

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**Comparativa del paso a desnivel existente contra un rediseño
a nivel en la intersección de las avenidas Universitaria y
Oscar R. Benavides**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Alfredo Victor Altamirano Garay
Marco Fabrizio Diaz Mora

ASESOR

Juan Carlos Dextre Quijandría

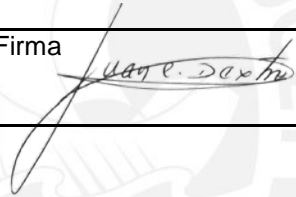
Lima, julio de 2023

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/el trabajo de investigación titulado "Comparativa del paso a desnivel existente contra un rediseño a nivel en la intersección de las avenidas Universitaria y Oscar R. Benavides de los autores Alfredo Victor Altamirano Garay y Marco Fabrizio Diaz Mora, dejo constancia de lo siguiente:

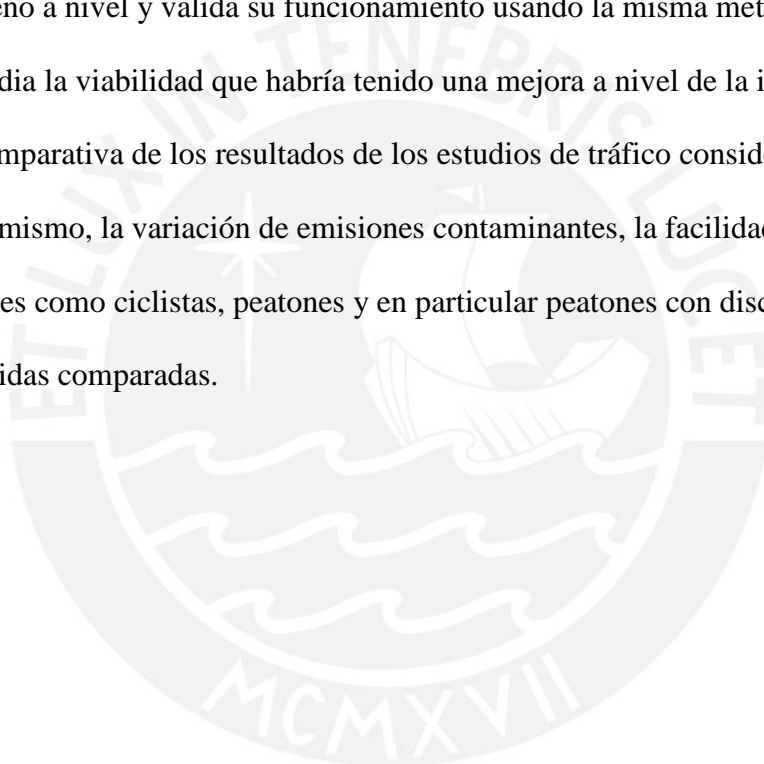
- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 12%%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 07/07/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: 11 de julio del 2023.....

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

Resumen

El concepto de ciudad reconquistada plantea que el espacio urbano debe tener infraestructura a escala humana que promueva el uso del espacio público y dé prioridad a los peatones por sobre cualquier otro medio de transporte. El paso a desnivel de la intersección de las avenidas Universitaria y O. R. Benavides corresponde a un paradigma de ciudad moderna hoy desfasado. La presente tesis estudia el estado del tráfico actual en la mencionada intersección mediante microsimulación de tráfico, con el empleo del software PTV Vissim®. Luego, plantea un rediseño a nivel y valida su funcionamiento usando la misma metodología. Finalmente, estudia la viabilidad que habría tenido una mejora a nivel de la intersección mediante una comparativa de los resultados de los estudios de tráfico considerando la evaporación del mismo, la variación de emisiones contaminantes, la facilidad de acceso para modos vulnerables como ciclistas, peatones y en particular peatones con discapacidad y el costo de las medidas comparadas.



Alfredo dedica este trabajo a sus padres, que siempre le han dado todas las condiciones y apoyo necesarios para estudiar. También a su hermana y a su gata, cuyo apoyo y soporte emocional fueron claves durante los momentos más difíciles. Y a sus abuelos, quienes nunca pudieron ir a una Universidad pero dieron de sí para que hoy pueda completar este trabajo.

Marco dedica este trabajo a sus padres, Marcos y Marly, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo incondicionales lo ayudaron a crecer y sobrellevar cada etapa de su vida. También a sus abuelos, George y Mariana; a sus hermanos, Jack y Romina; y a Chloë, por apoyarlo en todo momento.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Luis E. M. y Jennifer López G. por sus comentarios para clarificar y mejorar la redacción de este trabajo. También a Ignacio Z. M. por su apoyo en el manejo informático de los millones de datos requeridos para el cálculo de emisiones. De igual manera, a Orlando M. C. por apoyarnos a comprender los aspectos técnicos de la investigación. Por otro lado, extienden su mayor gratitud a Fiorella Aranda J. por siempre mantenerse al pendiente de los avances, sugerir consideraciones para el alcance y entender las situaciones adversas que se presentaron. Finalmente, agradecen a su asesor, Juan Carlos Dextre, por sus comentarios para mejorar el análisis presentado y la presentación de los resultados y por sus sugerencias de fuentes.

