UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Rediseño de la infraestructura de la Av. Benavides entre la Av. José Larco y la Calle Alcanfores para reducir los tiempos de viaje y mejorar el nivel de servicio del sistema de transporte público

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Minaya Goicochea, Paulo Cesar (0009-0008-5511-129X)

Salvatierra Ordaya, Camila Sharay (0009-0003-8348-5540)

ASESOR

Silvera Lima, Manuel Elías (0000-0002-8265-9495)

Lima, 06 de junio de 2024

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio para que pudiera alcanzar mis metas académicas. Sin su aliento y guía, este logro no habría sido posible.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, no hay palabras suficientes para expresar mi profundo agradecimiento por todo lo que han hecho por mí a lo largo de mi vida y, en particular, durante este arduo viaje académico que culmina con esta tesis. Su amor incondicional, apoyo constante y sacrificio han sido las bases de mi éxito.

Desde el primer día, ustedes me inspiraron a soñar en grande y me brindaron las herramientas para alcanzar mis metas. Sin su guía y aliento, este logro no habría sido posible. Han sido mi fuente de inspiración y mi motivación constante. Cada paso que he dado en este camino académico ha sido en parte gracias a su apoyo emocional y a la seguridad que me han brindado. Sus consejos y palabras de aliento han sido un faro en los momentos de incertidumbre. Este logro es tanto suyo como mío, y quiero que sepan que esta tesis lleva impresa su influencia y amor.

Gracias por creer en mí, por estar siempre a mi lado y por ser los mejores padres que alguien podría desear.

Con todo mi amor y gratitud.

RESUMEN

Este estudio se centra en el modelado de dos intersecciones de la avenida Benavides utilizando el software de microsimulación Vissim. La investigación comenzó con la recolección de datos, incluyendo el conteo de vehículos, tiempos de viaje y dimensionamiento de las vías. Con estos datos obtenidos, se diseñó un modelo detallado de las intersecciones actuales.

El objetivo fue proponer un rediseño para optimizar los tiempos de viaje y mejorar el nivel de servicio del transporte público. El rediseño incluyó la reconfiguración de carriles, la optimización de los tiempos de los semáforos y mejoras en la infraestructura del transporte público. También se realizó una calibración meticulosa del modelo para asegurar que reflejara con precisión las condiciones reales. Posteriormente, se validó el modelo para confirmar la autenticidad de las mejoras propuestas. Los resultados indicaron que estas modificaciones pueden reducir los tiempos de viaje de aproximadamente 17 segundos a 8 segundos, y mejorar el nivel de servicio de C a A, beneficiando a los usuarios del transporte público.

Este trabajo destaca la efectividad de Vissim en la planificación del tráfico urbano y ofrece una metodología replicable para abordar problemas similares en otros entornos urbanos. La calibración y validación del modelo garantizan que las propuestas sean viables y efectivas, proporcionando una base sólida para futuras mejoras en la infraestructura vial.

Palabras clave**:** microsimulación; transporte público; tiempo de viaje; nivel de servicio.

Redesign of the infrastructure of Av. Benavides between Av. Jose Larco and Street Alcanfores to reduce time travel and improve the level of service of the public transportation system

ABSTRACT

This study focuses on modeling two intersections on Benavides Avenue using the Vissim microsimulation software. The research began with data collection, including vehicle counts, travel times, and road dimensions. With this data, a detailed model of the current intersections was designed.

The objective was to propose a redesign to optimize travel times and improve the level of service for public transportation. The redesign included lane reconfiguration, optimization of traffic signal timings, and improvements in public transport infrastructure. A meticulous calibration of the model was also carried out to ensure it accurately reflected real conditions. Subsequently, the model was validated to confirm the authenticity of the proposed improvements. The results indicated that these modifications could reduce travel times from approximately 17 seconds to 8 seconds and improve the level of service from C to A, benefiting public transport users.

This work highlights the effectiveness of Vissim in urban traffic planning and offers a replicable methodology for addressing similar issues in other urban environments. The calibration and validation of the model ensure that the proposals are viable and effective, providing a solid foundation for future improvements in road infrastructure.

.

Keywords: microsimulation; public transport; time of travel; level of service.

Turnitin - 75682678.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%	16%	1%	0%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	7%
2	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	5%
3	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	dokumen.pub Fuente de Internet	<1%
7	repository.unipiloto.edu.co Fuente de Internet	<1%
8	Tiznado Aitken, Ignacio Andres. "Accessibility and Affordability Impacts on Transport-Related Inequalities and Poverty: The Case of	<1%

TABLA DE CONTENIDOS

1 CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROYECTO 1

1.1 ANTECEDENTES 1

1.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA 1

1.3 ESTADO DEL ARTE 5

1.4 OBJETIVOS 6

1.4.1 General: 6

1.4.2 Específicos 7

1.5 INDICADORES DE LOGRO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL 7

1.6 JUSTIFICACIÓN 7

1.7 LIMITACIONES 8

2 CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO 10

2.1 MARCO CONCEPTUAL 10

2.2 ESTÁNDARES Y BUENAS PRACTICAS 12

2.3 BASES LEGALES Y MARCO NORMATIVO 12

3 CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL PROYECTO 13

3.1 DISEÑO DE LA SOLUCIÓN 13

3.2 DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN 13

3.2.1 Identificación del área de estudio 13

3.2.2 Recolectar datos en campo 14

3.2.3 Crear un modelo de la situación actual 19

3.2.4 Evaluar los tiempos de viaje 21

3.2.5 Validación del modelo de simulación 26

3.2.6 Nivel de servicio de la situación actual 33

3.2.7 Implementar el rediseño de la infraestructura vial 34

3.2.8 Implementación de un nuevo ciclo semafórico 34

3.2.9 Evaluación de la microsimulación con el escenario propuesto 36

3.3 VALIDACIÓN DEL PROYECTO 37

3.3.1 Cumplimiento del OE 1: Recolectar datos en las avenidas para identificar los principales problemas de la situación actual. 37

3.3.2 Cumplimiento del OE 2: Realizar una microsimulación calibrada y validada con el parámetro de eficiencia de tiempos de viaje vehiculares. 37
3.3.3 Cumplimiento del OE 3: Realizar un rediseño en la Av. Benavides para reducir los tiempos de viaje del sistema de transporte público. 38
3.3.4 Cumplimiento del OE 4: Verificar si el rediseño en la Av. Benavides mejora el nivel de servicio del sistema de transporte público. 38
3.4 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS 45
3.4.1 Tiempos de Viaje 45
3.4.2 Nivel de Servicio 46
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 47
4.1 CONCLUSIONES 47
4.2 RECOMENDACIONES 48
5 REFERENCIAS 49
6 ANEXOS 51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 ¿Cuál es su principal forma de movilizarse? 4
Tabla 2 Indicadores de medición de logros 7
Tabla 3 Niveles de Servicio 11
Tabla 4 Tiempos de Viaje del tramo 1– VISSIM y Campo (27/04/24) 21
Tabla 5 Resumen del cálculo de corridas mínimas para calibración en Vissim 23
Tabla 6 Resumen del cálculo de corridas mínimas para calibración de los datos de campo 24
Tabla 7 Resumen de las corridas realizadas en Vissim y muestras obtenidas de campo para calibración 24
Tabla 8 Tiempos de Viaje del tramo 2– VISSIM y Campo (04/05/24) 27
Tabla 9 Resumen del cálculo de corridas mínimas de Validación- Vissim 29
Tabla 10 Resumen del cálculo de corridas mínimas para validación 30
Tabla 11 Resumen de las corridas realizadas en Vissim y muestras obtenidas de campo para la validación 30
Tabla 12 Datos de los nodos de la situación actual 33
Tabla 13 Datos de los tiempos de viaje promedio de la situación Propuesta 36
Tabla 14 Datos de los nodos de la situación propuesta 36
Tabla 15 Zona de confianza para calibrar y validar el modelo 38
Tabla 16 Tiempos de Viaje del sistema de transporte publico 38
Tabla 17 Resumen de los Cambios ejecutados para el Diseño Propuesto – Corte A 44
Tabla 18 Resumen de los Cambios ejecutados para el Diseño Propuesto – Corte B 45
Tabla 19 Comparación de Tiempos de Viaje 45
Tabla 20 Comparación de Niveles de Servicio 46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Nivel de Congestión a Nivel Mundial – 2023 2
Figura 2 Nivel de Congestión a Nivel Latinoamérica – 2023 3
Figura 3 Procedimiento para la propuesta 13
Figura 4 Área de Estudio 14
Figura 5 Video grabado en la Av. Benavides con Av. José Larco el 27/04/24 15
Figura 6 Video grabado en la Av. Benavides con Calle Alcanfores el 27/04/24 15
Figura 7 Video grabado en la Av. Benavides con Av. José Larco el 04/05/24 16
Figura 8 Video grabado en la Av. Benavides con Calle Alcanfores el 04/05/24 16
Figura 9 Plano en CAD del área de estudio 17
Figura 10 Conteo del acceso Sur en la intersección de la Av. Benavides y Av. Jose Larco el 27/04/2024 18
Figura 11 Conteo del acceso Sur en la intersección de la Av. Benavides y Av. José Larco el 04/05 18
Figura 12 Modelo de Vissim 19
Figura 13 Modelo de Vissim completo 20
Figura 14 Ejemplo de muestreo de velocidades de las intersecciones 20
Figura 15 Diagrama de dos colas del tramo 1 (27/04/24) 25
Figura 16 Diagrama de dos colas del tramo (27/04/24) 26
Figura 17 Diagrama de dos colas del tramo 1 (04/05/24) 31
Figura 18 Conteo Diagrama de dos colas del tramo 2 (04/05/24) 32
Figura 19 Parámetros de Wiedemann 74 32
Figura 20 Modelo en Vissim del diseño de la propuesta. 34
Figura 21 Ciclo Semafórico de la intersección de la Av. Larco 35
Figura 22 Ciclo Semafórico de la intersección de la Calle Alcanfores 35
Figura 23 Plano del modelo actual 39
Figura 24 Plano del modelo propuesto 40
Figura 25 Sección vial de la Av. Benavides actualmente de Este a Oeste 41
Figura 26 Sección vial de la Av. José Larco y Calle Alcanfores actualmente 42
Figura 27 Sección vial de la Av. Benavides propuesto de Este a Oeste 43
Figura 28 Sección vial de la Av. José Larco y Calle Alcanfores Rediseño - Norte 44

1 CAPÍTULO 1: DEFINICIÓN DEL PROYECTO

1.1 Antecedentes

En el proyecto de Roca (2019), se propone mejorar el flujo vehicular y peatonal en la intersección de la avenida La Molina y la avenida Víctor Malásquez. Para ello, se utilizó el software Vissim 8 como herramienta de análisis. Se llevaron a cabo simulaciones dinámicas para evaluar las condiciones actuales de vehículos y peatones. Los resultados del estado actual revelaron deficiencias tanto en el flujo vehicular como peatonal, evidenciadas por parámetros como los tiempos de viaje, los tiempos de espera, las velocidades y las condiciones de desplazamiento de los peatones. Como resultado de las mejoras implementadas, se logró una reducción del 3.79% en los tiempos de viaje promedio, y una disminución del 15% en las longitudes de cola promedio y a los peatones, se registró una reducción del tiempo de cruce promedio del 6.29%. Estos resultados indican que las intervenciones propuestas han generado mejoras sustanciales en la intersección estudiada.

1.2 Análisis del Problema

A nivel mundial, el crecimiento de una ciudad se manifiesta claramente en su sistema de transporte, que se convierte en una arteria vital para que los habitantes lleguen a sus destinos. La congestión del tráfico urbano ha sido un desafío persistente durante muchos años y para abordar esta problemática, ingenieros y planificadores de transporte de Estados Unidos han desarrollado una serie de estrategias en colaboración con la Administración Federal de Carreteras (FHWA), especialmente señalamos lo especificado por Cambridge Systematics (2005), que se pueden agrupar en tres categorías principales;

a) Agregar más capacidad; implica la expansión física de las vías existentes o la construcción de nuevas carreteras para aumentar la capacidad de tráfico.

b) Mejoras operacionales: En esta categoría se incluyen medidas destinadas a optimizar el funcionamiento de las vías de tráfico existentes.

c) Gestión de la demanda: Esta estrategia se centra en influir en el comportamiento de los usuarios del transporte, fomentando el uso de modos de transporte alternativos.

La empresa TOMTOM (2023), especializada en la producción de dispositivos de navegación para automóviles, motocicletas y teléfonos móviles. Según los estudios realizados por dicha empresa sobre la congestión vial, se determinó que Londres en Reino Unido tiene un nivel de congestión del 62%, seguida por Dublín capital de Irlanda con un 49%. Esta información se puede apreciar en la **Figura 1**, donde también se detallan las 10 ciudades con los mayores niveles de congestión vehicular a nivel mundial.

Figura 1

Nivel de Congestión a Nivel Mundial – 2023

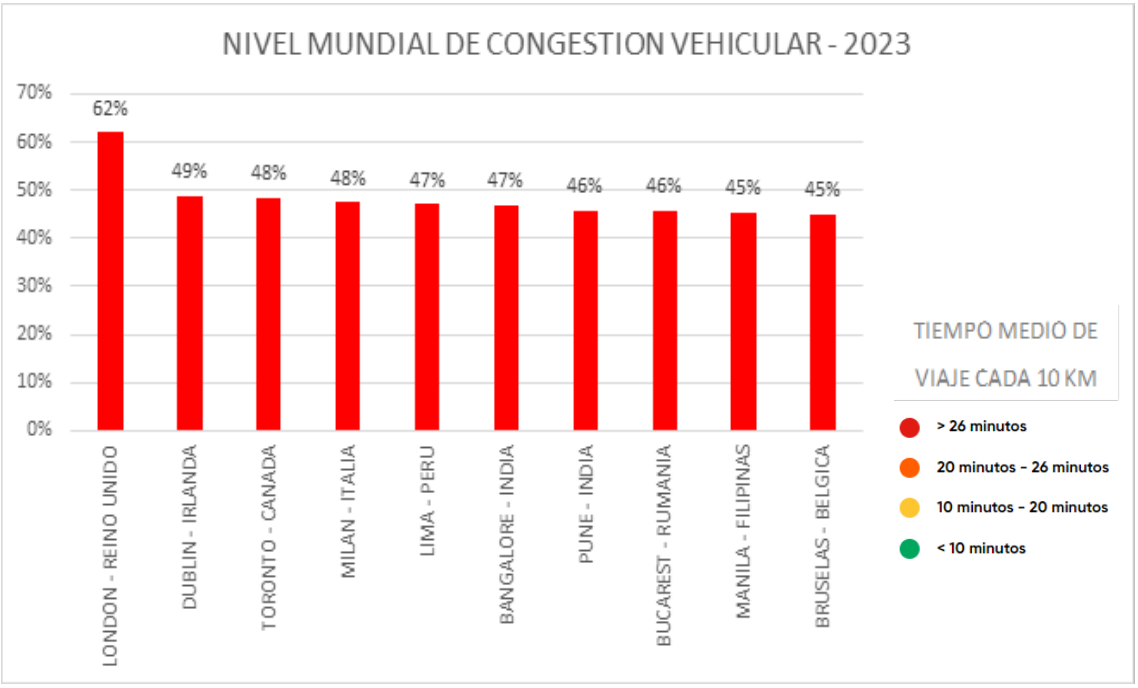


Gráfico de los países y sus ciudades con más porcentaje de congestión vial a nivel mundial. Adaptado de "TomTom Traffic Index Ranking 2023" pues su tiempo promedio de viaje cada 10 Km es de 29 min con 15 s.

En la región de Latinoamérica y el Caribe, Alberto Bull (2003) resalta diversos factores que contribuyen a empeorar esta situación. Entre ellos, hay problemas relacionados con el diseño y mantenimiento de las vías urbanas, comportamientos irrespetuosos de la conducción hacia otros usuarios de la vía, carencia de información precisa sobre las condiciones del tráfico y una gestión deficiente por parte de las autoridades competentes, que muchas veces se encuentran fragmentadas en múltiples entidades.

A nivel de Latinoamérica, como se observa en la **Figura 2** la ciudad con más congestión vehicular es la ciudad de Lima nuestro país Perú, con una preocupante congestión del 62%, seguidamente la ocupa Ciudad de México con un índice de 44% y en décimo lugar Santiago de Chile con 32%. Estos datos no solo subrayan la magnitud del desafío de la movilidad urbana en la región, sino que también destacan la necesidad imperante de estrategias efectivas para mitigar este fenómeno y promover una circulación más fluida y sostenible.

