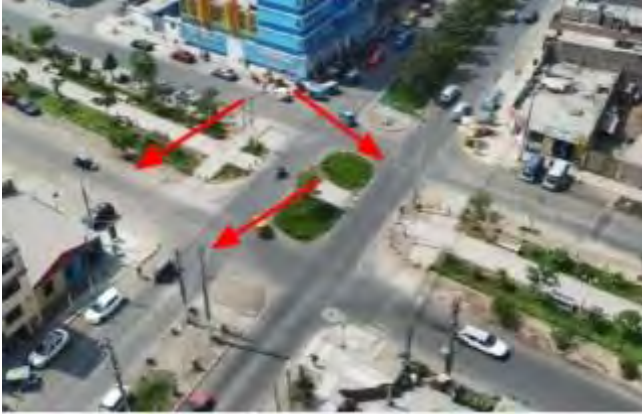

## **4.2 Inspección de seguridad vial en el área de estudio**

La inspección de seguridad vial se realizó el día 18 de marzo del 2024 a las 16:00 horas en el área de estudio. Para este proceso se empleó la lista de chequeo elaborada, donde

se evaluaron los siguientes aspectos de la intersección: Diseño geométrico, superficie de rodadura, señalización horizontal y vertical, semaforización, mobiliario vial, gestión del tránsito y usuarios vulnerables. En el Anexo A se presenta la lista de chequeo aplicada, mientras que en la Tabla 4 se detallan, con respaldo fotográfico, los principales problemas identificados en el área de estudio.

**Tabla 4.**

*Descripción y evidencia fotográfica de los hallazgos en la inspección de seguridad vial*

ASPECTOS DE ANÁLISIS	
EVIDENCIA FOTOGRÁFICA	DESCRIPCIÓN DEL HALLAZGO
<b>DISEÑO GEOMÉTRICO</b>	
<b>1. Carriles con mala geometría</b>	
	<p>Los carriles de los accesos presentan dimensiones variadas de sus anchos que oscilan entre entre 3,15 m y 3,65 m. Este rango de dimensiones incumple en parte lo que señala la Guía Global de Diseño de Calles, la cual sugiere anchos de carril entre 3,00 y 3,30 m para los vehículos que circulan por estas vías.</p>
<b>2. Diseño inadecuado de martillos</b>	
	<p>Las dimensiones de los radios de giro para los martillos son irregulares para cada esquina. En (a) se observa un radio más abierto (6,00m) y eso implica mayor facilidad de giro para los vehículos menores; mientras que, en (b) los radios de giro son reducidos (2,80m) y los vehículos grandes invaden el otro carril, ocasionalmente. La Guía Global de Diseño de Calles (2016), sugiere radios de giro de 1,50 m y ocasionalmente de 3,00 a 5,00 m</p>
(a)	(b)
<b>SUPERFICIE DE RODADURA</b>	
<b>3. Pavimentación en mal estado</b>	



Los carriles de acceso a la intersección presentan daños en su estructura. Para el caso de la avenida Santa Rosa Lima, ambos accesos presentan fuertes grietas que impiden que los vehículos puedan transitar fluidamente. Para el caso de la avenida República de Polonia se observan pequeñas grietas que pueden ser tratadas y que no generan tanta complicación.

## SEÑALIZACIÓN

### 4. Señalización horizontal deteriorada y faltante



Los carriles de acceso carecen de señalización horizontal y en 2 de ellos se evidencia de forma borrosa la existencia de cruces peatonales. El pavimento no presenta demarcación de carriles, demarcación de estacionamientos, flechas direccionales y tampoco muestra la línea de zona escolar. Sobre los reductores de velocidad existentes, estos se encuentran sin pintar y son difícilmente reconocibles.

### 5. Ausencia de señalización vertical



La intersección no presenta señales verticales de regulación, advertencia o información. Solo muestra una señal informativa donde se señala el nombre de las avenidas de la intersección. La ausencia de estas señales es un problema, aún más en una zona cercana a un centro educativo, donde claramente debe primar la presencia de este tipo de señalización.

## SEMAFORIZACIÓN

### 6. Ausencia de semaforización



La intersección carece de semaforización, lo que ocasiona la formación de congestión vehicular, ya que tanto los conductores como los peatones intentan atravesarla simultáneamente. Esta situación compleja expone a los usuarios vulnerables a accidentes y demoras, ya que los vehículos raras veces deciden brindar preferencia de paso a los peatones.

## MOBILIARIO VIAL

### 7. Deficiencias en la iluminación



Solo hay dos postes de iluminación pública en la parte central, el resto están ubicados en lugares inadecuados y el alumbrado naranja no es del todo claro por las noches. Esta es una complicación que se presenta especialmente para los conductores, las personas con baja visión y para los adultos mayores que desean desplazarse por la zona.

### 8. Ausencia de vallas peatonales



Se evidencia la ausencia de vallas peatonales que ayudan a restringir y ordenar el movimiento de los estudiantes y padres de familia que transitan por las aceras en la hora de salida del colegio. Esta deficiencia expone a los usuarios a sufrir accidentes, ya que suelen pararse en la pista y muchos vehículos pasan intempestivamente o se estacionan indebidamente para recoger pasajeros.

### 9. Diseños inadecuados de aceras y extensiones de aceras



Se observó que las aceras peatonales presentan peraltes cortos que fácilmente pueden ser sobrepasados por los vehículos motorizados en caso de despistes. Además, estas aceras presentan pequeñas grietas en su estructura y en algunos casos están invadidas por postes de alumbrado público. También, se nota la ausencia de extensiones de aceras en la parte del colegio que es una zona de tránsito de padres de familia y estudiantes.

## GESTIÓN DEL TRÁNSITO

### 10. Ausencia de cruces peatonales



La intersección no cuenta con cruces peatonales en ningún acceso. Se notan pequeños rasgos de cruces existentes anteriormente pero están casi desaparecidos. Esto conlleva a que los vehículos no respeten el espacio por donde deberían cruzar la pista los peatones y los obliga a cruzar por donde les parezca más fácil llegar al otro extremo de la pista.

### 11. Medianas en mal estado



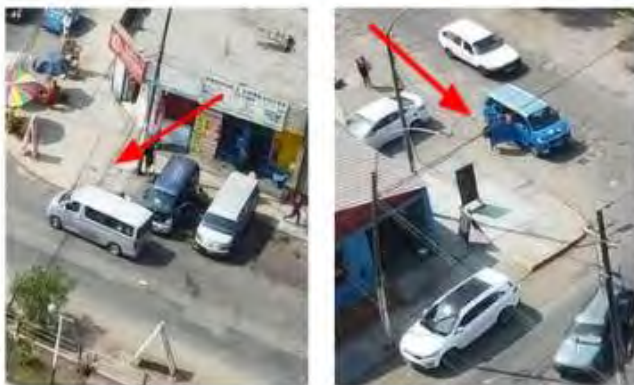
Los sardineles de las medianas se encuentran deteriorados, los bolardos están destruidos y los espaciamientos de cruce se encuentran con pequeñas grietas. Además, se nota que en algunos casos los espaciamientos de cruce no cumplen con las dimensiones que sugiere la Guía Global de Diseño de Calles(2016) , la cual es mínimamente 3m.

### 12. Islas peatonales en mal estado



Las islas peatonales tienen los sardineles deteriorados y los bolardos destruidos. Este espacio facilita el cruce de peatones y ciclistas que transitan por la mediana de la avenida Santa Rosa de Lima. Respecto a sus dimensiones, si cumplen con la Guía Global de Diseño de Calles (2016) que sugiere que tengan como mínimo de 10 a 12m de largo, 1,8-2,4 m de profundidad y 3m de espaciamiento.

### 13. Ausencia de paraderos



Se evidencia la existencia de paraderos informales donde los vehículos motorizados que usualmente hacen transporte público se estacionan para poder subir o bajar a sus pasajeros.

### 14. Estacionamientos en mal estado



Se evidencia que los estacionamientos están en mal estado, sin señalización y varios de estos no son utilizados adecuadamente por los conductores. Acerca de sus dimensiones, estos si cumplen con los 2,50 m que exige la Guía Global de Diseño de Calles.

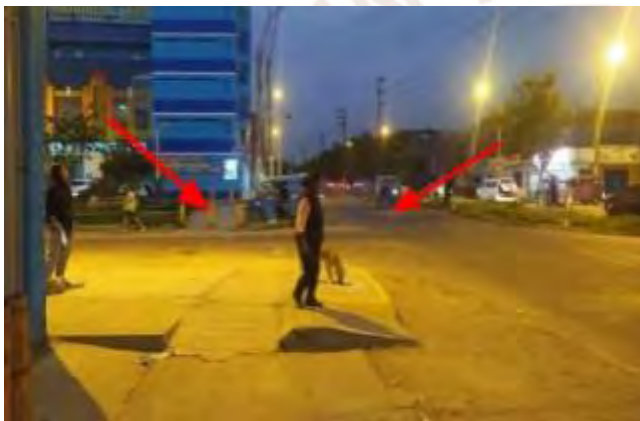
## USUARIOS VULNERABLES

### 15. Ausencia de ciclovías



Se presenta un conflicto entre los ciclistas, peatones y vehículos motorizados. Esto se debe a que no existe una ciclovía y por ello los ciclistas se ven obligados a transitar por las aceras y por la mediana, invadiendo el espacio de tránsito peatonal. En muchos casos, los ciclistas se exponen demasiado y transitan por la misma vía que los vehículos motorizados.

#### 16. Diseño inadecuado de rampas peatonales



Se evidencian rampas peatonales con daños en su estructura, dimensiones mínimas en su anchos y ubicadas incorrectamente. Algunas de ellas presentan pendientes elevadas que llegan hasta el 18% y no presentan soportes laterales adecuados.

*Nota.* Elaboración propia.

### 4.3 Grabación del área de estudio

La grabación del comportamiento vehicular y peatonal en la intersección de las avenidas República de Polonia y Santa Rosa de Lima se realizó con apoyo de un dron. Las filmaciones se desarrollaron en dos días distintos en un horario donde se muestra el período de mayor congestión vehicular como el de menor afluencia en la intersección. El registro para la calibración se llevó a cabo el día 19 de marzo del 2024 entre las 18:00 y 19:00 horas; mientras que, la validación se realizó el día 22 de marzo del 2024 entre las 13:45 y 14:45 horas.

### 4.4 Procesamiento de datos en campo

#### 4.4.1 Geometría de la intersección

Las dimensiones de los elementos que componen la intersección se obtuvieron con

apoyo elemental de una cinta métrica y un esbozo del plano. En las dimensiones finales obtenidas se observó que los carriles, radios de giro de los martillos, las veredas, rampas peatonales y medianas tienen dimensiones variadas en cada acceso, tal como se muestra en la Tabla 5. Después de haber realizado la toma de estos datos en campo se realizó un plano en AutoCAD, donde se muestra con mayor detalle las dimensiones de cada componente de la intersección, para ello ver el Anexo R (Figura R1).

**Tabla 5.**

*Dimensiones de los elementos que componen la intersección*

Elemento	Dimensiones					¿Cumple con condiciones de la Guía Global de Diseño de Calles?
	longitud (m)	ancho (m)	largo (m)	Espaciamiento (m)	Pendiente (%)	
Carriles	-	3,15 - 3,65	-	-	-	Cumple parcialmente (hay observaciones)
Estacionamientos	-	2,15 - 3,50	-	-	-	Cumple parcialmente (hay observaciones)
Cruceros peatonales	-	-	-	-	-	No cumple (no existen)
Veredas	-	1,88 - 3,55	-	-	-	Cumple parcialmente (pero hay observaciones)
Rampas peatonales	-	0.80 - 1.40	-	-	3 - 18	No cumple
Medianas	-	6.00 - 10.55	-	1.70 - 3.45	-	Cumple parcialmente (hay observaciones)
Islas peatonales	-	7.10	17.45	3.45	-	Si cumple
Radios de giro	2,80 - 6,51	-	-	-	-	Cumple parcialmente (hay observaciones)

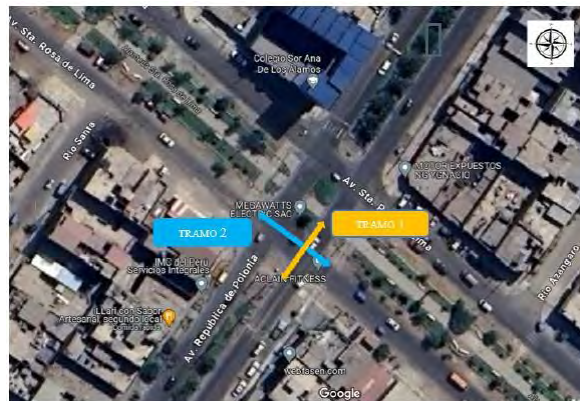
*Nota.* Elaboración propia.

#### 4.4.2 Tiempos de viaje vehicular

Los tiempos de viaje vehicular se registraron en un tramo de cada avenida que compone la intersección. En este proceso se tomó en consideración los accesos que presentan mayor flujo vehicular en ambas avenidas. En el caso de la avenida República de Polonia se eligió el tramo 1 de 18,00 metros del acceso sur - norte; mientras que, para la avenida Santa Rosa de Lima se eligió el tramo 2 de 26,30 metros del acceso oeste - este, tal como se muestra en la Figura 24. Para la evaluación, se obtuvieron 30 muestras de tiempos de viaje vehicular para cada tramo. Esta cantidad de valores se obtuvo mediante la verificación del número mínimo de muestras representativas, para el cual se utilizó un  $t_{\alpha/2} = 2.0452$ . En el Anexo B se muestran los tiempos de viaje para cada tramo, tanto para la validación como para la calibración.

**Figura 24.**

*Tramos de evaluación de tiempo de viaje vehicular*



Nota. *Elaboración propia.*

#### 4.4.3 Tiempos de viaje peatonal

Los tiempos de viaje peatonal se registraron en un cruceo peatonal de cada avenida que compone la intersección. Para este proceso se tomó en consideración a los cruceos que presentan mayor flujo peatonal en ambas avenidas. En el caso de la avenida República de Polonia se eligió el cruceo peatonal 1 cuya longitud es 7,00 metros; mientras que, para la avenida Santa Rosa de Lima se eligió el cruceo 2 cuya longitud es 7,30 metros, tal como se muestra en la Figura 25. Para la evaluación, se obtuvieron 30 valores de tiempos de viaje peatonal para cada tramo. Esta cantidad de valores se obtuvo mediante la verificación del número mínimo de muestras representativas, para el cual se utilizó un  $\phi_{w2} = 2.0452$ . En el Anexo C, se muestran los tiempos de viaje peatonal para cada tramo, tanto para la calibración como para la validación del modelo.

**Figura 25.**

*Tramos de evaluación de tiempo de viaje vehicular*







Nota. *Elaboración propia.*

#### 4.4.4 Tiempos de parada de vehículos

El tiempo de parada de los vehículos de transporte público es aquel tiempo que demoran las mototaxis, autos y minivanes para el embarque y desembarque de pasajeros en los paraderos. En el área analizada se observaron 2 paraderos informales, ambos en la avenida Santa Rosa de Lima. Para el estudio se determinaron 25 tiempos para cada paradero. A continuación, en la Tabla 6 se muestran las curvas de distribución de tiempos de parada para cada paradero.

**Tabla 6.**

*Gráfico de percentiles de tiempo de parada para los paraderos 1 y 2*

PARADERO	TIEMPO DE ESPERA
Paradero 1: Av. Santa Rosa de Lima E-O 	
Paradero 1: Av. Santa Rosa de Lima O-E 	

*Nota.* Elaboración propia.

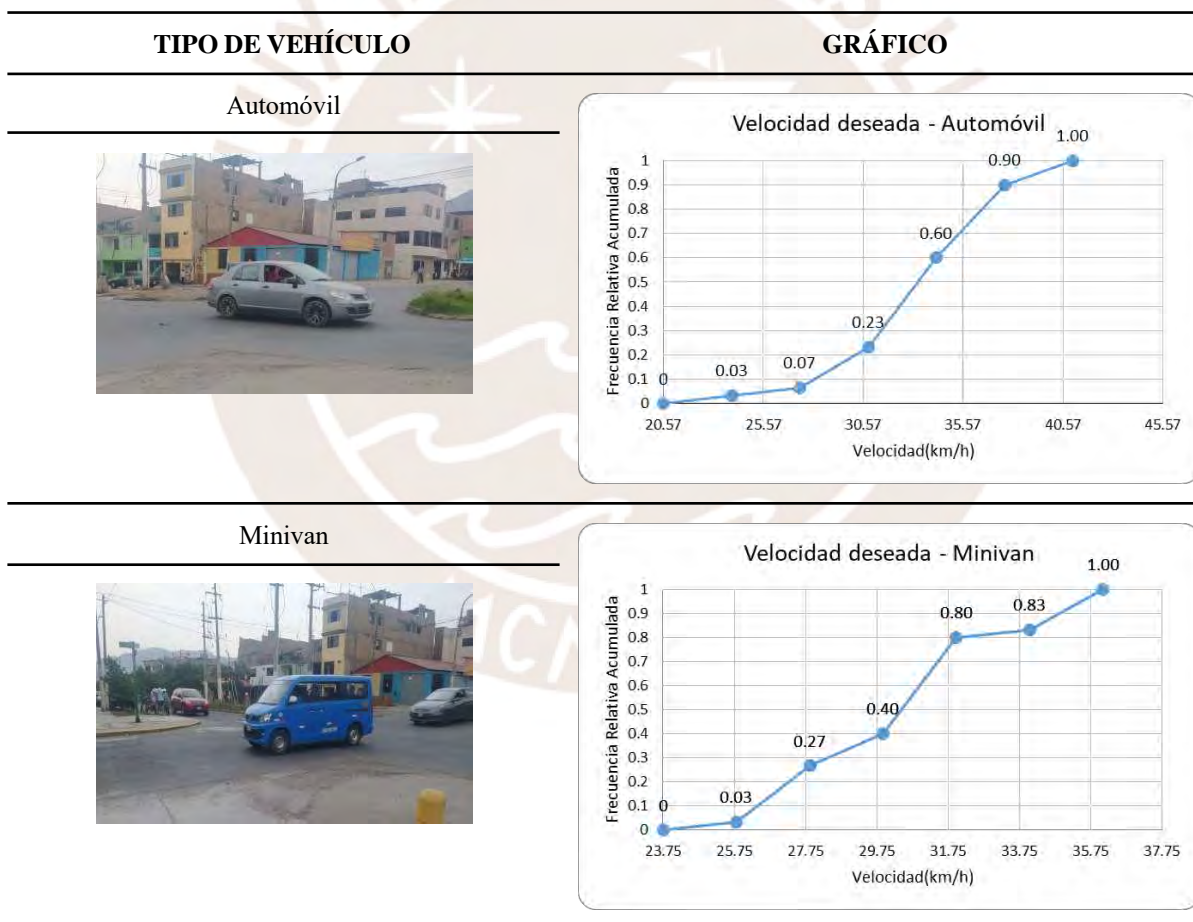
Ver el Anexo D para más detalle de los tiempos de parada obtenidos para toda la muestra.

#### 4.4.5 Velocidad vehicular deseada

Esta velocidad se obtiene a partir de los vehículos que se desplazan en condiciones de flujo libre. Su determinación se realizó calculando el cociente entre una distancia establecida y el tiempo empleado por el vehículo en recorrerla. Para este estudio se calcularon las velocidades deseadas del automóvil, minivan, mototaxi y motocicleta; mientras que, para el bus, camión y bicicleta se tomaron las velocidades preestablecidas que muestra el software PTV Vissim. En el análisis se consideraron 30 medidas para cada tipo de vehículo y una distancia de 30 metros de recorrido para los automóviles, mototaxis y motocicletas; mientras que, las minivans se evaluaron en un tramo de 39 metros. En la Tabla 7 se muestran las curvas de distribución de velocidades deseadas para los vehículos presentes en el análisis.

**Tabla 7.**

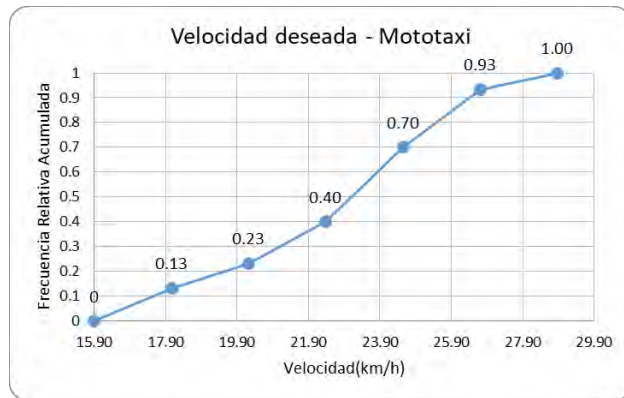
*Gráfico de percentiles de velocidades deseadas para el automóvil, minivanes, mototaxi y motocicleta*



---

**Mototaxi**

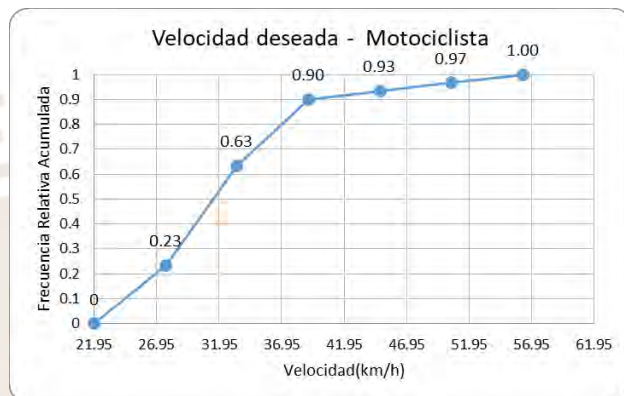

---




---

**Motocicleta**


---



*Nota.* Elaboración propia.

Para más detalles sobre las velocidades vehiculares deseadas de todos los vehículos que forman parte del flujo analizado, ver el Anexo E.

#### 4.4.6 Velocidad peatonal deseada

Esta velocidad es aquella que se obtiene cuando el peatón se desplaza a flujo libre. La determinación de esta velocidad se obtuvo dividiendo una distancia determinada entre el tiempo que le toma recorrer dicha distancia al peatón analizado. Para este estudio se determinaron las velocidades deseadas de los adultos y niños; mientras que, para las personas con discapacidad se tomó la velocidad predeterminada que muestra el software PTV Vissim. En el análisis se consideraron 30 medidas de tiempo para los peatones. En la Tabla 8 se muestran las curvas de distribución de velocidades deseadas para los niños y adultos.

**Tabla 8.**

*Gráfico de percentiles de velocidades deseadas para los peatones*

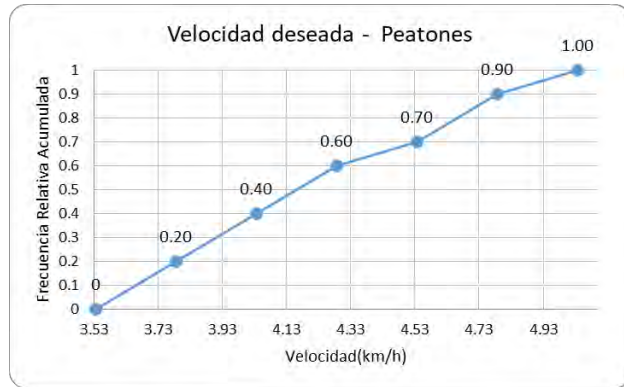
---

**PEATONES**


---

**GRÁFICO**


---



Nota. Elaboración propia.

Para más detalles sobre las velocidades peatonales deseadas de todos los peatones que forman parte del flujo analizado, ver el Anexo F.

#### 4.4.7 Velocidad de giro vehicular

La determinación de la velocidad de giro vehicular se obtiene dividiendo una distancia determinada, que incluye orientación de giro, entre el tiempo que le toma recorrer dicha distancia a los vehículos analizados. Para este estudio se determinaron las velocidades de 2 orientaciones de giro y se consideraron 30 medidas para cada orientación. En la Tabla 9 se muestran las curvas de distribución de velocidades de giro evaluadas para cada orientación.

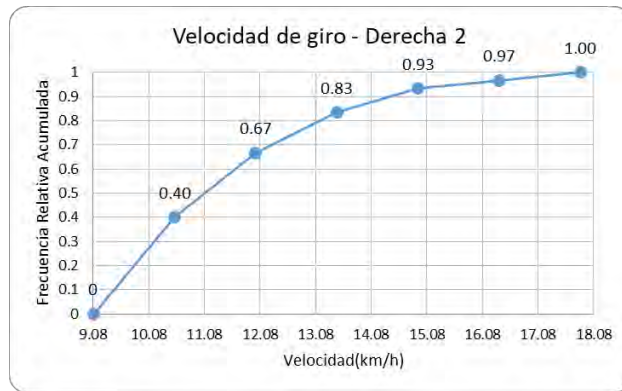
**Tabla 9.**

Gráfico de percentiles de velocidades de giro para las orientaciones 1 y 2

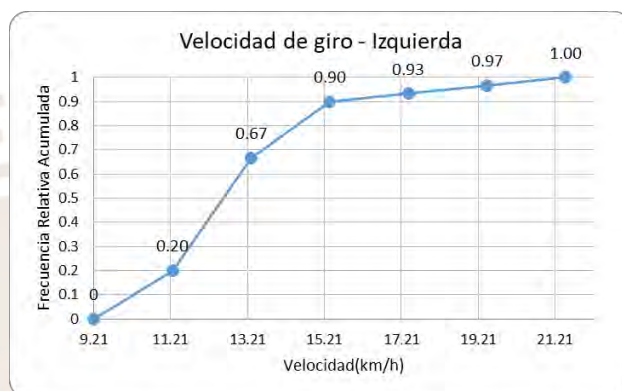
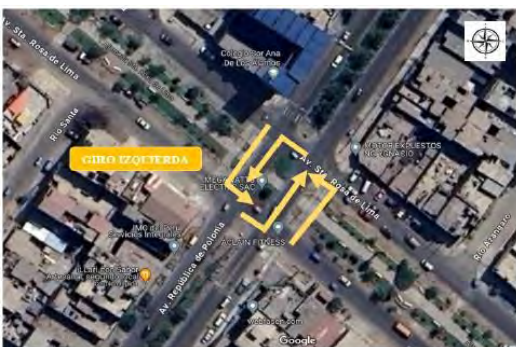
TIPO DE GIRO	GRÁFICO																
Giro a la derecha 1	<table border="1"> <caption>Velocidad de giro - Derecha 1</caption> <thead> <tr> <th>Velocidad(km/h)</th> <th>Frecuencia Relativa Acumulada</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>8.51</td><td>0.00</td></tr> <tr><td>9.51</td><td>0.13</td></tr> <tr><td>10.51</td><td>0.20</td></tr> <tr><td>11.51</td><td>0.40</td></tr> <tr><td>12.51</td><td>0.67</td></tr> <tr><td>13.51</td><td>0.93</td></tr> <tr><td>14.51</td><td>1.00</td></tr> </tbody> </table>	Velocidad(km/h)	Frecuencia Relativa Acumulada	8.51	0.00	9.51	0.13	10.51	0.20	11.51	0.40	12.51	0.67	13.51	0.93	14.51	1.00
Velocidad(km/h)	Frecuencia Relativa Acumulada																
8.51	0.00																
9.51	0.13																
10.51	0.20																
11.51	0.40																
12.51	0.67																
13.51	0.93																
14.51	1.00																



### Giro a la derecha 2



### Giro a la izquierda



Nota. Elaboración propia.