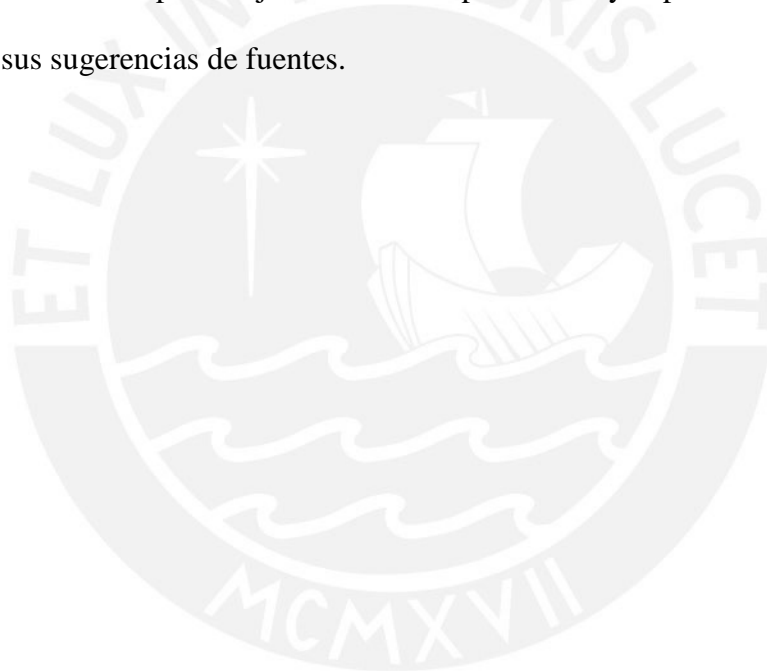


TABLA DE CONTENIDOS

Capítulo 1: Generalidades	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos	4
1.4. Alcances y limitaciones	5
1.5. Justificación	5
Capítulo 2: Marco teórico	6
2.1. Modelos de ciudad: Moderna frente a reconquistada. El caso de Lima	6
2.1.1. Ciudad moderna	6
2.1.2. Ciudad reconquistada	6
2.1.3. El caso de Lima: Desarrollo urbano en el siglo XX hasta la actualidad	8
2.2. Evaporación del tráfico	10
2.2.1. Definición	10
2.2.2. Casos en el mundo	11
2.3. Microsimulación vehicular y peatonal como herramienta de estudio de tráfico	12
2.3.1. Modelos de seguimiento vehicular	12
2.3.2. Modelos de cambio de carril	19
2.3.2. Software	20
2.3.3. Calibración y validación	20
2.4. Emisiones contaminantes vehiculares	21
2.4.1 Definición	21
2.4.1 Daño a la salud	22
Capítulo 3: Metodología	24
3.1. Definición de variables	25
3.2 Modelamiento de situación actual	26
3.2.1. Recolección de datos en campo	26
3.2.2. Cálculo de la demanda vehicular	30
3.2.3. Elaboración del modelo y calibración	30
3.2.4. Validación	32
3.2.5. Revisión de costo de implementación	33
3.3. Propuesta de rediseño y microsimulación	33
3.3.1. Elaboración de rediseño	33
3.3.2. Elaboración del modelo	33
3.3.3. Análisis de sensibilidad del tráfico evaporado	34
3.3.4. Estimación del costo de intervención a partir de precios unitarios	34
3.4. Cálculo de emisiones contaminantes	35
3.5. Comparativa de las propuestas	37
3.5.1. Comparación de parámetros de eficiencia y emisiones	38