Figura 2

Nivel de Congestión a Nivel Latinoamérica – 2023

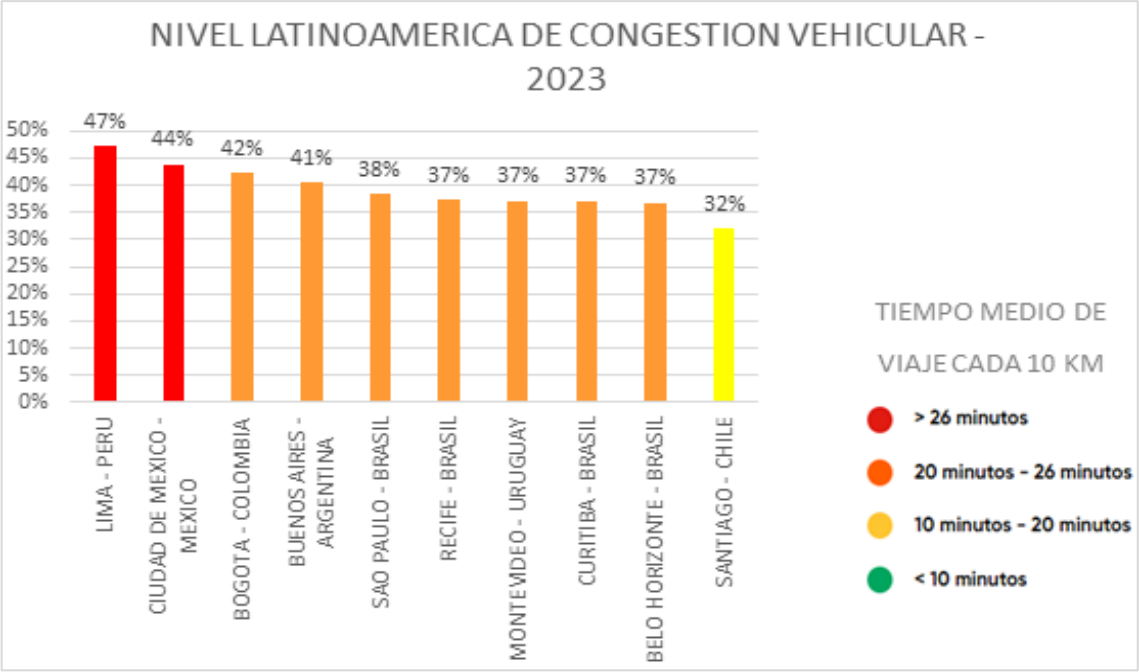


Gráfico de los países y sus ciudades con más porcentaje de congestión vial a nivel de Latinoamérica. Adaptado de "TomTom Traffic Index Ranking 2023" pues su tiempo promedio de viaje cada 10 Km es de 23 min con 53 s.

Uno de los principales problemas de Lima es el excesivo tráfico que se vive a diario, lo cual se puede ver reflejado gracias a la Empresa Tom Tom, (2023), dicha empresa explica que Lima ocupa los primeros lugares en congestión vehicular, el 5to lugar a nivel mundial y 1er lugar a nivel sudamericano.

Además, contamos con datos específicos sobre la movilidad en Lima, recopilados en el estudio 'Lima como Vamos' del año 2023. En la **Tabla 1** se presenta el medio de transporte preferido por las personas para desplazarse hacia distintos destinos, ya sea trabajo, estudio, entre otros.

Estos datos nos permiten comprender mejor las preferencias y hábitos de movilidad de la población, lo cual resulta fundamental para diseñar políticas y estrategias de transporte más efectivas y acordes a las necesidades de la ciudad.

Tabla 1

¿Cuál es su principal forma de movilizarse?

Formas de movilizarse	Frecuencia	Frecuencia Acumulada
Combi o Coaster	**26.8%**	**26.8%**
Bus	**25.7%**	**52.5%**
Camino o Voy a pie	11.5%	64.0%
Automóvil propio	11.2%	75.2%
Mototaxi	4.9%	80.1%
Taxi por aplicación	3.8%	83.9%
Motocicleta propia	3.4%	87.3%
Colectivo	2.7%	90.0%
Metropolitano	2.7%	92.7%
Metro de Lima (Tren eléctrico)	2.2%	94.9%
Bicicleta	1.8%	96.7%
Corredores complementarios	1.8%	98.5%
Taxi Regular	1.5%	100.0%
Total	100.0%	

Según la empresa Lima como vamos, nos indica que las personas usan para movilizarse la combi o bus, con una frecuencia acumulada de 52.5%.

1.3 Estado del Arte

Infanzón (2021), en su investigación llevada a cabo en el distrito de Ate Vitarte, señala que, debido a la alta congestión vehicular en la intersección, se propuso un rediseño. Para evaluar la eficacia de esta propuesta en la reducción de la congestión vehicular, se realizó una microsimulación utilizando el software Vissim, el cual fue calibrado y validado. Se consideraron parámetros como el tiempo de viaje de vehículos y peatones para las validaciones. Los análisis estadísticos de la propuesta arrojaron resultados favorables en comparación con la situación anterior, sin el rediseño.

Huaranga y Vásquez (2021) señalan en su investigación que la congestión vehicular es un desafío global, particularmente agudo en zonas urbanas, y que este problema tiende a agravarse en países que carecen de planes y proyecciones adecuadas para sus vías urbanas. En respuesta a esta problemática, proponen una gestión de la infraestructura vial con el objetivo de reducir los tiempos de viaje. Tras llevar a cabo el modelado y las propuestas de mejora mediante esta gestión, observaron reducciones significativas en los tiempos de viaje. Específicamente, en el tramo de la avenida 28 de Julio a través de la rotonda, se registró una disminución del 23.86% en el tiempo de viaje. En el tramo del giro en U de la avenida 28 de Julio, la reducción fue del 33.18%. Por último, en el tramo desde Salaverry hacia Guzmán Blanco, se experimentó una disminución del 25.65% en el tiempo de viaje. En conclusión, los autores recomiendan la aplicación de la gestión de la infraestructura vial como medida efectiva para la reducción de los tiempos de viaje.

En su trabajo, Qi, et al. (2017), proponen una metodología para categorizar los comportamientos de los conductores en una intersección semaforizada congestionada. Utilizan redes de Petri temporizadas (TPN), un modelo de sistema de eventos discretos, para formalizar dos tipos de comportamientos: aquellos no inducidos por atascos y los inducidos por atascos. Para evaluar de manera sistemática el rendimiento de ambos tipos de comportamientos, emplean un modelo de transmisión celular para representar el tráfico en el enlace vial, que se ajusta a la propiedad cinemática del flujo de tráfico. Además, utilizan las TPN para modelar tanto el comportamiento de los conductores como el flujo de tráfico en conflicto en la intersección.

Fabianova, et al. (2020), En Eslovaquia se resalta la importancia crítica del modelado y la microsimulación del tráfico para la planificación efectiva de infraestructuras de transporte en respuesta a la congestión vial. El estudio se centró en la intersección semaforizada de las calles Duklianska y Sládkovičova, vías principales de la ciudad. Para desarrollar el modelo actual de la intersección, se utilizó el software Vissim, el cual fue meticulosamente calibrado y validado. Como propuesta de mejora en la infraestructura vial de la intersección, se planteó la adición de un carril y la optimización de los tiempos semafóricos, lo cual resultó en mejoras sustanciales en las longitudes de las colas y los tiempos de viaje, con un incremento aproximado del 75%. Este descubrimiento no solo aporta nuevas perspectivas al campo del diseño urbano y la gestión del tráfico, sino que también subraya la relevancia de la tecnología en la búsqueda de soluciones para los desafíos de movilidad en entornos urbanos contemporáneos.

Jauregui y Palomino (2023) en el distrito de San Juan de Miraflores, se plantea la implementación de un modelo de microsimulación utilizando el software Vissim, con el objetivo de optimizar los tiempos de viaje del transporte público mediante ajustes específicos. Los resultados obtenidos revelan mejoras significativas en la eficiencia del sistema de transporte: se observa una reducción promedio del 35% en los tiempos de viaje, una disminución promedio del 50% en las longitudes de las colas, y una mejora notable en el nivel de servicio ofrecido a los usuarios. Estos hallazgos representan un avance sustancial en el ámbito de la planificación y gestión del transporte público urbano, destacando la importancia de la aplicación de herramientas de simulación para la toma de decisiones informadas y la mejora continua de la movilidad en entornos urbanos.

1.4 Objetivos

1.4.1 General:

- ✓ Rediseñar la infraestructura vial de la avenida Benavides con las intersecciones de la Av. José Larco y la Calle Alcanfores para reducir los tiempos de viaje y mejorar el nivel de servicio del sistema del transporte público.

1.4.2 Específicos

- ✓ Recolectar datos en las avenidas para identificar los principales problemas de la situación actual.
- ✓ Realizar una microsimulación calibrada y validada con el parámetro de eficiencia de tiempos de viaje vehiculares.
- ✓ Realizar un rediseño en la Av. Benavides para reducir los tiempos de viaje del sistema de transporte público.
- ✓ Verificar si el rediseño en la Av. Benavides mejora el nivel de servicio del sistema de transporte público.

1.5 Indicadores de logro del Trabajo de Suficiencia Profesional

La **Tabla 2** muestra la descripción de los indicadores que detallan los logros que se tendría al implementar el uso de las bicicletas como modo de transporte público.

Tabla 2

Indicadores de medición de logros

Indicador	Unidad de Medida	Descripción
Niveles de Servicio	nivel	El nivel de servicio se verificará si es Buena, Regular o Mala a la hora de transportarnos y lo calificaremos con letras del A hasta la F.
Tiempo de viaje	min	Tiempo que utilizan los vehículos para cruzar las intersecciones.

1.6 Justificación

El tráfico representa uno de los principales desafíos para el distrito de Miraflores. A pesar de los esfuerzos de la Municipalidad, las propuestas hasta el momento no han sido óptimas para reducir la congestión. Según la Municipalidad de Miraflores (2016), la avenida Benavides desempeña un papel crucial como uno de los ejes principales que conecta el distrito con Santiago de Surco. Esta vía atraviesa una zona de alta demanda debido a la presencia de comercios y la cercanía de área residenciales de alta densidad.

Sin embargo, el diseño original de la avenida, que fue pensado para una demanda vehicular menor, ahora genera congestión y caos vehicular.

Uno de los principales problemas es la presencia de taxis que detienen su marcha para dejar pasajeros, obstruyendo el tráfico durante períodos prolongados. Además, los vehículos de transporte público a menudo permanecen estacionados, esperando el abordaje de pasajeros y ocupando un carril de la vía, lo que dificulta el avance del resto de los vehículos.

La implementación de diseños de infraestructura más efectivos se perfila como una solución clave para optimizar los tiempos de viaje. Según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2021), Lima pierde aproximadamente 384 millones de horas al año debido al tráfico, lo que equivale a 1.1 millones de horas diarias. En promedio, cada persona pierde alrededor de 36 horas al año debido a la congestión vehicular.

Estas mejoras no solo contribuirán a facilitar la movilidad y la accesibilidad en el distrito, sino que también promoverán un entorno más seguro y sostenible para todos los miembros de la comunidad.

1.7 Limitaciones

- Enfrentaremos dificultades para realizar los estudios de campo porque los participantes tienen compromisos con sus horarios regulares. Para solucionar este inconveniente, optaremos por tercerizar los estudios de campo y aseguraremos la calidad y precisión del trabajo con la supervisión directa de uno de nuestros participantes.
- La disponibilidad de datos detallados y planos precisos de la infraestructura vial actual puede ser limitada sin esta información, puede ser difícil diseñar propuestas de mejora efectivas. Sin embargo, con viajes en campo para realizar las mediciones pertinentes.
- Debido a que el enfoque principal del proyecto está centrado en la ingeniería civil, no se realizará un estudio sobre el comportamiento de los conductores y peatones que transitan por el área de estudio. Por la misma razón, tampoco se desarrollarán estudios relacionados con la seguridad vial, la afectación al medio ambiente o el impacto en la población local. Esta delimitación en el alcance del proyecto permite concentrar los recursos y esfuerzos en los aspectos técnicos y estructurales

específicos de la ingeniería civil, manteniendo la claridad y la especificidad en los objetivos del estudio.

- Debido a limitaciones económicas y temporales en el proyecto, no se llevará a cabo la implementación física de la propuesta en el área de estudio. Además, enfrentamos obstáculos burocráticos con la municipalidad que dificultan la implementación. En consecuencia, tampoco se incluirá un estudio económico de la implementación y operación del proyecto. Esta decisión nos obliga a centrarnos en la simulación y evaluación teórica de las propuestas sin avanzar hacia su concretización física en el corto plazo.

2 CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Conceptual

- **Modelos de microscópico:** Permiten un análisis detallado del tráfico al considerar el comportamiento individual de cada vehículo. Es importante tener en cuenta que se fundamentan en la teoría del seguimiento vehicular, no son adecuados para simular redes muy extensas debido a la gran cantidad de datos que se deben recolectar y procesar (Valladares, 2016). Aunque son más efectivos para evaluar la evolución dinámica de la congestión, su construcción y calibración requieren un considerable tiempo donde la etapa de calibración se determina la idoneidad del modelo para su posterior uso como herramienta de predicción del tráfico (Cabrera, 2010).

- **Vissim:** VISSIM es un software de simulación de tráfico desarrollado por la empresa alemana PTV Group. Se utiliza principalmente para modelar y simular el flujo de vehículos, peatones y otros elementos de tráfico en carreteras, intersecciones, y áreas urbanas. VISSIM es ampliamente utilizado por ingenieros de tráfico, planificadores urbanos y consultores para analizar el comportamiento del tráfico, evaluar el rendimiento de las infraestructuras viales y diseñar soluciones para mejorar la movilidad y la seguridad en las carreteras (PTC GROUP, 2023)

- **Calibración del Modelo:** Según la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos (FHWA, 2019), una vez finalizada la verificación del modelo, es crucial proceder con la calibración. Este paso es fundamental porque sin él, no se puede garantizar que el modelo refleje con precisión la realidad. En el proceso de calibración, se ajustan los parámetros del modelo con la eficiencia de los tiempos de viaje. Estos ajustes son necesarios para garantizar que el modelo sea lo más preciso y pueda utilizarse de manera efectiva como herramienta de análisis y predicción del tráfico.

- **Validación del Modelo:** Implica comparar la representación del mundo real con los resultados generados por el modelo cuando se calibra. Si los resultados de la validación no concuerdan satisfactoriamente con la nueva información obtenida del campo, es necesario revisar el proceso de calibración y, si es necesario, recalibrar el modelo. Este ciclo de verificación, calibración y validación es crucial para

asegurar que el modelo sea lo más preciso y confiable posible en la predicción del comportamiento del tráfico.

La FHWA recomienda utilizar un intervalo de confianza del 95% para la calibración y validación de los modelos de redes de tráfico.

$$n_{min} \geq \left(t_{\propto/2}\ \frac{s}{e}\right)^2 _____(1)$$

Donde:

$n_{min} = Número\ mínimo\ de\ corridas$

$t_{\propto/2} =$ Valor de la distribución "t" student

S = Desviación estándar de la muestra

$e =$ Margen de error

- **Nivel de servicio:** Los niveles de servicio son indicadores cualitativos que nos permiten evaluar el grado de aceptación de las demoras por parte de los automovilistas en una intersección semaforizada (Albrieu, 2012). En la Tabla 3 se muestra los niveles de servicio.

Tabla 3

Niveles de Servicio

Demora de Control	Nivel de Servicio para $x_i \leq 1,0$	Nivel de Servicio para $x_i > 1,0$
≤ 10	A	F
$> 10 - 20$	B	F
$> 20 - 35$	C	F
$> 35 - 55$	D	F
$> 55 - 80$	E	F
> 80	F	F

2.2 Estándares y Buenas Practicas

- **NACTO:** Según National Association of City Transportation Officials, nos habla que sus Estándares de Diseño Urbano en las calles proporciona orientación específica para el diseño de calles que integran sistemas de transporte público, incluyendo carriles exclusivos para autobuses, paradas de autobús seguras y accesibles, y diseños que facilitan las conexiones entre diferentes modos de transporte.

- **REDEVU:** Según el Manual de Recomendaciones para el Diseño del Espacio Vial Urbano (REDEVU), publicado por el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones en el 2009 en Chile, elabora estándares y guías de diseño y planificación del transporte urbano, que abordan una variedad de temas, como el diseño de calles, el transporte público, la seguridad vial y la movilidad activa. Estos documentos proporcionan orientación técnica y práctica.