Ver el Anexo G para más detalle de las velocidades de giro obtenidas para toda la muestra.

## 4.5 Procesamiento de datos en gabinete

### 4.5.1 Flujos vehiculares

Los flujos vehiculares se registraron mediante el conteo de los vehículos que ingresaron por los 4 accesos a la intersección de estudio y se separó en los siguientes movimientos: ingreso recto, giro a la derecha y giro a la izquierda. Para este proceso se consideraron 7 tipos de vehículos tales como autos, minivanes, buses, camiones mototaxis, motocicletas y bicicletas, tal como muestra la Tabla 10. Es importante señalar que este procedimiento se realizó en intervalos de 15 minutos durante la hora que duró la grabación para los procesos de calibración y validación. En las Figuras 26 y 27, se muestra la demanda vehicular para cada movimiento que realizan los vehículos en cada acceso.

**Tabla 10.***Tipos de vehículos*

Automóvil	Minivan
	
Bus	Camión
	
Mototaxi	Motocicleta
	
Bicicleta	
	

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 26.**

*Flujos vehiculares para el proceso de calibración (veh/h)*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 27.**

*Flujos vehiculares para el proceso de validación (veh/h)*



*Nota.* Elaboración propia.

Ver los Anexos H y I para más detalle de los aforos vehiculares para la calibración y validación.

#### 4.5.2 Flujos peatonales

Los flujos peatonales se registraron mediante el conteo de los peatones que ingresan por las 4 esquinas y la mediana a la intersección de estudio. Los peatones considerados fueron niños, adultos, adultos mayores y personas con discapacidad, tal como se muestra en la Tabla 11. En cuanto al aforo, las Figuras 28 y 29 muestran las líneas de movimiento que tienen los peatones al desplazarse en la zona de estudio. Es importante señalar que este procedimiento se realizó en intervalos de 15 minutos durante la hora que duró la grabación

para los procesos de calibración y validación. En las Tablas 12 y 13, se muestra la demanda peatonal para cada movimiento que realizan los peatones en cada acceso.

**Tabla 11.**

*Tipos de peatones*

Adultos	Escolares	Adultos mayores	Personas con discapacidad
			

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 28.**

*Líneas de movimiento de los peatones paralela avenida República de Polonia*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 29.**

*Líneas de movimiento de los peatones paralela a la avenida Santa Rosa de Lima*



*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 12.**

*Flujos peatonales para el proceso de calibración (veh/h)*

RUTA	T1	T2	T3	T4	T5	T6	SUBTOTAL
AV. REPÚBLICA DE POLONIA 1	44	27	9	20	30	46	176
AV. REPÚBLICA DE POLONIA 2	37	45	31	23	33	38	207
AV. SANTA ROSA DE LIMA - EXTREMOS	79	102	80	80			341
AV. SANTA ROSA DE LIMA - CENTRAL	16	173	20	22	129	21	381
<b>TOTAL</b>							<b>1105</b>

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla 13.**

*Flujos peatonales para el proceso de validación (veh/h)*

RUTA	T1	T2	T3	T4	T5	T6	SUBTOTAL
AV. REPÚBLICA DE POLONIA 1	17	42	13	31	80	21	204
AV. REPÚBLICA DE POLONIA 2	18	27	9	14	26	14	108
AV. SANTA ROSA DE LIMA - EXTREMOS	67	111	81	56			315
AV. SANTA ROSA DE LIMA - CENTRAL	11	69	20	23	36	17	176
<b>TOTAL</b>							<b>803</b>

*Nota.* Elaboración propia.

Ver los Anexos J y K para más detalle de los aforos peatonales para la calibración y validación.

## CAPÍTULO 5: MICROSIMULACIÓN ACTUAL EN PTV VISSIM Y VISWALK

### 5.1 Elaboración e inserción de nuevos vehículos a Vissim

Antes de realizar el modelado, se realizó la elaboración e inserción de vehículos nuevos al programa, algunos ya existían en la biblioteca de Vissim (motocicletas, mototaxis y minivanos) y otros (camiones) se tuvieron que elaborar desde su modelo 3D en Sketchup. A continuación se detallará el proceso que se siguió para crear un vehículo atípico con extensión (v3d) compatible para Vissim, desde el modelo 3D que se tiene en Sketchup:

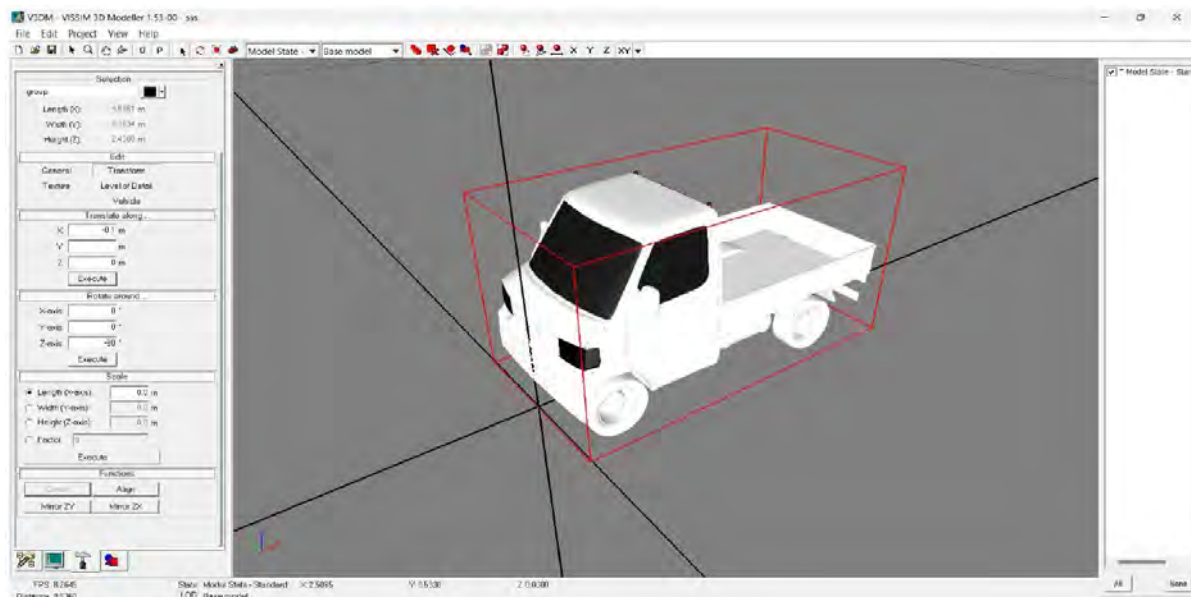
Primero, se buscó el vehículo en Autodesk 3ds Max, luego se descargó e insertó en el programa V3DM. Para esto ya en el programa abierto, se hizo click en *File - New*, se abrió la pestaña *Create new Project* y se procedió a rellenar el *Project name* y *Filename*. Luego, se eligió el tipo de proyecto en *Project type [Vehicle (vehículos) o Static Object (edificaciones, mobiliarios, vegetación)]*. Para este caso se insertó un vehículo.

Segundo, buscamos en el panel de proyectos la carpeta *Model State- Standard*, se hizo click derecho en *Base Model* y se presionó *Add*. En la pestaña que se abrió, se seleccionó el archivo descargado de Autodesk 3ds Max y se insertó el vehículo. Luego, se seleccionaron todas las partes del vehículo con ayuda de la herramienta *Object list*, se presionó *All - Select - Close* y después se agrupó todas las partes del vehículo con ayuda de la opción *Group objects*.

Tercero, se alineó y mandó al origen de coordenadas al vehículo. Para esto se usó la opción *Align objects* y se seleccionó todos los ejes. Es importante que el vehículo después de este proceso quede al centro del eje x y que la parte delantera esté apuntando hacia el eje x negativo. Como en nuestro caso no se cumplió ello, se tuvo que corregir, para eso se hizo click en el ícono *Martillo - Edit - Transform* y haciendo uso de las opciones *Rotate around* y *Translate along* se cumplió con lo requerido. Luego, se buscó la opción *Edit - Vehicle* y en *Vehicle attributes* se eligió *Front axle* y *Rear Axle* para alinear el eje delantero y posterior del vehículo, respectivamente. Después, se guardó el archivo con la extensión (\*.v3d).

**Figura 30.**

*Vehículo 3D elaborado en Autodesk 3ds Max y transformado a un archivo con extensión (\*.v3d)*



*Nota.* Elaboración propia.

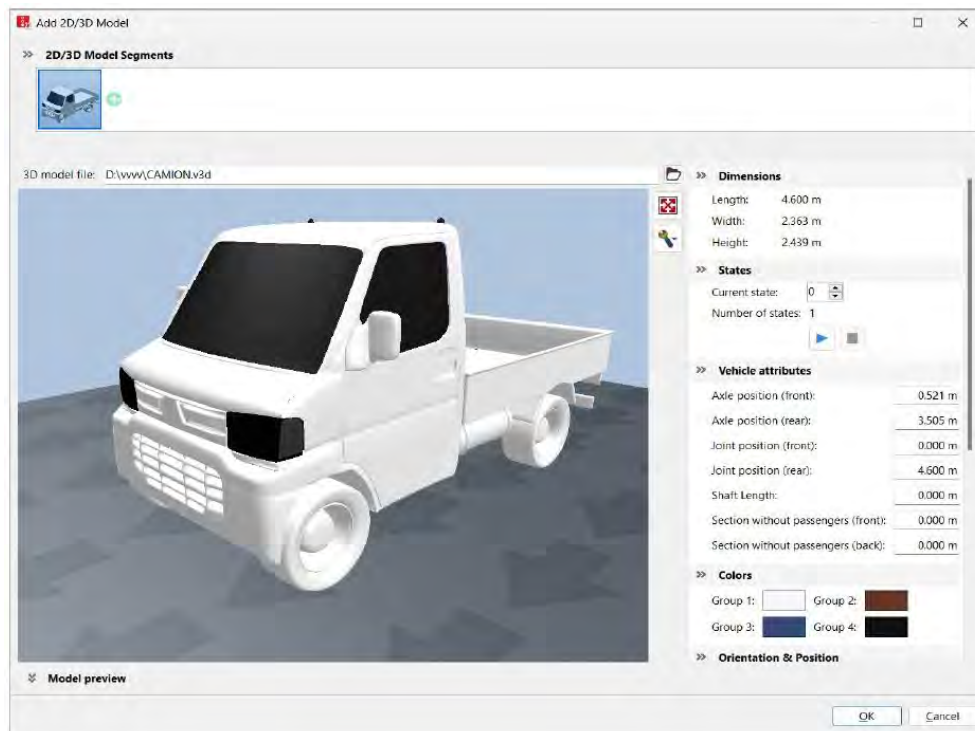
Cuarto, ya en el programa Vissim se abrió *Base Data* y se buscó la opción *2D/3D Models*. En esa ventana, se hizo click en el ícono verde “+” y automáticamente se abrió una nueva pestaña. En ella, se buscó el archivo que se creó anteriormente en el programa V3DM, se abrió y se le asignó un nombre al modelo añadido. Luego, se ingresó a *Base Data - Distributions 2D/3D models*, y en la pestaña abierta se hizo click en el ícono verde “+” para agregar el modelo. En la ventana izquierda se puso un nombre al modelo y en la pestaña derecha se añadió el modelo agregado en el paso anterior.

Quinto, se abrió *Base Data - Vehicle Types* y en la pestaña abierta se hizo click en el ícono verde “+” para agregar el tipo de vehículo. Automáticamente, se abrió una pestaña nueva, ahí se puso un nombre al modelo (*Name*), la categoría que más se asemeja al modelo (*Category*) y el modelo del vehículo (*Vehicle Model*). Finalmente, se abrió *Base Data - Vehicle Classes* y en la pestaña abierta se hizo click en el ícono verde “+” para agregar el tipo de vehículo que creamos y guardamos.

Los 5 pasos se siguieron para insertar el tipo de camión; mientras que para insertar la mototaxi, motocicleta y minivan solo se siguieron los pasos 4 y 5. Los demás vehículos como el automóvil, bus y bicicleta el programa ya los traía por defecto.

**Figura 31.**

Vehículo con extensión (\*.v3d) agregado al programa Vissim



Nota. Elaboración propia.

## 5.2 Elaboración del modelo

En el capítulo anterior se recopilaban todos los datos necesarios para la elaboración del modelo tales como volúmenes de tránsito vehicular y peatonal, dimensiones geométricas, velocidades deseadas, velocidades de giro y tiempos de espera. Con esta información, sumada al conocimiento de la dinámica del tránsito vehicular y peatonal en el área de estudio, se procedió a desarrollar el modelo de la intersección en el software PTV Vissim y Viswalk. Para realizar este modelado se siguieron los siguientes pasos:

Primero, en *Network Objects*; específicamente, en la paleta de herramientas de Vissim, se buscó la herramienta *Background Images* y se insertó una imagen que representa la geometría de la intersección de estudio. Luego, se escaló esa fotografía para tener una base más exacta sobre dónde ubicar y dibujar los *Links*.

Segundo, con ayuda de la herramienta *Links*, se dibujó las vías principales y secundarias de la intersección, de acuerdo a las dimensiones obtenidas y el número de carriles existentes. Además, se dibujaron conectores para unir una vía con la otra en

una esquina. Esto se realizó de acuerdo al comportamiento vehicular y el sentido de circulación que tomaban los vehículos en la zona de estudio. Es importante señalar que a todas las vías y conectores dibujados se le activó la opción *Urban (motorized)* que muestra la entrada *Link behavior Type*.

Tercero, con apoyo de la herramienta *Vehicle Inputs* se introdujeron la cantidad total de vehículos que ingresan a la intersección por cada acceso. Luego, se buscó a *Traffic* y desde *Vehicle Compositions* se introdujo la composición vehicular que tiene cada acceso. Después, desde *Vehicle Routes* se dibujó las rutas vehiculares sobre las vías principales y secundarias para indicar al programa que sentido de circulación seguían los vehículos. Además, se asignaron los porcentajes del total de vehículos que tomaban cada ruta.

Cuarto, en *Network Objects*; específicamente, en la paleta de herramientas de Viswalk, se buscó la herramienta *Areas* para dibujar las veredas y los puntos por donde saldrán los peatones. Luego, con la herramienta *Obstacles* se dibujaron todos los obstáculos presentes en la vías peatonales y vehiculares, tales como postes de alumbrado público, comercio ambulatorio, bancas y demás. Después, con ayuda de la herramienta *Links* se dibujaron los cruceros peatonales, a los cuales a diferencia de las vías vehiculares se le activó en *Link behavior Type*, la opción *Footpath (no interaction)* y en *Pedestrian Area*, la opción *Is Pedestrian Area*.

Quinto, con apoyo de la herramienta *Pedestrian Inputs* se introdujeron la cantidad total de peatones que salen por cada área para pasar por los cruceros peatonales existentes en la intersección. Luego, se buscó a *Traffic* y desde *Pedestrian Compositions* se introdujo la composición peatonal que saldrá por cada área. Después, desde *Pedestrian Routes* se asignaron las rutas peatonales que seguirán los peatones hasta llegar a su destino. Además, se asignaron los porcentajes del total de peatones que tomaban cada ruta.

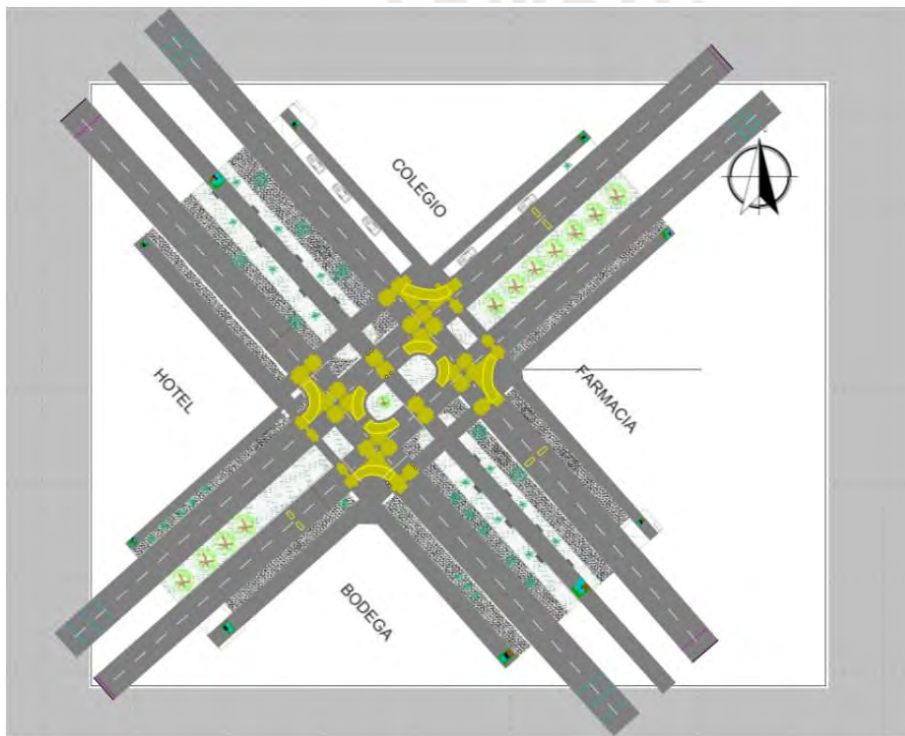
Sexto, se procedió a introducir las velocidades vehiculares y peatonales deseadas, y las velocidades de giro que se presentan en el comportamiento vehicular. Para lograr esto, en *Base Data* se buscó la opción *Distributions* y luego se eligió *Desired Speed* para crear las distribuciones de velocidad necesarias para los peatones, vehículos y

giros a la derecha e izquierda. Luego, con las velocidades ya creadas se les asignó a los peatones y vehículos las velocidades deseadas respectivas.

Séptimo, se crearon y ubicaron los reductores de velocidad para representar a los rompemuelleres y a las zonas de giro a la derecha e izquierda que existen y que necesitan tener velocidades específicas. Para esto, con la opción *Reduced Speed Areas* se creó las áreas donde los vehículos debían reducir la velocidad y luego se les asignó las velocidades creadas en el paso anterior.

**Figura 32.**

*Proceso de modelado de la intersección en Vissim*



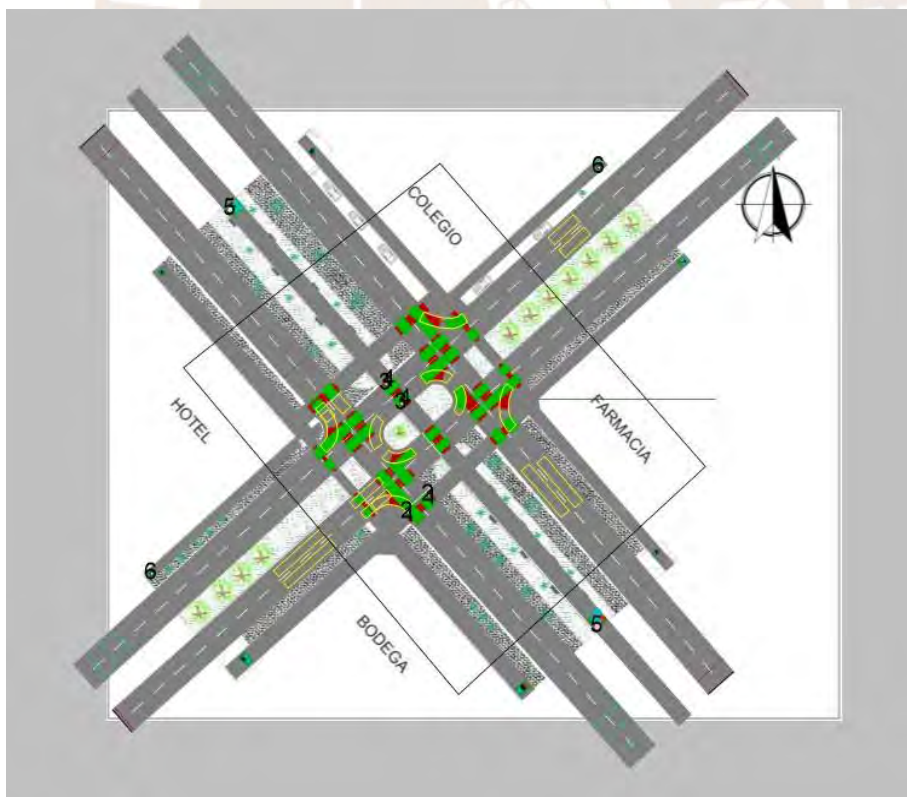
*Nota.* Elaboración propia.

Octavo, se procedió a establecer las reglas de prioridades existentes entre vehículos y entre vehículos y peatones en las zonas de conflicto, con la finalidad de poder representar de manera más exacta y precisa el comportamiento vehicular y peatonal en la intersección. Para ello, se usaron las herramientas *Conflict Areas* y *Priority Rules* de acuerdo a las necesidades.

- La función *Conflict Areas* se aplica en situaciones donde los usuarios de un acceso en conflicto aguardan a que los del otro acceso continúen para seguir con su trayecto. Cuando se activa esta herramienta todas las zonas de conflicto del modelo se somborean de amarillo y a partir de allí se modifican de acuerdo a la prioridad que tiene una decisión sobre la otra. En este contexto, los accesos sombreados de color verde muestra prioridad sobre los accesos sombreados en rojo (Cabrera, 2023).
- La herramienta *Priority Rules* se emplea en situaciones de conflicto donde no es evidente la prioridad de paso y esta depende de qué tan lejos estén los usuarios del área conflictiva. Cuando se utiliza esta herramienta y se hace clic derecho en la vía de análisis por primera vez, surge una línea roja que indica a los usuarios de esa vía que deben detenerse. La línea verde que se ve después del segundo clic derecho es para señalar el área por donde deben pasar los demás usuarios para que aquellos que están esperando puedan seguir moviéndose (Cabrera, 2023).

**Figura 33.**

*Proceso de asignación de reglas de prioridad y áreas de conflictos en el modelo*



*Nota.* Elaboración propia.

Finalmente, se procedió a insertar los elementos 3D con el fin de representar el entorno real de la intersección de estudio. Para esto se usó la herramienta Static 3D Models, la cual mediante un click derecho en el lugar que se busca insertar el elemento, abre una nueva pestaña donde muestra diversas opciones. Ahí se hizo click en *Open directory of default models* y se buscó el elemento que se quería introducir. Algunos elementos no se encontraron en la biblioteca de Vissim, por lo que fue necesario buscar elementos en 3D Warehouse o en Autodesk 3ds Max, para luego transformarlas en elementos V3DM e insertarlas al Vissim. Este proceso se realizó para el renderizado hecho en SketchUp con el fin de mostrar el modelo propuesto.

### **5.3 Asignación de parámetros de eficiencia y parámetros de simulación**

Antes de realizar la calibración del sistema, fue necesario definir previamente parámetros de eficiencia(MOE) que permitieran evaluar la similitud entre el comportamiento del modelo y la realidad. Por ello, se eligió como MOE al tiempo de viaje, tanto para los peatones como para los vehículos. En cuanto a la implementación del MOE, para el caso vehicular se utilizó la herramienta *Vehicle Travel Times*. Para calcular estos tiempos en el modelo, se asignaron sobre las vías las distancias correspondientes a los dos accesos elegidos anteriormente para tomar los tiempos de viaje en campo. Mientras que, para el caso peatonal, primero se tuvo que dibujar con *Areas* dos áreas que estén separadas la distancia que fue considerada para tomar los tiempos de viaje peatonal en campo. Luego, con ayuda de la herramienta *Pedestrian Travel Times* se asignó a dichas áreas los puntos de inicio y fin para tomar los tiempos de viaje.

Figura 34.

Configuración de los parámetros de eficiencia utilizados

Directorio de salida de la evaluación: C:\Users\USUARIO\Downloads\AT\VISSIM-20250707T115534Z-1-001\VISSIM

Gestión de resultados Atributos de Resultados Salida directa

Recolectar datos adicionalmente para estas clases:

Clases de vehículos

- 40: Tram
- 50: Pedestrian
- 60: Bike
- 70: Motobike
- 80: Minivan
- 90: Mototaxi
- 100: Camión

Clases de peatones

- 10: Man, Woman
- 30: Wheelchair User
- 40: Boy, Girl

	Recopilar datos	Tiempo desde	Tiempo hasta	Intervalo	
Aparcamientos	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	
Áreas y rampas	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	
Bordes meso	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	
Celdas de cuadrícula de peatones	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	Más...
Contadores de colas	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	Más...
Decisiones de enrutamiento de aparcamiento	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	
Enlaces	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	Más...
Espacios de aparcamiento	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	
Grupos de aparcamiento	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	
Ingresos de vehículos	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	
Mediciones de área	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	
Nodos	<input checked="" type="checkbox"/>	600	4200	99999	Más...
Pares OD	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	
Recopilaciones de datos	<input checked="" type="checkbox"/>	600	4200	99999	
Rendimiento de red de peatones	<input checked="" type="checkbox"/>	600	4200	99999	
Rendimiento de red de vehículos	<input checked="" type="checkbox"/>	600	4200	99999	
Retrasos	<input type="checkbox"/>	0	99999	99999	
Tiempos de traslado de peatones	<input checked="" type="checkbox"/>	600	4200	99999	
Tiempos de traslado de vehículo	<input checked="" type="checkbox"/>	600	4200	99999	Más...

Aceptar Cancelar

Nota. Elaboración propia.

Seguidamente, se procedió a establecer los parámetros de simulación del sistema. Para ello, se buscó la opción *Simulation - Parameters* y en la ventana que se abrió, se definió un periodo de simulación del sistema (*Period*) igual a 4200 segundos. Este tiempo es el resultado de utilizar un periodo de estabilización (*warm up*) de 600 segundos y un periodo de análisis de una hora, equivalente a 3600 segundos. Luego, se definió el intervalo de actualización (*Simulation resolution*) y la semilla inicial del sistema (*Random seed*), los cuales para este proyecto fueron 0.1 segundos y 35, respectivamente. Después, se colocó el número de corridas del sistema (*Number of runs*) y el incremento de variación de las semillas (*Random seed increment*), necesarias para obtener una similitud en el comportamiento del tráfico del modelo frente a la realidad. En este caso realizamos 15 corridas al sistema y el cambio de semillas fue en una razón de 2. Asimismo, es importante señalar que la velocidad de corrida del sistema fue la máxima con la finalidad de optimizar tiempos.

**Figura 35.**

*Introducción de los parámetros de simulación del sistema*

*Nota.* Elaboración propia.

## 5.4 Calibración del modelo actual

Luego de haber elaborado el modelo en el software y haber definido los parámetros de eficiencia, se llevó a cabo el proceso de calibración del comportamiento tanto vehicular como peatonal. Para ello, se efectuaron diversos ajustes en los parámetros del modelo de Wiedemann 74 —utilizado para el tránsito vehicular— y del modelo de Fuerza Social, correspondiente al flujo peatonal. Esto se realizó con la finalidad de conseguir resultados de parámetros de eficiencia similares a los datos obtenidos en campo, con un nivel de confianza de 95 % y un margen de error aceptado para la media de 5%.