3.5.2. Comparación de costos	38
Capítulo 4: Modelamiento de Situación Actual	39
4.1. Recolección de datos en campo	39
4.2. Procesamiento de datos	42
4.2.1. Cálculo de la demanda	42
4.2.2. Medición de tiempos de viaje	43
4.3. Creación del modelo base utilizando el software de PTV Vissim 8®	43
4.4. Calibración y validación del modelo	45
4.5. Cálculo de emisiones contaminantes	49
4.6. Reporte general	50
Capítulo 5: Modelamiento de Propuesta de Rediseño	53
5.1. Creación de la propuesta de rediseño utilizando Autodesk® Autocad™	53
5.1.1. Características de la propuesta de rediseño	53
5.2. Creación del modelo base utilizando el software de PTV Vissim 8®	54
5.3. Análisis de sensibilidad	56
5.4. Cálculo de emisiones contaminantes	58
5.5. Reporte general	59
Capítulo 6: Estimación del Costo de Rediseño	60
6.1. Metrado	60
6.2. Cálculo de costo	60
Capítulo 7: Comparación Entre Situaciones	63
7.1. Comparación de parámetros vehiculares	63
7.2. Comparación cualitativa de flujo y accesibilidad peatonal	63
7.3. Comparación de emisiones	65
7.4. Comparación de costo	65
7.5. Discusión	65
Capítulo 8: Conclusiones y Recomendaciones	68
8.1. Conclusiones	68
8.2. Recomendaciones	69
Bibliografía	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Importación peruana de vehículos para pasajeros	10
Tabla 2.2 Modelos de respuesta a estímulos	13
Tabla 2.3 Modelo de distancia segura o de Gipps	14
Tabla 2.4 Significado de los términos de la tabla 2.3	15
Tabla 2.5 Significado de los términos de las expresiones 2.1, 2.2 y 2.3	19
Tabla 3.1 Emisiones de acuerdo con el VSP	35
Tabla 3.2 Equivalencias entre vehículos observados y vehículos del modelo	37
Tabla 3.3 Formato para comparar variables numéricas entre la situación actual y la propuesta de rediseño	37
Tabla 4.1 Demanda total para el aforo vehicular	42
Tabla 4.2 Ejemplo de datos introducidos en Vissim para algunos elementos tipo link	43
Tabla 4.3 Composición vehicular del tráfico en cada uno de los accesos en el período crítico	44
Tabla 4.4 Resultados de tiempos de viaje para diferentes parámetros de comportamiento de manejo	46
Tabla 4.5 Resultados de verificación de calibración mediante test de randomización	47
Tabla 4.6 Resultados de verificación de validación mediante test de randomización	48
Tabla 4.7 Reporte de emisiones contaminantes en la situación original	50
Tabla 4.8 Resumen de datos de la situación actual	51
Tabla 5.1 Composición vehicular del tráfico en cada uno de los accesos en el período crítico	53
Tabla 6.1 Partidas consideradas para el costo directo de la ejecución del rediseño y su metrado	58
Tabla 6.2 Listado de proyectos considerados para estimación de precios	58
Tabla 6.3 Resumen de costos de los 5 proyectos	59
Tabla 6.4 Costo total del proyecto	60
Tabla 6.5 Costos inherentes al proyecto de inversión	60
Tabla 7.1 Comparación entre parámetros vehiculares en la situación original y en el rediseño	61
Tabla 7.2 Comparación entre distancias máximas de cruce y entre cruces en la situación original y en el rediseño	62
Tabla 7.3 Comparación entre emisiones en la situación original y en el rediseño	63
Tabla 7.4 Comparación entre costos	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Distancia aproximada de los puentes peatonales (en celeste) a la intersección de las avenidas Universitaria y O. R. Benavides	2
Figura 1.2 Zona oscurecida bajo el viaducto elevado de la avenida O. R. Benavides sobre la avenida Universitaria	3
Figura 2.1 Pirámide de la movilidad urbana	7
Figura 2.2 Viviendas en ladera de cerro en distrito El Agustino	9
Figura 2.3 Autopista de Cheonggyecheon (izquierda) y parque del río Cheonggyecheon, construido en su lugar (derecha)	12
Figura 2.4 Representación espacial de las variables del modelo de Gipps	15
Figura 2.5 Fases del modelo de Wiedemann	17
Figura 3.1 Resumen de la metodología de trabajo	25
Figura 3.2 Dron Dji Mavic Mini 2 utilizado para la grabación	27
Figura 3.3 Cinta métrica de 50m	28
Figura 3.4 Imagen satelital de la intersección	28
Figura 3.5 Formato para realizar aforo vehicular	29
Figura 3.6 Formato para realizar aforo peatonal y de bicicletas	29
Figura 3.7 Formato para medición de los tiempos de viaje	29
Figura 3.8 Distribución de semáforos en la infraestructura actual	30
Figura 4.1 Ubicación aproximada de drone y control	39
Figura 4.2 Distribución de rutas para el aforo vehicular en Av. Benavides	40
Figura 4.3 Distribución de rutas para el aforo vehicular en Av. Universitaria	40
Figura 4.4 Distribución de rutas para el aforo peatonal y de bicis en Av. Universitaria	41
Figura 4.5 Tramo para medición de tiempos de viaje en la Avenida Universitaria (sur - norte)	42
Figura 4.6 Verificación mediante test de randomización de tiempos de viaje para calibración del modelo	47
Figura 4.7 Verificación mediante test de randomización de tiempos de viaje para validación del modelo	48
Figura 4.8 Distribución de modos de VSP por tipo de vehículo en la situación original	49
Figura 4.9 Distancia máxima de cruce medida en el puente al este de la intersección	51
Figura 4.10 Puente al este de la intersección	51
Figura 5.1 Vista sobre la intersección rediseñada	53

Capítulo 1: Generalidades

1.1 Planteamiento del problema

Privilegiar el paso a velocidad de los automóviles es un problema de salud pública. Así lo reconocen Hidalgo-Solórzano et al. cuando estudian los atropellamientos producidos en la Ciudad de México en el año 2000 y reconocen que «la mayor parte de los atropellamientos ocurren en avenidas grandes o en vías de alta velocidad». Los atropellamientos forman parte del problema más grande que es la seguridad vial, ampliamente reconocido como un problema de salud pública por la alta cantidad de muertes que causa: 3310 solo en el Perú durante el 2019 (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2020).