2.3 Bases Legales y Marco Normativo

- **Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG - 2018:** Según el Manual elaborado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) del país. Establece los criterios y estándares para el diseño geométrico de carreteras en el territorio peruano. Proporciona directrices detalladas sobre aspectos como el alineamiento horizontal y vertical, intersecciones, pasos a desnivel, y otros elementos relacionados con la configuración física de las vías. Es una herramienta esencial para encargados del diseño y la planificación de infraestructura vial en el Perú

- **Manual de Dispositivos de Control del Transito Automotor para calles y carreteras:** Según el Manual de Dispositivos Viales elaborado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) en el 2006, proporciona directrices y estándares para el diseño, instalación y mantenimiento de dispositivos utilizados para regular y controlar el tráfico vehicular en calles y carreteras. Estos dispositivos incluyen señales de tránsito, semáforos, dispositivos de canalización, dispositivos de control de velocidad, y otros elementos que contribuyen a la seguridad y eficiencia del tránsito

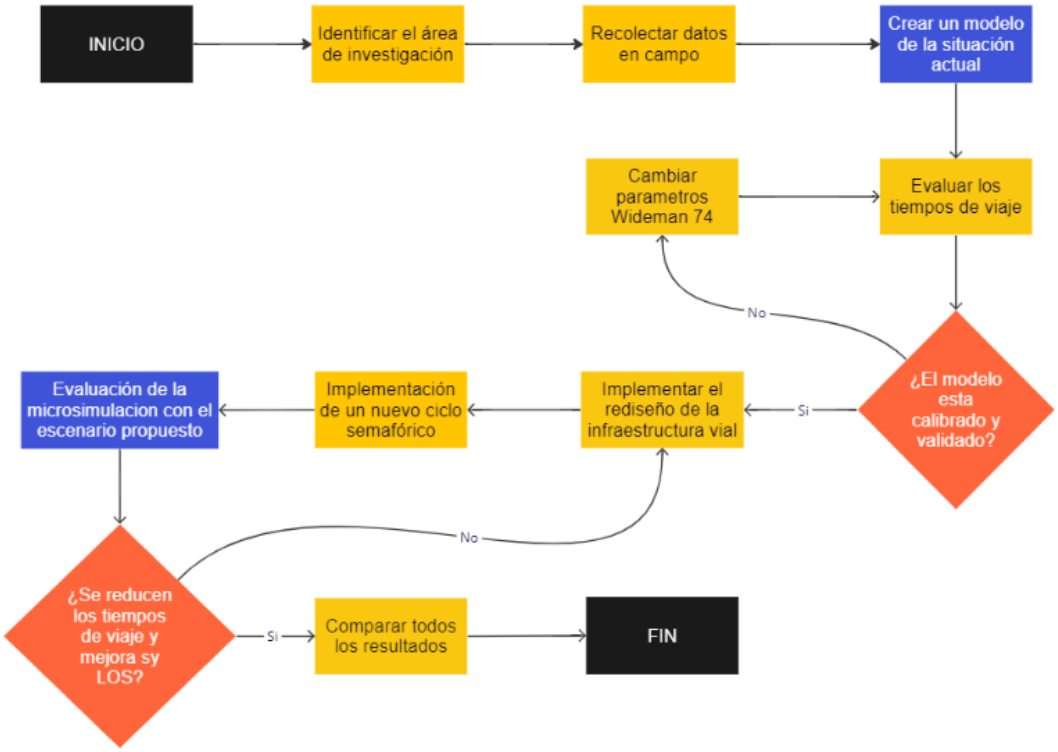
3 CAPÍTULO 3: DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Diseño de la Solución

Para la implementación de la propuesta se seguirá el procedimiento indicado en la Figura 3.

Figura 3

Procedimiento para la propuesta



3.2 Desarrollo de la Solución

3.2.1 Identificación del área de estudio

El área de estudio o área de influencia está delimitada por dos intersecciones ubicadas entre las cuadras 3 y 4 de la avenida Alfredo Benavides, distrito de Miraflores departamento de Lima.

El propósito de seleccionar esta área de influencia y utilizarla para validar la hipótesis de la investigación se sustenta en la forma en que cada una de estas intersecciones administra el flujo vehicular en la zona. Esto se puede apreciar en la figura 4, donde se observa que las intersecciones de la Av. José Larco y la Calle Alcanfores gestionan el flujo vehicular mediante señalización de pare y semaforización. Así, esta

investigación busca evaluar el comportamiento operacional de los vehículos en la zona bajo distintos escenarios.

Figura 4

Área de Estudio

3.2.2 Recolectar datos en campo

Para garantizar la efectividad del desarrollo de la simulación, es de vital importancia disponer de las dimensiones precisas de las dos intersecciones bajo análisis. Estos detalles son obtenidos del Plan de Desarrollo Metropolitano de Lima.

Para crear el modelo de la situación actual se necesita 2 datos; primero las dimensiones de las dos intersecciones que vamos a estudiar en la Av. Alfredo Benavides; con la Av. José Larco y con la Calle Alcanfores.

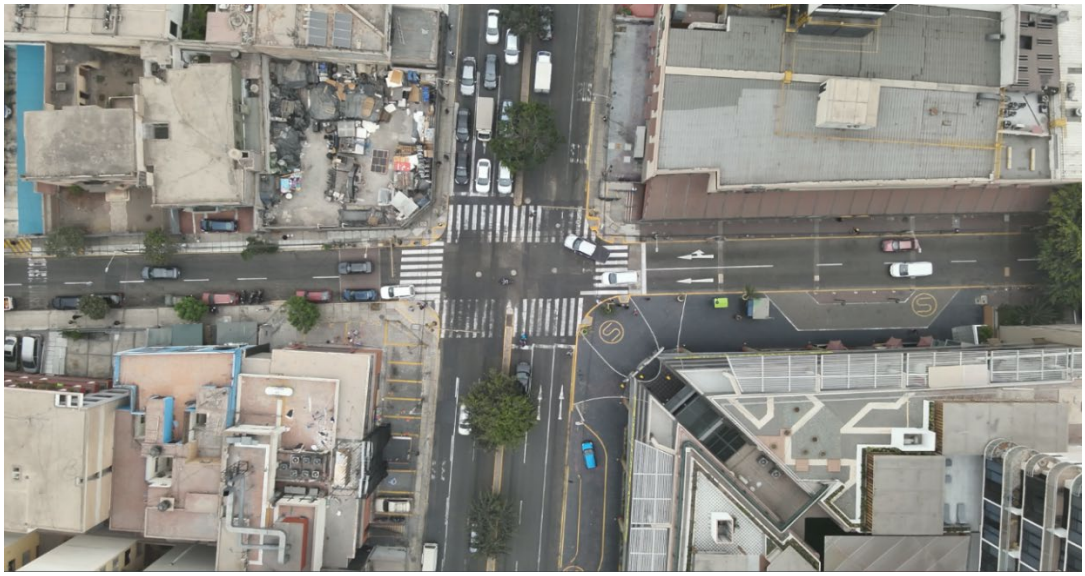
Considerando esta información preliminar, se decidió llevar a cabo dos conteos vehiculares de 1 hora cada una por las intersecciones de Av. José Larco y la Calle Alcanfores en toda el área de estudio, los días sábados 27 de abril y 4 de mayo del 2024, desde las 10:00 am hasta las 11:00 am. Los datos son importantes para validar el modelo que se utilizará en la simulación. En la **Figura 5 y 6** se puede observar las imágenes del video realizado por el dron DJI 3 el día 27 de abril del 2024 el cual se utilizó para un posterior conteo.

Figura 5

Video grabado en la Av. Benavides con Av. José Larco el 27/04/24

Figura 6

Video grabado en la Av. Benavides con Calle Alcanfores el 27/04/24



En la **Figura 7 y 8** se puede observar unas imágenes del video realizado por el dron DJI 3 el día 04 de mayo del 2024 el cual se utilizó para la validación del modelo.

Figura 7

Video grabado en la Av. Benavides con Av. José Larco el 04/05/24

Figura 8

Video grabado en la Av. Benavides con Calle Alcanfores el 04/05/24

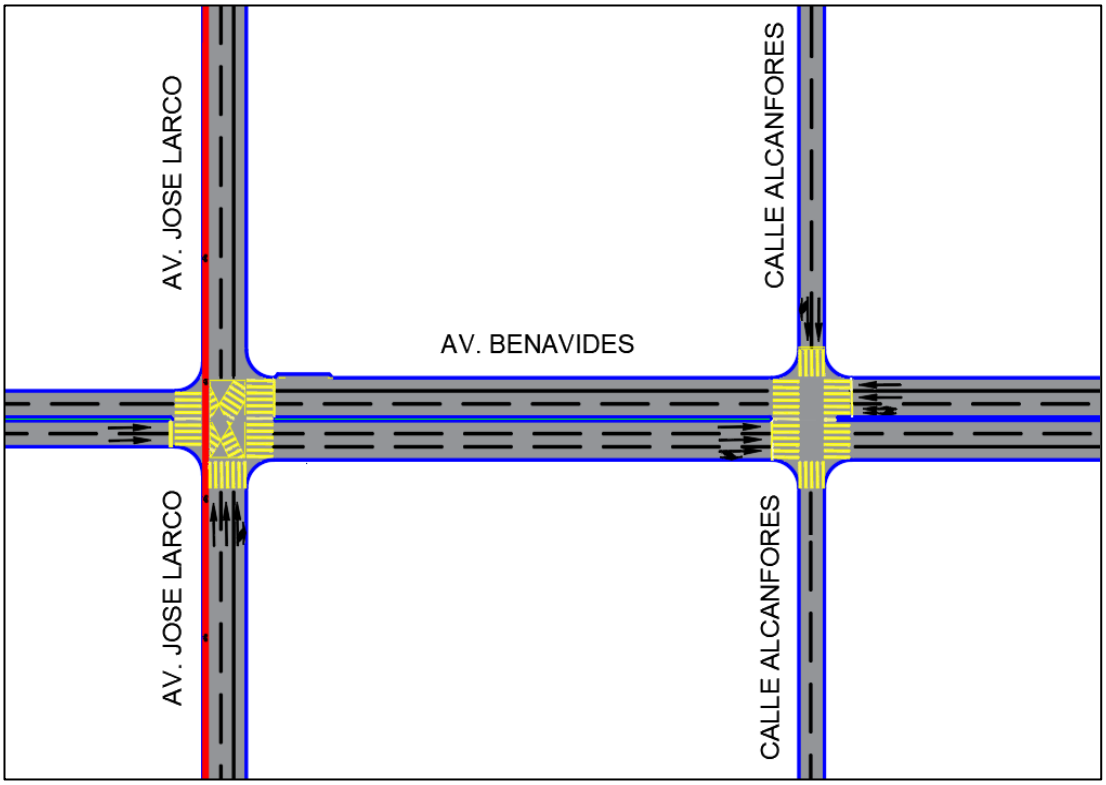
Con el modelo elaborado, procederemos a realizar una evaluación detallada de los tiempos de viaje con el fin de calibrar y validar el modelo de microsimulación. En caso de identificar algún problema, ajustaremos los parámetros pertinentes y continuaremos con la evaluación hasta lograr la calibración y validación deseada.

Posteriormente, se llevará a cabo la implementación del rediseño de la infraestructura vial, la cual será evaluada en el modelo y se calcularán los nuevos niveles de servicio correspondientes. Con base en los resultados obtenidos, se realizará una comparación entre los tiempos de viaje previos y posteriores a la implementación de la propuesta, junto con sus respectivos niveles de servicio, para analizar el impacto de la intervención.

En la Figura 9, contamos con los datos en formato CAD que abarcan el área de estudio. Esta información resulta fundamental para la creación del modelo que será empleado en la simulación mediante el software VISSIM.

Figura 9

Plano en CAD del área de estudio



Se obtuvo el conteo vehicular con los videos de los vuelos de los drones DJI3 del sábado 27/04 y sábado 04/05 de las 10:00 hasta las 11:00 de la mañana, después se realizó el conteo con el formato de la **Figura 10 y 11**. Hay 12 formatos de conteo, 6 por intersección y de los 3 accesos porque en la Av. Larco no hay acceso Norte y en la Calle Alcanfores no hay acceso Sur.

Figura 10

Conteo del acceso Sur en la intersección de la Av. Benavides y Av. Jose Larco el 27/04/2024

CONTROL DE FLUJO VEHICULAR CLASIFICADO - ACCESO SUR

INTERSECCIÓN: Av. Alfrdo Benavides / Av. Larco
APROXIMACIÓN: 1
DISTRITO: Miraflores
PROVINCIA: Lima
FECHA: 27/04/2024
ACCESO: Sur

	UCP =	0.33		UCP =	1		UCP =	3		UCP =	2.5								
HORAS DE	Moto Lineal			Autos			Omnibus			Camión						TOTAL	SUMA	UCP	UCP
CONTROL	21	22	23	21	22	23	21	22	23	21	22	23	21	22	23	1/4 HORA	HORARIA	1/4 HORA	HORARIA
10:00 - 10:05	2	6	1	21	65	6	0	1	0	1	1	0	24	73	7	104		103	
10:05 - 10:10	2	6	0	9	43	8	0	1	0	1	0	0	12	50	8	70		69	
10:10 - 10:15	1	8	0	25	51	10	0	1	0	0	0	0	26	60	10	96		92	
10:15 - 10:20	0	5	2	12	39	11	0	2	0	0	2	0	12	48	13	73	343	76	340
10:20 - 10:25	3	3	1	6	73	5	0	1	0	1	0	0	10	77	6	93	332	92	329
10:25 - 10:30	1	6	0	18	38	8	0	1	0	0	0	0	19	45	8	72	334	70	330
10:30 - 10:35	0	8	1	14	68	6	0	1	0	1	1	0	15	78	7	100	338	99	337
10:35 - 10:40	2	8	0	7	46	5	0	2	0	0	0	0	9	56	5	70	335	68	329
10:40 - 10:45	0	5	0	11	52	4	0	1	0	0	1	0	11	59	4	74	316	75	312
10:45 - 10:50	1	4	1	21	59	9	0	1	0	1	0	0	23	64	10	97	341	97	339
10:50 - 10:55	2	6	2	9	44	5	0	1	0	0	2	0	11	53	7	71	312	70	310
10:55 - 11:00	3	7	0	19	57	7	0	2	0	1	0	0	23	66	7	96	338	95	337
H.P. MAÑANA	17	72	8	172	635	84	0	15	0	6	7	0	195	729	92				

FHMD Mañana =	0.71	0.79	0.73	0.82

Figura 11

Conteo del acceso Sur en la intersección de la Av. Benavides y Av. José Larco el 04/05

CONTROL DE FLUJO VEHICULAR CLASIFICADO - ACCESO SUR

Av. Alfrdo Benavides / Av. Larco
1
Miraflores
Lima
04/05/2024
Norte

	UCP =	0.33		UCP =	1		UCP =	3		UCP =	2.5								
HORAS DE	Moto Lineal			Autos			Omnibus			Camión						TOTAL	SUMA	UCP	UCP
CONTROL	21	22	23	21	22	23	21	22	23	21	22	23	21	22	23	1/4 HORA	HORARIA	1/4 HORA	HORARIA
10:00 - 10:05	1	8	2	15	71	6	0	2	0	3	1	0	19	82	8	109		112	
10:05 - 10:10	2	6	0	21	55	9	0	1	0	0	0	0	23	62	9	94		91	
10:10 - 10:15	3	4	1	23	62	8	0	1	0	2	1	0	28	68	9	105		107	
10:15 - 10:20	0	5	1	20	39	6	0	2	0	0	2	0	20	48	7	75	383	78	388
10:20 - 10:25	0	9	2	18	73	9	0	1	0	2	0	0	20	83	11	114	388	112	388
10:25 - 10:30	2	12	0	16	38	7	0	1	0	1	1	0	19	52	7	78	372	74	371
10:30 - 10:35	0	5	0	9	68	6	0	1	0	0	1	0	9	75	6	90	357	91	355
10:35 - 10:40	1	8	2	14	46	5	0	2	0	2	0	0	17	56	7	80	362	80	357
10:40 - 10:45	1	3	2	10	52	6	0	1	0	1	1	0	12	57	8	77	325	78	323
10:45 - 10:50	3	4	1	13	59	9	0	2	0	0	1	0	16	66	10	92	339	93	342
10:50 - 10:55	0	9	1	8	44	6	0	1	0	1	2	0	9	56	7	72	321	72	323
10:55 - 11:00	2	5	0	16	57	8	0	2	0	0	0	0	18	64	8	90	331	90	333
H.P. MAÑANA	15	78	12	183	664	85	0	17	0	12	10	0	210	769	97				

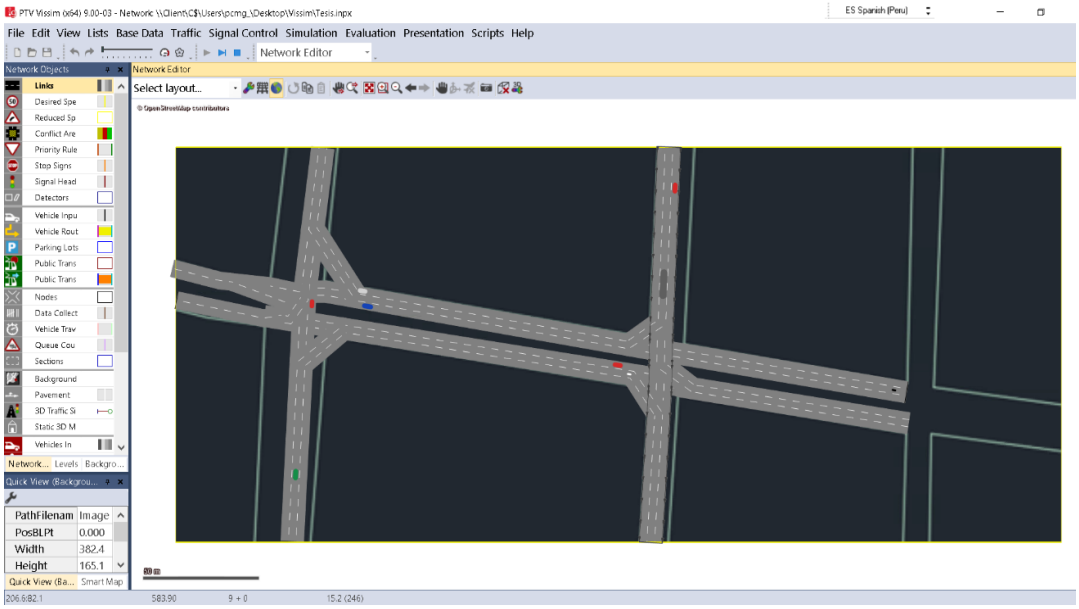
	0.79	0.89	0.80	0.87

3.2.3 Crear un modelo de la situación actual

Tras recoger los datos necesarios, realizamos la construcción del modelo en VISSIM. Utilizamos las mediciones de los carriles extraídas del plano de Lima mediante el software CAD, así como los datos obtenidos del conteo vehicular, que incluían la cantidad de vehículos, las rutas que seguían y los tiempos de los semáforos. Integrando esta información, pudimos configurar un modelo de microsimulación con los datos básicos de las calles y el número de vehículos, el cual se puede ver en la **Figura 12**.