### 5.4.1 Calibración vehicular

Para la realización de este procedimiento se modificaron los parámetros del modelo de Wiedemann74 que brindaba el programa por defecto, los cuales eran  $\alpha_x = 2$ ,  $\alpha_{mult} = 3$ . Este proceso se realizó múltiples veces hasta que el parámetro de

empleado muestre valores parecidos a la realidad. Para este proyecto, con cada trío de valores  $\alpha_{x, \alpha_{add}, \alpha_{mult}}$  que se probó, se hizo correr al modelo por 15 veces. Después de tantos intentos, los valores finales para  $\alpha_{x, \alpha_{add}, \alpha_{mult}}$  fueron 1.2, 1.3, 1,

Para la confirmación de los valores de  $\alpha_{x, \alpha_{add}}$  se realizaron una serie de verificaciones estadísticas con los datos de campo y los datos extraídos de las corridas del sistema. A los tiempos de viaje vehicular extraídos en campo se les sacó la media y desviación estándar y con esos valores, mediante la ecuación (1) se obtuvo el error de tolerancia. Es importante señalar que para los casos en los que el error salió menor al 5%, se consideró mínimamente 5%, por recomendación de la FHWA (2019).

$$e = \frac{t_{n-1, 0.025} \cdot \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{n}}}{\dots} \dots (1)$$

Donde:

$e$  = error de tolerancia

$\bar{x}$  = media de las observaciones

$t_{n-1, 95\%} = t_{0,025}$  con  $n-1$  grados de libertad

$n$  = número de observaciones

$S$  = desviación estándar de las observaciones

Luego, con los datos obtenidos del software se procedió a calcular el número mínimo de corridas del sistema con ayuda de la ecuación (2). Para esto, a los tiempos obtenidos de las 15 corridas se les sacó la media y la desviación estándar. Con estos valores obtenidos, se calculó el número mínimo de corridas ( $N$ ) para cada acceso y se verificó si efectivamente el número de simulaciones que se hizo es mayor al  $N$  obtenido para cada acceso. En la Tabla 14, se muestran los resultados estadísticos que se obtuvieron para verificar si efectivamente el número de corridas del sistema era el adecuado.

$$N \geq \left[ \left( t_{\alpha} \right) * \frac{S}{e^*} \right] \dots (2)$$

Donde:

$e$  = error de tolerancia de las observaciones en campo

$\bar{x}$  = media de las corridas

$t_{\alpha} = t_{0,025}$  con  $n-1$  grados de l

$\alpha = 0.025$ ,  $n-1$  grados de libertad

$N$  = número mínimo de corridas

$S$  = desviación estándar de las corridas

Después, se realizó la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias con un nivel de confianza del 95%, utilizando la herramienta *Statkey*. Para ello, se utilizó la opción *Randomization Test for a Difference in Means*, prueba no paramétrica. Por último, se verificó que la diferencia de medias para los dos accesos evaluados se encuentre dentro del rango de aceptación. En el Anexo L, se puede observar las gráficas de las pruebas de hipótesis nula para los tiempos de viaje vehicular de ambos tramos y se verifica que efectivamente la diferencia de media se encuentra dentro de la zona de aceptación.

Adicionalmente, se evaluó la calibración haciendo uso del Excel, mediante la opción *Fórmulas - Más funciones - Estadísticas - Prueba.T.N.*, los P value resultantes para el tramo 1 y 2 fueron 0.43 y 0.15, respectivamente. Por tanto, el sistema se consideró calibrado, ya que el P value es mayor al 0.05 mínimo que se exige tener en la prueba por esta modalidad.

**Tabla 14.**

*Resultados estadísticos para verificar la calibración vehicular*

	TIEMPO DE VIAJE VEHICULAR - CALIBRACIÓN			
	Tiempo de viaje - Tramo 1		Tiempo de viaje - Tramo 2	
	CAMPO	SISTEMA	CAMPO	SISTEMA
$\bar{x}$	4,77	4,89	7,13	6,77
S	0,55	0,22	0,88	0,54
e	0.043	0,05	0.046	0,05
$t((1-\alpha/2), 95\%)$	2,0452	2,1448	2,0452	2,1448
n mínimo	-	3,82	-	11,72
n muestra	30	15	30	15
Cumple mínimo ?	-	SI	-	SI
$\bar{x}_1 - \bar{x}_2$	-0,12		0,36	
P value	0,43		0,15	

*Nota.* Elaboración propia.

#### 5.4.2 Calibración peatonal

Para este caso se realiza un proceso similar al anterior, en este caso se modificaron los parámetros del modelo de Fuerza Social que brindaba el programa por defecto, los cuales eran  $\alpha = 0.40$  ( $\alpha = 0.40$ ) y  $\beta = 0.176$  ( $\beta = 0.176$ ). Este proceso se realizó múltiples veces hasta que el parámetro de eficiencia empleado muestre valores parecidos a la realidad. Para este proyecto, con cada dúo de valores  $\alpha$  y  $\beta$  que se probó, se hizo correr al modelo por 15 veces. Después de tantos

Para la confirmación de los valores de  $\alpha$  se realizaron una serie de verificaciones estadísticas con los datos de campo y los datos extraídos de las corridas del sistema. A los tiempos de viaje peatonal extraídos en campo se les sacó la media y desviación estándar y con esos valores, mediante la ecuación (1) se obtuvo el error de tolerancia. Es importante señalar que para los casos en los que el error salió menor al 5%, se consideró mínimamente 5%, por recomendación de la FHWA (2019).

Luego, con los datos obtenidos del software se procedió a calcular el número mínimo de corridas del sistema con ayuda de la ecuación (2). Para esto, a los tiempos obtenidos de las 15 corridas se les sacó la media y la desviación estándar. Con estos valores obtenidos, se calculó el número mínimo de corridas (N) para cada acceso y se verificó si efectivamente el número de simulaciones que se hizo es mayor al N obtenido para cada cruceo peatonal de las avenidas analizadas. En la Tabla 15, se muestran los resultados estadísticos que se obtuvieron para verificar si efectivamente el número de corridas del sistema era el adecuado. Para este caso es importante señalar que el número mínimo de corridas (N) para cada acceso es mayor al número de simulaciones realizadas (15); sin embargo, el modelo ya se pudo calibrar. Esto quiere decir que si hacemos correr más veces el sistema, podremos hacer cumplir el N mínimo y el modelo se encontrará aún más calibrado.

Después, se realizó la prueba de hipótesis nula de igualdad de medias con un nivel de confianza del 95%, mediante el uso de la herramienta Statkey y se verificó que la diferencia de medias para las dos zonas de cruceos peatonales evaluadas se encuentre dentro de la zona de aceptación. En el Anexo N, se puede observar las gráficas de las pruebas de hipótesis nula para los tiempos de viaje peatonal de ambos tramos y se verifica que efectivamente la diferencia de media se encuentra dentro de la zona de aceptación.

Adicionalmente, se evaluó la calibración haciendo uso del Excel y los P value resultantes para el cruceo 1 y 2 fueron 0.34 y 0.08. Por tanto, el sistema se consideró calibrado, ya que el P value es mayor al 0.05 mínimo que se exige tener en la prueba por esta

**Tabla 15.**

*Resultados estadísticos para verificar la calibración peatonal*

	TIEMPO DE VIAJE PEATONAL - CALIBRACIÓN			
	Tiempo de viaje - Cruceo 1		Tiempo de viaje - Cruceo 2	
	CAMPO	SISTEMA	CAMPO	SISTEMA
$\bar{x}$	5,53	5,34	5,37	5,02
S	0,66	0,54	0,68	0,47

e	0.046	0,05	0.047	0,05
t((1- $\alpha$ /2), 95%)	2,0452	2,1448	2,0452	2,1448
n mínimo	-	18,49	-	16,39
n muestra	30	15	30	15
Cumple mínimo ?	-	NO	-	NO
$\bar{x}_1 - \bar{x}_2$		0,19		0,35
P value		0,34		0,08

Nota. Elaboración propia.

## 5.5 Validación del modelo actual

### 5.5.1 Validación vehicular

Para este proceso se utilizaron nuevos valores de flujo vehicular en la zona, pero se mantuvieron el número de corridas a realizar en el sistema, el parámetro de eficiencia evaluado (tiempo de viaje) y los parámetros del modelo de Wiedemann 74 ( $\alpha_x$ ,  $\alpha_{add}$ ,  $\alpha_{mult}$ ) obtenidos en la calibración. Con los valores obtenidos de las corridas del sistema y los datos tomados en campo de los tiempos de viaje vehicular para cada tramo se realizó las pruebas de hipótesis nula con ayuda de la herramienta Statkey. Luego, se procedió a comprobar que la diferencia de medias esté dentro del rango de aceptación, para poder afirmar que el modelo está correctamente validado y que por tanto representa de manera más cercana y precisa a la realidad. Adicionalmente, se demostró la veracidad de la calibración haciendo uso del Excel y también que la cantidad de simulaciones del sistema es mayor al mínimo requerido. En la Tabla 16, se muestran los resultados estadísticos que se obtuvieron para verificar si efectivamente el número de corridas del sistema era el adecuado y en el Anexo M se muestran las gráficas de las pruebas de hipótesis nula para los tiempos de viaje vehicular de

**Tabla 16.**

*Resultados estadísticos para verificar la validación vehicular*

	TIEMPO DE VIAJE VEHICULAR - VALIDACIÓN			
	Tiempo de viaje - Tramo 1		Tiempo de viaje - Tramo 2	
	CAMPO	SISTEMA	CAMPO	SISTEMA
$\bar{x}$	4,62	4,94	6,87	6,53
S	0,60	0,19	0,85	0,20
e	0.048	0,05	0.046	0,05
t((1- $\alpha$ /2), 95%)	2,0452	2,1448	2,0452	2,1448
n mínimo	-	2,85	-	1,73
n muestra	30	15	30	15
Cumple mínimo ?	-	SI	-	SI

$\bar{x}_1 - \bar{x}_2$	-0,32	0,34
P value	0,05	0,14

Nota. Elaboración propia.

### 5.5.2 Validación peatonal

Análogamente al proceso de validación vehicular, para este proceso se utilizaron nuevos valores de flujo peatonal en la zona, pero se mantuvieron el número de corridas a realizar en el sistema, el parámetro de eficiencia evaluado (tiempo de viaje) y los parámetros del modelo de Fuerza Social ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ) obtenidos en la calibración. Con los valores obtenidos de las corridas del sistema y los datos tomados en campo de los tiempos de viaje peatonal para cada cruceo peatonal evaluado se realizó las pruebas de hipótesis nula con ayuda de la herramienta Statkey. Luego se procedió a comprobar que la diferencia de medias esté dentro del rango de aceptación, para poder afirmar que el modelo está correctamente validado y que por tanto representa de manera más cercana y precisa a la realidad. Adicionalmente, se demostró que la cantidad de simulaciones del sistema es mayor al mínimo requerido.

En la Tabla 17, se muestran los resultados estadísticos que se obtuvieron para verificar si efectivamente el número de corridas del sistema era el adecuado y en el Anexo Ñ se muestran las gráficas de las pruebas de hipótesis nula para los tiempos de viaje peatonal de ambos cruceos para el proceso de validación peatonal.

**Tabla 17.**

*Resultados estadísticos para verificar la validación peatonal*

	TIEMPO DE VIAJE PEATONAL - VALIDACIÓN			
	Tiempo de viaje - Cruceo 1		Tiempo de viaje - Cruceo 2	
	CAMPO	SISTEMA	CAMPO	SISTEMA
$\bar{x}$	5,28	5,15	5,36	5,71
S	0,56	0,34	0,67	0,56
e	0.040	0,05	0.047	0,05
$t((1-\alpha/2), 95\%)$	2,0452	2,1448	2,0452	2,1448
n mínimo	-	8,04	-	16,06
n muestra	30	15	30	15
Cumple mínimo ?	-	SI	-	NO
$\bar{x}_1 - \bar{x}_2$	0,13		-0,35	
P value	0,40		0,09	

Nota. Elaboración propia.

## **CAPÍTULO 6: PROPUESTAS DE MEJORA, EVALUACIÓN DEL ESCENARIO PROPUESTO Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS**

### **6.1 Propuestas de mejora desde el enfoque de la accesibilidad y seguridad vial**

En este apartado se presentan las propuestas de mejora diseñadas para resolver los problemas identificados durante la inspección de seguridad vial realizada en la intersección analizada. Para ello, se tomó en consideración las recomendaciones que brindan la Guía Global de Diseño de Calles (2016) y el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor (2024). Los aspectos primordiales considerados para plantear las medidas de mejora con el fin de cumplir los objetivos del proyecto fueron los siguientes: espacio público, accesibilidad, seguridad vial, gestión del tránsito e infraestructura vial.

#### **6.1.1 Accesibilidad**

Las propuestas de mejora orientadas a optimizar la accesibilidad en la intersección comprenden las siguientes acciones: rediseño geométrico de las aceras y rampas peatonales, implementación de cruces peatonales seguros, colocación de superficies podotáctiles y, de manera opcional, la instalación de señalización acústica en los semáforos.

En primer lugar, se propone el rediseño geométrico de las aceras, considerado como un proceso que incluye el mantenimiento y la ampliación de estos espacios, teniendo en cuenta la implementación de extensiones de aceras. Esta medida busca ofrecer un espacio adecuado, seguro y accesible para el desplazamiento de los peatones, especialmente de personas con movilidad reducida. Actualmente, las aceras peatonales en la intersección de estudio tienen anchos que varían entre 1,88 m y 3,55 m, lo cual parcialmente cumple con lo establecido en la Guía Global de Diseño de Calles (2016). Sin embargo, en algunos casos, estas zonas se ven afectadas por postes de alumbrado público y algunos otros obstáculos que colocan los comercios aledaños en la vía pública, lo que genera la reducción de espacio para transitar. Esto ocurre porque en las aceras no se consideran espacios adecuados para la zona de fachada y zona de mobiliario urbano. Por ello, se propone ampliar las aceras a un rango de entre 2,28 m y 5,49 m, donde se consideren áreas para el ancho de fachada (0,60m), franja de circulación peatonal (2,40m) y zona de mobiliario urbano (variable), salvo en casos específicos, como dos de las aceras de la avenida República de Polonia. Además, se recomienda implementar extensiones de acera con la finalidad de ayudar a las personas a recortar la longitud de los cruces peatonales y aumentar el área peatonal, especialmente en las zonas críticas como el entorno del colegio. Para este proceso, se contempla la reducción de

las extensiones y anchos de los estacionamientos que se tienen en el lado derecho de todos los accesos.

En segundo lugar, se propone el rediseño geométrico de las rampas peatonales con el objetivo de asegurar un desplazamiento cómodo y seguro para las personas con movilidad reducida, tales como usuarios de sillas de ruedas y adultos mayores. A la fecha, las rampas peatonales existentes en la intersección no son utilizadas debido a su mala ubicación y a que presentan anchos reducidos que varían entre 0,80 m y 1,40 m, dimensiones que están por debajo del mínimo sugerido por la Guía Global de Diseño de Calles (2016). Por ello, se busca implementar rampas peatonales correctamente alineadas con los refugios y cruces peatonales, donde las dimensiones para estos elementos sean las siguientes: ancho de rampa de 1,80 m, área superior de llegada de 1,80 m por cada lado, pendientes de rampa de 8% y pendiente de soportes laterales de 10%. Además, estas deberán estar construidas con materiales antideslizantes, con la finalidad de evitar posibles resbalones y caídas de los usuarios frente a condiciones climáticas adversas.

En tercer lugar, se propone implementar cruceros peatonales con la finalidad de que todas las personas sin exclusión, puedan tener un lugar seguro y adecuado para poder cruzar la calle, de manera que se reduzca el riesgo de accidentes peatonales. Actualmente, la intersección no presenta cruceros peatonales; por ello, es necesario y obligatorio implementar estos elementos claramente marcados y señalizados en todos los accesos a la intersección evaluada. Teniendo en consideración a la Guía Global de Diseño de Calles (2016), se propone que los cruceros peatonales deben tener un ancho de 3m y estar colocados en todo el ancho de las calzadas alineadas con las rampas y los pasos de los refugios peatonales.

Adicionalmente, se plantea la instalación de superficies podotáctiles en las aceras y señalización acústica en los semáforos, a fin de facilitar la orientación y el desplazamiento seguro de personas con discapacidad visual. Sin embargo, su implementación en este distrito enfrenta diversas limitaciones como la escasez de presupuesto, la falta de planificación urbana inclusiva, la baja prioridad política, el riesgo de vandalismo y la escasa articulación con el sistema de transporte público. A pesar de estas dificultades, su incorporación sigue siendo prioritaria para avanzar hacia una ciudad más segura, equitativa e inclusiva.

**Figura 36.**

*Visualización 3D detallada de las propuestas de mejora en cuanto a accesibilidad*



*Nota.* Elaboración propia.

### **6.1.2 Seguridad vial**

Las propuestas de mejora que se sugieren para elevar los niveles de seguridad vial en la intersección son las siguientes: implementación de señalización horizontal y vertical, implementación de bolardos en islas de refugio, implementación de vallas de seguridad, rediseño geométrico de los refugios peatonales, reducción de radios de giro y mejora de iluminación.

En primer lugar, se propone implementar señalización horizontal con el fin de proporcionar información visual clara a los conductores sobre la disposición de las vías, los límites de carril, las zonas de cruce peatonal, zonas escolares, zonas 30 y las áreas de estacionamiento. Actualmente, la intersección carece de todo tipo de señalización horizontal en las vías, lo que hace que esta se vuelva insegura y que los riesgos de posibles accidentes se incrementen exponencialmente. Por ello, teniendo en consideración lo que señala el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor (2024), se busca implementar líneas de borde de calzada, líneas de carril, línea de pare, líneas de cruce peatonal, demarcación de zona escolar, zona 30, flechas rectas y flechas rectas con giro de giro a la derecha. Además, para la ciclovía se implementarán flechas rectas, líneas de pare, líneas de carril y la demarcación de pare. En la Tabla 18 se muestran las características que tendrán los elementos que se busca implementar.

**Tabla 18.***Características de las señales horizontales propuestas*

<b>ELEMENTO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Líneas de borde de calzadas	Línea continua de color blanco, cuyo espesor es 10 cm. Será la delimitadora de la calzada y la zona de estacionamientos
Línea de carril (vía - ciclo vía)	Línea de color blanco, cuyo espesor es 10 cm. Será la divisoria de los carriles. Para los tramos cercanos a los cruceos peatonales debe ser continua; mientras que, para los tramos alejados esta línea debe ser discontinua.
Línea de pare (vía)	Línea continua de color blanco, debe tener 0,50m de ancho y estar ubicada 1 m antes de las líneas del cruce peatonal .
Líneas de cruce peatonal	Línea continua de color blanco, debe tener un espesor de 0,40 m y ancho de 3 m.
Línea de pare (ciclo vía)	Línea continua de color blanco, debe tener 0,20m de ancho y estar ubicada 1 m antes de las líneas del cruce peatonal Ver detalles en el Anexo O(Figura O1).
Demarcación de "PARE" (ciclo vía)	Silueta blanca colocada a 1 m de la línea de pare. Ver detalles en el Anexo O (Figura O2).
Demarcación del pictograma de bicicleta	Silueta de bicicleta de color blanco cuyas dimensiones son 0,80 m x 1,20 m. Debe estar colocada a 2m de la parte trasera de la flecha recta. Ver detalles en el Anexo O (Figura O1, Figura O3).
Demarcación de "ZONA ESCOLAR"	Silueta blanca colocada a una distancia no menor de 30 m de la línea de pare, será colocada a lo largo de la vía. Ver detalles en el Anexo O (Figura O4).
Demarcación de "ZONA 30"	Silueta blanca colocada a una distancia no menor de la línea de pare, será colocada en cada carril de la vía. Ver detalles en el Anexo O (Figura O4)
Flecha recta (vía)	Ver detalles en el Anexo O (Figura O5)
Flecha recta y giro a la derecha	Ver detalles en el Anexo O (Figura O6)
Flecha recta (ciclo vía)	Ver detalles en el Anexo O (Figura O7)

*Nota.* Adaptado del *Manual de Dispositivos de Control del Tránsito automotor*, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2024.

En segundo lugar, se plantea la implementación de señalización vertical con el fin de proporcionar información visual vertical a los conductores sobre los movimientos que están prohibidos realizar en la intersección, la existencia de ciclovías, la cercanía de cruces peatonales y la existencia de una zona escolar. Actualmente, la intersección carece de todo tipo de señalización vertical en las vías; por ello, teniendo en consideración lo que señala el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor (2024), se busca implementar señales reguladoras o de reglamentación y señales de prevención. En la Tabla 21 se muestran las señales verticales propuestas.

**Tabla 19.**

*Señales verticales propuestas para la implementación*

<b>SEÑALES REGULADORAS O DE REGLAMENTACIÓN</b>			
Señal de prohibido voltear en “U” [R-10]	Señal Ciclovía [R-42]		
			
<b>SEÑALES DE PREVENCIÓN</b>			
Señal zona de presencia de peatones [P-48]	Señal proximidad de cruce peatonal [P-48A]	Señal proximidad a cruce escolar [P-49A]	Señal ubicación de cruce escolar [P-49B]
			

*Nota.* Adaptado del *Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor*, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2024.

En tercer lugar, se propone la reubicación e implementación de bolardos en la isla de refugio, en los accesos a los refugios peatonales de las medianas, en las puntas de las medianas y en algunas partes de la ciclovía para separarla adecuadamente de la vía peatonal. Estos bolardos de concreto se implementarán con la finalidad de proteger y delimitar las áreas peatonales y las ciclovías a fin de proteger a los usuarios en caso de accidentes como colisiones o despistes. Respecto a las islas de refugio peatonal, estas tendrán un largo de 17,45 m, ancho de 6 m y un espaciamiento de tránsito peatonal de 3,6 m, tal como señala la Guía Global de Diseño de Calles (2016). Además, se busca reubicar e implementar postes de alumbrado público con la finalidad de que la intersección se vea más iluminada de noche, de manera que los conductores y los peatones puedan tener una mejor visibilidad de lo que sucede y puedan tomar mejores decisiones. Es importante mencionar que actualmente la intersección si tiene alumbrado público pero en las noches es opaco y poco visible, lo cual incrementa los riesgos de colisiones y atropellos.

En cuarto lugar, se busca implementar vallas de seguridad en las aceras que limitan al colegio, con el objetivo de evitar que los estudiantes invadan la calzada tanto al entrar como al salir de la institución educativa. Actualmente, los alumnos tienden a aglomerarse con frecuencia en las afueras del colegio durante la hora de salida, lo cual es peligroso y los expone a posibles accidentes. Adicionalmente, se plantea instalar barandas alrededor de la zona de influencia de las medianas con la finalidad de canalizar el flujo peatonal y que todos crucen la vía por los lugares asignados previamente.

En quinto lugar, se plantea el rediseño de los refugios peatonales ubicados en las medianas, con el objetivo de brindar a los peatones un espacio seguro y adecuado en el centro de la calzada, donde puedan esperar el cambio de semáforo antes de continuar el cruce completo de la avenida. A la fecha, los refugios peatonales están en mal estado y tienen anchos que varían entre 1,70 m y 3,45 m, esto implica que en algunos casos el diseño actual no cumple con lo establecido en la Guía Global de Diseño de Calles (2016). Por ello, se busca remodelar, reubicar y estandarizar los anchos de los refugios peatonales a 3 m, salvo el refugio de la alameda que tiene 3,60 m. Además, es importante señalar que se alineará todas medianas de la avenida República de Polonia y tendrán un ancho de 6 m; mientras que, las medianas de la avenida Santa Rosa de Lima tendrán 17,45 m de ancho.

Por último, se propone la reducción de los radios de giro con la finalidad de reducir la velocidad en las maniobras de giro a la derecha por parte de los vehículos y evitar que sucedan accidentes. Actualmente, los radios de giro están en un rango de 2,80 m y 6,51 m, esto implica que se incumple con lo que sugiere la Guía Global de Diseño de Calles(2016).

Por ello, se busca reducir y estandarizar los giros a la derecha a 3 m. Además, con esta reducción lo que se busca es la alineación de las esquinas de manera que se pueda brindar mayor visibilidad a peatones y conductores.

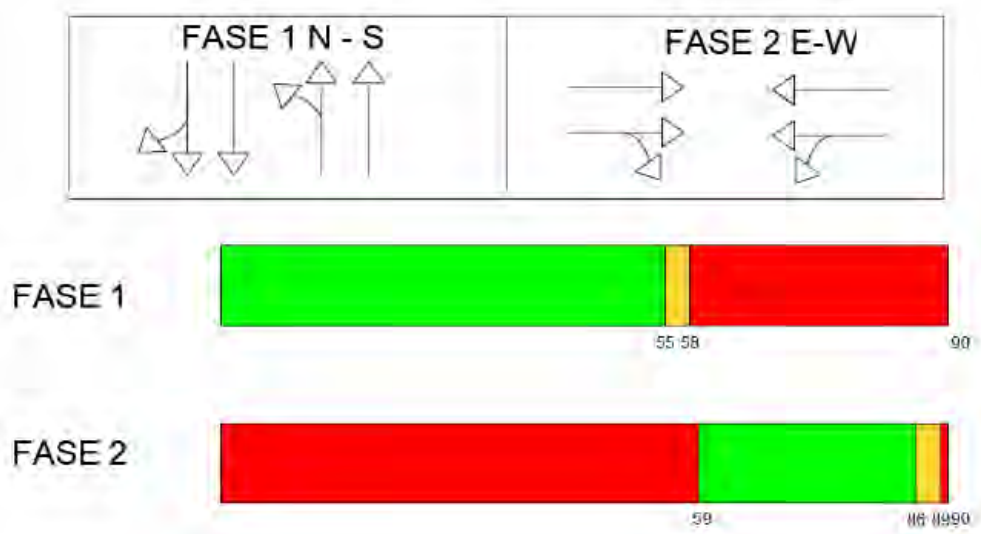
### **6.1.3 Gestión del tránsito e infraestructura vial**

Las propuestas que se sugieren para mejorar la gestión del tránsito y la infraestructura vial en la intersección son las siguientes: implementación de semaforización vehicular y peatonal, reparación y rediseño geométrico de calzadas, eliminación y rediseño de estacionamientos, e implementación de ciclovías.

En primer lugar, se plantea la implementación de semaforización vehicular y peatonal en la intersección, con el propósito de regular el flujo del tránsito y asignar tiempos adecuados tanto a peatones como a vehículos, permitiendo un cruce seguro y eficiente por la zona. El diseño semafórico vehicular propuesto tendrá un ciclo de 90 segundos que se dividirá en tiempos de rojo, ámbar y verde para dos fases. En la fase 1 se controlará el desplazamiento vehicular en las dos direcciones de la avenida República de Polonia y para ello se le asignará un verde efectivo de 55 segundos; mientras que, la fase 2 tendrá 27 segundos y controlará el movimiento vehicular de la avenida Santa Rosa de Lima. Por otro lado, para los tiempos de verde en la semaforización peatonal se considerará los tiempos en rojo que tienen los semáforos vehiculares. Es importante señalar que la propuesta del diseño físico y la ubicación de los semáforos está planteada de acuerdo a la Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor (2024); mientras que, el diseño del ciclo semafórico planteado se realizó con el método contemporáneo que sugiere el Manual de Señalización de Tránsito elaborado por la Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito (2012).

**Figura 37.**

*Distribución de tiempos del ciclo semafórico propuesto*



*Nota.* Elaboración propia.