Permitir el paso de vehículos a alta velocidad es el centro del concepto de «ciudad moderna», asociado a una forma de planificación vial de las ciudades que consiste en priorizar el automóvil privado como principal medio de transporte. Gehl (2010) señala que el paradigma modernista en particular «ha dado poca prioridad al espacio público, a los peatones y al rol de la ciudad como un lugar de encuentro para los habitantes urbanos» (p. 3). Por otro lado, Dextre y Avellaneda (2014) opinan que el diseño en función a la movilidad sostenible es actualmente el último peldaño al que se debe aspirar al diseñar y planificar el transporte en zonas urbanas. En este paradigma, se diseña con énfasis en la movilidad y transporte añadiendo la sostenibilidad, relacionada con el uso adecuado del suelo (p. 27).

En la ciudad de Lima, una materialización del diseño centrado en el automóvil es el paso a desnivel en la intersección de las avenidas Universitaria y Oscar R. Benavides en el Cercado. Este viaducto elimina algunos conflictos vehiculares en la intersección mediante la separación vertical del flujo; a cambio, crea los problemas típicos de esta clase de infraestructura: dificulta el cruce para peatones, genera oscuridad en la zona, funciona como barrera de división de ciudad y reduce las áreas verdes (Dextre y Avellaneda, 2014, p. 27).

Por el diseño del viaducto, se separa en gran medida el cruce semaforizado debajo del cruce a desnivel y los cruces más cercanos. Estos son puentes peatonales, uno ubicado 460 m hacia el oeste y el otro ubicado 370 m hacia el este, sin que exista forma de cruzar entre ellos (ver la figura 1.1). Tal separación entre cruces es un cisma urbano que separa con mucha claridad a las zonas al sur y al norte de la avenida O. R. Benavides.

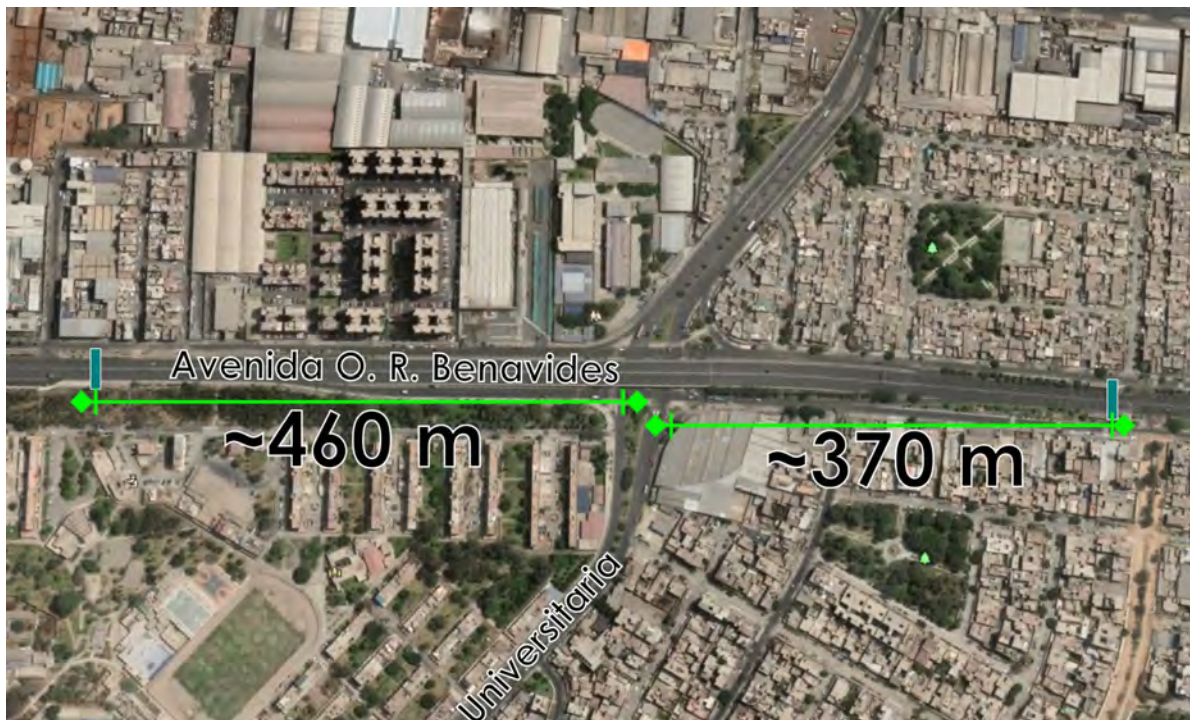


Figura 1.1 Distancia aproximada de los puentes peatonales (en celeste) a la intersección de las avenidas Universitaria y O. R. Benavides. Elaboración propia con foto y datos de Google Earth

Otro problema adicional de dichos puentes peatonales es que perjudican a las personas con discapacidad motriz. La distancia de cruce aumenta en aproximadamente 140 m debido a las rampas de subida y bajada (medición hecha en Google Earth) frente a lo que se recorrería si el cruce fuera a nivel.