Figura 12

Modelo de Vissim



De este primer modelo se va realizando las mejoras;

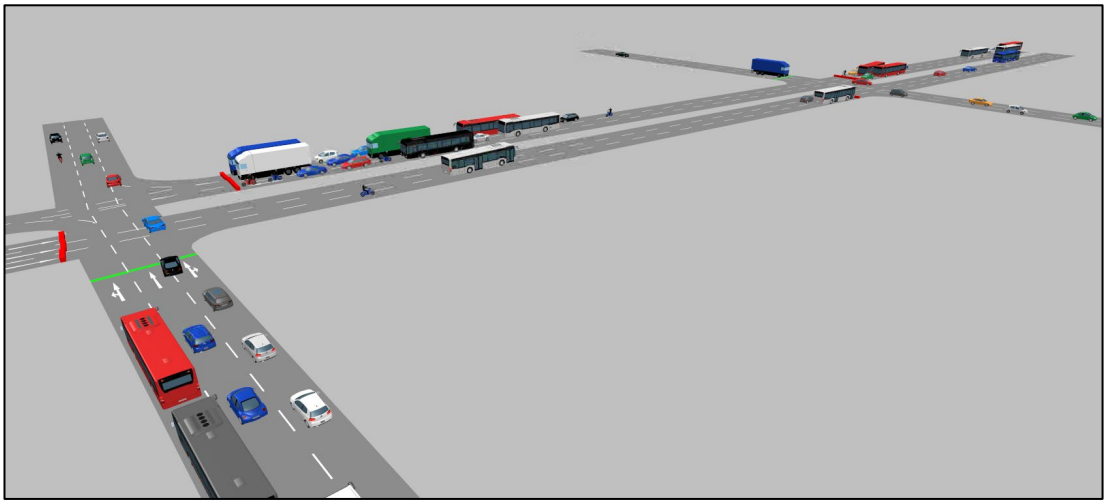
Primero los links usados para los giros se decir el inicio y de los carriles, ya que los vehículos del carril izquierdo no pueden girar a la derecha y viceversa, además de añadir más puntos en el link para que se note la curva. Luego se definen las rutas que tomas los vehículos, las moradas donde inician y las celestes para donde van, se complementa con la información del conteo vehicular realizado antes y especificamos cuantos vehículos giran a la derecha, izquierda o van de frente. Y finalmente los semáforos con su ciclo semafórico con el verde, amarillo y rojo, cabe destacar que en la intersección de Benavides con Larco también se considera un tiempo de verde para

los peatones si bien es cierto que lo vamos a considerar como tiempo en rojo para los vehículos no se llevara a cabo un estudio de los peatones.

Todas estas consideraciones se pueden observar en la **Figura 13**.

Figura 13

Modelo de Vissim completo



Con el modelo desarrollado nos falta calibrarlo y validarlo. Primero, vamos a seleccionar un tramo de 90 metros en la avenida Benavides, desde Alcanfores hasta Larco, que denominaremos Muestreo 1, y otro tramo de 90 metros desde Larco hasta Alcanfores, que denominaremos Muestreo 2. En estos tramos, cronometraremos el tiempo que tardan 50 vehículos en recorrer cada uno, recopilando así nuestro muestreo en campo. En la **figura 14** se puede visualizar un ejemplo del muestreo de velocidades de las intersecciones.

Figura 14

Ejemplo de muestreo de velocidades de las intersecciones

En el modelo de Vissim, vamos a colocar el parámetro de eficiencia de "Vehicule Travel Times", se configura los parámetros de simulación con 50 corridas debido a los 50 vehículos contados en campo y un periodo de 4200, y finalmente configuramos la evaluación activando la recolección de datos de nuestro parámetro de eficiencia y lo hacemos correr para tener los datos, cabe resaltar que las mediciones de tiempos de viaje se realizaron en el horario de 10:00 a 11:00 de la mañana por dos sábados consecutivos, en la **Tabla 4** se detallan las mediciones de los tiempos de viaje de los tramos seleccionados en Vissim y en el área de estudio.

3.2.4 Evaluar los tiempos de viaje

Tabla 4

Tiempos de Viaje del tramo 1– VISSIM y Campo (27/04/24)

TRAMO 1 - VISSIM				**TRAMO 1 - CAMPO**		
N°	Tiempo de Viaje (Seg.)	V	V2	Tiempo de Viaje (Seg.)	**V**	**V2**
1	18.75	0.677	0.459	18.45	0.35	0.12
2	17.01	-1.063	1.130	18.48	0.38	0.15
3	16.51	-1.563	2.442	18.30	0.20	0.04
4	19.63	1.557	2.425	18.39	0.29	0.09
5	18.02	-0.053	0.003	17.56	-0.54	0.29
6	22.90	4.827	23.302	18.51	0.41	0.17
7	18.29	0.217	0.047	18.31	0.21	0.05
8	17.45	-0.623	0.388	18.28	0.18	0.03
9	17.64	-0.433	0.187	17.57	-0.53	0.28
10	15.69	-2.383	5.678	18.38	0.28	0.08
11	17.17	-0.903	0.815	18.35	0.25	0.06
12	20.79	2.717	7.383	18.31	0.21	0.05
13	17.90	-0.173	0.030	18.39	0.29	0.09
14	18.8	0.727	0.529	17.58	-0.52	0.27
15	17.99	-0.083	0.007	17.59	-0.51	0.26
16	18.04	-0.033	0.001	17.51	-0.59	0.35
17	18.33	0.257	0.066	18.52	0.42	0.18
18	18.4	0.327	0.107	18.45	0.35	0.12
19	18.37	0.297	0.088	18.46	0.36	0.13
20	16.33	-1.743	3.037	18.56	0.46	0.21

21	16.71	-1.363	1.857	17.58	-0.52	0.27
22	20.31	2.237	5.005	17.55	-0.55	0.30
23	18.37	0.297	0.088	18.33	0.23	0.05
24	19.22	1.147	1.316	18.40	0.30	0.09
25	20.87	2.797	7.824	18.41	0.31	0.10
26	18.40	0.327	0.107	18.47	0.37	0.14
27	18.46	0.387	0.150	17.56	-0.54	0.29
28	15.86	-2.213	4.896	18.39	0.29	0.09
29	17.77	-0.303	0.092	17.56	-0.54	0.29
30	15.42	-2.653	7.037	18.51	0.41	0.17
31	17.48	-0.593	0.351	18.54	0.44	0.20
32	18.52	0.447	0.200	17.57	-0.53	0.28
33	17.86	-0.213	0.045	18.44	0.34	0.12
34	16.55	-1.523	2.319	17.58	-0.52	0.27
35	18.95	0.877	0.769	17.59	-0.51	0.26
36	16.71	-1.363	1.857	17.51	-0.59	0.35
37	16.87	-1.203	1.447	18.52	0.42	0.18
38	18.86	0.787	0.620	18.45	0.35	0.12
39	19.99	1.917	3.676	18.39	0.29	0.09
40	18.67	0.597	0.357	17.56	-0.54	0.29
41	18.00	-0.073	0.005	18.51	0.41	0.17
42	15.97	-2.103	4.422	18.41	0.31	0.10
43	16.17	-1.903	3.621	17.53	-0.57	0.32
44	17.95	-0.123	0.015	17.52	-0.58	0.33
45	17.66	-0.413	0.170	18.39	0.29	0.09
46	17.49	-0.583	0.340	17.58	-0.52	0.27
47	15.61	-2.463	6.065	17.59	-0.51	0.26
48	16.29	-1.783	3.178	17.51	-0.59	0.35
49	25.46	7.387	54.571	18.52	0.42	0.18
50	17.18	-0.893	0.797	18.45	0.35	0.12

Vamos a calibrar las 50 muestras para saber si cumplen para compararlos con los datos en campo. Para verificar que el tamaño de la muestra obtenida en Vissim, se realizó una prueba estadística asumiendo que los datos recolectados se comportan como una distribución normal con un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 5

Resumen del cálculo de corridas mínimas para calibración en Vissim

Datos	TRAMO 1	TRAMO 2
Numero de corridas	50	50
Grados de libertad (GDL)	49	49
Media de los tiempos de viaje – 27 de abril del 2024	18.073	18.989
Desviación estándar de la muestra (S)	1.814	1.043
Error asumido de la media (5%)	0.05	0.05
Margen de error (e)	0.904	0.949
Valor de la distribución "t" student al 95% de confianza (τ_α / 2)	2.010	2.010
Número mínimo de corridas para la simulación (n_{min})	16.289	4.875

$$n_{m_{in}} \geq \left(\tau_{\propto/2}\frac{S}{e}\right)^2$$

Con esta prueba estadística se valida que las 50 muestras de tiempos de viaje recolectadas de Vissim, son adecuadas para la calibración del modelo con los datos obtenidos en campo.

En la Tabla 6 se presenta el resumen del cálculo de corridas mínimas de campo para calibración con las muestras registradas de tiempos de viaje en campo obtenidas por el dron DJI 3 el día 27 de abril del 2024

Tabla 6

Resumen del cálculo de corridas mínimas para calibración de los datos de campo

Datos	TRAMO 1	TRAMO 2
Numero de corridas	50	50
Grados de libertad (GDL)	49	49
Media de los tiempos de viaje – 27 de abril del 2024	18.097	19.067
Desviación estándar de la muestra (S)	0.431	0.604
Error asumido de la media (5%)	0.05	0.05
Margen de error (e)	0.905	0953
Valor de la distribución "t" student al 95% de confianza (τ_α / 2)	2.010	2.010
Número de muestras	0.917	1.623

Finalmente, se presenta un resumen de los promedios de las corridas realizadas en el software Vissim y los datos registrados en campo en la tabla 7.

Tabla 7

Resumen de las corridas realizadas en Vissim y muestras obtenidas de campo para calibración

Datos	Resultados	
	TRAMO 1	TRAMO 2
X (Vissim)	18.073	18.989
X (Campo)	18.097	19.067
Diferencia	-0.025	-0.077

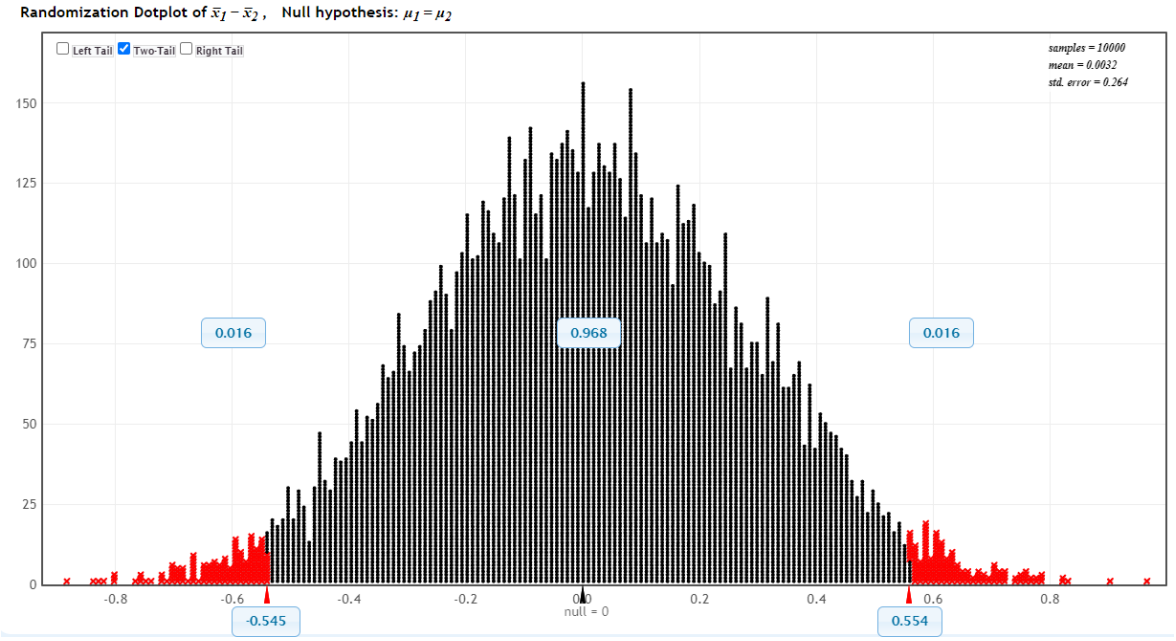
Para determinar si los promedios de los tiempos de viaje de las muestras de campo y los generados por el software Vissim son aceptados o rechazados, aplicaremos la prueba estadística de dos colas, utilizando una hipótesis nula con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%.

Para la comparación de estas dos muestras se utilizó la herramienta en línea STATKEY – LOCK5, donde se ingresaron las muestras obtenidas tanto del trabajo de campo como del software Vissim para la Av. Benavides. De esta manera, se puede determinar la aceptación o el rechazo de los promedios de las muestras.

En la **Figura 15** los resultados de la prueba estadística de Two Tail al 95% de confianza del tramo 1, establecieron un rango de aceptación de la hipótesis nula entre -0.545 a 0.554 siendo la diferencia de las medias de los tiempos de viaje vehiculares entre el programa Vissim 11 y las mediciones de campo de -0.025.

Figura 15

Diagrama de dos colas del tramo 1 (27/04/24)



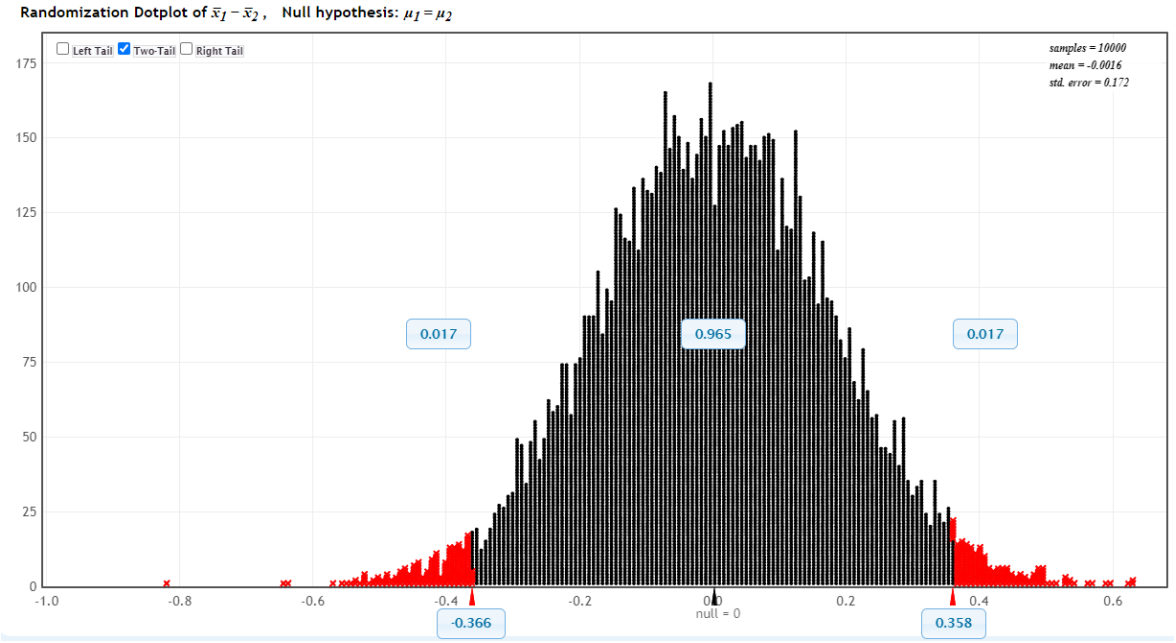
El modelo se calibro con 10000 permutaciones y se observa que el diagrama de dos colas, en donde la diferencia de medias muestrales es (-0.025) es decir se encuentra en la zona de confianza.

De igual forma se realizó la prueba estadística para el tramo 2 para la calibración del modelo de microsimulación. Los resultados de la prueba estadística al 95% de

confianza, delimitaron un rango de aceptación de la hipótesis nula entre -0.366 a 0.358 Si comparamos este rango con el resultado de la diferencia de las medias de los tiempos viaje entre el programa Vissim y las mediciones de campo es de -0.077.

Figura 16

Diagrama de dos colas del tramo (27/04/24)



El modelo se calibro con 10000 permutaciones y se observa que el diagrama de dos colas, en donde la diferencia de medias muestrales es (-0.077) es decir se encuentra en la zona de confianza.