En segundo lugar, se propone la reparación y rediseño geométrico de las calzadas, lo cual incluye la alineación y reducción del ancho de los carriles según el tipo de vehículos que circulan en la zona. Actualmente, los carriles de las calzadas tienen anchos que varían entre 3,15 m y 3,65 m, lo cual cumple parcialmente con lo establecido en la Guía Global de Diseño de Calles (2016). Sin embargo, estos carriles están desalineados y presentan grietas, lo cual perjudica el tránsito vehicular e impide que los vehículos puedan desplazarse a su velocidad deseada. Por ello, se plantea alinear las calzadas y estandarizar el ancho de carril a 3 m para todos los accesos, con el objetivo de evitar que los vehículos invadan el carril contiguo debido a su amplitud. Asimismo, se propone reducir a un solo carril el acceso norte-sur de la avenida República de Polonia, a fin de priorizar la implementación de una ciclovía en dicho tramo. Esta modificación no generará impactos negativos en la capacidad vial, ya que el flujo vehicular registrado en ese acceso es de 533 vehículos por hora, valor que se encuentra por debajo del umbral promedio de saturación de 1 200 vehículos por hora por carril.

En tercer lugar, se plantea la reducción de las extensiones y anchos de los estacionamientos. Actualmente, los lados derechos de las vías antes y después de la intersección son utilizados como áreas de estacionamiento para vehículos. Estos espacios tienen extensiones amplias que se encuentran en mal estado y anchos que varían entre 2,15 m y 3,50 m, los cuales no cumplen con lo sugerido por la Guía Global de Diseño de Calles (2016). Por tanto, se propone realizar mantenimiento a estas áreas y que todos tengan 2,50 m de ancho. Con esta medida se busca ganar espacio para mejorar las aceras y sus extensiones.

Finalmente, se propone implementar ciclovías bidireccionales a lo largo de ambas avenidas que componen la intersección, con el objetivo de fomentar la movilidad sostenible y promover la intermodalidad mediante el uso seguro de la bicicleta como medio de transporte. Para el caso de la avenida Santa Rosa de Lima, la ciclovía se ubicará a lado de la vía peatonal existente en la mediana y tendrá un ancho de 1,80 m por carril, tal como sugiere la Guía Global de Diseño de Calles (2016). Para el caso de la avenida República de Polonia, la ciclovía se ubicará a lado de la mediana y tendrá un ancho de 1,20 m por carril. Ambas estarán debidamente señalizadas con marcas horizontales y verticales para orientar a los ciclistas y asegurar la seguridad de los peatones. Esta propuesta se fundamenta en el aprovechamiento del espacio disponible en la mediana de la avenida Santa Rosa de Lima, así como en el bajo flujo vehicular existente en el acceso norte-sur de la avenida República de Polonia. Asimismo, su necesidad de implementación responde a los datos proporcionados por la aplicación Strava, los cuales a la fecha reportan una alta afluencia de ciclistas en la intersección evaluada.

**Figura 38.**

*Visualización 3D detallada de las propuestas de mejora en cuanto a gestión del tránsito e infraestructura vial*



*Nota.* Elaboración propia.

### 6.1.4 Espacio público

La propuesta sugerida para mejorar el espacio público de la intersección consiste básicamente en renovar el aspecto paisajístico de la alameda Santa Rosa de Lima y la avenida República de Polonia, con el objetivo de hacerla más atractiva, cómoda y segura para atraer más personas. Por ello, se plantea la implementación de bancas, pérgolas, postes medianos de iluminación y áreas verdes con vegetación como árboles, arbustos y flores en ambas avenidas. Además, se considera la instalación de barandas perimetrales para mejorar la seguridad del espacio. Es importante señalar que para ampliar las áreas verdes, se propone eliminar los estacionamientos existentes a ambos lados de la mediana de la avenida Santa Rosa de Lima. Adicionalmente, se recomendarán los obstáculos de todas las aceras de manera que no afecten la transitabilidad ni el campo visual de los usuarios.

En el Anexo R (Figura R2) se muestra el plano de la intersección de estudio con las propuestas de mejora implementadas.

**Figura 39.**

*Visualización 3D detallada de las propuestas de mejora en cuanto a espacio público*



*Nota.* Elaboración propia.

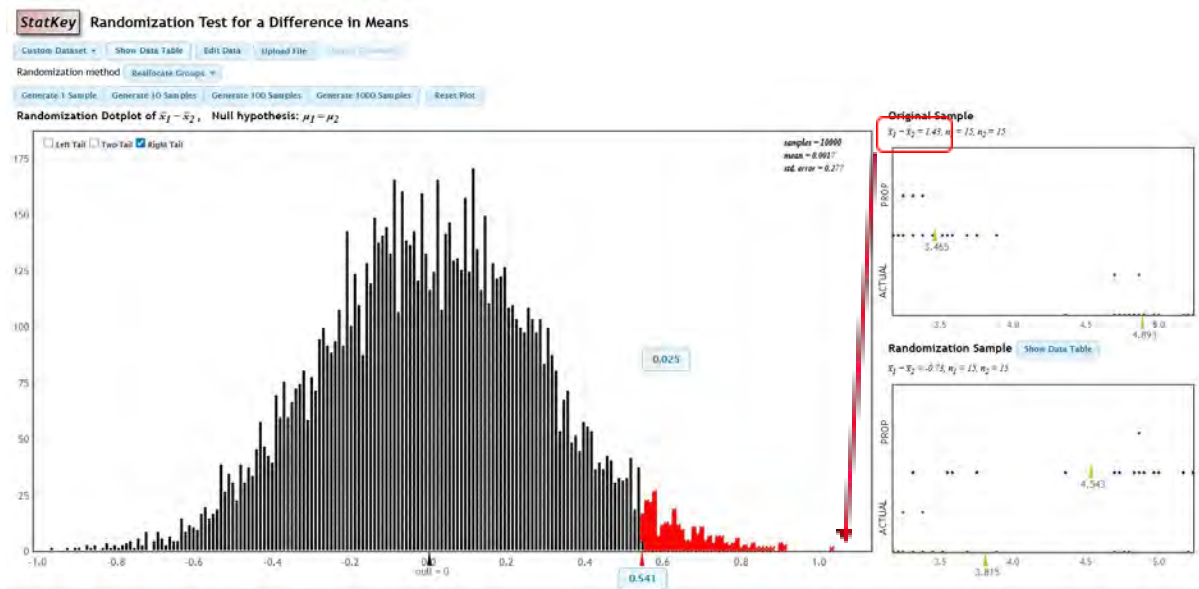
## 6.2 Evaluación de parámetros de eficiencia en el modelo mejorado

### 6.2.1 Tiempo de viaje vehicular

En el modelo actual, el tiempo promedio de viaje vehicular en la avenida República de Polonia es de 4,89 segundos; mientras que, en el modelo propuesto se reduce significativamente a 3,47 segundos. Para validar esta diferencia, se llevó a cabo una prueba estadística de hipótesis nula, utilizando los datos del modelo, con apoyo de la herramienta *Randomization Test for a Difference in Means* en el programa *StatKey*. Como resultado se obtuvo la gráfica que se muestra en la Figura 37, donde se observa que la diferencia media calculada es de 1.43 segundos y se encuentra en la zona de rechazo (región roja) de la cola derecha del gráfico. Esto indica que el valor promedio en el modelo actual es mayor que en el modelo propuesto y que existe una diferencia altamente significativa; es decir, el modelo propuesto reduce significativamente el tiempo de viaje en el Tramo 1.

**Figura 40.**

*Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje vehicular de la avenida República de Polonia*



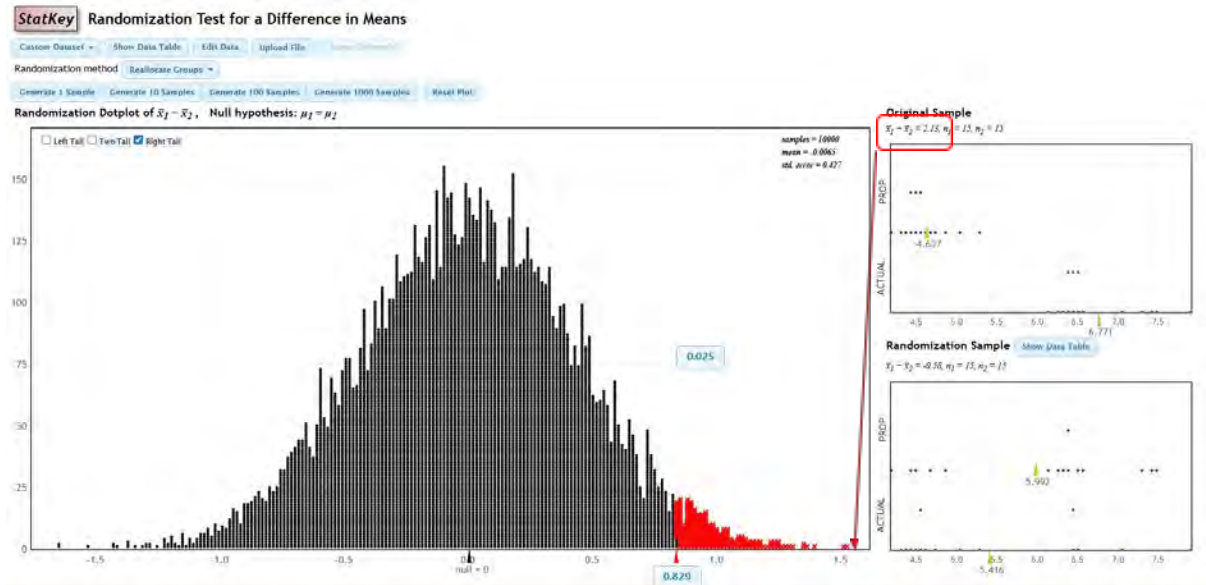
*Nota.* Elaboración propia.

Para el caso de la avenida Santa Rosa de Lima, el tiempo promedio de viaje vehicular en el modelo actual es de 6,77 segundos, mientras que en el modelo propuesto se reduce a 4,64 segundos. Aunque existe una diferencia notable entre ambos modelos, se realizó una prueba estadística de hipótesis nula para confirmar la mejora en la intersección estudiada. En la Figura 38, se observa que la diferencia de medias calculada es de 2,14 segundos y se encuentra en la región roja de la cola derecha. Esto indica que el valor promedio en el modelo actual es mayor que en el modelo propuesto y que existe una diferencia altamente

significativa; es decir, el modelo propuesto reduce significativamente el tiempo de viaje en el Tramo 2.

**Figura 41.**

*Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje vehicular de la avenida Santa Rosa de Lima*



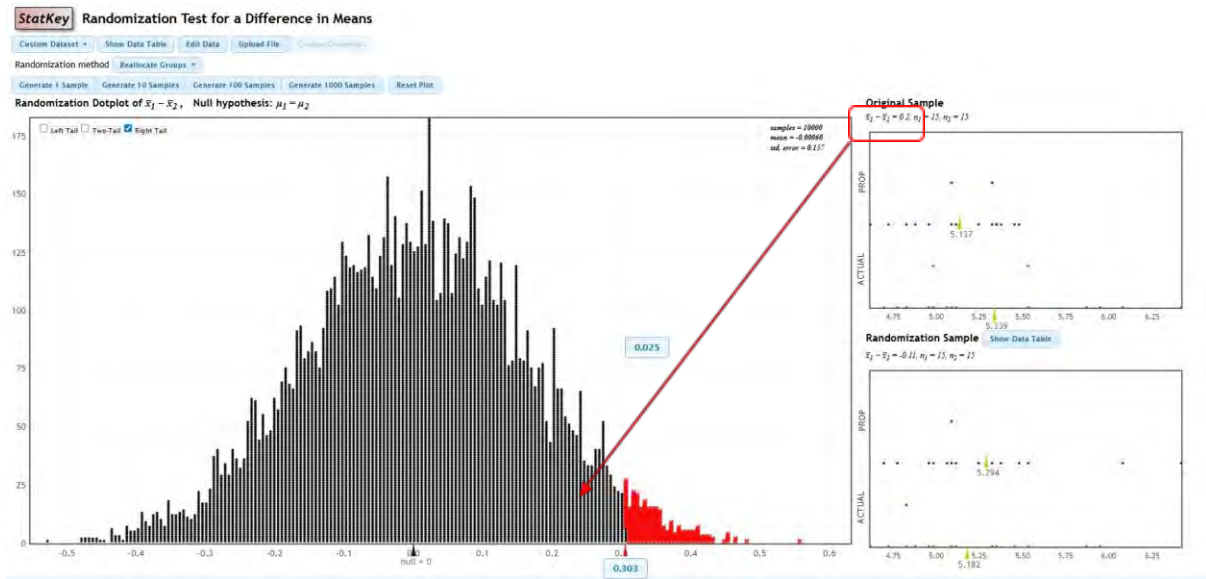
*Nota.* Elaboración propia.

## 6.2.2 Tiempo de viaje peatonal

El tiempo promedio de viaje peatonal en el modelo de la situación actual para el cruce de la avenida República de Polonia es 5,34 segundos; mientras que, en el modelo de la propuesta se obtiene 5,14 segundos. Para confirmar los cambios debido a las propuestas de mejora, se realizó la prueba estadística de la hipótesis nula con el objetivo de confirmar la mejora de las condiciones en la intersección en estudio. En la Figura 39 se aprecia que la diferencia de medias obtenida es de 0,20 segundos, la cual se ubica dentro de la zona de no rechazo (zona gris) de la distribución muestral. Esto quiere decir que la disminución observada en el tiempo de viaje no es estadísticamente significativa, por lo que no se encuentra suficiente evidencia para afirmar que las mejoras hayan tenido un efecto real. Sin embargo, se evidencia una mejora en el comportamiento del sistema peatonal y esto genera que los peatones puedan transitar de manera segura y sin retrasos.

Figura 42.

Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje peatonal del cruce de la avenida República de Polonia

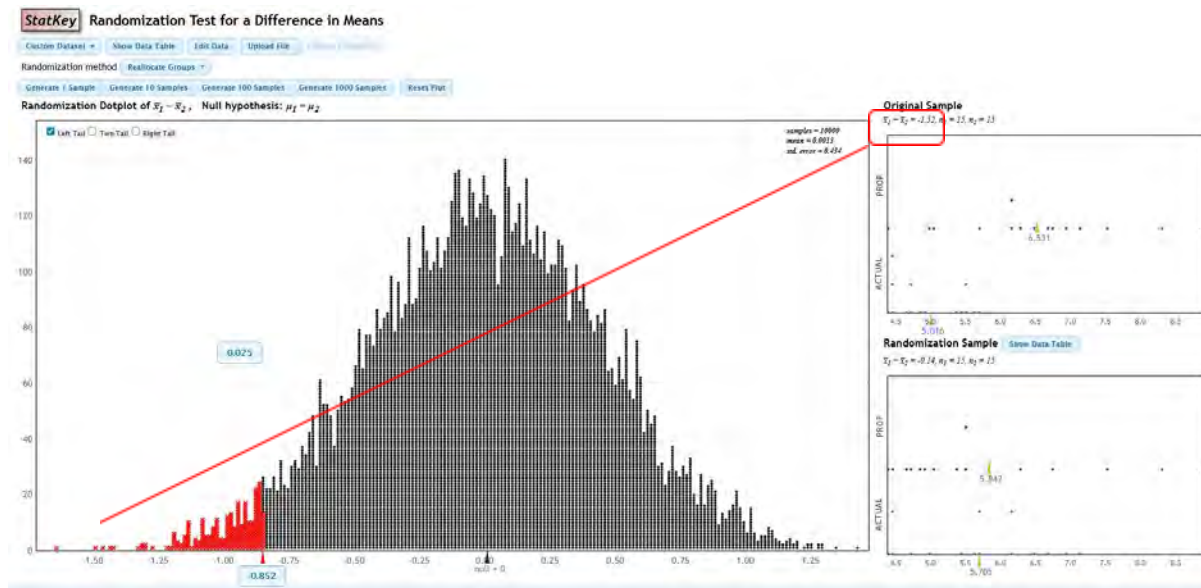


Nota. Elaboración propia.

Para el caso de la avenida Santa Rosa de Lima, el tiempo promedio de viaje peatonal en el modelo actual es de 5.02 segundos, mientras que en el modelo propuesto se incrementa a 6.53 segundos. A pesar de la marcada diferencia, se llevó a cabo una prueba estadística de la hipótesis nula para confirmar el empeoramiento estadístico del tiempo de viaje en esta avenida. En la Figura 40, se observa que la diferencia media calculada es de -1.52 segundos y se encuentra en la región roja de la cola izquierda. Esto indica que el valor promedio en el modelo actual es menor que en el modelo propuesto y que hay evidencia estadísticamente significativa de que la propuesta de mejora aumentó el tiempo de viaje en el Tramo 2. No obstante, son apreciables las mejoras en cuanto a tránsito seguro de peatones.

Figura 43.

Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje peatonal del cruce de la avenida Santa Rosa de Lima



Nota. Elaboración propia.

### 6.3 Evaluación cualitativa en el modelo mejorado

Los resultados de la inspección de seguridad vial revelaron que la intersección evaluada presentaba diversas deficiencias vinculadas a la seguridad vial, la accesibilidad y la gestión del tránsito. Por ello, se plantearon medidas de mejora y estas se implementaron en el modelo elaborado en PTV Vissim y Viswalk, con la finalidad de observar los nuevos comportamientos de los usuarios y verificar si realmente funcionan. En primer lugar, en el modelo se observa que los rediseños de aceras y rampas peatonales, junto con la implementación de cruces y señales podotáctiles, favorecen un desplazamiento más eficiente y seguro para todos los usuarios, especialmente para las personas con movilidad reducida. En este sentido, se puede afirmar que las condiciones de accesibilidad presentarían una mejora significativa respecto a la situación actual, promoviendo una mayor equidad y autonomía para todos los peatones, siempre que dichas medidas sean efectivamente implementadas en la intersección.

En segundo lugar, la implementación de señalización horizontal y vertical brinda mayor comunicación a los usuarios sobre los posibles riesgos y movimientos permitidos que se tienen en la intersección. Las vallas y barandas de seguridad canalizan el tránsito de los peatones por los espacios asignados, los bolardos dividen y protegen zonas vulnerables para los peatones, y los rediseños de refugios peatonales y reducción de radios de giro, permiten el desplazamientos a velocidades moderadas de los vehículos motorizados. De esta manera, las

condiciones de seguridad vial existentes mejoran significativamente y brindan mayor calidad de vida a los usuarios.

En tercer lugar, la instalación de semáforos permite organizar y controlar mejor el flujo vehicular y peatonal, ofreciendo a todos los usuarios tiempos de cruce más justos y seguros. Esto contribuye a que tanto peatones como conductores puedan desplazarse con mayor orden y confianza, reduciendo los riesgos y mejorando la seguridad en la intersección. La implementación de las ciclovías elimina los conflictos entre peatones, ciclistas y vehículos, e incentiva la intermodalidad y la movilidad sostenible. La reparación de calzadas y la reducción de anchos permite una mejor canalización del tráfico y la reducción de velocidad, de esta manera se reduce el malestar de los peatones por intentar cruzar la pista sin obtener respuestas; puesto que los vehículos motorizados antes tenían la prioridad sobre los usuarios.

Finalmente, la ampliación de las aceras, eliminación de estacionamientos, reacomodo de obstáculos e implementación de mobiliario urbano permiten que la población pueda familiarizarse más con la alameda. De esta manera, las condiciones del espacio público con respecto a la propuesta mejoran considerablemente, ya que ahora se presenta más población transitando por la zona y así se elevan las condiciones de seguridad.

**Figura 44.**

*Visualización 3D de la intersección con las propuestas de mejora planteadas*



*Nota.* Elaboración propia.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 Conclusiones

*De la realización del diagnóstico de la situación actual de circulación de peatones, ciclistas y vehículos motorizados en la intersección mediante el uso de las listas de chequeo*

Se concluye que el proceso de observación fue una etapa muy importante ya que permitió conocer de cerca, desde la perspectiva del peatón, como es el comportamiento de todos los actores que se involucran en el funcionamiento de la intersección y cual es la sensación que siente cada usuario con lo que sucede a su alrededor. También, este proceso fue muy importante para saber el comportamiento exacto de los vehículos con la finalidad de tener una idea clara para la elaboración del modelo. Además, se concluye que la lista de chequeo utilizada fue un instrumento fundamental para detectar los inconvenientes que sufren los usuarios de la intersección en estudio. Dentro de los principales hallazgos identificados con esta lista se encuentra la falta de señalización y semaforización, deficiente iluminación pública, y la presencia de conflictos recurrentes entre peatones, ciclistas y conductores. Asimismo, se evidenció deficiencias en el diseño y el estado de la infraestructura tales como calzadas, radios de giro, aceras, rampas peatonales, medianas e islas de refugio.

*Del desarrollo de propuestas de mejora, teniendo en cuenta los criterios de diseño de distintos manuales que se enfocan en seguridad vial y accesibilidad para los usuarios*

Se concluye que la revisión de los distintos manuales internacionales de diseño de calles es un proceso importante para concientizarnos de la importancia de tener calles donde se priorice siempre a los usuarios vulnerables antes que a los vehículos motorizados. Por ello, luego de una extensa revisión, se eligió a la Guía Global de Diseño de Calles (2016) y el Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor (2024) como manuales referentes para proponer medidas de mejora a la intersección. Entre las principales propuestas de mejoras se encuentran el ajuste geométrico de la infraestructura vial, la ampliación de aceras, el rediseño de rampas peatonales, la implementación de ciclovías, así como la instalación de señalización, postes de alumbrado público y semaforización, mejoras en el espacio público, entre otras acciones.

*De la comparación de la la situación actual frente a la situación propuesta con las alternativas de mejora mediante la microsimulación en los softwares PTV Vissim y PTV Viswalk*

Se concluye que la implementación de las propuestas de mejora en el modelo han demostrado cambios cuantitativos como cualitativos en el comportamiento de todos los usuarios que transitan por la intersección. En términos cuantitativos, el modelo propuesto no mostró una disminución significativa en el tiempo de viaje peatonal para el cruce 1; mientras que, en el cruce 2, dicho tiempo incluso se incrementó. No obstante, desde un enfoque cualitativo, se identificaron mejoras en cuanto a las condiciones de seguridad del tránsito peatonal. En cuanto a los tiempos de viaje vehicular, el modelo propuesto presentó una disminución para este parámetro del 29,03% y 31,46% para los tramos 1 y 2, respectivamente, lo que evidencia una mejora en la fluidez y orden del tránsito vehicular.

Por otro lado, cualitativamente, se observa que los rediseños de aceras y rampas peatonales facilitan el desplazamiento efectivo de todos los usuarios vulnerables. La implementación de ciclovías elimina los conflictos entre los usuarios, además fomenta la movilidad sostenible e intermodalidad. Asimismo, los semáforos con sus dos ciclos implementados contribuyen a la regulación eficiente del tránsito vehicular y peatonal, brindando tiempos adecuados a todos los usuarios para que puedan cruzar la pista. La señalización horizontal y vertical instalada advierte a los usuarios sobre posibles riesgos y movimientos permitidos; y la mejora del espacio público atrae más población, elevando así los niveles de seguridad en el área analizada.

También, se concluye que el software PTV Vissim y Viswalk, son herramientas muy importantes y sofisticadas para elaborar modelos de microsimulación, ya que permiten comprobar mediante un modelo si es viable la implementación de las propuestas de mejora. Además, su importancia radica en que se puede experimentar la implementación de medidas de mejora y analizar si realmente la idea que se propone es viable en el entorno real, así se evitan realizar gastos innecesarios en tiempo y dinero.

De esta manera se cumple con el objetivo principal que fue *analizar la situación actual de la circulación peatonal y vehicular en la intersección de las avenidas República de Polonia y Santa Rosa de Lima , y proponer medidas de mejora desde el enfoque de seguridad vial y accesibilidad.*

## 7.2 Recomendaciones

De acuerdo al crecimiento del parque automotor y la llegada de más vehículos de transporte público a la zona, se puede considerar la implementación de paraderos formales que ayuden a canalizar de forma segura la carga y descarga de pasajeros. Es importante señalar que para este proyecto no se consideró a los paraderos en la elaboración del modelo, debido a que la cantidad de vehículos de transporte público (minivanos) que solían pararse en las esquinas de la avenida Santa Rosa de Lima era mínima. Tampoco se modeló a las mototaxis que suelen estacionarse diariamente alrededor de 10 minutos en la esquina de la institución educativa durante la salida de los estudiantes. Esto debido a que, no es un comportamiento que puede considerarse como importante en el tránsito vehicular diario. Además, se considera que con las medidas implementadas se puede manejar de manera segura y viable este comportamiento.