La generación de oscuridad es causada por los puentes del viaducto. Esto convierte al área debajo en «tierra de nadie», un espacio ensuciado continuamente tanto en el piso como en las paredes en el que la inseguridad ciudadana florece.

Finalmente, la reducción de áreas verdes se debe al enorme espacio que ocupa la estructura —aproximadamente 6000 m² más que una intersección a nivel de idéntico número de carriles—. Las áreas verdes son escasas en la capital: Lima tiene un índice de 3.1 m² de áreas verdes por habitante, casi 6 m² menos de la cantidad mínima recomendada por la Organización Mundial de la Salud (OMS): 9 m² (Redacción Correo, 2017). De acuerdo con la Oficina Europea de la OMS (2016), las áreas verdes y otras soluciones basadas en la naturaleza dentro de las regiones urbanas ofrecen una mejora en la calidad del ambiente urbano, mejoran la resiliencia local y promueven estilos de vida sostenibles; esto mejora tanto la salud como el bienestar de los residentes urbanos (p. 2).



Figura 1.2 Zona oscurecida bajo el viaducto elevado de la avenida O. R. Benavides sobre la avenida Universitaria. Foto de Google Maps.

De acuerdo a lo sustentado, es claro que el viaducto elevado en cuestión presenta un problema para la ciudad. Por ello, en la presente tesis se hará un reconocimiento de la infraestructura actual y se modelará la situación actual mediante microsimulación de tráfico;

a partir de ello se estimará las emisiones contaminantes actuales. Luego, se planteará un rediseño a nivel y, del mismo modo, se modelará su funcionamiento a través de microsimulación de tráfico; con base en el cual, se estimará las emisiones contaminantes que se producirían en tal supuesto. Finalmente, se comparará las situaciones de tráfico y la variación de emisiones y se estimará el costo de ejecutar la propuesta de rediseño. Por otro lado, se comparará de forma cualitativa la situación de accesibilidad y de estética.

1.2. Hipótesis

Una intervención a nivel era y es suficiente para garantizar un flujo adecuado de vehículos— ya que una porción importante de la demanda es inducida por la existencia del paso a desnivel y se evaporaría en una intersección a nivel— y sobre todo de personas a través de la intersección, tendrá menos emisiones y será más accesible. En consecuencia, habría sido beneficioso para la ciudad optar por esta alternativa.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Comparar los efectos del rediseño de intersecciones mediante pasos a desnivel con los que produce un rediseño a nivel con medidas de gestión de tránsito desde las perspectivas de movilidad, costo, emisiones contaminantes y accesibilidad.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Estudiar el funcionamiento del escenario actual mediante microsimulación de tráfico, incluyendo las emisiones contaminantes
2. Proponer un rediseño a nivel y modelar su funcionamiento mediante microsimulación de tráfico, incluyendo las emisiones contaminantes

3. Comparar las situaciones de movilidad, los costos de rediseño, las emisiones contaminantes y la accesibilidad de ambas alternativas para concluir cuál habría sido mejor.

1.4. Alcances y limitaciones

La más importante limitación es que, debido a la pandemia, el tráfico en todos los modos a través de la intersección en estudio —como en todo el mundo— se ha visto reducido. Ello podría causar que la situación representada en la presente tesis no sea la que se da en condiciones normales. Sin embargo, con base en las observaciones realizadas por los autores, se considera que las diferencias no son excesivamente grandes y que las conclusiones extraídas se pueden extrapolar a la situación normal de tráfico.

1.5. Justificación

Respecto a la prevalencia de un rediseño a nivel, en el libro «Movilidad en zonas urbanas», Dextre y Avellaneda (2014) indican que se ha construido infraestructura para los automóviles frente a la congestión vehicular y que «esto no solo no soluciona el problema de congestión, sino genera nuevos: reduce accesibilidad, dificulta desplazamiento de peatones, elimina espacios seguros para bicicletas, entre otros» (p. 27). Por otro lado, la necesidad de rediseñar a nivel se ha estudiado ampliamente en referencia a la demolición de autopistas o al reemplazo de las mismas por avenidas a nivel.

Capítulo 2: Marco teórico

2.1. Modelos de ciudad: Moderna frente a reconquistada. El caso de Lima

Actualmente, la evolución de la ciudad en términos de transporte puede dividirse en 3 grandes etapas que se manifestaron a lo largo de la historia: la primera es la ciudad tradicional, que se caracteriza por concentrar su diseño únicamente en peatones y carretas durante inicios del siglo XIX; la segunda es la ciudad moderna, cuyo diseño prioriza el desplazamiento mediante automóviles; finalmente, la tercera es la ciudad reconquistada, que vuelve a tener el énfasis en el peatón, pero es sostenible.

2.1.1. Ciudad moderna

El concepto de la ciudad moderna de priorizar los automóviles como medio de transporte surge alrededor del primer cuarto del siglo XX. Presenta a la ciudad ideal como una donde las personas se transportan en automóviles particulares, por lo que se necesitan muchas autopistas para que no haya demoras ni congestión al viajar. Se sustenta en que el transporte de bienes más rápido conlleva beneficios económicos para la población. Sin embargo, la construcción de infraestructuras como autopistas y pasos a desnivel en medio de la ciudad divide barrios enteros, ocupa enormes áreas que antes eran centros poblados o áreas verdes y aumenta la contaminación (Redacción Vox, 2015).