3.2.5 Validación del modelo de simulación

La validación de un modelo de microsimulación, es un proceso que analiza el desempeño de un sistema vial en donde se relacionan los resultados de una simulación con los datos obtenidos en campo. Para cumplir con la fase de validación del modelo construido en Vissim, en la presente investigación se realizó una segunda recolección datos de volúmenes y tiempos de viaje vehiculares en el área de estudio el 04 de mayo del 2024, se realizaron 50 corridas o simulaciones. Los resultados obtenidos de este análisis, sirvieron para efectuar una nueva prueba estadística de hipótesis nula de igualdad de medias de tiempos de viaje vehiculares con un intervalo de confianza del 95%. El cumplimiento de la hipótesis nula, validara el modelo de microsimulación

creado en el software Vissim, en la **Tabla 8** se detallan las mediciones de los tiempos de viaje de los tramos seleccionados en Vissim y en el área de estudio.

Tabla 8

Tiempos de Viaje del tramo 2– VISSIM y Campo (04/05/24)

TRAMO 2 - VISSIM				TRAMO 2 - CAMPO		
N°	Tiempo de Viaje (Seg.)	V	V2	Tiempo de Viaje (Seg.)	**V**	**V2**
1	17.65	-1.292	1.669	18.52	-0.12	0.01
2	19.65	0.708	0.502	18.54	-0.10	0.01
3	18.79	-0.152	0.023	18.53	-0.11	0.01
4	18.67	-0.272	0.074	17.59	-1.05	1.10
5	19.25	0.308	0.095	18.45	-0.19	0.04
6	17.14	-1.802	3.246	18.49	-0.15	0.02
7	18.74	-0.202	0.041	18.53	-0.11	0.01
8	18.98	0.038	0.001	18.38	-0.26	0.07
9	18.20	-0.742	0.550	18.35	-0.29	0.08
10	18.40	-0.542	0.294	18.31	-0.33	0.11
11	18.63	-0.312	0.097	18.39	-0.25	0.06
12	18.64	-0.302	0.091	18.45	-0.19	0.04
13	18.55	-0.392	0.154	17.58	-1.06	1.12
14	20.44	1.498	2.245	17.50	-1.14	1.30
15	19.56	0.618	0.382	18.45	-0.19	0.04
16	18.85	-0.092	0.008	19.56	0.92	0.85
17	18.41	-0.532	0.283	18.76	0.12	0.01
18	18.16	-0.782	0.611	17.66	-0.98	0.96
19	19.59	0.648	0.420	18.57	-0.07	0.00
20	17.37	-1.572	2.471	19.26	0.62	0.39
21	20.33	1.388	1.927	19.25	0.61	0.37
22	18.29	-0.652	0.425	19.50	0.86	0.74
23	17.00	-1.942	3.771	19.68	1.04	1.09
24	20.57	1.628	2.651	18.38	-0.26	0.07
25	20.13	1.188	1.412	18.35	-0.29	0.08
26	18.97	0.028	0.001	18.31	-0.33	0.11
27	21.02	2.078	4.319	18.39	-0.25	0.06
28	18.02	-0.922	0.850	18.45	-0.19	0.04

29	18.32	-0.622	0.387	18.58	-0.06	0.00
30	16.54	-2.402	5.769	18.59	-0.05	0.00
31	18.98	0.038	0.001	19.57	0.93	0.87
32	19.58	0.638	0.407	19.26	0.62	0.39
33	18.85	-0.092	0.008	20.01	1.37	1.88
34	19.56	0.618	0.382	19.50	0.86	0.74
35	21.76	2.818	7.942	18.76	0.12	0.01
36	17.18	-1.762	3.104	17.66	-0.98	0.96
37	18.56	-0.382	0.146	18.45	-0.19	0.04
38	20.15	1.208	1.460	17.58	-1.06	1.12
39	17.54	-1.402	1.965	19.02	0.38	0.15
40	18.76	-0.182	0.033	18.38	-0.26	0.07
41	17.66	-1.282	1.643	18.35	-0.29	0.08
42	18.13	-0.812	0.659	18.31	-0.33	0.11
43	19.32	0.378	0.143	18.39	-0.25	0.06
44	18.76	-0.182	0.033	18.76	0.12	0.01
45	20.07	1.128	1.273	17.66	-0.98	0.96
46	18.48	-0.462	0.213	19.27	0.63	0.40
47	18.26	-0.682	0.465	20.01	1.37	1.88
48	20.74	1.798	3.234	19.50	0.86	0.74
49	21.38	2.438	5.945	19.55	0.91	0.83
50	20.51	1.568	2.459	18.56	-0.08	0.01

Ahora nuevamente validaremos las 50 muestras para saber si cumplen para compararlos con los datos en campo. Para verificar que el tamaño de la muestra obtenida en Vissim, se realizó una prueba estadística asumiendo que los datos recolectados se comportan como una distribución normal con un intervalo de confianza del 95%.

Tabla 9

Resumen del cálculo de corridas mínimas de Validación- Vissim

Datos	Tramo 1	Tramo 2
Numero de corridas	50	50
Grados de libertad (GDL)	49	49
Media de los tiempos de viaje – 04 de mayo del 2024	17.611	18.942
Desviación estándar de la muestra (S)	1.475	1.163
Error asumido de la media (5%)	0.05	0.05
Margen de error (e)	0.881	0.947
Valor de la distribución "t" student al 95% de confianza (τ_α / 2)	2.010	2.010
Número mínimo de corridas para la simulación (n_{min})	11.332	6.093

$$n_{m_{in}} \geq \left(\tau_{\propto/2}\frac{S}{e}\right)^2$$

Con esta prueba estadística se valida que las 50 muestras de tiempos de viaje recolectadas de Vissim, son adecuadas para la validación del modelo.

En la Tabla 10 se presenta el resumen del cálculo de corridas mínimas del Vissim para validar con las muestras registradas de tiempos de viaje en campo obtenidas por el dron el día 04 de mayo de 2024

Tabla 10

Resumen del cálculo de corridas mínimas para validación

Datos	Tramo 1	Tramo 2
Numero de corridas	50	50
Grados de libertad (GDL)	49	49
Media de los tiempos de viaje – 04 de mayo del 2024	17.756	18.638
Desviación estándar de la muestra (S)	0.694	0.640
Error asumido de la media (5%)	0.05	0.05
Margen de error (e)	0.888	0.932
Valor de la distribución "t" student al 95% de confianza (τ_α / 2)	2.010	2.010
Número de muestras	2.468	1.907

A continuación, veremos la Tabla 11, donde se presenta el resumen de las corridas realizadas en Vissim y muestras obtenidas de campo para la validación.

Tabla 11

Resumen de las corridas realizadas en Vissim y muestras obtenidas de campo para la validación

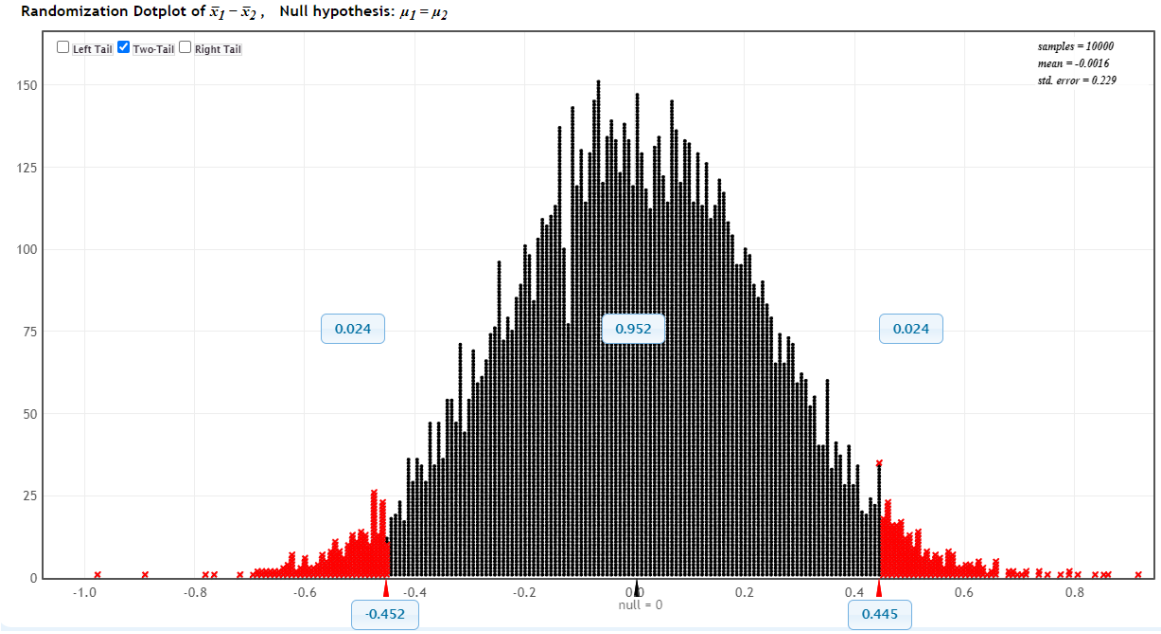
Datos	Resultados	
	Tramo 1	**Tramo 2**
X (Vissim)	17.611	18.942
X (Campo)	17.756	18.638
Diferencia	-0.145	0.304

Ahora mediante el programa de StatKey - Lock5 validaremos el modelo.

En la **Figura 17** los resultados de la prueba estadística de Two Tail al 95% de confianza del tramo 1, establecieron un rango de aceptación de la hipótesis nula entre -0.452 a 0.445 siendo la diferencia de las medias de los tiempos de viaje vehiculares entre el programa Vissim y las mediciones de campo de -0.145.

Figura 17

Diagrama de dos colas del tramo 1 (04/05/24)

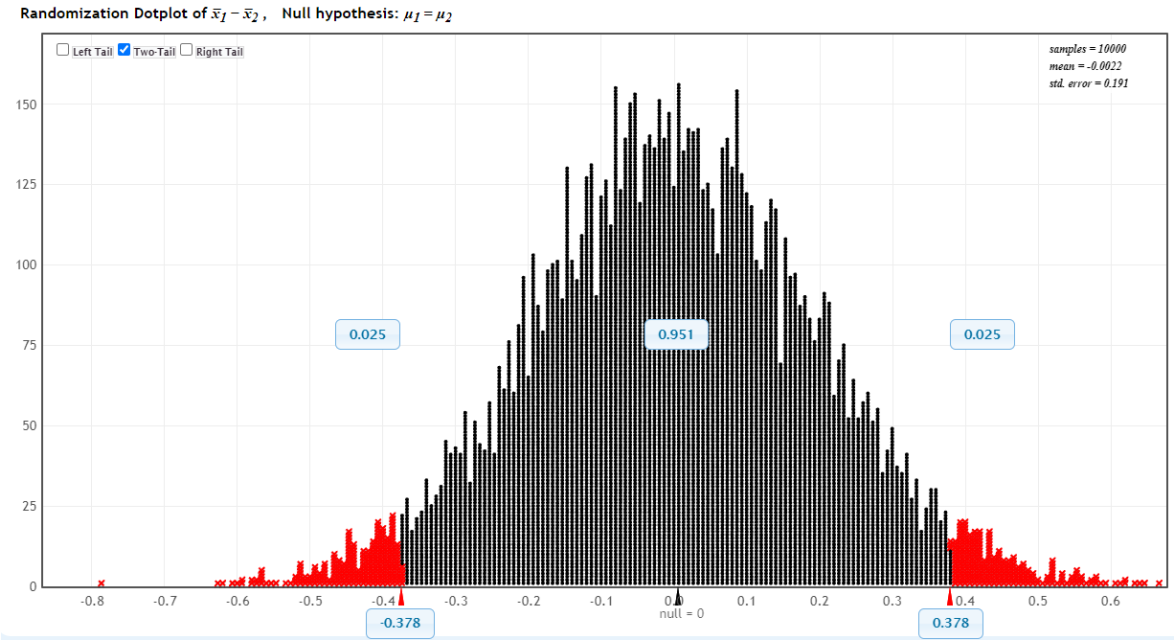


El modelo se validó con 10000 permutaciones y se observa que el diagrama de dos colas, la diferencia de las medias muestrales es (-0.145) es decir se encuentra en la zona de confianza.

De la misma manera se realizó la prueba estadística para el tramo 2 para la validación del modelo de microsimulación. Los resultados de la prueba estadística al 95% de confianza, delimitaron un rango de aceptación de la hipótesis nula entre -0.378 a 0.378 Si comparamos este rango con el resultado de la diferencia de las medias de los tiempos viaje entre el programa Vissim y las mediciones de campo es de 0.304.

Figura 18

Conteo Diagrama de dos colas del tramo 2 (04/05/24)



El modelo se validó con 10000 permutaciones y se observa que, en el diagrama de dos colas, la diferencia de medias muestrales es (0.304) es decir se encuentra en la zona de confianza.

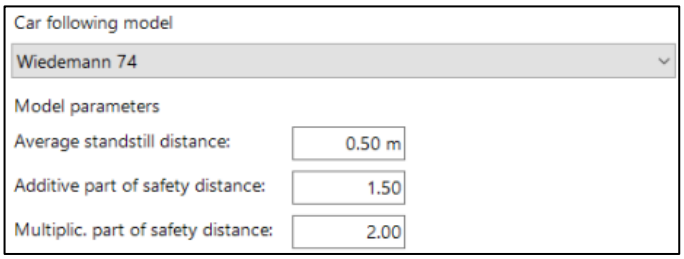
Podemos observar que los modelos correspondientes tanto al muestreo 1 como el muestreo 2, ambos de las fechas 27 de abril y 4 de mayo, se encuentran completamente validados.

3.2.5.1 Modificación de los parámetros de Wiedemann 74

Para calibrar y validar, se modificaron los parámetros de Wiedamann 74 y se mantuvo según lo obtenido en la etapa de calibración.

Figura 19

Parámetros de Wiedemann 74



3.2.6 Nivel de servicio de la situación actual

Otro parámetro importante para evaluar la situación actual de la intersección es mediante el nivel de servicio que ofrece. En nuestro caso, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12

Datos de los nodos de la situación actual

Datos	**Resultados**		
	Nivel de Servicio	**Cola Promedio de Vehículos (m)**	**Emisión de CO2 (gr)**
Larco	D	98.49	2978.114
Oeste – Este	C	98.49	612.573
Este - Oeste	C	90.84	469.011
Alcanfores	D	108.34	3456.923
Oeste – Este	C	108.34	1134.036
Este - Oeste	C	86.71	839.960

Como podemos observar en la Tabla 12, se indica el nivel de servicio de cada intersección según las diferentes direcciones cardinales. La intersección de la avenida Larco con la Calle Alcanfores tiene una clasificación D, lo que sugiere un nivel de servicio aceptable, pero con algunos retrasos y congestión moderada. Por otro lado, las intersecciones de la avenida Benavides, evaluadas desde los distintos puntos cardinales, presentan una clasificación C. Esto implica que, aunque el flujo de tráfico es más eficiente en comparación con la intersección de Larco y Alcanfores, aún existen ciertos periodos de congestión y demora que deben ser considerados en la planificación y gestión del tráfico.

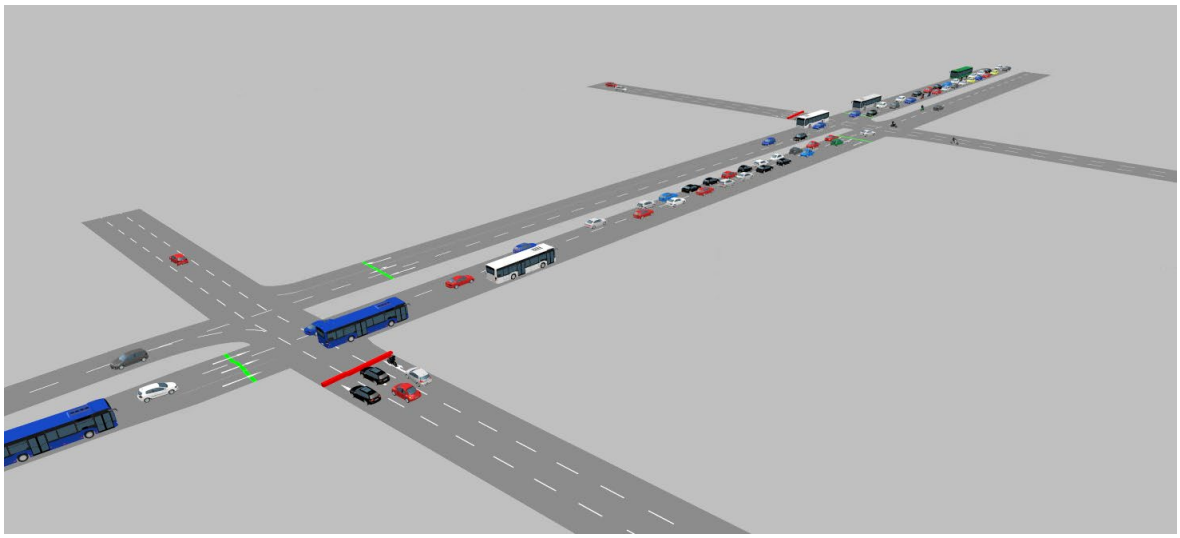
3.2.7 Implementar el rediseño de la infraestructura vial

Nuestra propuesta de diseño en el proyecto es la segregación de la vía para uso exclusivo del transporte público, esto generara menores tiempos de viaje y una mayor cantidad de vehículos del transporte público usando esta vía.