Se recomienda que la toma de datos geométricos de las intersección estudiada se realice de manera profesional con herramientas más sofisticadas como la fotogrametría o los levantamientos topográficos con la estación total, con la finalidad de obtener una geometría más exacta que ayude a reducir el margen de error. Además, la elección de horarios para realizar la grabación que se utiliza para los procesos de calibración y validación del modelo se deben obtener de datos estadísticos especializados que permitan conocer con mayor exactitud el comportamiento de los usuarios. También, se puede considerar el uso de velocímetros para extraer de manera más exacta las velocidades de giro y velocidades deseadas de todos los usuarios.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bellet, C. (2009). Reflexiones sobre el espacio público. El caso de las ciudades intermedias. *Ponencia presentada en el IV Seminario-Taller sobre Espacios Público en ciudades intermedias, Mérida, Venezuela, 15, 16.* <http://www.saber.ula.ve/eventos/espaciospublicos2009/cbellet.pdf>
- Borja, J. (2000). Ciudadanía y espacio público. *Laberintos urbanos en América Latina*, 9-34. [https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1163&context=abva\\_vala&page=9#page=9](https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1163&context=abva_vala&page=9#page=9)
- Boudeguer, A., Prett, P. & Squella, P. (2010). *Manual de accesibilidad universal.* [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/359190/manual\\_accesibilidad\\_universall.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/359190/manual_accesibilidad_universall.pdf)
- Cabrera, F. & Cebollada, À. (2021). EEPI: instrumento de evaluación de entornos de proximidad para incluir a las personas sin autonomía en Lima. *Documents d'anàlisi geogràfica*, 67(2), 243-263. <https://doi.org/10.5565/rev/dag.647>
- Cabrera, F. (2023). *Programación de semáforos aislados* [Presentación de diapositivas].
- Cabrera, F. (2023). *Teoría de la microsimulación* [Presentación de diapositivas].
- Cal y Mayor, R. & Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y aplicaciones.* (9.<sup>a</sup> ed.). Alfaomega Grupo Editor. <https://studylib.es/doc/9328068/ingenieri%CC%81a-de-tra%CC%81nsito--9na-edicio%CC%81n---rafael-cal-y-may%E2%80%A6?p=2>
- Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito[CONASET]. (2003). *Guía para realizar una auditoría de seguridad vial.* <https://www.conaset.cl/wp-content/uploads/2016/01/Guia-Auditoria-de-Seguridad.pdf>
- Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito [CONASET]. (2012). *Manual de señalización de tránsito: Semáforos.* <https://www.conaset.cl/manualesenalizacion/default.html>
- Comunidad Andina. (2020). *Informe anual: Accidentes de tránsito en la comunidad andina, 2019.* <https://www.comunidadandina.org/DocOficialesFiles/DEstadisticos/SGDE917.pdf>
- Dextre, J. , Ríos, F., Aranda, F. & Manchego, X. (2018). *Inspecciones de seguridad vial para análisis de microcluster; caso avenida Tingo María, distrito de Breña, Lima, Perú.* VI Congreso Iberoamericano de Seguridad Vial, Lima, Perú. [https://www.researchgate.net/publication/360486140\\_INSPECCIONES\\_DE\\_SEGURIDAD\\_VIAL\\_PARA\\_ANALISIS\\_DE\\_MICROCLUSTER\\_CASO\\_AVENIDA\\_TINGO\\_MARIA\\_DISTRICTO\\_DE\\_BRENA\\_LIMA\\_PERU](https://www.researchgate.net/publication/360486140_INSPECCIONES_DE_SEGURIDAD_VIAL_PARA_ANALISIS_DE_MICROCLUSTER_CASO_AVENIDA_TINGO_MARIA_DISTRICTO_DE_BRENA_LIMA_PERU)

- Dowling, R., Skabardonis, A. & Alexiadis, V. (2004). *Traffic Analysis Toolbox, volume III: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software* [Caja de herramientas para el análisis del tráfico, volumen III: Guía para aplicar software de modelado de microsimulación del tráfico] (Nº. FHWA-HRT-04-040). [https://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysisitools/tat\\_vol3/vol3\\_guidelines.pdf](https://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysisitools/tat_vol3/vol3_guidelines.pdf)
- Escobar, Y. (2022, 3 de junio). *Día Mundial de la Bicicleta: ¿Cuáles son los problemas que enfrentan los ciclistas en Lima?*. Diario El Comercio. <https://elcomercio.pe/vamos/noticias/dia-mundia-de-la-bicicleta-cuales-son-los-problemas-que-enfrentan-los-ciclistas-en-lima-bicicleta-ciclistas-lima-peru-consejos-multas-municipalidad-de-lima-noticia/>
- Federal Highway Administration [FHWA]. (2006). *Road Safety Audit Guidelines* [Guía para auditorías de seguridad vial]. [https://safety.fhwa.dot.gov/rsa/guidelines/documents/FHWA\\_SA\\_06\\_06.pdf](https://safety.fhwa.dot.gov/rsa/guidelines/documents/FHWA_SA_06_06.pdf)
- Fonseca, J. (2014). La importancia y la apropiación de los espacios públicos en las ciudades. *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*, 7. <https://www.redalyc.org/pdf/4990/499051556003.pdf>
- Fundación Mapfre. (2013). *Definición de seguridad vial*. <https://www.seguridadvialnaempresa.com/seguridadempresas/actualidad/noticias/definicion-seguridad-vial.jsp>
- Fundación Transitemos (s.f). *Situación del transporte urbano en Lima y Callao*. <https://transitemos.org/propuestas/situacion-del-transporte-urbano-en-lima-y-callao/#%3A~%3Atext%3DLas%20condiciones%20deplorables%20en%20que%2Cde%20vida%20de%20los%20ciudadanos>
- Garriz, E. & Schroeder, R. (2014). Dimensiones del espacio público y su importancia en el ámbito urbano. *Revista Guillermo de Ockham*, 12(2), 25-30. <https://www.redalyc.org/pdf/1053/105338606003.pdf>
- Geurs, K. & Ritsema van Eck, J. (2001) Accessibility Measures: Review and Applications. Evaluation of Accessibility Impacts of Land-Use Transport Scenarios, and Related Social and Economic Impacts [Medidas de accesibilidad: revisión y aplicaciones. Evaluación de los impactos en la accesibilidad de los escenarios de transporte del uso de la tierra y los impactos sociales y económicos relacionados]. *RIVM Report*. <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/408505006.pdf>
- González, H. (2006). Sistemas, modelos y decisiones. El impacto de la simulación en la administración de organizaciones complejas. *Cuadernos de administración*, 22(36), 291-316. <https://www.redalyc.org/pdf/2250/225020349010.p>
- Gutiérrez, A. (2010). *Movilidad, transporte y acceso: una renovación aplicada al ordenamiento territorial* (Vol. 14). Scripta Nova, XIV, 331 (86). Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona. <https://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/1736>

- Guzmán, J. (13 de junio de 2021). *¿Por qué construir vías empeora el tráfico?*. Transecto. <https://transecto.com/2021/06/por-que-construir-vias-empeora-el-trafico/>
- Herce, M. (2009). *Sobre la movilidad en la ciudad: propuestas para recuperar un derecho ciudadano*. (Vol. 18). Editorial Reverté. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=iEuO6jfdR\\_gC&oi=fnd&pg=PA4&dq=Sobre+la+movilidad+en+la+ciudad:+Propuestas+para+recuperar+un+derecho+ciudadano&ots=ul3IuV46kz&sig=zfc7nzb0nSDadoYwkJwUpCpg08#v=onepage&q=Sobre%20la%20movilidad%20en%20la%20ciudad%3A%20Propuestas%20para%20recuperar%20un%20derecho%20ciudadano&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=iEuO6jfdR_gC&oi=fnd&pg=PA4&dq=Sobre+la+movilidad+en+la+ciudad:+Propuestas+para+recuperar+un+derecho+ciudadano&ots=ul3IuV46kz&sig=zfc7nzb0nSDadoYwkJwUpCpg08#v=onepage&q=Sobre%20la%20movilidad%20en%20la%20ciudad%3A%20Propuestas%20para%20recuperar%20un%20derecho%20ciudadano&f=false)
- Hermida, C. (2016). Del transporte a la movilidad: Reflexiones sobre las últimas décadas. *Revista Académica de la Universidad del Azuay*. (1), 20-35. <https://revistas.uazuay.edu.ec/html/revistas/DAYA/01/uazuay-articulos-daya01/articulo02/uaz-uay-del-transporte-a-la-movilidad.html>
- Hoogendoorn, S., Bovy, P., & Daamen, W. (2001). *Microscopic pedestrian wayfinding and dynamics modelling* [Orientación microscópica de peatones y modelado dinámico]. En M. Schreckenberg & S. D. Sharma (Eds.), *Pedestrian and evacuation dynamics* (pp. 123-154). Springer. [https://www.researchgate.net/publication/284833346\\_Microscopic\\_pedestrian\\_wayfinding\\_and\\_dynamics\\_modelling](https://www.researchgate.net/publication/284833346_Microscopic_pedestrian_wayfinding_and_dynamics_modelling)
- Krivda, V., Petru, J., Macha, D. & Novak, J. (2021). Uso de modelos de tráfico de microsimulación como medio para garantizar la sostenibilidad y accesibilidad del transporte público. *Sostenibilidad*, 13 (5), 2709. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/5/2709>
- Luchemos por la vida. (2016). *Peatones, los más vulnerables en el tránsito: Dale al peatón su prioridad: No es un favor ni una gentileza, es una obligación*. <https://www.conduciendoporla vida.com/noticias-galeria/novedades/peatones-los-mas-vulnerables-en-el-transito>
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2013). *Norma Ecuatoriana Vial NEVI 12 Mtop*. [https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013\\_Manual\\_NEVI-12\\_VOLUMEN\\_5.pdf](https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_5.pdf)
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2024). *Manual de dispositivos de control del tránsito automotor* (R.D. N.º 26-2024-MTC/18). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/7173778/6150395-manual-de-dispositivos-de-control-de-transito-automotor-rd-n-26-2024-mtc-18.pdf?v=1730902043>
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (2020). *Guía de Composición y Diseño Operacional de Ciclovías* (2.ª Ed.). [https://www.sectra.gob.cl/publico/Gu%C3%ADa\\_Ciclov%C3%ADas\\_2020\\_v2.pdf](https://www.sectra.gob.cl/publico/Gu%C3%ADa_Ciclov%C3%ADas_2020_v2.pdf)

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2023). *MTC aprobó Política Nacional Multisectorial de Seguridad Vial al 2030 para reducir los siniestros viales*. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/788180-mtc-aprobo-politica-nacional-multisectorial-de-seguridad-vial-al-2030-para-reducir-los-siniestros-viales>
- Municipalidad de Lima. (2022). *Manual de Diseño Urbano Inclusivo para Lima Metropolitana*. [https://www.munlima.gob.pe/wp-content/uploads/2022/09/MANUAL-APROBADO-2022-GDU-1\\_compressed.pdf](https://www.munlima.gob.pe/wp-content/uploads/2022/09/MANUAL-APROBADO-2022-GDU-1_compressed.pdf)
- Municipalidad de Lima. (2017). *Manual de Normas Técnicas para la Construcción de Ciclovías y Guía De Circulación de Bicicletas*. <https://www.despacio.org/wp-content/uploads/2017/04/Manual-Lima20170421.pdf>
- Montezuma, R. (2003). Ciudad y transporte: la movilidad urbana. *Cuadernos de la CEPAL*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/bf78ac1f-865d-4595-af46-5a9364ab36dc/content>
- Morisaki, A. (2023, 24 de mayo). *Lima, la ciudad con mayor congestión vehicular de la región: ¿Cuáles son las causas?*. Diario Gestión. <https://gestion.pe/peru/trafico-lima-la-ciudad-con-mayor-congestion-vehicular-de-la-region-cuales-son-las-causas-asociacion-automotriz-del-peru-noticia/>
- National Association of City Transportation Officials & Global Designing Cities Initiative. (2016). *Global Street Design Guide* [Guía global de diseño de calles]. <https://globaldesigningcities.org/publication/global-street-design-guide-es/>
- Observatorio Nacional de Seguridad Vial [ONSV]. (2023). *Usuarios vulnerables en siniestros de tránsito fatales 2021-2022*. <https://www.onsv.gob.pe/datosabiertos>
- Observatorio Nacional de Seguridad Vial [ONSV]. (2024). *Informe estadístico de siniestralidad de tránsito con peatones*. <https://drive.google.com/file/d/1lVH31eTUbn14vcUwUrAYdgqP0RHn-q56/view>
- Organización Panamericana de la Salud & Organización Mundial de la Salud (2021). *Semana de la Seguridad Vial: OMS presentó Plan Mundial para reducir 50% las muertes y traumatismo en 2030*. <https://www.paho.org/es/noticias/29-10-2021-semana-seguridad-vial-oms-presento-plan-mundial-para-reducir-50-muertes>
- Organización Panamericana de la Salud & Organización Mundial de la Salud. (s.f). *Seguridad vial*. <https://www.paho.org/es/temas/seguridad-vial>
- Ortíz, H. (s.f). El espacio de la ciudad caminable: una aproximación conceptual en el caso de Bogotá. En R. Serrano(Eds.), *Movilidad Urbana y Espacio Público: Reflexiones, métodos y contextos* (1st ed.) (pp. 24-55). Universidad Piloto de Colombia. <https://doi.org/10.2307/j.ctv25dh3p9>

- Pasapera, N. (2023). *¿Qué necesita Lima para ser una ciudad segura para los ciclistas?*. Clima de cambios PUCP.  
<https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/que-necesita-lima-para-ser-una-ciudad-segura-para-los-ciclistas/>
- Palacios, P. (12 de junio de 2020). *Hacia la reapropiación del espacio público*. FAU-NO editores.  
<https://editorialfau.wordpress.com/tag/problematicas-del-espacio-publico/>
- Peden, M., Scurfield R., Sleet D., Mohan D., Hyder A., Jarawan E. & Mathers C. (2004). *Informe mundial sobre prevención de los traumatismos causados por el tránsito* (Nº. 599). Organización Panamericana de la Salud.  
<https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/726/92%2075%2031599%20X.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pineda, M., Zamora, E., Alves, D. & Ponce de León, M. (2018). *Guía técnica para la aplicación de las inspecciones de seguridad vial en los países de América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo.  
<https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Gu%C3%ADa-t%C3%A9cnica-para-la-aplicaci%C3%B3n-de-inspecciones-de-seguridad-vial-en-los-pa%C3%ADses-de-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe.pdf>
- Programa Iberoamericano de Seguridad Vial. (s.f). *Seguridad Vial*.  
<https://www.segib.org/programa/programa-iberoamericano-de-seguridad-vial/>
- PTV Group. (2020). *PTV Vissim 2020 user manual* [Manual de usuario de PTV Vissim 2020] (Versión 2020, 1278 pp.). PTV Group. <https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-vissim>
- PTV Group. (s.f). *Traffic Simulation* [Simulación del tráfico].  
<https://www.ptvgroup.com/en/application-areas/traffic-simulation>
- Sanz, A. (2008). *Calmar el tráfico: Pasos para una nueva cultura de la movilidad urbana*. Ministerio de Fomento de España. Madrid.  
<https://www.gea21.com/archivo/calmar-el-trafico-pasos-para-una-nueva-cultura-de-la-movilidad-urbana/>
- Secretaría de Desarrollo Social [SEDESOL]. (2010). *Documento diagnóstico de rescate de espacios públicos*. <https://es.slideshare.net/lainus83/rescate-de-espacios-publicos-105031684>
- Serrano, R. (2019). *Movilidad Urbana y Espacio Público: Reflexiones, métodos y contextos* (1st ed.). Universidad Piloto de Colombia. <https://doi.org/10.2307/j.ctv25dh3p9>
- Shannon, R. (1975). *Systems simulation: The art and science* [La simulación de los sistemas: el arte y la ciencia]. Prentice-Hall. Recuperado de <https://www.worldcat.org/title/251892564>
- Solís, J., Salazar, L., Romero, V. & Solís, A. D. L. Á. (2022). Congestión Vehicular y Contaminación Ambiental en Lima Metropolitana. *Revista Lasallista de Investigación*, 19(1), 152-164. <http://revistas.unilasallista.edu.co/index.php/rldi/article/view/2877/210210648>

- Synchro. (2006). *Traffic signal manual user guide* [Guía del usuario del manual de señales de tráfico]. Trafficware. Recuperado de <https://dotd.la.gov/media/tdeph5ty/traffic-signal-manual.pdf>
- Thomson, I. & Bull, A. (2001). *La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas sociales. División de Recursos Naturales e Infraestructura*. CEPAL. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6381/1/S01060513\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6381/1/S01060513_es.pdf)
- TomTom (2022). *TomTom traffic Index, Ranking 2022* [Índice de congestión TomTom, Ranking 2022] [informe]. TomTom. <https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/?country=AR%2CBR%2CCL%2CCO%2CPE%2CUY%2CCA%2CMX%2CUS>
- TV Perú Noticias (2020). *Defensoría del Pueblo detecta 245 puntos viales críticos en Lima y Callao*. <https://www.tvperu.gob.pe/noticias/locales/defensoria-del-pueblo-detecta-245-puntos-viales-criticos-en-lima-y-callao>
- Vega, P. (2006). *El espacio público: la movilidad y la revaloración de la ciudad*. <https://repositorio.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/3daf801d-5fde-42b0-98a0-07289baecea9/content>
- Velásquez, C. (2015). *Espacio público y movilidad urbana, Sistemas integrados de Transporte masivo (SITM)*. [Tesis de doctorado, Universitat de Barcelona]. Repositorio Institucional Universitat de Barcelona. [https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/319707/01.CVVM\\_1de5.pdf](https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/319707/01.CVVM_1de5.pdf)
- Wiedemann, R. (1974). *Simulation des Verkehrsflusses* [Simulación del flujo del tráfico] (Tesis de doctorado, Instituto de Transporte, Universidad de Karlsruhe). Serie del Instituto para Transporte, N.º 8. Karlsruhe, Alemania. [https://openlibrary.org/works/OL6867244W/Simulation\\_des\\_Strassenverkehrsflusses](https://openlibrary.org/works/OL6867244W/Simulation_des_Strassenverkehrsflusses)



**ANEXOS**

## Anexo A. Lista de chequeo de la inspección de seguridad vial

**Tabla A1.**

*Lista de chequeo rellena en la inspección de seguridad vial de la intersección*

LISTA DE CHEQUEO DE UNA INTERSECCIÓN						
FASE DE OPERACIÓN		RESPUESTA			OBSERVACIONES	
		SI	NO	N/A		
<b>DISEÑO GEOMÉTRICO</b>	<b>CONFIGURACIÓN Y VOLÚMENES</b>					
	1	¿La configuración de la intersección permite que los conductores maniobren en ella de manera segura?		X		Los espacios tienen anchos aceptables e incluso mayores a los que sugiere la Guía Global de Diseño de Calles; sin embargo, los carriles están desalineados.
	2	¿El diseño de la intersección contempla la circulación de todo tipo de vehículos?		X		Los ciclistas invaden las aceras y comparten los carriles de la vía con los vehículos motorizados
	3	¿Hay vehículos de carga?	X			
	4	¿Hay vehículos antiguos?	X			
	5	¿Hay transporte público?	X			
	6	¿Hay mototaxis?	X			
	7	¿Hay ciclistas?	X			
	8	¿Los volúmenes vehiculares, en horas punta, exceden la capacidad de la intersección?		X		La intersección soporta la aglomeración de vehículos, a pesar de la invasión de carriles y circulación de vehículos sin respetar al peatón.
	<b>ACCESOS</b>					
	9	¿Los carriles de los accesos están alineados con los carriles de salida?		X		Los carriles tienen diferentes anchos y están ligeramente desalineados cuando conectan en la misma intersección.
	10	¿Existen accesos oblicuos?		X		La parte central de la intersección está ligeramente desalineada de los carriles que acceden a este cruce.
	11	¿Se registró que alguno de los accesos se encuentra cerca de una curva?		X		Los accesos a la intersección son tramos rectos.
	<b>CURVAS</b>					
	12	¿Los radios de giro y los anchos de calzada en las esquinas permiten la circulación de vehículos de gran tamaño?	X			Ambos son relativamente grandes, lo que provoca que los vehículos motorizados pequeños giren a la derecha con gran velocidad e invadan los carriles por querer sobrepasar.
<b>SECCIÓN TRANSVERSAL</b>						
13	¿Se han registrado pendientes verticales que pueden producir patinazos?		X			
14	¿Existen elementos que obstruyen el flujo vehicular?		X		El flujo vehicular se lleva a cabo de manera normal, no se ve obstruido por ningún elemento	
<b>VISIBILIDAD</b>						
15	¿La configuración de la intersección obstruye la visibilidad del conductor?		X		La configuración de la intersección presenta deficiencias pero el conductor tiene libre visibilidad para conducir.	

	16	¿La percepción del conductor se ve afectada por el estrechamiento del acceso?		X		
	17	¿La visibilidad lateral del conductor está obstruida por ningún elemento?	X			La mala colocación de arbustos y postes de luz obstruye la vista a los conductores y peatones que acceden por ambas avenidas.
	18	¿La visibilidad de los refugios peatonales es clara para los conductores?	X			
<b>SUPERFICIE DE RODADURA</b>	19	¿El pavimento está libre de estancamiento de agua o baches que puedan causar problemas de seguridad?		X		El pavimento se encuentra en mal estado, presenta baches debido a la degradación de superficie.
<b>SEÑALIZACIÓN</b>	<b>HORIZONTAL</b>					
	20	Si existe un colegio, ¿la línea de "Zona Escolar" está correctamente ubicada y es visible en la intersección?		X		No hay ninguna señalización horizontal que advierta a los conductores la presencia cercana de estudiantes.
	21	¿En todos los accesos se cuenta con demarcaciones de carriles y flechas direccionales, y estas son claramente visibles?		X		No existen flechas direccionales ni demarcación de carriles.
	22	¿La demarcación es la correcta y uniforme?		X		
	23	¿Las cebras peatonales están debidamente ubicadas y elaboradas?		X		No existen cebras peatonales en ningún acceso a esta intersección.
	<b>VERTICAL</b>					
	24	¿Todas las señales verticales de regulación, advertencia o información son necesarias y visibles?		X		No existe ninguna señalización vertical que pueda ayudar a los peatones y vehículos a desplazarse cuidadosamente. Esta ausencia es un problema de alto riesgo que debe solucionarse para que en este caso los peatones puedan tener siempre la preferencia de tránsito.
	25	¿Todas las señales están correctamente ubicadas o no obstruyen la visibilidad del conductor?		X		
	26	¿Las señales verticales son retrorreflectantes o están iluminadas satisfactoriamente?		X		
	27	¿Se usan las señales de "Pare" y "Ceda el paso" correctamente?		X		
28	¿Las señales verticales muestran con claridad el mensaje?		X			
29	¿La distancia del punto de decisión a la señal vertical es la adecuada según la velocidad de operación?		X			
<b>SEMAFORIZACIÓN</b>	30	¿Los semáforos son completamente visibles por todos los usuarios desde cualquier ángulo?		X		No existe presencia de semaforización en esta intersección, a pesar de tener una institución educativa en una de las esquinas y donde evidentemente siempre habrá niños expuestos. Esta deficiencia dificulta críticamente a los peatones en su desplazamiento y los expone a accidentes
	31	¿La configuración de semáforos es la misma en todos los accesos?		X		

	32	¿La distribución de verdes está de acuerdo a la distribución de tránsito?		X		fatales, ya que los vehículos motorizados poco o nada hacen para dar preferencia de tránsito a los peatones.
	33	¿Los semáforos se encuentran en buen estado?		X		
	34	¿Los semáforos se encuentran correctamente ubicados?		X		
	35	¿Los semáforos están ubicados donde el ocaso y la salida del sol causan problemas de deslumbramiento?		X		
<b>MOBILIARIO VIAL</b>	<b>ILUMINACIÓN</b>					
	36	¿La iluminación de la intersección permite identificar la misma de noche?		X		La iluminación es deficiente, de noche no se visualiza muy bien la calzada y ello genera peligros para los transeúntes; específicamente, para los niños y personas de tercera edad.
	37	¿Algunas características de la vía interrumpen total o parcialmente la iluminación?		X		
	38	¿La iluminación nocturna de las señales es de alta calidad?		X		La luz naranja no ilumina de manera eficiente, algunas partes son oscuras lo que dificulta a los usuarios vulnerables a poder desplazarse adecuadamente.
	39	¿Los postes de alumbrado son un riesgo al borde de la vía?	X			Algunos postes están casi sobresalidos en la vía.
	40	¿Es necesario la implementación de iluminación especial?	X			La iluminación naranja es deficiente, se deberían colocar focos más intensos para poder ayudar a los usuarios vulnerables a poder trasladarse de manera segura.
	41	Hay conflicto entre la iluminación, los semáforos y señales verticales?		X		Se carece de semáforos y señalización vertical.
	<b>VALLAS PEATONALES</b>					
	42	¿Se cuenta con vallas peatonales a las afueras del colegio aledaño?		X		No existen vallas peatonales a las afueras de la institución educativa. Los alumnos salen del colegio y suelen cruzar la pista lo más rápido.
	43	¿Están correctamente instaladas las vallas peatonales?		X		
	<b>ELEMENTOS VIALES</b>					
	44	¿El sardinel se encuentra en buen estado?		X		Los sardineles y bolardos existentes están quebrados y maltratados en algunas partes.
	45	¿Se cuenta con veredas que protejan al flujo peatonal?		X		Las veredas están casi al mismo nivel de la pista, y las rampas peatonales son muy angostas y están fuera de lugar.
46	¿Las veredas se encuentran en buen estado?		X		Algunas veredas están en buen estado, pero la mayoría presentan huecos o desniveles.	
<b>GESTIÓN DEL TRÁNSITO</b>	<b>CRUCES PEATONALES</b>					
	47	¿Los cruces peatonales están debidamente señalizados?		X		No existen cruceros peatonales ni otras señales de tránsito que puedan ayudar a los conductores y peatones a desplazarse adecuadamente.
	48	¿La mediana cuenta con las dimensiones adecuadas para alojar la cantidad de peatones permisible?		X		Las medianas son anchas pero el espacio por donde transitan los peatones es reducido, no tiene los 3 metros necesarios.

	49	¿La mediana de cruce se encuentra en buen estado?		X		Las medianas se encuentran en mal estado, están destrozadas y en algunos casos demasiado sucias debido a la basura que aglomeran los peatones en ese espacio.	
	<b>ESTACIONAMIENTO EN CALZADA</b>						
	50	¿Los vehículos se estacionan en la calzada de la intersección?	X				Los vehículos de transporte público (minivanos) se paran en cualquier lugar de la calzada para poder descargar a sus pasajeros y exponen a sus ocupantes a posibles accidentes de tránsito.
	51	¿Existen estacionamientos que no quitan terreno a la calzada?	X				Los espacios para estacionamientos no quitan terreno a la calzada; sin embargo, sólo pocos conductores hacen uso correcto de este espacio.
	52	¿Son suficientes las restricciones del estacionamiento cerca de la intersección?		X			No hay ninguna restricción de estacionamiento cerca a la intersección. Solo precisar que muchos de estos estacionamientos están en mal estado.
	<b>TRANSPORTE PÚBLICO</b>						
	53	¿Los paraderos de buses están localizados de forma segura?		X			No existen paraderos, la carga y descarga de peatones se hace en cualquier lugar. Esto expone a los usuarios a sufrir accidentes fatales.
	54	¿Los paraderos de buses se encuentran en buen estado y tiene el espacio necesario para cubrir la demanda?		X			Hay espacio necesario, pero no es correctamente utilizado, ya que no hay paraderos como tal. Los vehículos llegan, bajan sus pasajeros en cualquier lado y siguen su ruta.
	<b>VEHÍCULOS PESADOS</b>						
	55	¿Los vehículos pesados tienen restringido algún acceso de la intersección?		X			Todo tipo de vehículo puede ingresar normalmente a esta intersección.
	56	¿Existen rutas alternas para el desvío del tránsito de vehículos pesados?		X			No existen rutas alternas, toda la berma central de los dos accesos está cerrada e impide que los vehículos pesados puedan elegir otras rutas y así necesariamente deben entrar a la intersección.
<b>USUARIOS VULNERABLES</b>	<b>CICLISTAS</b>						
	57	¿Los ciclistas respetan las líneas de cruce peatonal?		X			No existen ciclovías, esto provoca la invasión de las vías peatonales y vías vehiculares por parte de los ciclistas, incrementando así el riesgo de posibles accidentes peatonales y vehiculares.
	58	¿El ancho de la ciclovía es adecuado para el número de ciclistas que usa la ruta?		X			
	59	¿La alineación y sección transversal son adecuadas para la operación de los ciclistas?		X			
	<b>PEATONES</b>						
	60	¿La configuración de la intersección identifica de manera clara los derechos preferentes de pasos y prioridades de peatones?		X			
	61	¿Los peatones respetan las líneas de cruce peatonal?		X			No existen cruceros peatonales, ello genera que los peatones crucen la pista por donde vean más cercano llegar al otro lado de la vía.

Nota. Elaboración propia.