2.1.2. Ciudad reconquistada

La ciudad reconquistada es un reciente paradigma de diseño urbano que pone en el centro a las personas. Nació en Barcelona durante la década de 1980, como una lucha «física y cultural» que buscaba desplazar a los automóviles del espacio que habían conquistado durante los cincuenta años anteriores (Gehl y Gemzoe, 2002, p. 18). Tiene como objetivo generar una ciudad habitable, segura, sostenible y saludable (Gehl, 2010, p. 6), en particular «donde los ciudadanos se sientan bien» (Gehl, 2004, citado en Benitez-Perez y Páramo, 2021, p. 212).

El diseño urbano que este paradigma propone comprende la recuperación del espacio público para que sirva a las personas como espacio social y de ocio. Ello comprende especialmente priorizar los modos de transporte más sostenibles de acuerdo con la pirámide de la movilidad urbana (ver figura 2.1).

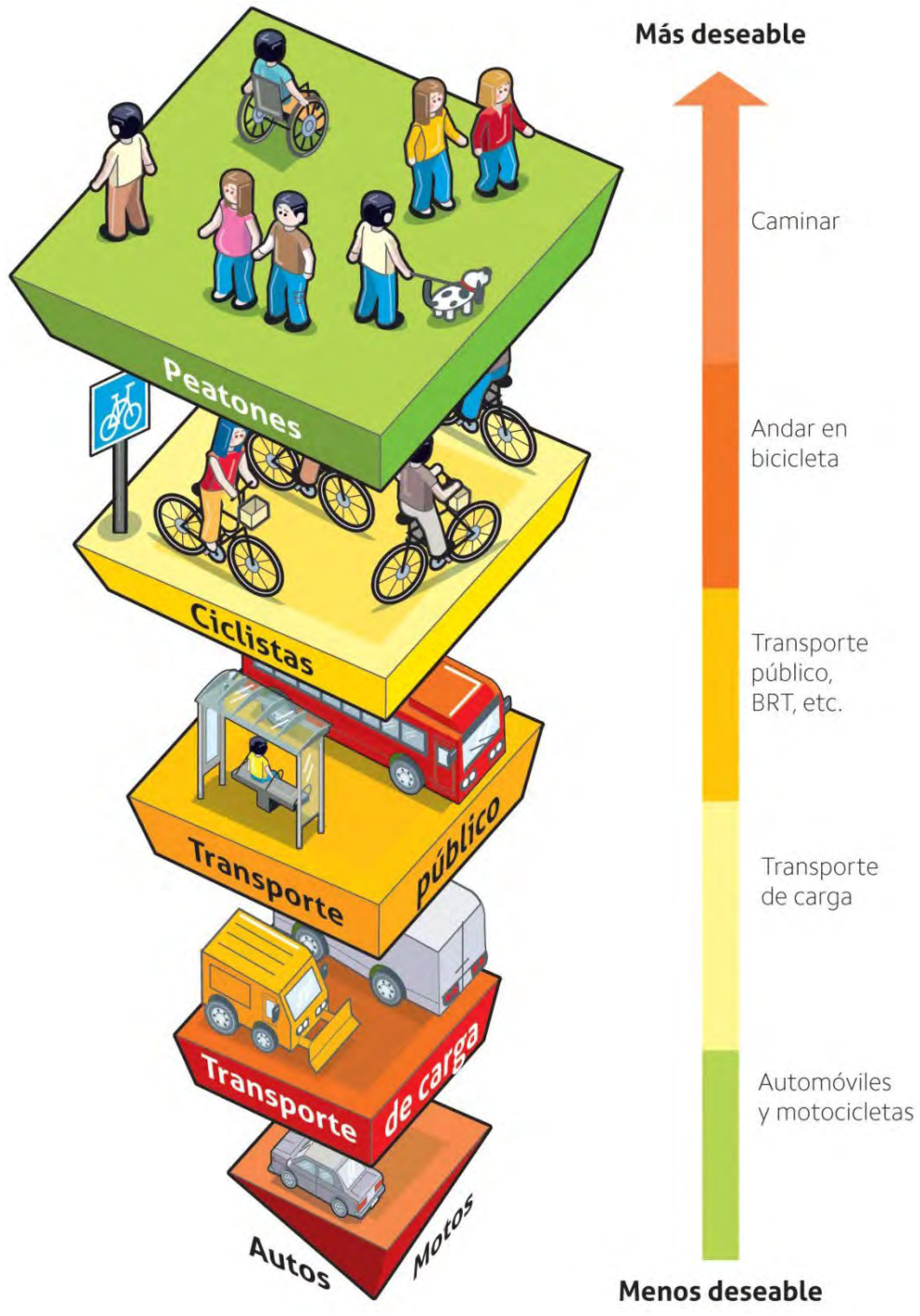


Figura 2.1 Pirámide de la movilidad urbana. Adaptado de Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (2013)