Como se logra ver en la **Figura 20**, realizamos una segregación en toda la avenida Benavides.

Figura 20

Modelo en Vissim del diseño de la propuesta.



3.2.8 Implementación de un nuevo ciclo semafórico

En el ciclo semafórico como se observa en la **Figura 21 y 22** se hizo un ajuste en el de ambas intersecciones para que el transporte público pueda recorrer de la mejor forma la avenida además de darle 15 segundos de exclusividad de la vía.

Figura 21

Ciclo Semafórico de la intersección de la Av. Larco

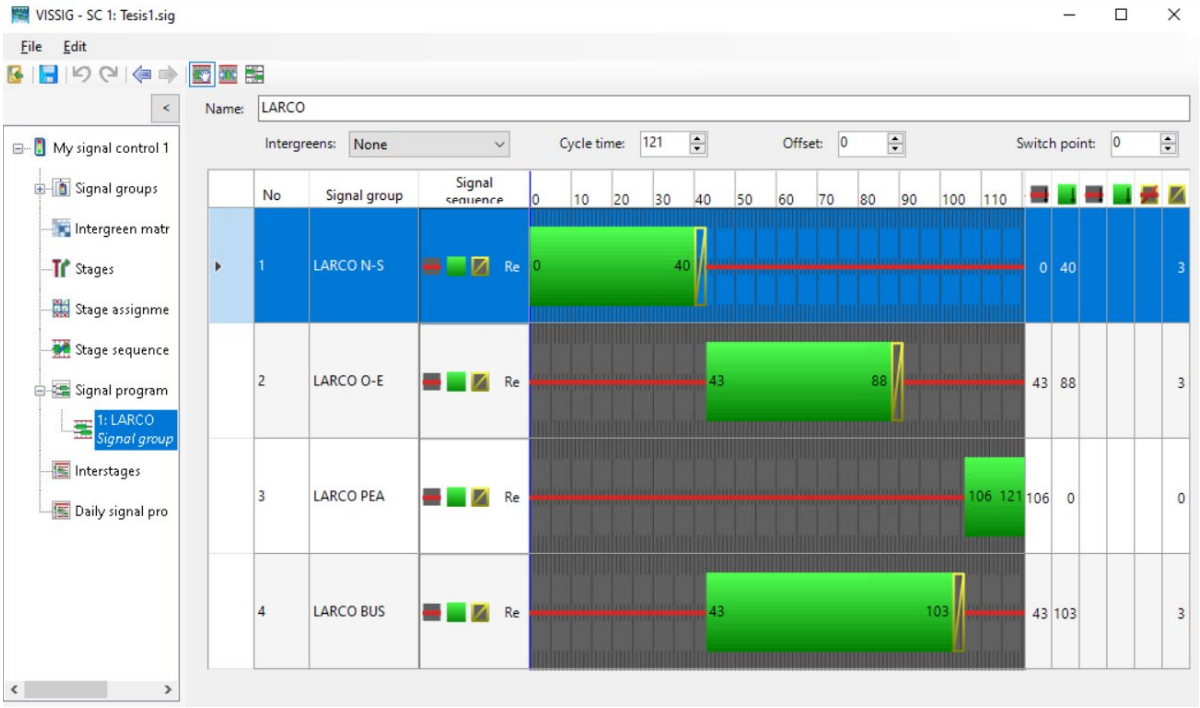
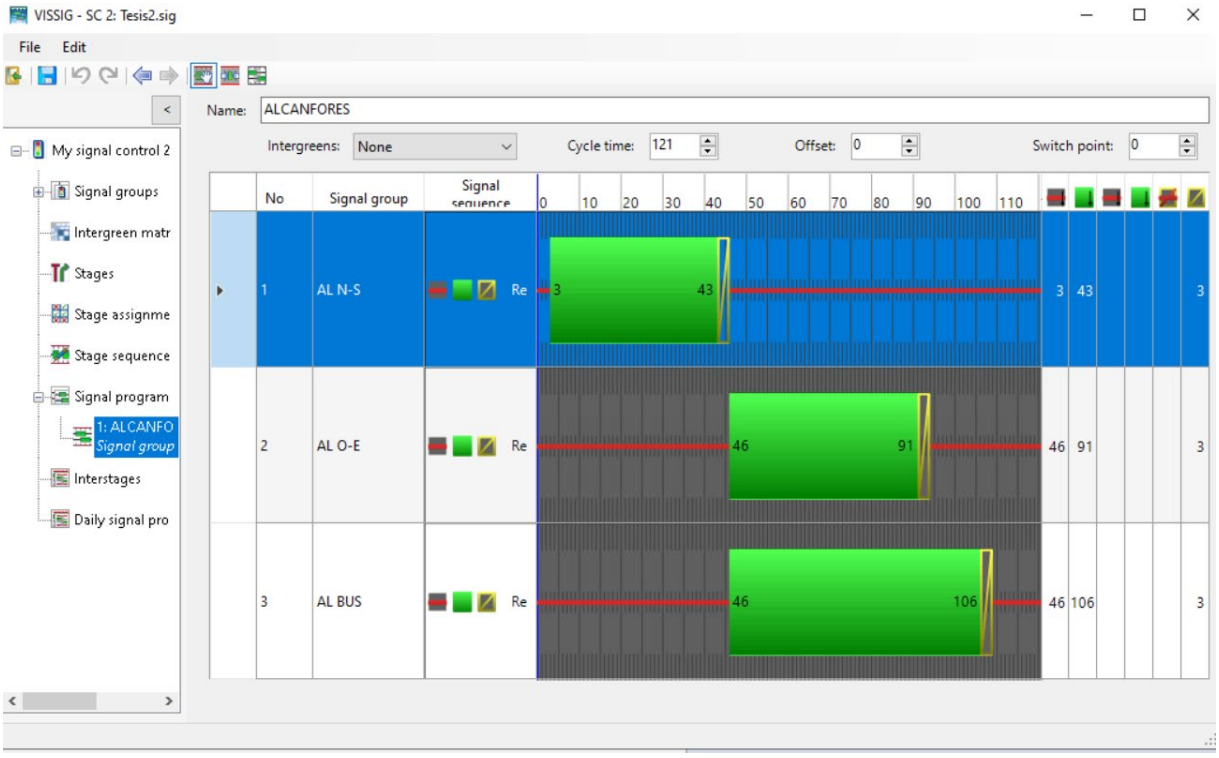


Figura 22

Ciclo Semafórico de la intersección de la Calle Alcanfores



3.2.9 Evaluación de la microsimulación con el escenario propuesto

Haciendo que en el modelo propuesto se simuló 50 veces en el Vissim, y se obtuvo los siguientes resultados del tiempo de viaje como se puede observar en la **Tabla 13**.

Tabla 13

Datos de los tiempos de viaje promedio de la situación Propuesta

Datos	Resultados			
	Tramo 1	**Tramo 2**	**Tramo 1-TP**	**Tramo 2-TP**
# de Vehículos	694	775	170	143
Tiempo de Viaje	17.96	92.15	8.21	6.57

Además, se obtiene el nivel de servicio de ambas intersecciones y de cada vía presente en ellas. En la **Tabla 14** se observa el LOS de las vías exclusivas y de las ambas intersecciones.

Tabla 14

Datos de los nodos de la situación propuesta

Datos	Resultados		
	Nivel de Servicio	**Cola Promedio de Vehículos (m)**	**Emisión de CO2 (gr)**
Larco	F	101.81	5081.940
Oeste – Este	B	87.20	114.404
Este - Norte	A	29.75	79.175
Alcanfores	E	155.71	7003.822
Oeste – Este	A	29.87	60.352
Este - Oeste	B	108.98	146.814

3.3 Validación del Proyecto

3.3.1 Cumplimiento del OE 1: Recolectar datos en las avenidas para identificar los principales problemas de la situación actual.

Teniendo 2 intersecciones se puede comprobar de mejor manera los distintos problemas que se presentan en la Av. Benavides. Los cuales pueden observar en la siguiente lista:

- Transporte público con única dirección giro a la derecha; en el cruce con Av. Larco al reducir la vía de 3 a 2 carriles, el transporte público reduce su nivel de servicio al tener que si o si girar a la derecha teniendo problemas principalmente con las motos siendo las principales que no los dejan avanzar.
- Sin paraderos claros; esto genera que los buses paren en cualquier zona que les convengan afectando negativamente el tiempo de viaje debido a que no se crea un punto de descarga de pasajeros fijos y cada conductor decida donde parar.
- Giro a la izquierda de vehículos livianos; en el cruce con Calle Alcanfores los vehículos interrumpen al transporte público al querer cruzar a la izquierda siendo los buses que se transportan por el carril central los que más congestión tienen afectando el nivel de servicio de la intersección.

3.3.2 Cumplimiento del OE 2: Realizar una microsimulación calibrada y validada con el parámetro de eficiencia de tiempos de viaje vehiculares.

Para modelo se obtuvo 50 datos de tiempo de viaje para el día 27/04 y 04/05 tanto del Vissim como de campo. Calibrándolo con 10000 permutaciones y observando los diagramas de dos colas, en donde la diferencia de medias muestrales debe encontrarse en la zona de confianza. Como se observa en la **Tabla 15** en los ambos tramos en ambos días la diferencia de media se encuentra en el rango de aceptación significando que el modelo esta validado y calibrado.

Tabla 15

Zona de confianza para calibrar y validar el modelo

Datos	Tramo 1	Tramo 2
Sábado 27/04	-0.025	-0.077
Rango de Aceptación T1	-0.545 a 0.554	-0.366 a 0.358
Sábado 04/05	-0.145	0.304
Rango de Aceptación T2	-0.452 a 0.445	-0.378 a 0.378

3.3.3 Cumplimiento del OE 3: Realizar un rediseño en la Av. Benavides para reducir los tiempos de viaje del sistema de transporte público.

En el desarrollo de la microsimulación en Vissim, se encuentra uno de nuestros parámetros. El tiempo de viaje el cual para el transporte público es crítico para conocer la posible aceptación que este va a tener debido a esto como se puede observar en la **Tabla 16** en el modelo actual el tiempo de viaje en la Av. Benavides se aproxima en 18.2 segundos, mientras que en el modelo propuesto el tiempo de viaje en el mismo tramo se reduce hasta 7.4 segundos.

Tabla 16

Tiempos de Viaje del sistema de transporte publico

Datos	Tramo 1	Tramo 2
Tiempos modelo actual	17.756	18.638
Tiempo modelo propuesto	8.21	6.57

3.3.4 Cumplimiento del OE 4: Verificar si el rediseño en la Av. Benavides mejora el nivel de servicio del sistema de transporte público.

El Manual de Recomendaciones para el Diseño del Espacio Vial Urbano proporciona directrices sobre los anchos mínimos y absolutos de las pistas, considerando la velocidad de diseño de la calzada. Se representa en planos el plano actual y el rediseño de avenida Benavides y las intersecciones de la avenida José Larco y Calle

Alcanfores, que se encuentran en la zona de estudio, siendo el principal cambio el aumento de una parada para uso exclusivo del transporte público.

Según la REDEVU recomienda:

- Carriles para Automóviles y Vehículos Ligeros de alto flujo en avenidas principales y vías de mayor tráfico, se propone un ancho de 3.0 metros para mejorar la seguridad y la fluidez del tráfico.

- Carriles para Buses el ancho recomendado es de 3.5 metros. Este ancho proporciona el espacio necesario para la maniobrabilidad segura de vehículos de gran tamaño.

- Carriles para Bicicletas (Ciclovías) El ancho recomendado es de 1.5 a 2.0 metros por sentido de circulación, dependiendo del volumen de tráfico y las condiciones específicas del área.

- Radios de Giro para Vehículos Se recomienda un radio de giro mínimo de 7.5 metros para asegurar que los vehículos puedan girar de manera segura sin invadir otros carriles.

Se tomo en cuenta varios detalles de la REDEVU. Ver **figura 23 y 24**.

Figura 23

Plano del modelo actual

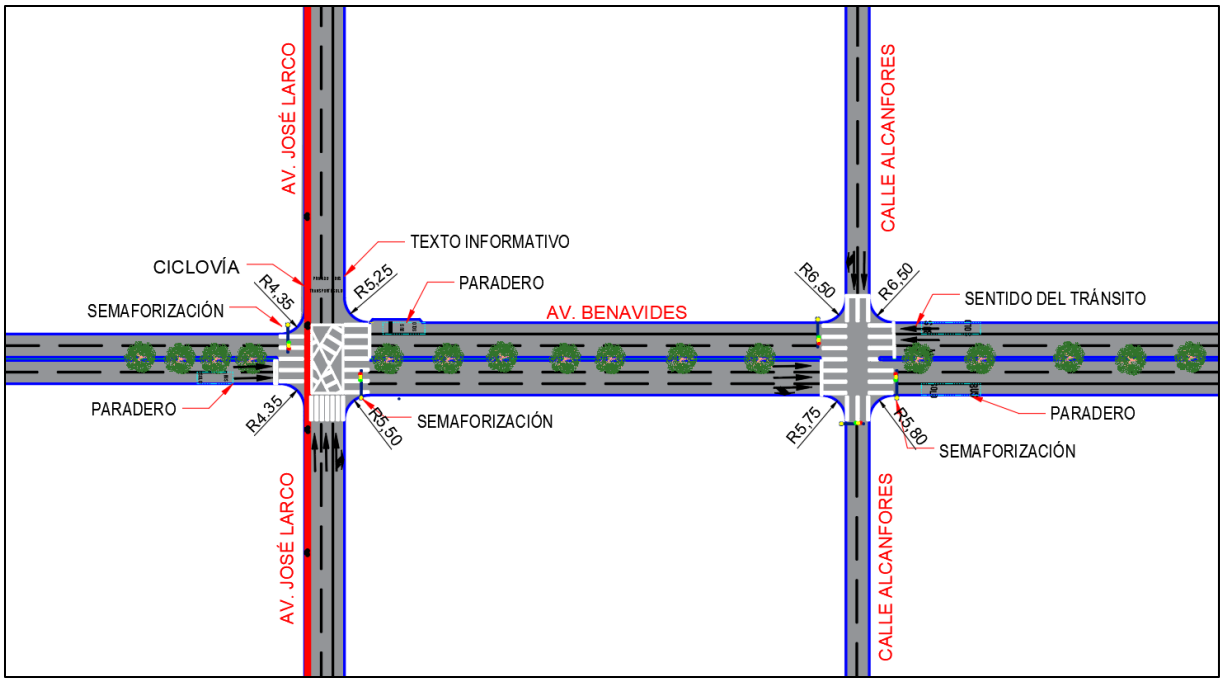
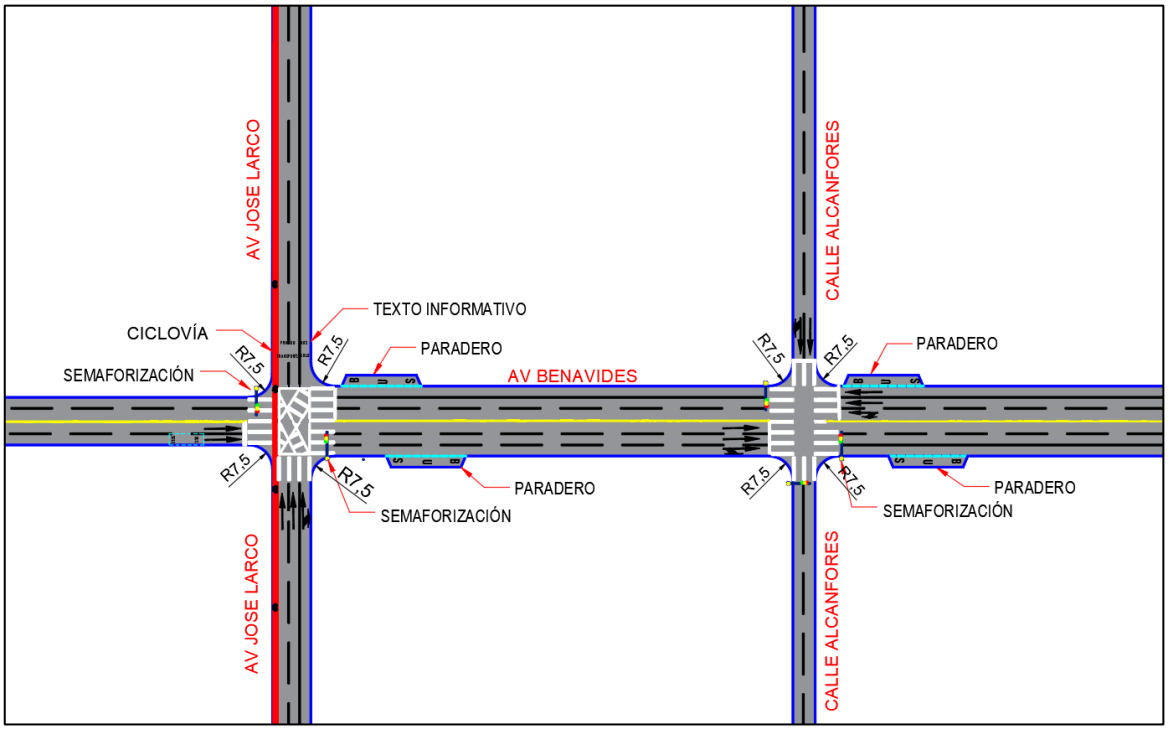


Figura 24

Plano del modelo propuesto



Como se puede ver en el plano propuesto entre la avenida Benavides y las intersecciones de la avenida José Larco y la calle Alcanfores, se hicieron los cambios de giro pues la REDEVU recomienda radios mínimos de 4.5 m, 6.0 m, 7.5 m, 9.0 m y 12 m para intersecciones con presencia de autos, buses para un buen giro y evitar accidentes, se ajustaros los radios de giro a 7.5 m y ampliar los carriles a 3.5 m para buses y 3m para automóviles, para cumplir con las recomendaciones y mejorar la funcionalidad de esta intersección crítica, ver **Figura 25 y 26.** También se propuso implementar paraderos para uso exclusivo de buses y así evitar congestionamientos vehiculares.