## Anexo B. Tiempos de viaje vehicular

**Tabla B1.**

*Tiempos de viaje vehicular para la calibración y validación*

TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR				
N°	CALIBRACIÓN		VALIDACIÓN	
	Tramo 1 t(s)	Tramo 2 t(s)	Tramo 1 t(s)	Tramo 2 t(s)
1	4,19	8,57	4,80	6,39
2	5,41	7,14	4,77	8,47
3	4,45	6,00	4,20	6,09
4	5,74	6,32	4,12	7,24
5	5,44	6,61	4,56	6,72
6	4,36	7,77	4,37	8,49
7	5,02	6,09	4,29	6,54
8	4,20	8,38	5,50	6,89
9	5,42	8,14	5,51	7,94
10	4,80	8,39	5,46	6,21
11	4,17	6,71	3,97	6,34
12	5,55	6,05	4,52	7,42
13	5,88	6,84	3,82	7,27
14	4,80	6,87	4,50	6,74
15	4,44	7,07	5,64	5,71
16	4,37	8,30	5,49	5,85
17	4,06	6,97	5,58	8,77
18	4,40	6,24	5,00	7,01
19	4,51	6,22	4,15	7,65
20	4,38	8,32	4,41	5,85
21	4,82	7,88	4,07	6,17
22	5,53	8,05	4,87	5,82
23	5,25	6,49	3,79	7,57
24	4,34	8,35	3,95	6,72
25	4,56	7,10	4,03	7,57
26	4,89	5,62	4,03	7,21
27	4,05	6,33	5,24	6,09
28	5,32	6,82	5,32	5,97
29	4,18	7,39	4,07	7,27
30	4,70	6,87	4,56	6,09
<b>X</b>	4,77	7,13	4,62	6,87
<b>S</b>	0,55	0,88	0,60	0,85
<b>e</b>	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>t(29, 95%)</b>	2,0452	2,0452	2,0452	2,0452
<b>n mínimo</b>	22,21	25,34	28,45	25,92

Nota. Elaboración propia

### Anexo C. Tiempos de viaje peatonal

**Tabla C1.**

*Tiempos de viaje peatonal para la calibración y validación*

TIEMPOS DE VIAJE PEATONAL				
N°	CALIBRACIÓN		VALIDACIÓN	
	Crucero 1 t(s)	Crucero 2 t(s)	Crucero 1 t(s)	Crucero 2 t(s)
1	5,21	4,95	6,07	5,59
2	4,39	4,92	5,72	5,37
3	4,97	5,92	5,79	5,48
4	4,07	5,66	5,12	5,36
5	5,29	5,83	5,59	4,18
6	5,55	4,90	5,20	5,20
7	5,59	4,49	5,92	4,70
8	5,77	4,99	5,73	6,59
9	5,72	4,43	4,69	3,61
10	5,62	5,70	4,62	5,52
11	5,64	5,72	5,37	6,59
12	5,81	4,84	5,01	5,74
13	5,58	6,72	5,30	4,47
14	6,19	4,25	6,17	5,05
15	6,44	6,27	5,28	5,19
16	6,22	4,78	5,98	5,82
17	6,10	4,11	4,93	4,72
18	6,17	5,03	6,01	6,04
19	6,29	5,30	5,27	4,65
20	5,30	5,42	4,42	6,12
21	5,30	5,70	4,36	5,86
22	4,32	4,92	4,68	4,97
23	5,65	5,64	6,21	5,04
24	5,70	5,59	4,55	5,71
25	5,15	6,00	5,40	5,46
26	5,45	6,62	4,80	5,25
27	6,62	4,62	5,46	6,15
28	6,44	5,89	4,59	5,97
29	4,94	5,62	4,73	5,23
30	4,37	6,27	5,53	5,29
<b>X</b>	5,53	5,37	5,28	5,36
<b>S</b>	0,66	0,68	0,56	0,67
<b>e</b>	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>t(29, 95%)</b>	2,0452	2,0452	2,0452	2,0452
<b>n mínimo</b>	23,84	27,12	18,77	25,92

Nota. Elaboración propia

### Anexo D. Tiempos de parada de vehículos

**Tabla D1.**

*Tiempos de parada de vehículos para carga y descarga de pasajeros*

TIEMPO DE ESPERA		
N°	Paradero 1 t(s)	Paradero 2 t(s)
1	9,87	7,98
2	5,21	8,97
3	3,94	10,29
4	20,66	8,68
5	9,47	7,12
6	5,77	12,25
7	7,94	6,34
8	23,67	11,06
9	11,49	12,48
10	7,73	13,09
11	29,14	7,25
12	6,75	15,66
13	6,90	12,21
14	25,00	8,33
15	7,01	35,03
16	18,22	27,65
17	10,14	19,38
18	25,06	18,04
19	11,65	13,41
20	10,95	24,46
21	15,20	19,11
22	10,54	13,77
23	8,94	20,59
24	7,56	19,55
25	10,23	12,85

*Nota.* Elaboración propia.

### Anexo E. Velocidad vehicular deseada

**Tabla E1.**

*Velocidad deseada para el automóvil*

AUTOMÓVIL			
Nº vehículo	distancia(m)	tiempo(s)	velocidad(km/h)
1	30,00	3,27	33,03
2	30,00	3,49	30,95
3	30,00	3,52	30,68
4	30,00	3,34	32,34
5	30,00	3,69	29,27
6	30,00	3,05	35,41
7	30,00	3,15	34,29
8	30,00	3,44	31,40
9	30,00	4,27	25,29
10	30,00	3,40	31,76
11	30,00	3,08	35,06
12	30,00	2,75	39,27
13	30,00	2,92	36,99
14	30,00	2,85	37,89
15	30,00	3,29	32,83
16	30,00	2,63	41,06
17	30,00	3,61	29,92
18	30,00	3,31	32,63
19	30,00	3,83	28,20
20	30,00	3,58	30,17
21	30,00	3,04	35,53
22	30,00	5,25	20,57
23	30,00	3,15	34,29
24	30,00	3,42	31,58
25	30,00	3,49	30,95
26	30,00	3,17	34,07
27	30,00	2,95	36,61
28	30,00	2,89	37,37
29	30,00	3,23	33,44
30	30,00	3,06	35,29

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla E2.***Velocidad deseada para la minivan*

MINIVAN			
N° vehículo	distancia(m)	tiempo(s)	velocidad(km/h)
1	39,00	4,75	29,56
2	39,00	4,81	29,19
3	39,00	4,66	30,13
4	39,00	4,45	31,55
5	39,00	4,62	30,39
6	39,00	5,37	26,15
7	39,00	5,26	26,69
8	39,00	5,32	26,39
9	39,00	4,96	28,31
10	39,00	5,15	27,26
11	39,00	4,10	34,24
12	39,00	5,91	23,76
13	39,00	4,59	30,59
14	39,00	4,98	28,19
15	39,00	5,05	27,80
16	39,00	4,60	30,52
17	39,00	4,68	30,00
18	39,00	4,11	34,16
19	39,00	5,26	26,69
20	39,00	4,58	30,66
21	39,00	4,69	29,94
22	39,00	5,04	27,86
23	39,00	4,63	30,32
24	39,00	4,64	30,26
25	39,00	4,60	30,52
26	39,00	4,29	32,73
27	39,00	4,48	31,34
28	39,00	3,89	36,09
29	39,00	4,10	34,24
30	39,00	3,89	36,09

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla E3.***Velocidad deseada para la mototaxi*

MOTOTAXI			
N° vehículo	distancia(m)	tiempo(s)	velocidad(km/h)
1	30,00	5,12	21,09
2	30,00	4,52	23,89
3	30,00	4,65	23,23
4	30,00	4,24	25,47
5	30,00	4,15	26,02
6	30,00	6,40	16,88
7	30,00	4,31	25,06
8	30,00	4,22	25,59
9	30,00	4,81	22,45
10	30,00	4,37	24,71
11	30,00	5,75	18,78
12	30,00	5,18	20,85
13	30,00	4,68	23,08
14	30,00	4,90	22,04
15	30,00	3,92	27,55
16	30,00	4,72	22,88
17	30,00	5,10	21,18
18	30,00	4,26	25,35
19	30,00	3,74	28,88
20	30,00	5,35	20,19
21	30,00	4,62	23,38
22	30,00	5,54	19,49
23	30,00	4,74	22,78
24	30,00	6,79	15,91
25	30,00	4,65	23,23
26	30,00	4,62	23,38
27	30,00	6,45	16,74
28	30,00	6,34	17,03
29	30,00	5,05	21,39
30	30,00	4,09	26,41

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla E4.***Velocidad deseada para la motocicleta*

MOTOCICLETA			
N° vehículo	distancia(m)	tiempo(s)	velocidad(km/h)
1	30,00	3,04	35,53
2	30,00	3,14	34,39
3	30,00	3,03	35,64
4	30,00	3,39	31,86
5	30,00	4,30	25,12
6	30,00	3,46	31,21
7	30,00	3,22	33,54
8	30,00	4,37	24,71
9	30,00	2,45	44,08
10	30,00	2,83	38,16
11	30,00	1,92	56,25
12	30,00	2,92	36,99
13	30,00	4,20	25,71
14	30,00	4,36	24,77
15	30,00	2,17	49,77
16	30,00	2,94	36,73
17	30,00	3,76	28,72
18	30,00	3,87	27,91
19	30,00	3,37	32,05
20	30,00	3,68	29,35
21	30,00	3,48	31,03
22	30,00	3,34	32,34
23	30,00	3,13	34,50
24	30,00	4,35	24,83
25	30,00	3,38	31,95
26	30,00	4,92	21,95
27	30,00	3,51	30,77
28	30,00	3,99	27,07
29	30,00	3,24	33,33
30	30,00	3,78	28,57

*Nota.* Elaboración propia.

## Anexo F. Velocidad peatonal deseada

**Tabla F1.**

*Velocidad deseada para los peatones*

PEATONES			
Nº persona	distancia(m)	tiempo(s)	velocidad(km/h)
1	6,10	6,07	3,62
2	6,10	5,72	3,84
3	6,10	5,79	3,79
4	6,10	5,12	4,29
5	6,10	5,59	3,93
6	6,10	5,20	4,22
7	6,10	5,92	3,71
8	6,10	5,73	3,83
9	6,10	4,69	4,68
10	6,10	4,62	4,75
11	6,10	5,37	4,09
12	6,10	5,01	4,38
13	6,10	5,30	4,14
14	6,10	6,17	3,56
15	6,10	5,28	4,16
16	6,10	5,98	3,67
17	6,10	4,93	4,45
18	6,10	6,01	3,65
19	6,10	5,27	4,17
20	6,10	4,42	4,97
21	6,10	4,36	5,04
22	6,10	4,68	4,69
23	6,10	6,21	3,54
24	6,10	4,55	4,83
25	6,10	5,40	4,07
26	6,10	4,80	4,58
27	6,10	5,46	4,02
28	6,10	4,59	4,78
29	6,10	4,73	4,64
30	6,10	5,53	3,97

*Nota.* Elaboración propia.

### Anexo G. Velocidad de giro vehicular

**Tabla G1.**

*Velocidad de giro vehicular para la derecha*

VELOCIDAD DE GIRO - DERECHA 1			
N° vehículo	distancia (m)	tiempo (s)	velocidad (km/h)
1	25,50	7,09	12,95
2	25,50	6,59	13,93
3	25,50	8,67	10,59
4	25,50	8,19	11,21
5	25,50	7,31	12,56
6	25,50	10,78	8,52
7	25,50	7,74	11,86
8	25,50	8,69	10,56
9	25,50	7,36	12,47
10	25,50	6,29	14,59
11	25,50	7,12	12,89
12	25,50	7,52	12,21
13	25,50	6,82	13,46
14	25,50	8,37	10,97
15	25,50	8,84	10,38
16	25,50	10,39	8,84
17	25,50	7,54	12,18
18	25,50	8,66	10,60
19	25,50	9,95	9,23
20	25,50	7,18	12,79
21	25,50	7,67	11,97
22	25,50	7,38	12,44
23	25,50	6,97	13,17
24	25,50	8,87	10,35
25	25,50	8,39	10,94
26	25,50	10,01	9,17
27	25,50	6,92	13,27
28	25,50	6,84	13,42
29	25,50	7,19	12,77
30	25,50	7,51	12,22

VELOCIDAD DE GIRO - DERECHA 2			
N° vehículo	distancia (m)	tiempo(s)	velocidad(km/h)
1	22,00	7,99	9,91
2	22,00	7,97	9,94
3	22,00	7,54	10,50
4	22,00	6,71	11,80
5	22,00	5,97	13,27
6	22,00	4,44	17,84
7	22,00	6,93	11,43
8	22,00	8,72	9,08
9	22,00	8,44	9,38
10	22,00	7,81	10,14
11	22,00	7,54	10,50
12	22,00	7,36	10,76
13	22,00	5,88	13,47
14	22,00	5,54	14,30
15	22,00	6,46	12,26
16	22,00	6,35	12,47
17	22,00	6,79	11,66
18	22,00	5,33	14,86
19	22,00	7,63	10,38
20	22,00	6,55	12,09
21	22,00	7,64	10,37
22	22,00	7,50	10,56
23	22,00	8,58	9,23
24	22,00	4,87	16,26
25	22,00	6,64	11,93
26	22,00	5,99	13,22
27	22,00	6,63	11,95
28	22,00	7,87	10,06
29	22,00	7,77	10,19
30	22,00	6,62	11,96

Nota. Elaboración propia.

**Tabla G2.***Velocidad de giro vehicular para la izquierda*

VELOCIDAD DE GIRO - IZQUIERDA			
Nº vehículo	distancia(m)	tiempo(s)	velocidad (km/h)
1	26,55	7,37	12,97
2	26,55	6,87	13,91
3	26,55	10,37	9,22
4	26,55	6,35	15,05
5	26,55	10,35	9,23
6	26,55	8,29	11,53
7	26,55	5,78	16,54
8	26,55	6,52	14,66
9	26,55	9,70	9,85
10	26,55	7,44	12,85
11	26,55	8,33	11,47
12	26,55	5,46	17,51
13	26,55	8,88	10,76
14	26,55	7,96	12,01
15	26,55	7,21	13,26
16	26,55	7,69	12,43
17	26,55	6,89	13,87
18	26,55	4,45	21,48
19	26,55	9,53	10,03
20	26,55	6,49	14,73
21	26,55	8,09	11,81
22	26,55	9,07	10,54
23	26,55	7,90	12,10
24	26,55	8,35	11,45
25	26,55	7,17	13,33
26	26,55	7,70	12,41
27	26,55	6,55	14,59
28	26,55	7,99	11,96
29	26,55	8,00	11,95
30	26,55	7,40	12,92

*Nota.* Elaboración propia.

## Anexo H. Aforo vehicular para la calibración

**Tabla H1.**

*Aforo vehicular detallado de la avenida República de Polonia sentido sur - norte y norte - sur*

AV. REPÚBLICA DE POLONIA (SENTIDO SUR - NORTE)				
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE VEHÍCULO	DESTINO		
		derecha (1)	recto(2)	izquierda (3)
18:00 - 18:15	auto	22	122	32
	combi	15	8	4
	camión	1	3	1
	bus	0	1	0
	mototaxi	10	32	21
	motocicleta	0	13	4
	bicicleta	0	2	0
18:15 - 18:30	auto	20	113	41
	combi	10	13	4
	camión	1	4	0
	bus	0	2	0
	mototaxi	11	20	13
	motocicleta	1	23	6
	bicicleta	0	1	0
18:30 - 18:45	auto	23	139	29
	combi	7	19	5
	camión	0	6	1
	bus	0	1	0
	mototaxi	2	36	17
	motocicleta	1	17	5
	bicicleta	0	1	0
18:45 - 19:00	auto	26	165	28
	combi	8	14	2
	camión	0	3	1
	bus	0	1	0
	mototaxi	5	39	6
	motocicleta	2	17	3
	bicicleta	0	2	0
		165	817	223

AV. REPÚBLICA DE POLONIA (SENTIDO NORTE - SUR)				
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE VEHÍCULO	DESTINO		
		derecha (1)	recto (2)	izquierda (3)
18:00 - 18:15	auto	5	50	7
	combi	0	10	0
	camión	0	0	0
	bus	0	1	0
	mototaxi	8	26	16
	motocicleta	0	19	2
	bicicleta	0	2	0
18:15 - 18:30	auto	5	58	7
	combi	0	7	1
	camión	0	3	0
	bus	0	1	0
	mototaxi	5	32	9
	motocicleta	2	4	3
	bicicleta	0	2	0
18:30 - 18:45	auto	5	57	5
	combi	0	6	0
	camión	0	4	0
	bus	0	2	0
	mototaxi	7	36	10
	motocicleta	1	4	0
	bicicleta	0	1	0
18:45 - 19:00	auto	5	48	8
	combi	0	9	1
	camión	0	3	0
	bus	0	1	0
	mototaxi	4	22	6
	motocicleta	0	1	0
	bicicleta	0	2	0
		47	411	75

Nota. Elaboración propia.

**Tabla H2.***Aforo vehicular detallado de la avenida Santa Rosa de Lima sentido este - oeste y oeste - este*

AV. SANTA ROSA DE LIMA (SENTIDO ESTE - OESTE)				
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE VEHÍCULO	DESTINO		
		derecha (1)	recto (2)	izquierda (3)
18:00 - 18:15	auto	14	15	8
	combi	1	42	9
	camión	2	2	1
	bus	0	2	0
	mototaxi	5	20	10
	motocicleta	3	8	2
	bicicleta	0	8	0
18:15 - 18:30	auto	12	19	15
	combi	1	52	7
	camión	0	1	1
	bus	0	1	0
	mototaxi	9	26	9
	motocicleta	1	4	3
	bicicleta	0	7	0
18:30 - 18:45	auto	17	15	14
	combi	3	30	12
	camión	3	1	2
	bus	0	2	0
	mototaxi	10	17	10
	motocicleta	0	3	3
	bicicleta	0	5	0
18:45 - 19:00	auto	20	24	18
	combi	1	47	9
	camión	0	1	1
	bus	0	2	0
	mototaxi	4	17	12
	motocicleta	4	3	3
	bicicleta	0	5	0
		110	379	149

AV. SANTA ROSA DE LIMA (SENTIDO OESTE - ESTE)				
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE VEHÍCULO	DESTINO		
		derecha (1)	recto (2)	izquierda (3)
18:00 - 18:15	auto	31	19	12
	combi	6	58	3
	camión	0	0	0
	bus	0	2	0
	mototaxi	3	30	15
	motocicleta	2	3	3
	bicicleta	0	10	0
18:15 - 18:30	auto	24	21	7
	combi	4	46	4
	camión	0	2	0
	bus	0	2	0
	mototaxi	15	22	12
	motocicleta	1	4	3
	bicicleta	0	8	0
18:30 - 18:45	auto	11	18	8
	combi	1	35	2
	camión	1	1	0
	bus	0	1	0
	mototaxi	8	15	7
	motocicleta	2	6	4
	bicicleta	0	6	0
18:45 - 19:00	auto	22	28	5
	combi	2	33	2
	camión	1	2	1
	bus	0	1	0
	mototaxi	4	27	3
	motocicleta	0	3	1
	bicicleta	0	3	0
		138	406	92

Nota. Elaboración propia

## Anexo I. Aforo vehicular para la validación

**Tabla II.**

*Aforo vehicular detallado de la avenida República de Polonia sentido sur - norte y norte - sur*

AV. REPÚBLICA DE POLONIA (SENTIDO SUR - NORTE)				
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE VEHÍCULO	DESTINO		
		derecha (1)	recto(2)	izquierda (3)
13:45 - 14:00	auto	14	108	23
	combi	8	12	6
	camión	1	13	1
	bus	1	1	0
	mototaxi	8	30	14
	motocicleta	5	12	6
	bicicleta	0	1	0
14:00 - 14:15	auto	22	94	23
	combi	7	15	6
	camión	0	9	2
	bus	0	2	1
	mototaxi	9	33	25
	motocicleta	4	10	2
	bicicleta	0	1	0
14:15 - 14:30	auto	22	97	33
	combi	3	7	7
	camión	0	8	0
	bus	0	0	0
	mototaxi	5	23	14
	motocicleta	1	13	8
	bicicleta	0	2	0
14:30 - 14:45	auto	14	105	29
	combi	4	16	3
	camión	0	13	3
	bus	0	1	1
	mototaxi	9	26	25
	motocicleta	1	22	5
	bicicleta	0	1	0
		138	675	237

AV. REPÚBLICA DE POLONIA (SENTIDO NORTE - SUR)				
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE VEHÍCULO	DESTINO		
		derecha (1)	recto (2)	izquierda (3)
13:45 - 14:00	auto	3	69	11
	combi	2	23	4
	camión	1	5	0
	bus	0	1	0
	mototaxi	10	34	15
	motocicleta	4	6	1
	bicicleta	0	2	0
14:00 - 14:15	auto	2	65	6
	combi	2	15	2
	camión	0	5	1
	bus	0	2	0
	mototaxi	11	32	15
	motocicleta	5	13	2
	bicicleta	0	2	0
14:15 - 14:30	auto	7	65	8
	combi	4	13	3
	camión	0	3	2
	bus	0	1	0
	mototaxi	14	33	18
	motocicleta	1	10	2
	bicicleta	0	1	0
14:30 - 14:45	auto	5	64	5
	combi	1	12	2
	camión	1	5	2
	bus	0	1	0
	mototaxi	6	27	12
	motocicleta	3	10	1
	bicicleta	0	1	0
		82	520	112

Nota. Elaboración propia.

**Tabla I2.**

Aforo vehicular detallado de la avenida Santa Rosa de Lima sentido este - oeste y oeste - este

AV. SANTA ROSA DE LIMA (SENTIDO ESTE - OESTE)				
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE VEHÍCULO	DESTINO		
		derecha (1)	recto (2)	izquierda (3)
13:45 - 14:00	auto	4	11	8
	combi	1	34	14
	camión	0	2	3
	bus	0	2	0
	mototaxi	5	20	15
	motocicleta	2	2	2
	bicicleta	0	4	0
14:00 - 14:15	auto	18	18	16
	combi	5	43	5
	camión	1	3	1
	bus	0	2	0
	mototaxi	9	21	11
	motocicleta	5	5	2
	bicicleta	0	5	0
14:15 - 14:30	auto	10	19	8
	combi	4	39	6
	camión	0	5	4
	bus	0	1	0
	mototaxi	6	28	8
	motocicleta	0	4	2
	bicicleta	0	3	0
14:30 - 14:45	auto	10	20	13
	combi	3	35	5
	camión	1	1	5
	bus	0	1	0
	mototaxi	3	30	14
	motocicleta	1	3	3
	bicicleta	0	4	0
		88	365	145

AV. SANTA ROSA DE LIMA (SENTIDO OESTE - ESTE)				
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE VEHÍCULO	DESTINO		
		derecha (1)	recto (2)	izquierda (3)
13:45 - 14:00	auto	33	30	10
	combi	8	45	2
	camión	6	2	1
	bus	1	2	0
	mototaxi	10	22	8
	motocicleta	2	5	2
	bicicleta	0	3	0
14:00 - 14:15	auto	34	33	10
	combi	3	46	7
	camión	3	1	1
	bus	2	1	0
	mototaxi	7	29	5
	motocicleta	5	8	1
	bicicleta	0	4	0
14:15 - 14:30	auto	29	20	6
	combi	8	44	3
	camión	0	0	1
	bus	2	2	1
	mototaxi	7	23	12
	motocicleta	7	10	4
	bicicleta	0	3	0
14:30 - 14:45	auto	31	27	12
	combi	2	48	2
	camión	1	2	4
	bus	0	1	0
	mototaxi	7	40	5
	motocicleta	1	9	0
	bicicleta	0	2	0
		209	462	97

Nota. Elaboración propia.

## Anexo J. Aforo peatonal para la calibración

**Tabla J1.**

*Aforo peatonal detallado de la parte oeste de la avenida República de Polonia*

AV. REPÚBLICA DE POLONIA 1							
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE PEATÓN	T1	T2	T3	T4	T5	T6
18:00 - 18:15	varones - mujeres	11	8	2	8	11	19
	niños - niñas	2	2	1	1	1	1
	discapacitados	0	0	0	0	0	0
18:15 - 18:30	varones - mujeres	11	1	0	6	2	9
	niños - niñas	1	2	0	0	2	2
	discapacitados	0	0	0	0	0	0
18:30 - 18:45	varones - mujeres	12	5	0	1	5	5
	niños - niñas	2	0	2	0	1	2
	discapacitados	0	0	0	0	0	0
18:45 - 19:00	varones - mujeres	4	9	3	2	7	7
	niños - niñas	1	0	1	2	1	1
	discapacitados	0	0	0	0	0	0
		44	27	9	20	30	46

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla J2.**

*Aforo peatonal detallado de la parte este de la avenida República de Polonia*

AV. REPÚBLICA DE POLONIA 2							
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE PEATÓN	T1	T2	T3	T4	T5	T6
18:00 - 18:15	varones - mujeres	2	10	8	2	9	6
	niños - niñas	0	2	2	2	1	1
	discapacitados	0	0	0	0	0	0
18:15 - 18:30	varones - mujeres	5	8	8	6	6	12
	niños - niñas	1	1	2	1	2	0
	discapacitados	0	0	0	0	0	0
18:30 - 18:45	varones - mujeres	15	9	6	4	5	7
	niños - niñas	1	2	1	1	1	0
	discapacitados	0	0	0	0	0	0
18:45 - 19:00	varones - mujeres	13	12	3	5	9	10
	niños - niñas	0	1	1	2	0	2
	discapacitados	0	0	0	0	0	0
		37	45	31	23	33	38

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla J3.**

*Aforo peatonal detallado para los accesos extremos de cruce de la avenida Santa Rosa de Lima*

AV. SANTA ROSA DE LIMA - EXTREMOS					
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE PEATÓN	T1 (E-O)	T2 (O-E)	T3 (E-O)	T4 (O-E)
18:00 - 18:15	varones - mujeres	23	24	10	21
	niños - niñas	2	1	1	1
	discapacitados	0	0	1	0
18:15 - 18:30	varones - mujeres	21	21	24	20
	niños - niñas	1	3	0	1
	discapacitados	0	0	0	0
18:30 - 18:45	varones - mujeres	22	28	21	20
	niños - niñas	0	0	2	0
	discapacitados	0	0	0	0
18:45 - 19:00	varones - mujeres	9	25	19	16
	niños - niñas	1	0	2	0
	discapacitados	0	0	0	1
		79	102	80	80

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla J4.**

*Aforo peatonal detallado para el acceso central del cruce de la avenida Santa Rosa de Lima*

AV. SANTA ROSA DE LIMA - CENTRAL							
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE PEATÓN	T1	T2	T3	T4	T5	T6
18:00 - 18:15	varones - mujeres	4	52	4	4	15	6
	niños - niñas	1	5	1	3	2	1
	discapacitados	0	1	0	0	2	0
18:15 - 18:30	varones - mujeres	2	38	5	5	20	5
	niños - niñas	2	5	0	1	5	1
	discapacitados	0	2	1	0	1	0
18:30 - 18:45	varones - mujeres	4	28	4	5	34	4
	niños - niñas	0	3	1	0	3	0
	discapacitados	0	2	0	0	0	1
18:45 - 19:00	varones - mujeres	3	35	3	4	44	3
	niños - niñas	0	2	1	0	2	0
	discapacitados	0	0	0	0	1	0
		16	173	20	22	129	21

*Nota.* Elaboración propia.

### Anexo K. Aforo peatonal para la validación

**Tabla K1.**

*Aforo peatonal detallado de la parte oeste de la avenida República de Polonia*

AV. REPÚBLICA DE POLONIA 1							
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE PEATÓN	T1	T2	T3	T4	T5	T6
13:45 - 14:00	varones - mujeres	2	4	1	0	4	2
	niños - niñas	0	1	0	0	0	0
	discapacitados	0	0	0	0	0	0
14:00 - 14:15	varones - mujeres	1	18	2	4	4	4
	niños - niñas	1	2	0	2	10	1
	discapacitados	0	0	0	0	0	0
14:15 - 14:30	varones - mujeres	5	11	5	5	15	4
	niños - niñas	1	1	1	15	45	1
	discapacitados	0	0	0	0	0	0
14:30 - 14:45	varones - mujeres	7	5	4	3	2	7
	niños - niñas	0	0	0	2	0	2
	discapacitados	0	0	0	0	0	0
		17	42	13	31	80	21

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla K2.**

*Aforo peatonal detallado de la parte este de la avenida República de Polonia*

AV. REPÚBLICA DE POLONIA 2							
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE PEATÓN	T1	T2	T3	T4	T5	T6
13:45 - 14:00	varones - mujeres	2	5	0	1	9	5
	niños - niñas	0	1	0	0	3	1
	discapacitados	0	0	0	0	0	0
14:00 - 14:15	varones - mujeres	5	5	2	2	8	2
	niños - niñas	1	0	1	0	2	0
	discapacitados	0	0	0	0	0	0
14:15 - 14:30	varones - mujeres	1	10	2	7	0	1
	niños - niñas	1	2	0	2	0	0
	discapacitados	0	0	0	0	0	0
14:30 - 14:45	varones - mujeres	8	4	2	2	3	4
	niños - niñas	0	0	2	0	1	1
	discapacitados	0	0	0	0	0	0
		18	27	9	14	26	14

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla K3.**

*Aforo peatonal detallado para los accesos extremos de cruce de la avenida Santa Rosa de Lima*

AV. SANTA ROSA DE LIMA - EXTREMOS					
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE PEATÓN	T1 (E-O)	T2 (O-E)	T3 (E-O)	T4 (O-E)
13:45 - 14:00	varones - mujeres	9	6	10	17
	niños - niñas	1	15	0	0
	discapacitados	0	0	1	0
14:00 - 14:15	varones - mujeres	5	4	15	8
	niños - niñas	10	13	1	2
	discapacitados	0	0	0	0
14:15 - 14:30	varones - mujeres	9	9	28	13
	niños - niñas	23	51	1	3
	discapacitados	0	0	0	1
14:30 - 14:45	varones - mujeres	3	3	24	11
	niños - niñas	7	10	0	1
	discapacitados	0	0	1	0
		67	111	81	56

*Nota.* Elaboración propia.