2.1.3. El caso de Lima: Desarrollo urbano en el siglo XX hasta la actualidad

La ciudad de Lima se desarrolló ampliamente durante el siglo XX. Durante el denominado «Oncenio de Leguía», entre 1919 y 1930, se abren las primeras grandes avenidas en Lima, en múltiples direcciones (Ramón, 2004, p. 21). Destacan las conexiones del Centro con Miraflores (avenida Leguía, hoy avenida Arequipa) y con el puerto del Callao (avenida Del Progreso, hoy avenida Venezuela). Las citadas avenidas responden tanto al afán de Leguía por modernizar el país como al aumento del tráfico.

De acuerdo con Pellegrino (2003, citada en Valcárcel, 2019), se produce entre 1930 y *circa* 1965 un fenómeno importante de migración desde el campo hacia la ciudad. La población pasó de 645 mil personas en 1940 a 1.9 millones en 1961 (Fernández-Maldonado, 2014, p. 37). Durante esta época, se dio una expansión informal mediante ocupaciones arbitrarias de terrenos principalmente estatales sin ninguna planificación. Se dio en torno a zonas denominadas «conos» al norte, sur y este del centro histórico (Valcárcel, 2019, p. 28). Este crecimiento fue promovido por el Estado mediante la ausencia de políticas de vivienda y por decisiones tomadas de urgencia (Fernández-Maldonado, 2014, p. 37). Por ejemplo, en 1958 llegaron 10 000 personas a lo que hoy es Comas en solo 48 horas (Dietz, 2000, p. 261, citado en Fernández-Maldonado, 2014, p. 38). Ello se produjo a causa de que el gobierno de Manuel Prado había reubicado allí a un grupo de familias que se habían asentado originalmente en un terreno privado (Driant, 1991, citado en Fernández-Maldonado, 2014, p. 38), lo que atrajo a muchas otras personas.

Ocupaciones informales de terrenos estatales se sucedieron durante varios años. Driant (1991, citado en Fernández-Maldonado, 2014, p. 41) señala que el Estado legalizó esas ocupaciones, primero basado una legislación que daba en concesión tierras a cualquiera que tuviera un uso justificado; Fernández Maldonado (2014) señala que desde 1961 las regularizaciones se hicieron mediante la Ley de Barrios Marginales y Urbanizaciones

Populares (Ley 13517). Esta última mandaba reservar espacios para servicios básicos, vías principales y áreas de edificación multifamiliar (Ley 13517, 1961, art. 5°), pero por otro lado también prohibía la creación de nuevas barriadas (Ley 13517, 1961, art. 2°). Sin embargo, la migración producía una importante presión poblacional y el Estado no podía cumplir y hacer cumplir la ley (Fernandez-Maldonado, 2014, p. 41), por lo que se continuaron ocupando nuevos terrenos.

La falta de planificación urbana resulta en una red periférica desconectada y discontinua. Por otro lado, la provisión de servicios es difícil, en particular el transporte pues muchas viviendas aparecieron en laderas de cerros. Así, solo ciertos vehículos pueden acceder y no hay vías amplias por las que pasen líneas de transporte.

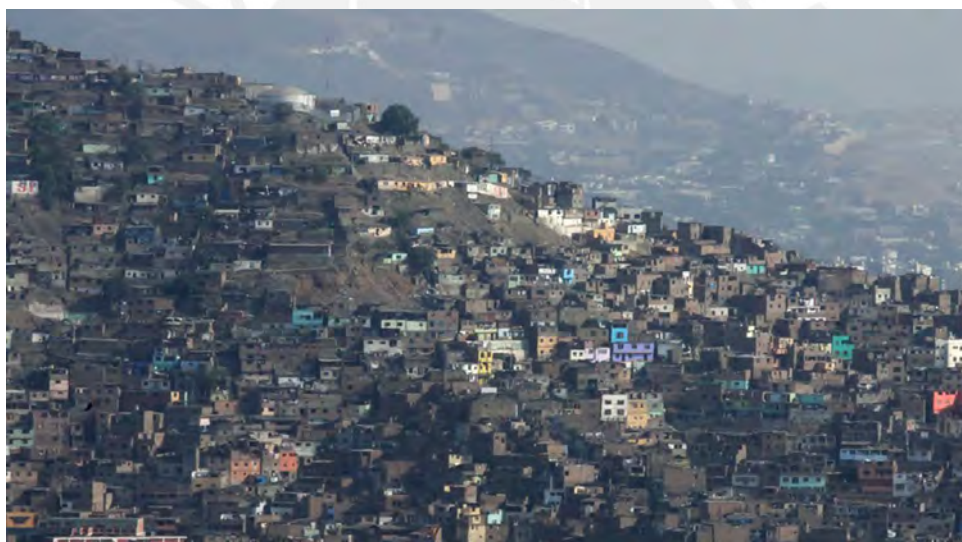


Figura 2.2 *Viviendas en ladera de cerro en distrito El Agustino (Agencia Andina, 2014)*

Un importante desarrollo vial en Lima es la Vía Expresa Paseo de la República, obra ejecutada entre 1967 y 1969 (Arqandina, s. f.). Esta vía segregada verticalmente, de acceso controlado y exclusiva para automóviles une el Cercado de Lima y los distritos de La Victoria, Lince, San Isidro, Surquillo, Miraflores y Barranco.