3.3.4.1 Situación actual de la avenida Benavides y las intersecciones de la avenida José Larco y Calle Alcanfores

Figura 25

Sección vial de la Av. Benavides actualmente de Este a Oeste

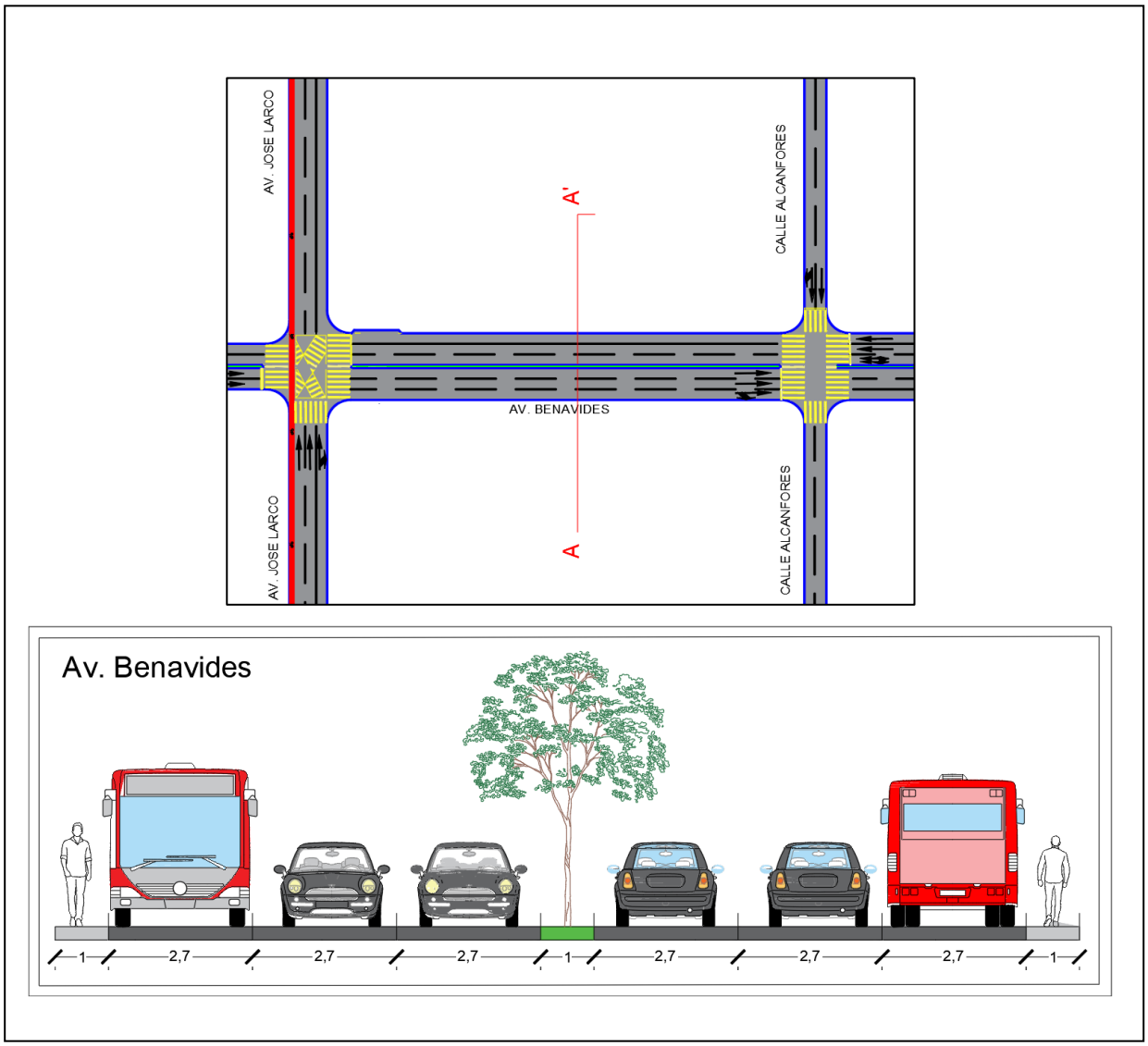
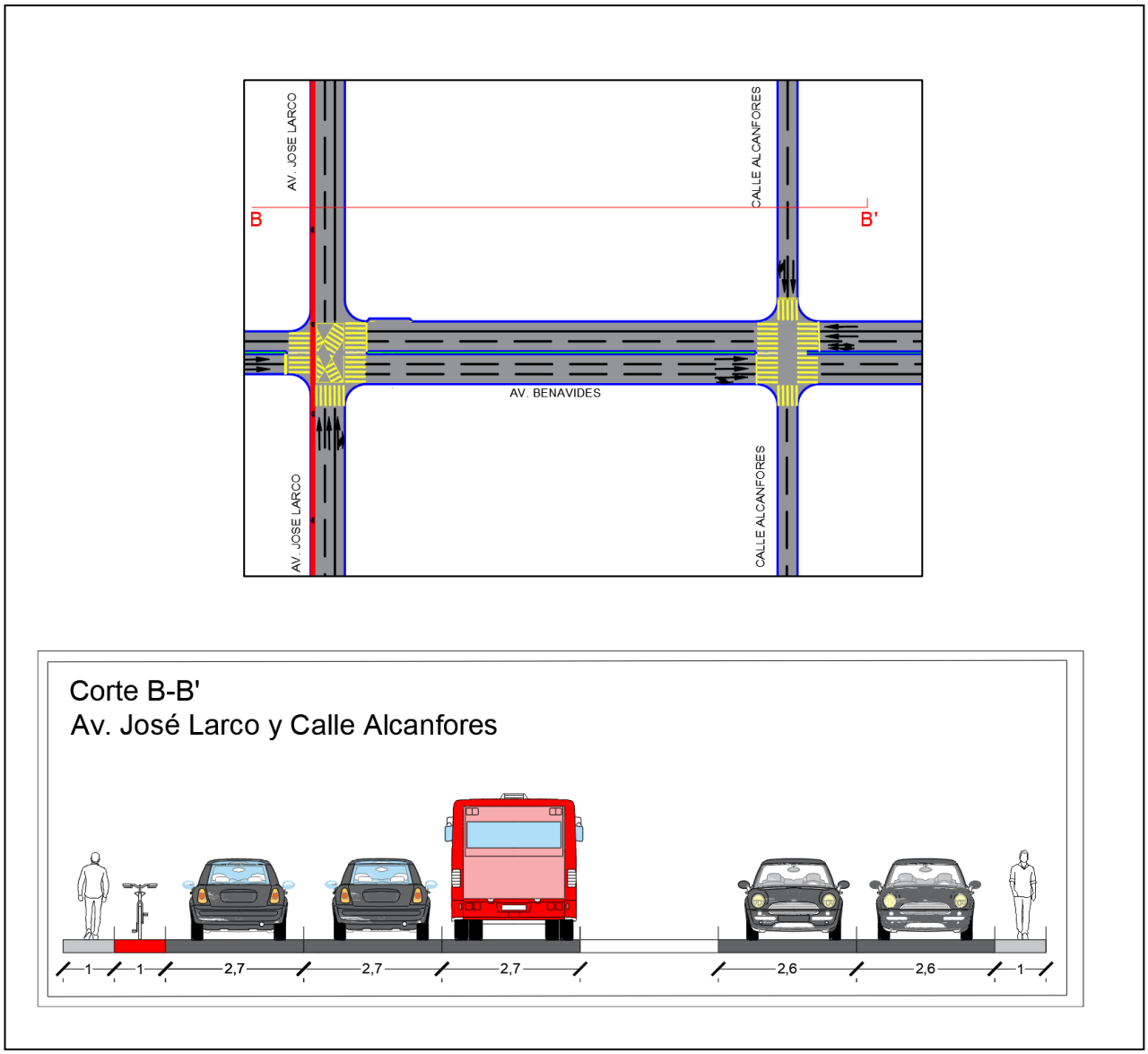


Figura 26

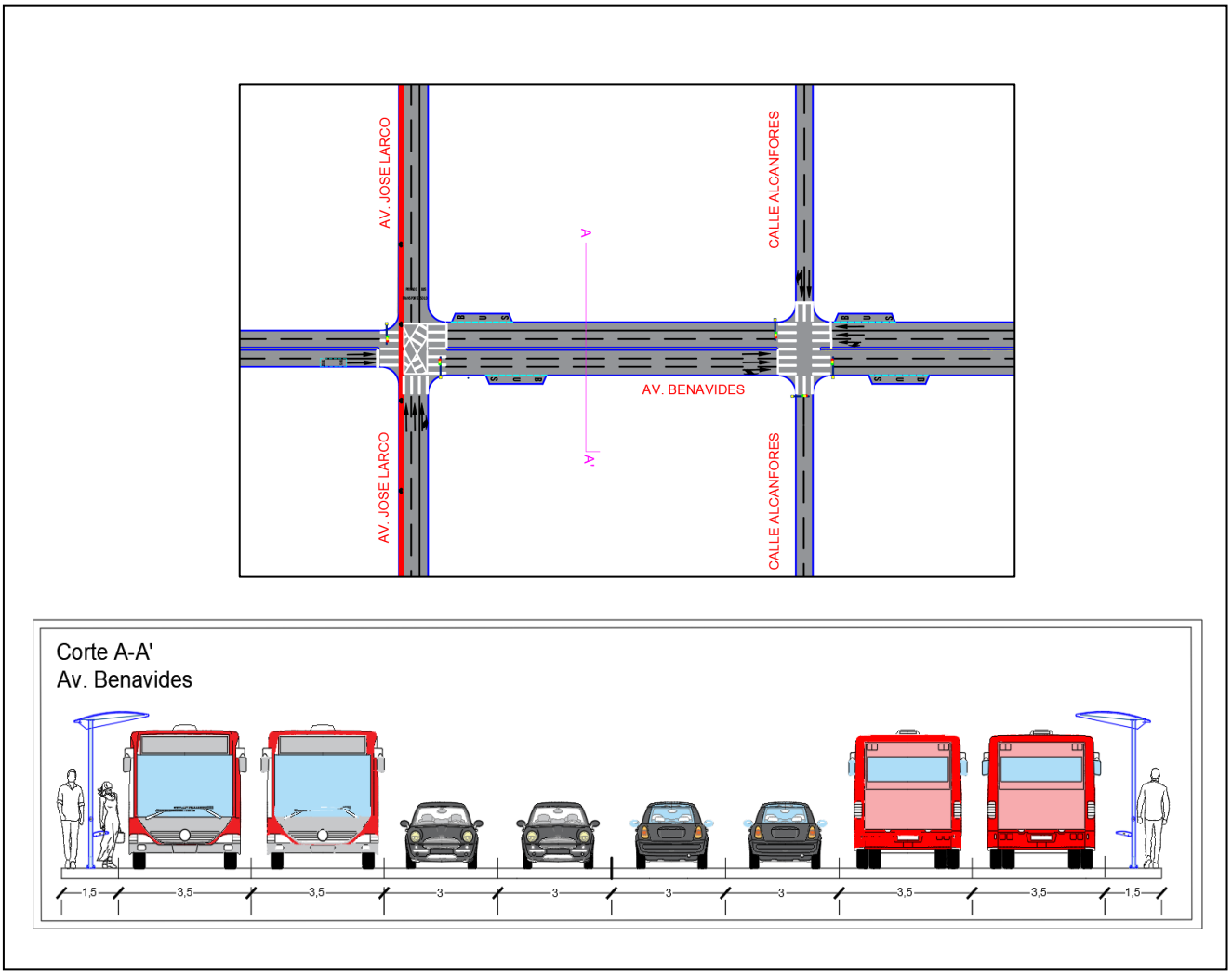
Sección vial de la Av. José Larco y Calle Alcanfores actualmente



3.3.4.2 Situación propuesta de la avenida Benavides y las intersecciones de la avenida José Larco y Calle Alcanfores

Figura 27

Sección vial de la Av. Benavides propuesto de Este a Oeste



Como se puede observar con los planos del corte A actual, en el propuesto se modificaron los anchos de los carriles y radios. Se implemento paraderos para uso exclusivo de transporte público (BUSES).

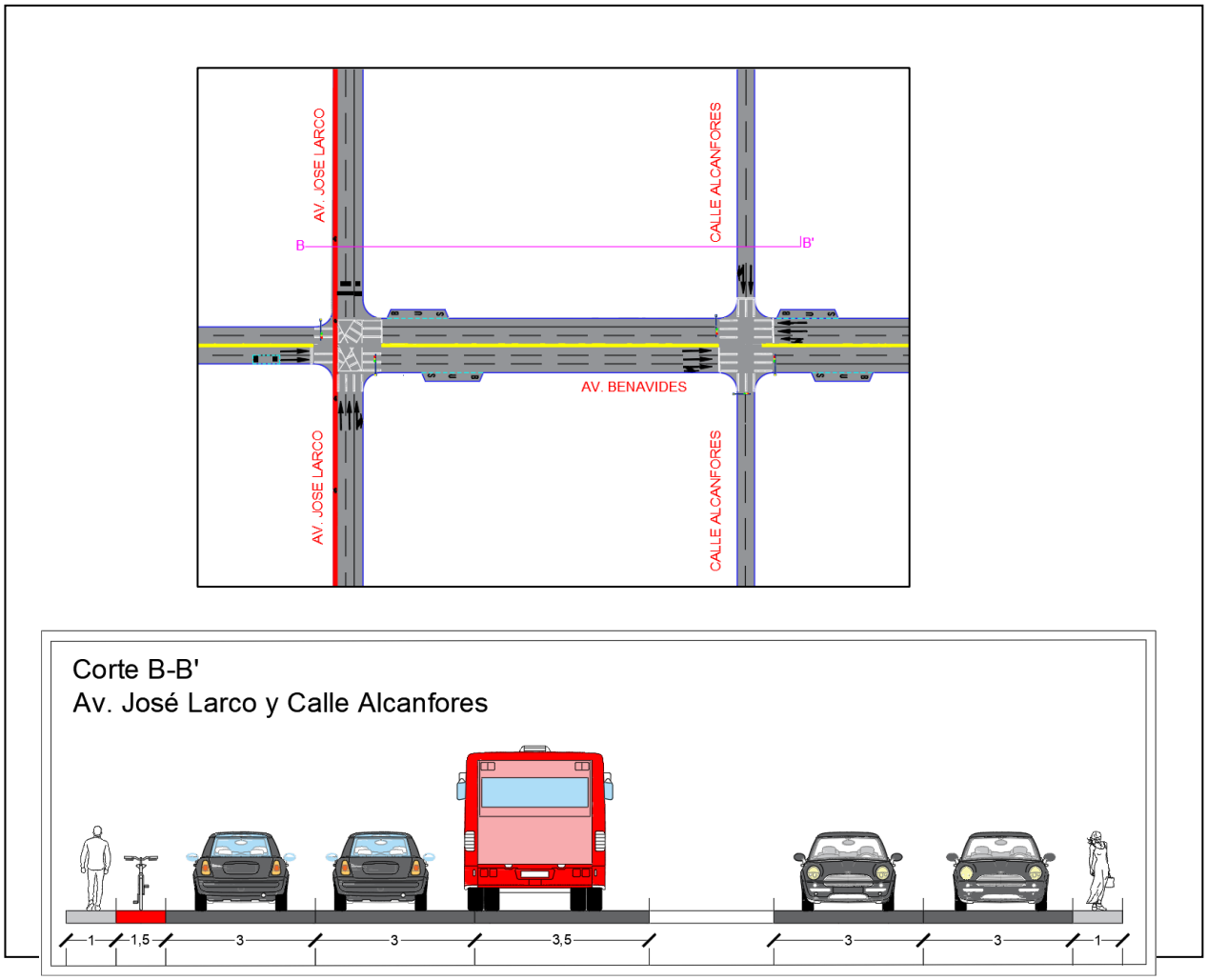
Tabla 17

Resumen de los Cambios ejecutados para el Diseño Propuesto - Corte A

	Av. Benavides		
	Antes	**Después**	
		automóviles	**Buses**
Radios de giro	Menores a < 7.50 m	7.5 m	
Ancho del carril	2.70 m	3.00 m	3.50 m

Figura 28

Sección vial de la Av. José Larco y Calle Alcanfores Rediseño - Norte



Como se puede observar con los planos del corte B actual, en el propuesto se modificaron los anchos de los carriles, radios de giro y ancho de la ciclovía.