**Tabla K4.**

*Aforo peatonal detallado para el acceso central del cruce de la avenida Santa Rosa de Lima*

AV. SANTA ROSA DE LIMA - CENTRAL							
PERIODO DE TIEMPO	TIPO DE PEATÓN	T1	T2	T3	T4	T5	T6
13:45 - 14:00	varones - mujeres	2	15	5	4	6	3
	niños - niñas	0	5	1	0	1	0
	discapacitados	0	1	0	0	0	0
14:00 - 14:15	varones - mujeres	4	15	5	7	10	4
	niños - niñas	0	7	1	0	1	0
	discapacitados	0	0	0	0	1	0
14:15 - 14:30	varones - mujeres	3	9	3	8	5	7
	niños - niñas	0	2	0	0	0	0
	discapacitados	0	1	0	0	0	0
14:30 - 14:45	varones - mujeres	2	12	3	4	11	3
	niños - niñas	0	1	2	0	0	0
	discapacitados	0	1	0	0	1	0
		11	69	20	23	36	17

*Nota.* Elaboración propia.

### Anexo L. Calibración vehicular del modelo

**Tabla L1.**

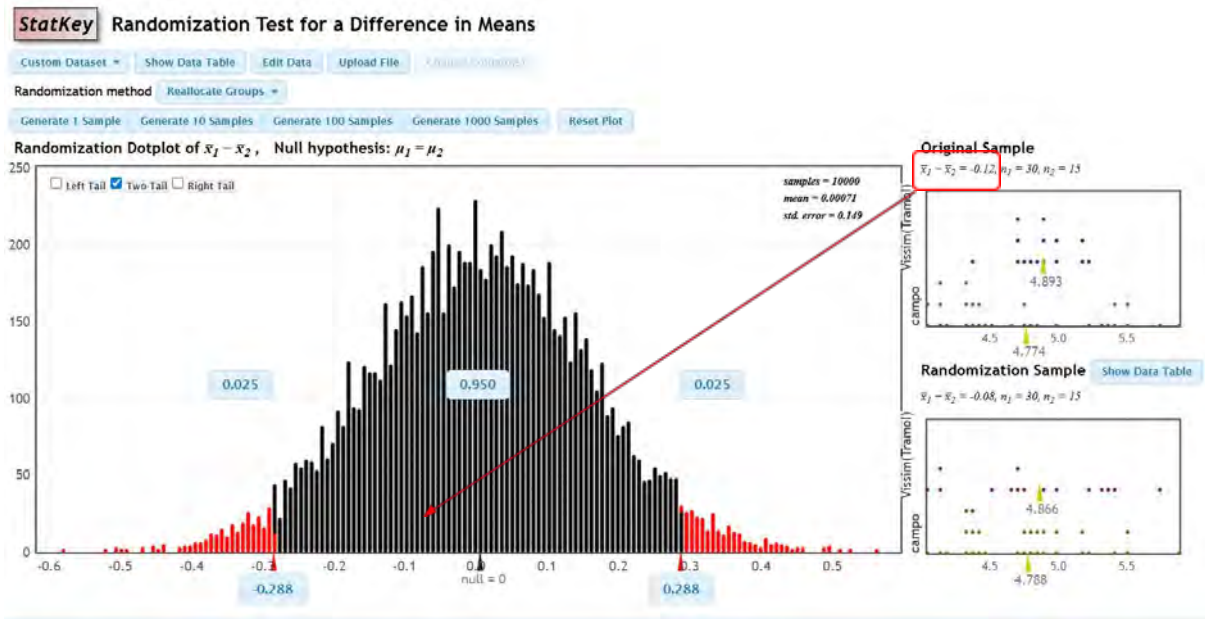
*Tiempos de viaje vehicular del sistema para ambos accesos evaluados*

TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR - SISTEMA - CALIBRACIÓN				
Número de corrida	Intervalo de tiempo(s)	Número de semilla	Tramo 1 t(s)	Tramo 2 t(s)
1	600-3600	35	4,90	7,91
2	600-3600	37	4,77	7,47
3	600-3600	39	5,18	6,33
4	600-3600	41	4,85	6,29
5	600-3600	43	5,22	6,56
6	600-3600	45	4,73	6,61
7	600-3600	47	4,75	6,42
8	600-3600	49	4,39	6,48
9	600-3600	51	4,90	6,53
10	600-3600	53	4,72	6,16
11	600-3600	55	5,01	6,42
12	600-3600	57	5,24	6,47
13	600-3600	59	5,00	7,52
14	600-3600	61	4,81	7,32
15	600-3600	63	4,92	7,08
		<b>X</b>	4,89	6,77
		<b>S</b>	0,22	0,54
		<b>e</b>	0,05	0,05
		<b>t(14, 95%)</b>	2,1448	2,1448
		<b>N mínimo</b>	3,82	11,72
		<b>P value</b>	0,43	0,15

*Nota.* Elaboración propia.

**Figura L1.**

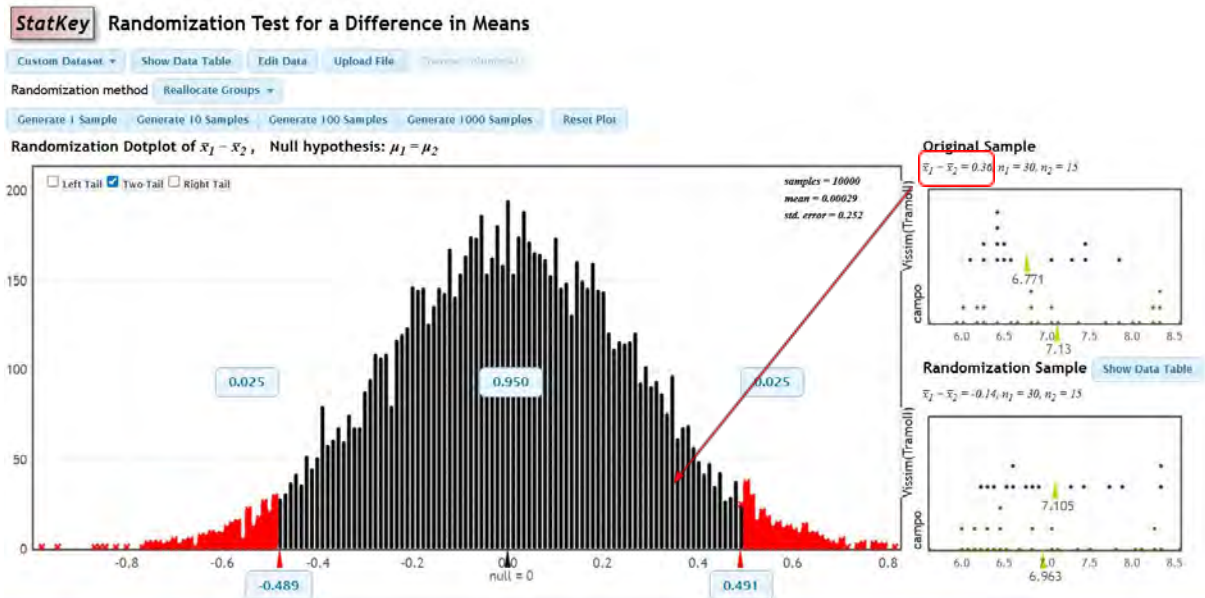
*Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje vehicular para la avenida República de Polonia*



Nota. Elaboración propia.

**Figura L2.**

*Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje vehicular para la avenida Santa Rosa de Lima*



Nota. Elaboración propia.

### Anexo M. Validación vehicular del modelo

**Tabla M1.**

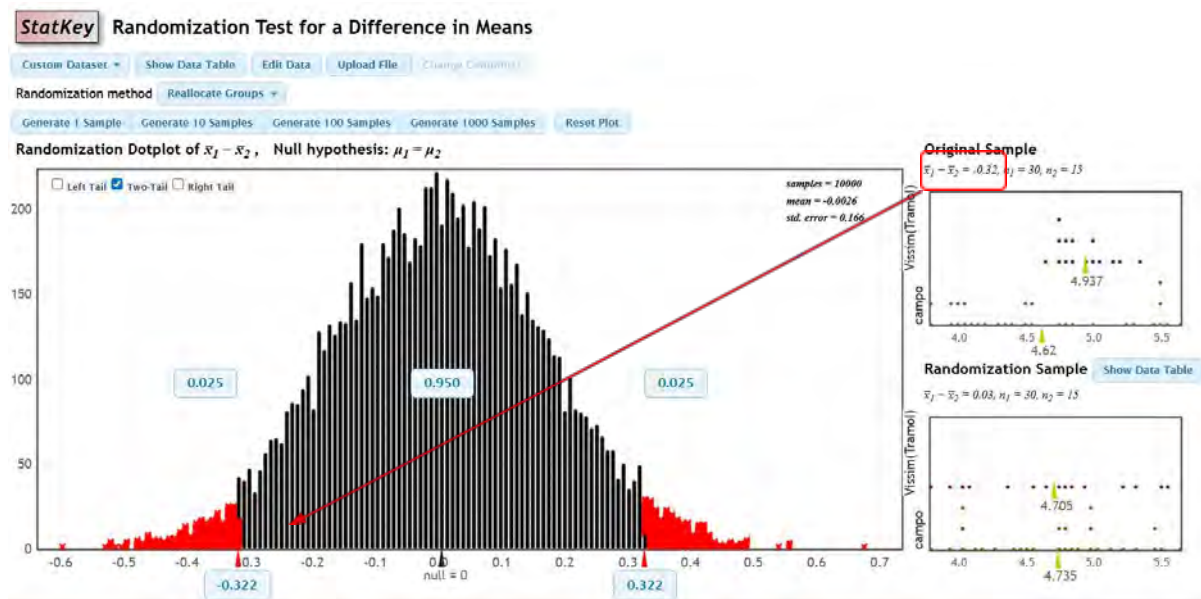
*Tiempos de viaje vehicular del sistema para ambos accesos evaluados*

TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR - SISTEMA - VALIDACIÓN				
Número de corrida	Intervalo de tiempo(s)	Número de semilla	Tramo 1 t(s)	Tramo 2 t(s)
1	600-3600	35	4,74	6,36
2	600-3600	37	4,99	6,37
3	600-3600	39	4,82	6,49
4	600-3600	41	4,88	6,60
5	600-3600	43	5,00	6,66
6	600-3600	45	5,22	6,55
7	600-3600	47	4,96	6,46
8	600-3600	49	4,76	6,60
9	600-3600	51	4,77	6,37
10	600-3600	53	5,05	6,76
11	600-3600	55	4,83	6,70
12	600-3600	57	5,34	6,60
13	600-3600	59	4,89	6,06
14	600-3600	61	4,65	6,51
15	600-3600	63	5,15	6,90
		<b>X</b>	4,94	6,53
		<b>S</b>	0,19	0,20
		<b>e</b>	0,05	0,05
		<b>t(14, 95%)</b>	2,1448	2,1448
		<b>N mínimo</b>	2,85	1,73
		<b>P value</b>	0,05	0,14

Nota. Elaboración propia.

Figura M1.

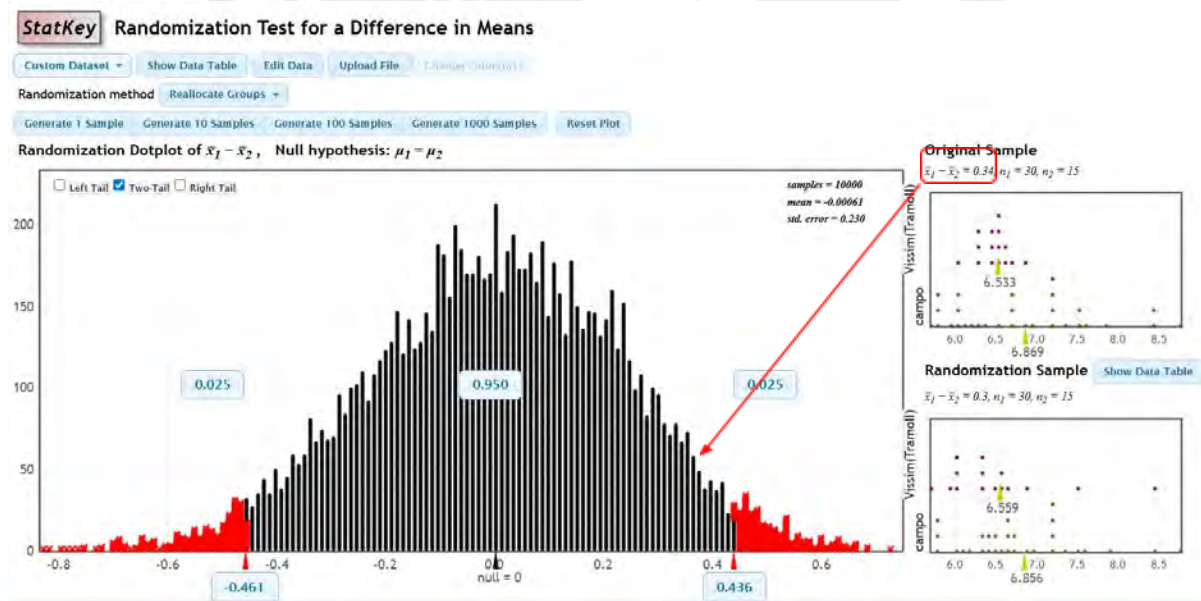
Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje peatonal de la avenida República de Polonia



Nota. Elaboración propia.

Figura M2.

Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje peatonal de la avenida Santa Rosa de Lima



Nota. Elaboración propia.

### Anexo N. Calibración peatonal del modelo

**Tabla N1.**

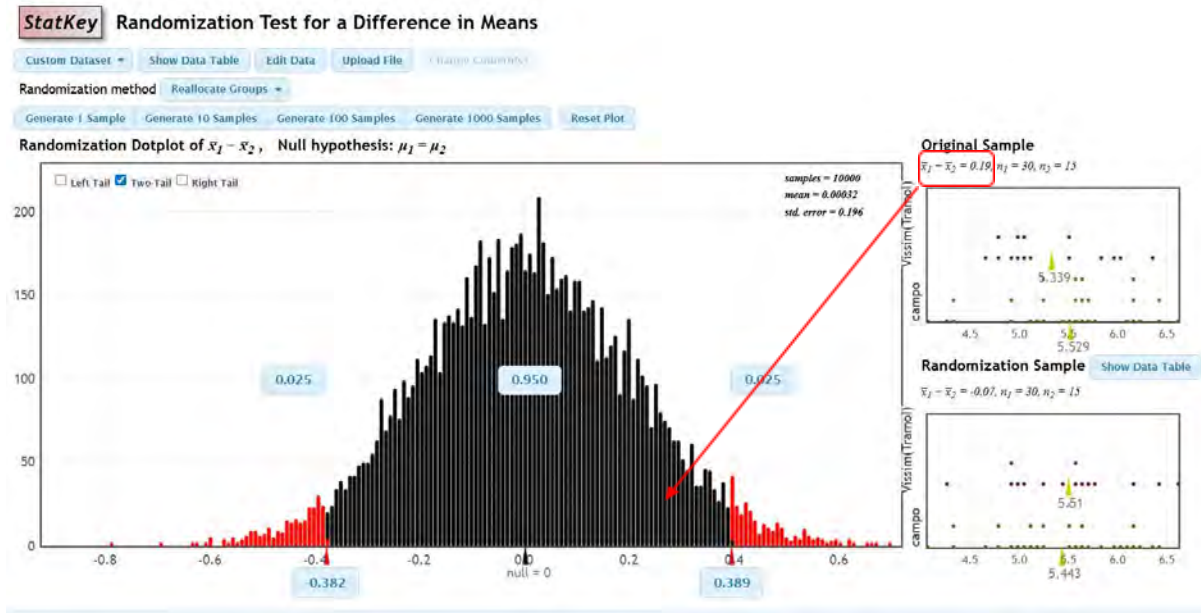
*Tiempos de viaje peatonal del sistema para ambos cruces evaluados*

TIEMPOS DE VIAJE PEATONAL - SISTEMA - CALIBRACIÓN				
Número de corrida	Intervalo de tiempo(s)	Número de semilla	Crucero 1 t(s)	Crucero 2 t(s)
1	600-3600	35	4,79	4,95
2	600-3600	37	4,85	4,52
3	600-3600	39	5,08	5,49
4	600-3600	41	5,55	4,87
5	600-3600	43	5,10	5,51
6	600-3600	45	5,55	4,49
7	600-3600	47	4,98	5,53
8	600-3600	49	5,97	4,67
9	600-3600	51	5,00	5,71
10	600-3600	53	6,42	4,76
11	600-3600	55	4,99	5,38
12	600-3600	57	6,09	4,77
13	600-3600	59	5,13	5,65
14	600-3600	61	5,89	4,52
15	600-3600	63	4,70	4,42
		<b>X</b>	5,34	5,02
		<b>S</b>	0,54	0,47
		<b>e</b>	0,05	0,05
		<b>t(14, 95%)</b>	2,1448	2,1448
		<b>N mínimo</b>	18,49	16,39
		<b>P value</b>	0,34	0,08

Nota. Elaboración propia.

**Figura N1.**

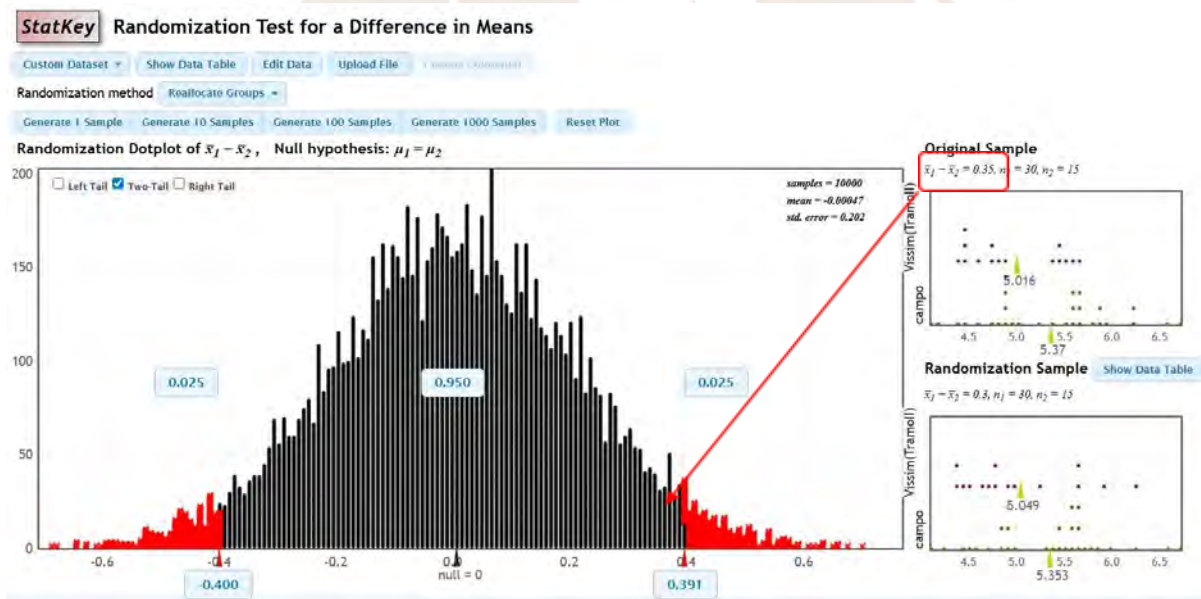
*Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje peatonal del cruce de la avenida República de Polonia*



Nota. Elaboración propia.

**Figura N2.**

*Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje peatonal del cruce de la avenida Santa Rosa de Lima*



Nota. Elaboración propia.

## Anexo Ñ. Validación peatonal del modelo

**Tabla Ñ1.**

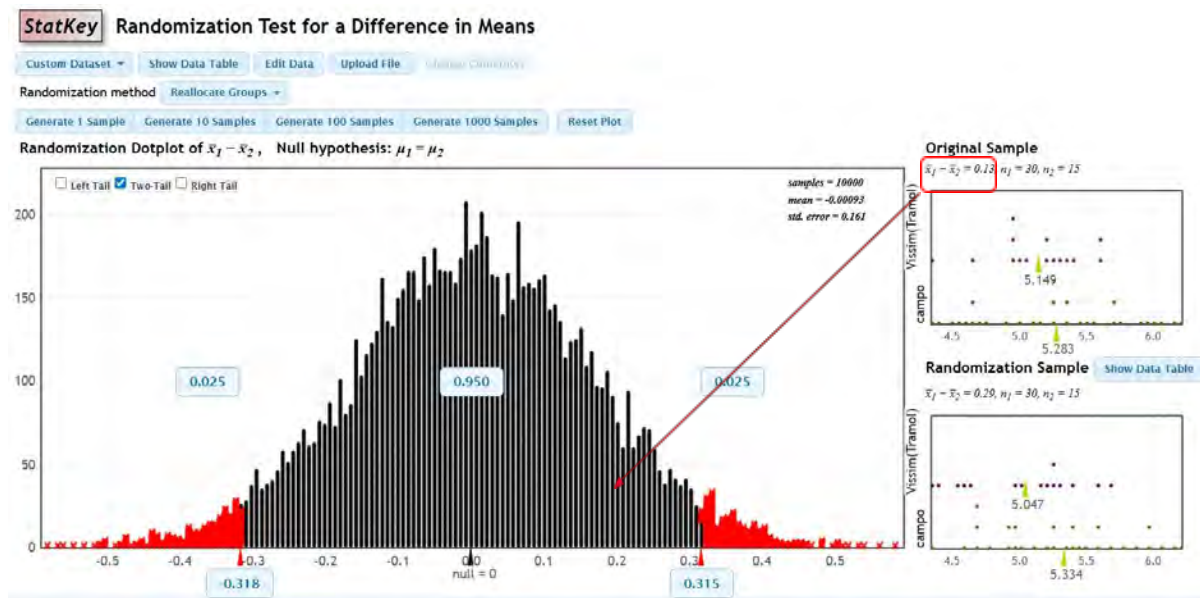
*Tiempos de viaje peatonal del sistema para ambos cruceos evaluados*

TIEMPOS DE VIAJE PEATONAL - SISTEMA - VALIDACIÓN				
Número de corrida	Intervalo de tiempo(s)	Número de semilla	Crucero 1 t(s)	Crucero 2 t(s)
1	600-3600	35	4,96	5,77
2	600-3600	37	4,35	4,83
3	600-3600	39	5,06	5,16
4	600-3600	41	4,99	5,99
5	600-3600	43	5,40	6,05
6	600-3600	45	5,24	6,18
7	600-3600	47	5,43	6,24
8	600-3600	49	5,62	6,18
9	600-3600	51	5,05	5,38
10	600-3600	53	5,63	5,80
11	600-3600	55	5,28	5,96
12	600-3600	57	4,99	6,18
13	600-3600	59	5,22	5,92
14	600-3600	61	4,69	4,32
15	600-3600	63	5,33	5,73
		<b>X</b>	5,15	5,71
		<b>S</b>	0,34	0,56
		<b>e</b>	0,05	0,05
		<b>t(14, 95%)</b>	2,1448	2,1448
		<b>N mínimo</b>	8,04	17,67
		<b>P value</b>	0,40	0,09

*Nota.* Elaboración propia.

Figura Ñ1.

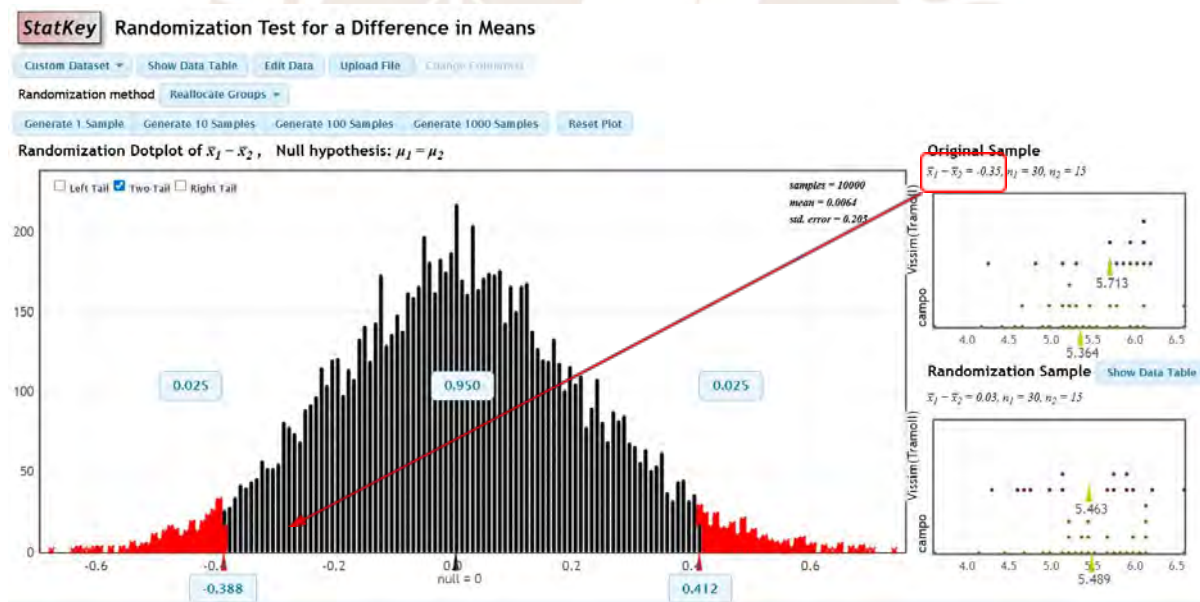
Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje peatonal para el cruce de la avenida República de Polonia



Nota. Elaboración propia.

Figura Ñ2.

Prueba de hipótesis nula de los tiempos de viaje peatonal para el cruce de la avenida Santa Rosa de Lima

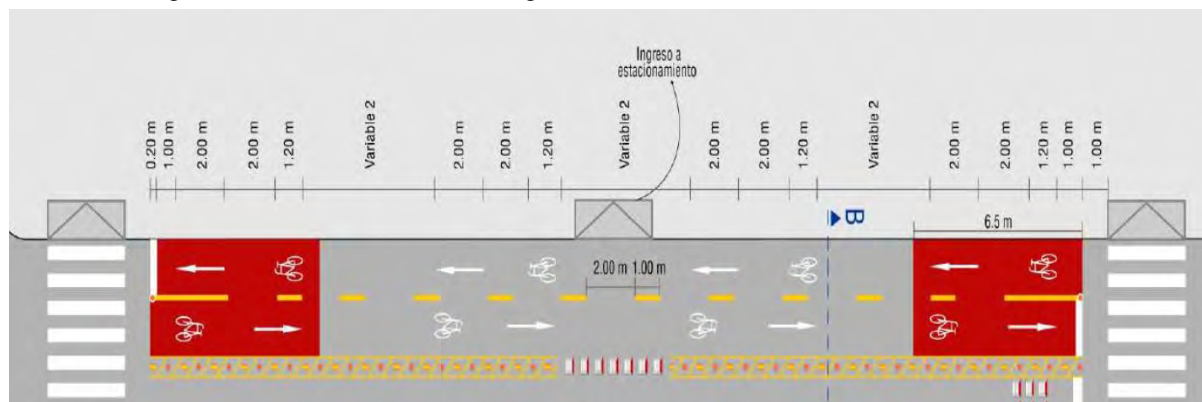


Nota. Elaboración propia.

## Anexo O. Características de las señales horizontales propuestas

**Figura O1.**

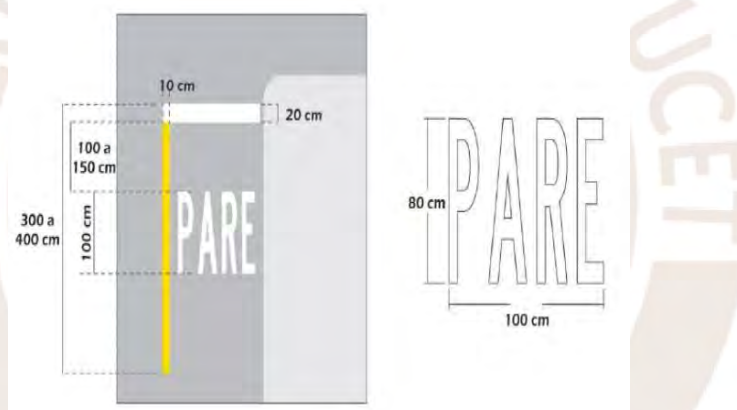
*Características para la demarcación de símbolos para una ciclovía bidireccional*



*Nota.* Adaptado del *Manual de Dispositivos de Control del Tránsito automotor*, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2024

**Figura O2.**

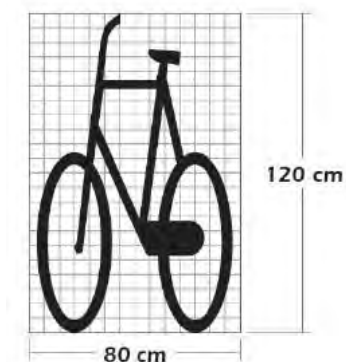
*Dimensiones para la demarcación de símbolo "PARE" en el pavimento de la ciclovía*



*Nota.* Adaptado del *Manual de Dispositivos de Control del Tránsito automotor*, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2024.

**Figura O3.**

*Dimensiones para la demarcación del pictograma de bicicleta en el pavimento de la ciclovía*



*Nota.* Adaptado del *Manual de Dispositivos de Control del Tránsito automotor*, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2024.

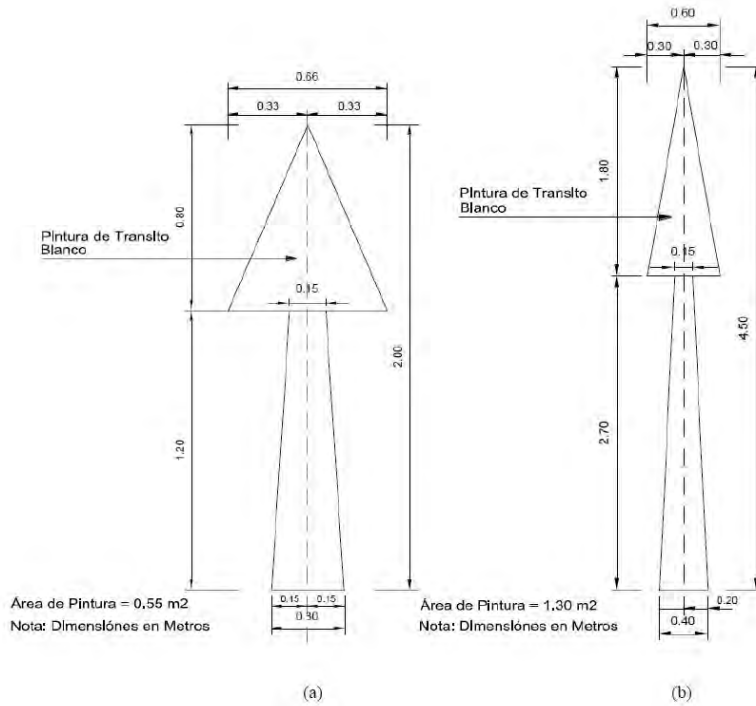
**Figura O4.**

Dimensiones para la demarcación horizontal de “ZONA ESCOLAR” sobre 2 carriles y “ZONA 30” sobre 1 carril.



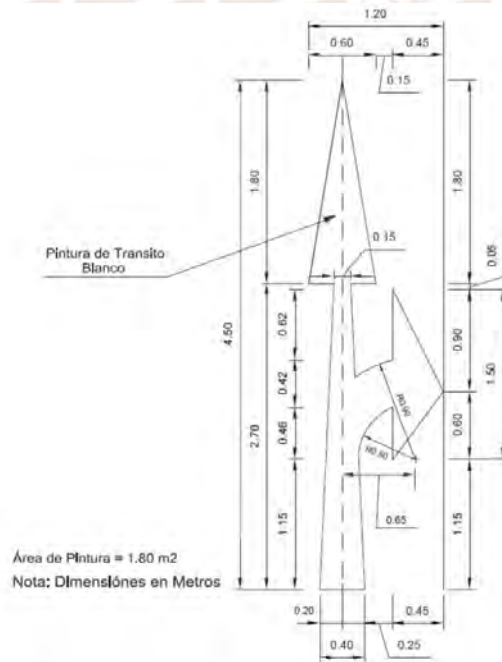
Nota. Tomado del *Manual de Dispositivos de Control del Tránsito automotor*, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2024.

**Figura O5.**  
Dimensiones para la demarcación de flecha recta(carril vehicular)



Nota. (a) Flecha recta(60 km/h o menor) y (b) Flecha recta (70 km/h o mayor). Tomado del *Manual de Dispositivos de Control del Tránsito automotor*, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2024.

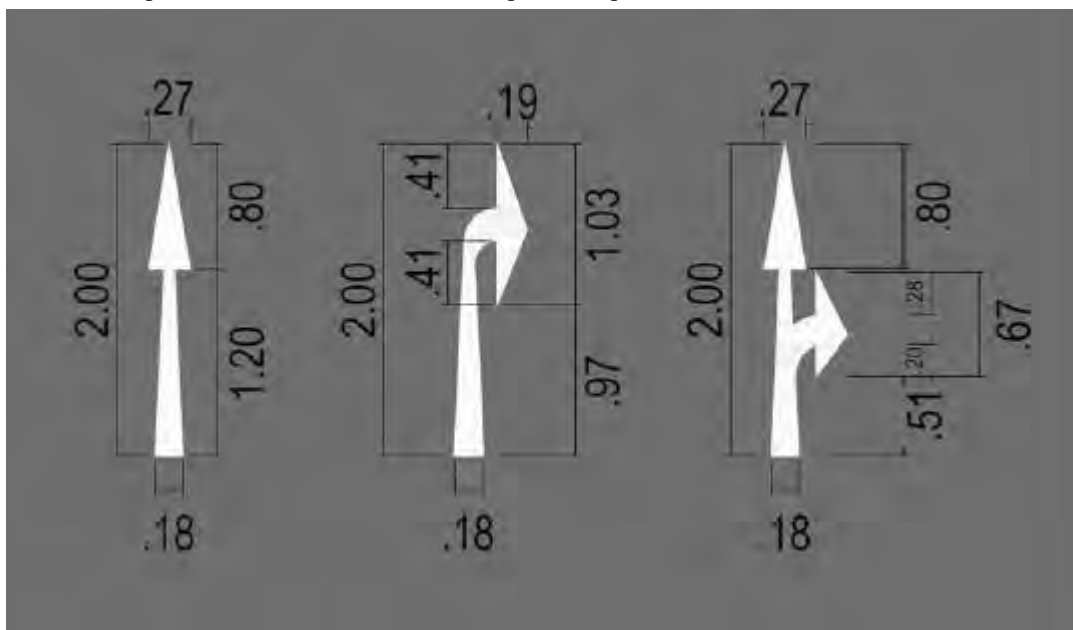
**Figura O6.**  
Dimensiones para la demarcación de combinación de flecha recta y giro a la derecha( carril vehicular)



Nota. Flecha recta y de giro (70 km/h o mayor), para velocidades menores disminuir en 30% múltiplo de 5. Tomado del *Manual de Dispositivos de Control del Tránsito automotor*, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2024.

**Figura O7.**

Dimensiones para la demarcación del símbolo tipo flecha para la ciclovía



Nota. Tomado del *Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor*, por Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2024.



### Anexo P. Tiempos de viaje vehicular en el modelos actual y propuesto

**Tabla P1.**

*Tiempos de viaje vehicular en el modelo actual y propuesto para ambos tramos evaluados*

TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR						
Número de corrida	Intervalo de tiempo(s)	Número de semilla	SISTEMA ACTUAL	SISTEMA PROPUESTO	SISTEMA ACTUAL	SISTEMA PROPUESTO
			Tramo 1 t(s)	Tramo 1 t(s)	Tramo 2 t(s)	Tramo 2 t(s)
1	600-3600	35	4,90	3,39	7,91	4,79
2	600-3600	37	4,77	3,22	7,47	4,49
3	600-3600	39	5,18	3,33	6,33	4,19
4	600-3600	41	4,85	3,48	6,29	4,56
5	600-3600	43	5,22	3,54	6,56	5,33
6	600-3600	45	4,73	3,33	6,61	4,32
7	600-3600	47	4,75	3,61	6,42	4,87
8	600-3600	49	4,39	3,28	6,48	4,67
9	600-3600	51	4,90	3,27	6,53	4,69
10	600-3600	53	4,72	3,56	6,16	4,59
11	600-3600	55	5,01	3,90	6,42	4,50
12	600-3600	57	5,24	3,41	6,47	4,49
13	600-3600	59	5,00	3,77	7,52	4,54
14	600-3600	61	4,81	3,18	7,32	4,42
15	600-3600	63	4,92	3,71	7,08	5,10
		X	4,89	3,47	6,77	4,64
		S	0,22	0,21	0,54	0,29
		XA-XP	1,43		2,14	
		P value	0,000000000000000034		0,0000000000000048374	

*Nota.* Elaboración propia.

### Anexo Q. Tiempos de viaje peatonal en modelos actual y propuesto

**Tabla Q1.**

*Tiempos de viaje peatonal en el modelo actual y propuesto para ambos cruces evaluados*

TIEMPOS DE VIAJE PEATONAL						
Número de corrida	Intervalo de tiempo(s)	Número de semilla	SISTEMA ACTUAL	SISTEMA PROPUESTO	SISTEMA ACTUAL	SISTEMA PROPUESTO
			Crucero 1 t(s)	Crucero 1 t(s)	Crucero 2 t(s)	Crucero 2 t(s)
1	600-3600	35	4,79	5,38	4,95	7,00
2	600-3600	37	4,85	5,11	4,52	5,00
3	600-3600	39	5,08	4,98	5,49	6,70
4	600-3600	41	5,55	5,36	4,87	6,80
5	600-3600	43	5,10	4,84	5,51	7,20
6	600-3600	45	5,55	5,49	4,49	6,20
7	600-3600	47	4,98	5,13	5,53	6,50
8	600-3600	49	5,97	4,62	4,67	6,20
9	600-3600	51	5,00	4,74	5,71	7,55
10	600-3600	53	6,42	5,34	4,76	8,37
11	600-3600	55	4,99	5,34	5,38	6,30
12	600-3600	57	6,09	5,10	4,77	5,10
13	600-3600	59	5,13	5,47	5,65	5,75
14	600-3600	61	5,89	4,89	4,52	4,40
15	600-3600	63	4,70	5,26	4,42	8,90
		X	5,34	5,14	5,02	6,53
		S	0,54	0,27	0,47	1,21
		XA-XP	0,20		-1,52	
		P value	0,102395409536421000		0,000053165355036383	

*Nota.* Elaboración propia.

## Anexo R. Planos del estado actual y propuesto de la intersección

### **Figura R1.**

*Plano geométrico actual de la intersección evaluada*

*Nota.* Elaboración propia

### **Figura R2.**

*Plano geométrico actual acotado de la intersección evaluada*

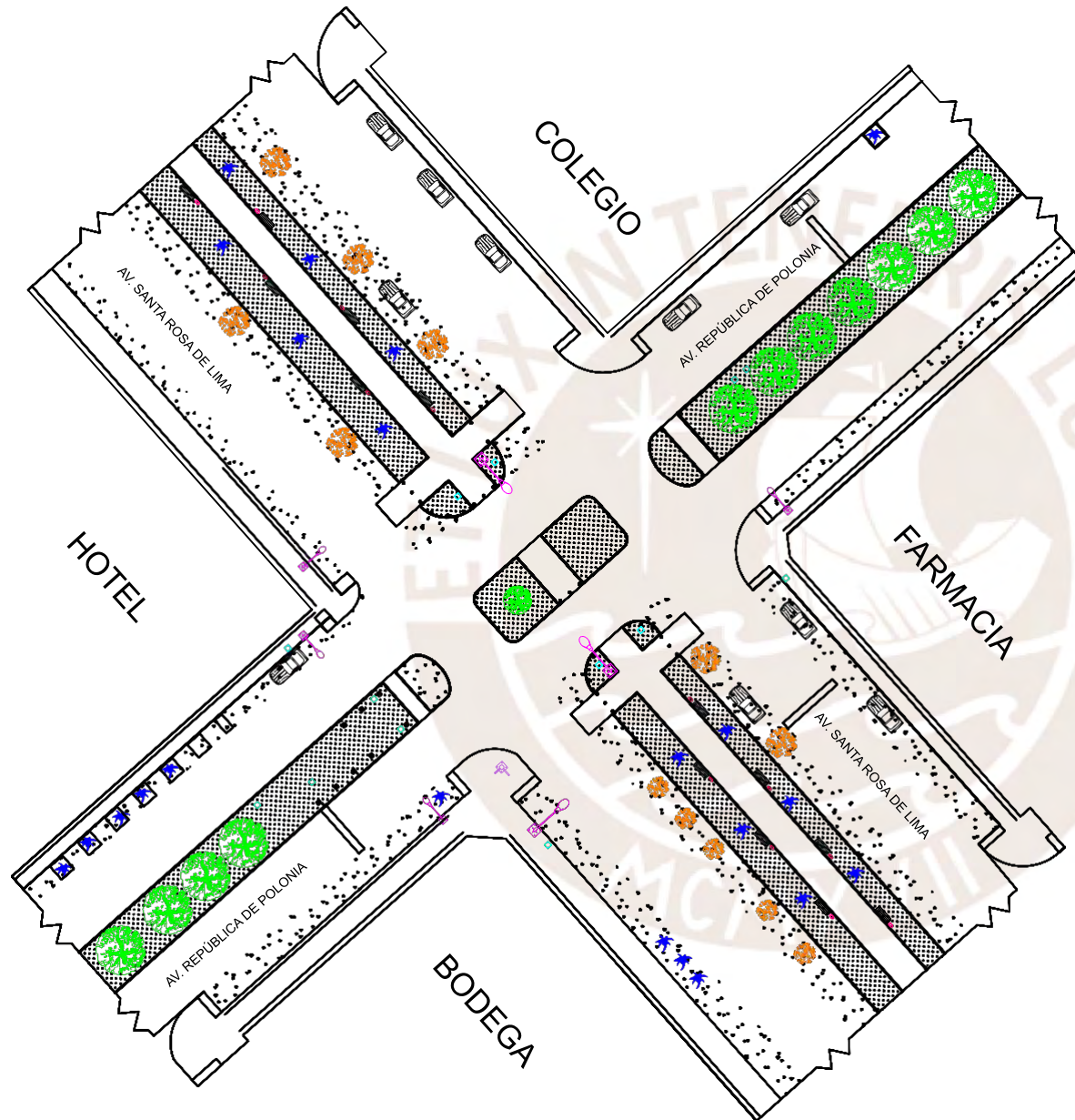
*Nota.* Elaboración propia

### **Figura R3.**

*Plano geométrico de la propuesta*

*Nota.* Elaboración propia.





PLANO DE LA INTERSECCIÓN ACTUAL



ESCALA: 1/10000

ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN

**LEYENDA**

	LETRERO INFORMATIVO DE CALLE
	POSTE DE ALUMBRADO
	POSTE DE CABLES
	ALUMBRADO
	BANCA
	BOLARDO
	BLOQUE DE CONCRETO
	ARBUSTO T1
	ARBUSTO T2
	ARBUSTO T3



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

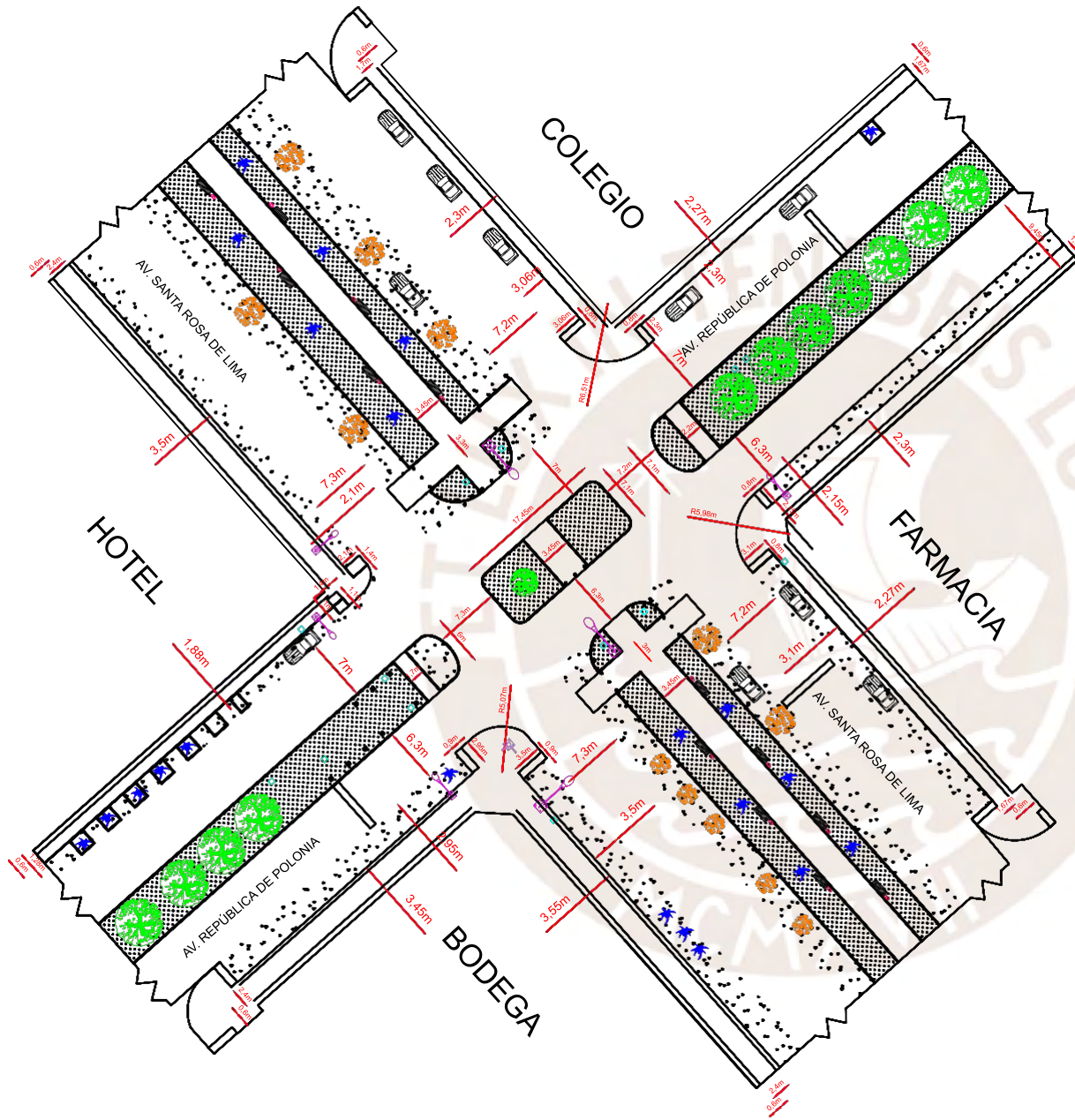
PLANO PLANO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA INTERSECCIÓN

UBICACIÓN INTERSECCIÓN DE LAS AVENIDAS SANTA ROSA DE LIMA Y REPÚBLICA DE POLONIA - S.E. - LIMA

TESISTA BACH. WILMER ALEXANDER MONTES CHAVEZ

ASESORES ING. JUAN CARLOS DEJIRE GUJANDRÍA  
ING. FIORELLA NICOLE ARANDA JIMENEZ

R-01



ESCALA: 1/10000

ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN

**LEYENDA**

	LETRERO INFORMATIVO DE CALLE
	POSTE DE ALUMBRADO
	POSTE DE CABLES
	ALUMBRADO
	BANCA
	BOLARDO
	BLOQUE DE CONCRETO
	ARBUSTO T1
	ARBUSTO T2
	ARBUSTO T3

PLANO DE LA INTERSECCIÓN ACTUAL



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

PLANO PLANO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA INTERSECCIÓN

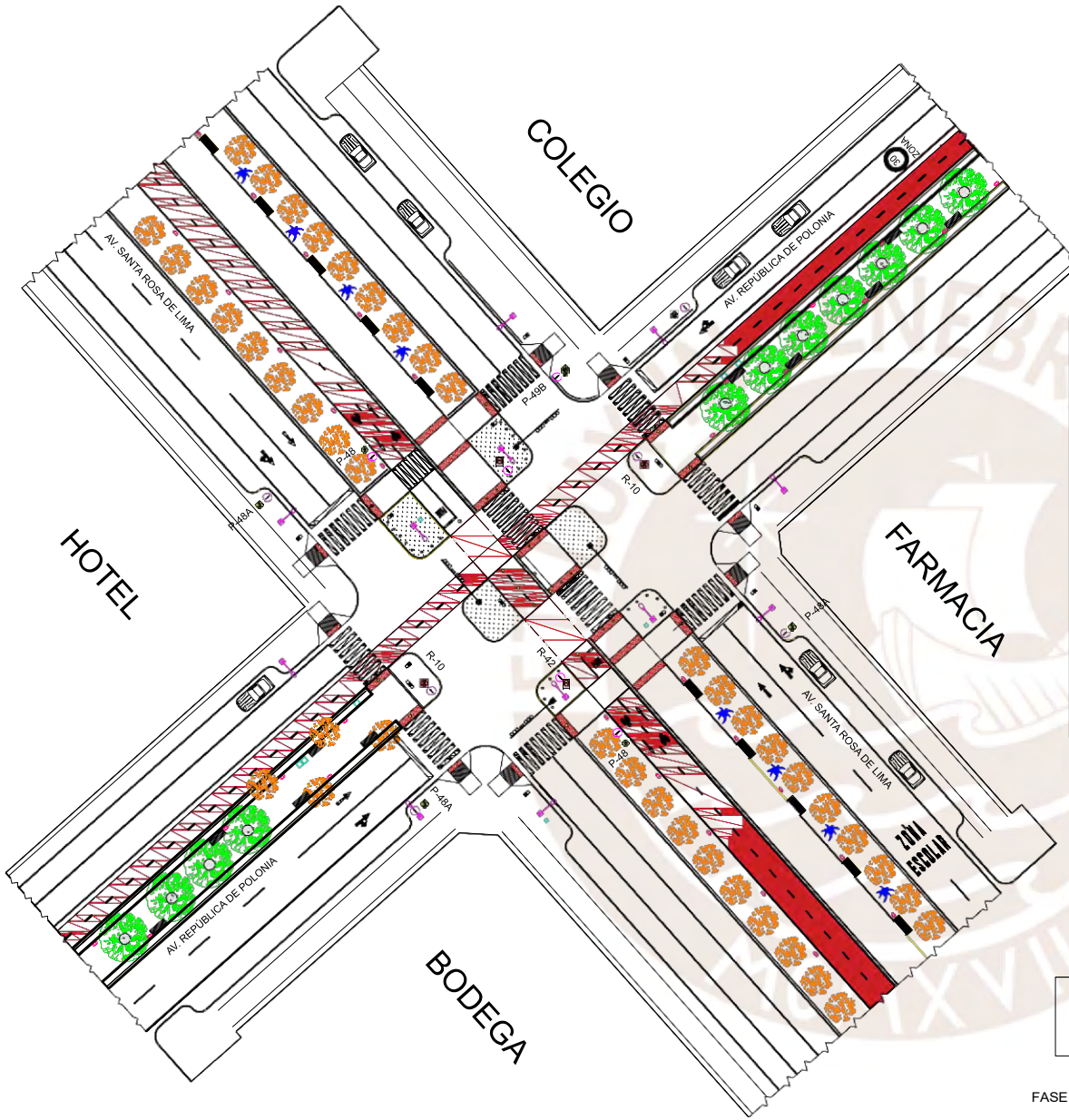
UBICACIÓN INTERSECCIÓN DE LAS AVENIDAS SANTA ROSA DE LIMA Y REPÚBLICA DE POLONIA - S.L. - LIMA

R-02

ASESORES BACH. WELMER ALEXANDER MONTES CHAVEZ

ING. JUAN CARLOS BENTRE GUJARERRA  
ING. FIORELLA NICOLE ARANDA JIMENEZ

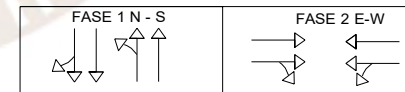
FECHA 15/07/2025 ESCALA 1/750



**SEÑALIZACIÓN VERTICAL**

SEÑALES REGULADORAS O DE REGLAMENTACIÓN			
Señal de prohibido voltear en "U" [R-10]	Señal Ciclovia [R-42]		
SEÑALES DE PREVENCIÓN			
Señal zona de presencia de peatones [P-48]	Señal proximidad a cruce peatonal [P-48A]	Señal proximidad a cruce escolar [P-49A]	Señal ubicación de cruce escolar [P-49B]

**CICLO SEMAFÓRICO**



PLANO PROPUESTA PARA LA INTERSECCIÓN



ESCALA: 1/10000

ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN

**LEYENDA**

	SEMÁFORO PARA PEATONES Y CICLISTAS
	SEMÁFORO PARA VEHÍCULOS MOTORIZADOS
	POSTE DE ALUMBRADO
	POSTE DE CABLES
	ALUMBRADO
	BANCA
	BOLARDO
	SEÑALIZACIÓN VERTICAL
	ARBUSTO T1 - T2 - T3
	SUPERFICIE PODOTÁCTIL



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

PLANO PLANO DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA INTERSECCIÓN

UBICACIÓN INTERSECCIÓN DE LAS AVENIDAS SANTA ROSA DE LIMA Y REPÚBLICA DE POLONIA - S.L. - LIMA

TESISTA BACH. WILMER ALEXANDER MONTES CHAVEZ

ASESORES ING. JUAN CARLOS DEKRE GUANDRÍA  
ING. FIORELLA NICOLE ARANDA JIMENEZ

R-03