Tabla 18

Resumen de los Cambios ejecutados para el Diseño Propuesto - Corte B

	Av. José Larco y Calle Alcanfores		
	Antes	**Después**	
		automóviles	**Buses**
Radios de giro	Menores a < 7.50 m	7.5 m	
Ancho del carril	2.70 m	3.00 m	3.50 m
Ciclovía	1.00 m	1.5 m	

3.4 Interpretación de los Resultados

3.4.1 Tiempos de Viaje

Como se puede observar en la **Tabla 19** los tiempos de viaje para el transporte público se reduce en un 50% aproximadamente, mientras de la cantidad de buses que transitan por la avenida se mantiene igual.

Tabla 19

Comparación de Tiempos de Viaje

Datos	Tramo 1	Tramo 2
Tiempos modelo calibrado y validado	17.756	18.638
Tiempos modelo propuesto	8.21	6.57
# de vehículos modelo calibrado y validado	173	142
# de vehículos modelo propuesto	170	143

3.4.2 Nivel de Servicio

Los niveles de servicio se miden utilizando Vissim en las intersecciones y vías. Como se puede observar en la **Tabla 20**, los niveles de servicio de ambas intersecciones aumentan. Sin embargo, el nivel de servicio para el transporte público es el más fluido en dos vías y es muy fluido para las otras 2 vías.

Tabla 20

Comparación de Niveles de Servicio

Datos	Resultados	
	Nivel de Servicio (modelo calibrado y validado)	**Nivel de Servicio (modelo propuesto)**
Larco	D	F
Oeste – Este	C	B
Este - Norte	C	A
Alcanfores	D	E
Oeste – Este	C	A
Este - Oeste	C	B

La mejora en el transporte público se debe a los beneficios otorgados, como la implementación de carriles segregados y la preferencia en el ciclo semafórico para estos vehículos. Estos cambios han tenido un impacto positivo en la eficiencia y la calidad del transporte público, lo que se refleja claramente en los resultados observados.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- En la situación actual en las dos intersecciones de la Av. Benavides estudiadas se puede identificar que existe un nivel de servicio de C para el sistema de transporte publico esto demuestra que se necesita una intervención para mejorar este indicador.
- En la situación actual se puede identificar que los tiempos de viaje alcanzan valores hasta los 18,64 segundos lo cual generan demoras en el sistema sobre todo para el transporte público debido que tienen que se le aumenta el tiempo de parada y bajada/subida de pasajeros.
- Para las intersecciones de la Av. Benavides se utilizó como parámetros de eficiencia los tiempos de viaje y se realizó una prueba de diferencia de diferencia de medias de viaje donde las zonas de aceptación fueron -545 a 0.554, -0.366 a 0.358, -452 a 0.445 y -0.378 a 0.378. Lo cual los parámetros están dentro de la zona de confianza y indica que el modelo se calibró y validó.
- Los parámetros finales de Widemann 74 obtenido del proceso de calibración y validación del modelo fueron ax=0.50, bx-add=1.50 y bx_mult=2.00.
- Se realizo la modificación de los radios de giro de las intersecciones de 5.25 m, 5.50 m y 6.50 m a 7.50 m, se incluyó la ampliación de carriles de 2.60 m y 2.70 m a 3.00 m para automóviles y 3.50 m para buses.
- Se realizo el cambio de paraderos en la Av. Benavides de oeste a este cruzando la intersección y se segrego un carril para uso exclusivo para el transporte público.
- Se mejoro el ciclo semafórico de la intersección de la Av. Benavides con la Calle Alcanfores pasando de 130 segundos solo vehicular a 121 segundos, donde 15 segundos del ciclo es de uso exclusivos para cruce peatonal debido a la gran presencia de personas durante todos los días laborables.
- Gracias al rediseño de la zona de estudios se ha logrado reducir los tiempos de viaje de 17 segundos a 7 segundos aproximadamente y se mejoró los niveles de servicio de C hasta A en el transporte público.

4.2 Recomendaciones

- La mejor forma de recolectar datos es la visita con herramientas especializadas, en este caso se ha utilizado drones para poder realizar grabaciones de las intersecciones y poder realizar un mejor conteo de vehículos.
- Lo mejor es utilizar rediseños simples pero eficaces para que el proyecto debido a que nos ayuda a optimizar recursos y considerando que en la zona de estudio hay presencia de grandes edificios y gran concentración de peatonal el espacio público es limitado generando que los rediseños complejos no se pueden implementar.
- Se recomienda explorar la integración de tecnologías inteligentes de transporte (ITS) en el diseño y operación del sistema de transporte público, lo que puede contribuir a una mayor eficiencia, seguridad y sostenibilidad.
- Se recomienda considerar aspectos de accesibilidad, seguridad vial e impacto ambiental en el diseño y la implementación de soluciones para el transporte público, con el fin de conseguir un sistema integrado y sostenible a largo plazo.
- Se recomienda incluir el comportamiento psicofísico de los peatones y ciclistas para mejorar la precisión de estos resultados ya que este punto no fue contemplado en el presente trabajo.
- Se recomienda el uso de las metodologías de REDEVU y la NACTO para los diseños geométricos viales.

5 REFERENCIAS

Albrieu, M., & Galarraga, J. (2012). *Recomendaciones para la aplicación de la metodología del HCM para intersecciones semaforizadas en Argentina*. XVI congreso Argentina http://www.congresodevialidad.org.ar/congreso2012/antecedentes.html

Bull, A. (2003). *Congestión de tránsito el problema y cómo enfrentarlo.* Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL. Santiago. Chile. https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/baac8944-5176-4792-9b19-b49ea4062290/content

Cabrera, F. (2010). ¿Pueden los modelos Macro-deterministicos y Microsimulación analizar adecuadamente las intersecciones semaforizadas en Lima? XVI PANAM. Lisboa, Portugal. http://www.congresodevialidad.org.ar/congreso2012/antecedentes.html

Cambridge Systematics, Inc. (2005). *Traffic congestion and reliability: Trends and advanced strategies for congestion mitigation*. Federal Highway Administration. https://ops.fhwa.dot.gov/congestion_report/congestion_report_05.pdf

Fabianova, J., Michalik, P., Janekova, J., & Fabian, M. (2020). *Design and evaluation of a new intersection model to minimize congestions using VISSIM software*. Open Engineering, 10(1), 48-56. https://doi.org/10.1515/eng-2020-0019

Federal Highway Administration. (2019). *Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software 2019* https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop18036/index.htm

Huaranga, R., & Vásquez, J. (2021). *Propuesta de reducción de los tiempos de viajes de los vehículos a través de la gestión de la infraestructura vial en la av. 28 de julio entre el ovalo Jorge Chávez y la Av. Arequipa en el distrito de Lima, Perú* [Tesis de licenciatura, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/657267

Infanzón, J. W. (2021). *Análisis y rediseño de la intersección de avenida La Mar con la avenida Urubamba* [Tesis de licenciatura, Pontificia Universidad Católica del Perú]. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/21530

Jauregui K.. & Palomino V. (2023). *Propuesta para disminuir los tiempos de viaje del Sistema de Transporte Público en la intersección de la Av. Salvador Allende y Av. San*

Juan mediante la mejora del diseño geométrico y la ubicación de paraderos. [Tesis de título, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/667576

Lima como vamos & Lima expresa (2023*). Tablas de indicadores de percepción*. https://www.limacomovamos.org/wp-content/uploads/2022/06/Reporte-%C2%BFCo%CC%81mo-nos-movemos__LCV-LE-2022_compressed.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones - (2018). *Manual De Carreteras: Diseño Geométrico 2018* https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2006). *Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para calles y carreteras*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_6%20DCT-2016.pdf

National Association of City Transportation Officials. (s. f.). *National Association of City Transportation Officials* https://nacto.org/

Qi, L., Zhou, M., & Luan, W. (2017). *Impact of Driving Behavior on Traffic Delay at a Congested Signalized Intersection. IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems, 18*(7), 1882-1893. https://doi.org/10.1109/tits.2016.2613598

REDEVU - Sectra. (2009). *Sectra V6.2 - REDEVU*. https://www.sectra.gob.cl/metodologias/redevu.htm

Roca A., (2019). *Análisis y rediseño de la intersección de Av. La Molina y Av. Víctor Malásquez* [Tesis de título, Pontificia Universidad Católica del Perú]. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/15893/ROCA_DE%20LA%20CRUZ_ALBERTO_AN%c3%81LISIS_REDISE%c3%91O_INTERSECCI%c3%93N.pdf?sequence=1&isAllowed=y

TomTom Traffic Index. (2023). *Traffic congestion ranking*. https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/

Valladares, A. (2016). *Comparación de un Enfoque Macroscópico y otro Microscópico al estimar las demoras por la congestión urbana* Medellin, Colombia [Tesis de título, Universidad Nacional de Colombia]. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/56211

6 ANEXOS

Figura 1

Av. Benavides y Av. José Larco

Figura 2

Av. Benavides y Av. José Larco

Figura 3

Plano actual de la Av. Benavides con la Calle Alcanfores

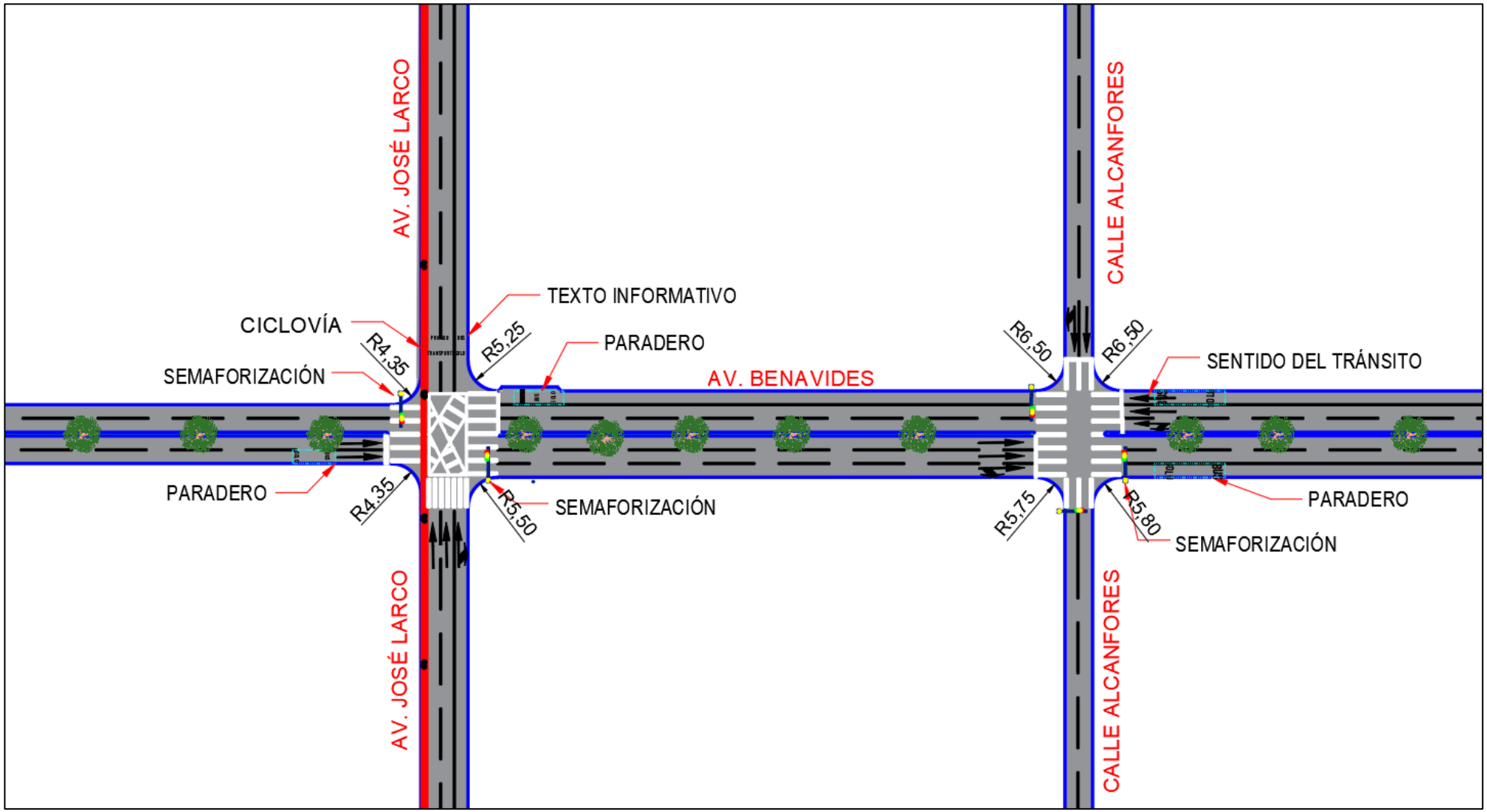
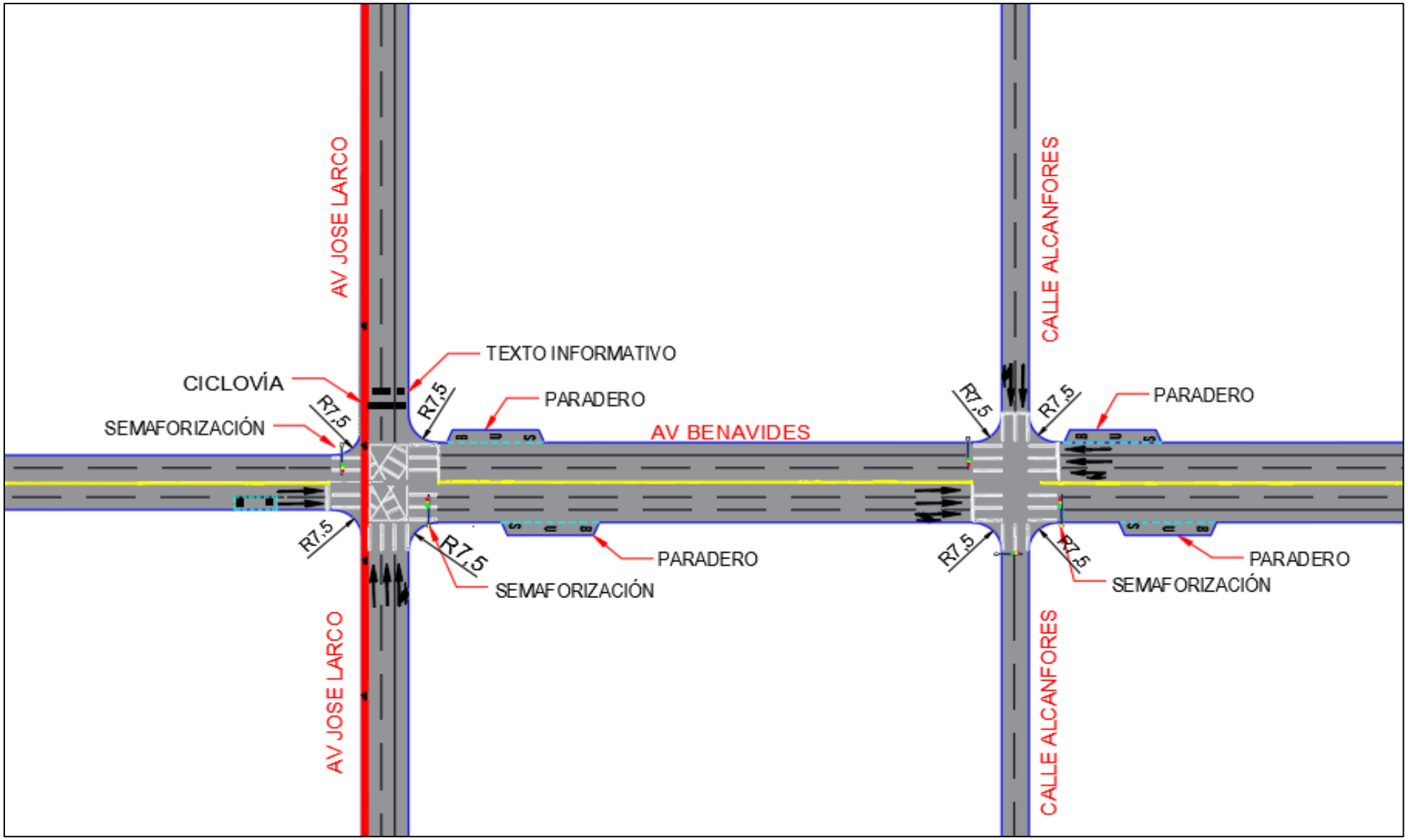


Figura 4

Plano propuesto de la avenida Benavides con la avenida José Larco y calle Alcanfores