En 1992 además se liberaliza la importación de casi todos los bienes usados (Decreto Ley n.º 25789, 1992), lo que comprende a los automóviles. Anteriormente, en 1991, se había

liberalizado la prestación de transporte público en cualquier vehículo excepto camiones y aquellos de dos ruedas (Zubieta, 2013). Ambos factores resultaron en el aumento en gran medida de la importación de vehículos privados, como muestra la tabla 2.1 (que excluye buses).

Tabla 2.1

Importación peruana de vehículos para pasajeros. Con datos de Thomson y Bull, 2001, p. 17.

Año	Vehículos para pasajeros importados
1989	6 482
1990	11 880
1991	170 668
1992	213 018
1993	165 647
1994	252 421

Ante el incremento de vehículos en la ciudad de Lima, sucesivos alcaldes optaron por ampliar la infraestructura vial existente. Entre algunos ejemplos notables, se encuentra la construcción de la Vía Expresa de la avenida Javier Prado en 2002 (Congreso de la República del Perú), la ampliación del Circuito de Playas Eduardo Dibós (Canal N, 2014) y la construcción del paso a desnivel de la avenida O. R. Benavides sobre la avenida Universitaria, en estudio en la presente tesis. Esta obra costó más de 42.2 millones de soles (Acuerdo de Concejo 273 de 2009) a pesar de que originalmente se había proyectado que costaría solo 39.8 millones (Acuerdo de Concejo 385 de 2007).

2.2. Evaporación del tráfico

2.2.1. Definición

La evaporación de tráfico es el fenómeno que se produce cuando, al remover infraestructura vehicular, una porción del tráfico anterior a la remoción desaparece. Esta

reducción del tráfico como consecuencia de la reducción del espacio para el mismo es una estrategia sostenible de desarrollo de la ciudad (Zahra y Herlily, 2018, p. 1366).

La Dirección General del Ambiente de la Comisión Europea (DGACE) (2004) explica que el fundamento del fenómeno viene de la construcción de infraestructura automovilística. Ampliar o crear una vialidad produce cambios de comportamiento en los conductores: en el corto plazo, modifican sus rutas y sus tiempos de viaje se afectan; en el mediano plazo, cambian sus elecciones de lugares de ocio tales como centros comerciales o cines; y en el largo plazo, cambian sus elecciones de lugares para vivir, trabajar o retirarse (p. 19).

De acuerdo con Lerner (2005), se puede hacer una analogía para un “bypass” o paso a desnivel, en la que un bypass representa una arteria coronaria: si el médico indica al paciente que debe hacer ejercicios y comer saludable para mejorarse atacando al origen de su problema, entonces de igual manera en la ciudad se debe atacar al origen, que es el uso excesivo de automóviles; de lo contrario, se necesitará otro bypass más adelante, y así sucesivamente.

2.2.2. Casos en el mundo

Autopista sobre el río Cheonggyecheon, Seúl

Este es uno de los casos más conocidos y documentados de evaporación de tráfico que se tiene hasta la fecha. Esto ocurre debido a que es muy poco usual que se retire infraestructura construida pensada para los automóviles, pues usualmente esto es visto como un progreso para la ciudad. En el caso de Seúl, esta autopista en los años sesenta era considerada un símbolo de progreso; sin embargo, para el año 2000 era la parte considerada más congestionada y ruidosa de la ciudad. En ese contexto, un candidato para la alcaldía prometió demoler la autopista y recuperar el río de ser elegido en las elecciones del 2001 (Dextre y Avellaneda, 2004, p. 16). Como se muestra en la figura 2.3, se recuperó una gran

área y se produjo una evaporación del tráfico. Este ejemplo es uno de los pocos casos documentados en los que la eliminación de estructuras diseñadas con énfasis en el automóvil produce una evaporación del tráfico.



Figura 2.3 Autopista de Cheonggyecheon (izquierda) y parque del río Cheonggyecheon, construido en su lugar (derecha)

2.3. Microsimulación vehicular y peatonal como herramienta de estudio de tráfico

La microsimulación de tráfico es una herramienta de estudio del flujo del tránsito en un área no demasiado grande.

2.3.1. Modelos de seguimiento vehicular

El modelo de seguimiento vehicular es el que trata de describir de manera microscópica la interacción entre dos vehículos, en donde el “seguidor” sigue al “líder”, para extrapolar el comportamiento a uno macroscópico de una corriente de vehículos por una sola línea (sin adelantamiento). La teoría de seguimiento vehicular existe desde antes de 1950; sin embargo, este concepto recién se formaliza con el trabajo de Herman *et al.* (1958) en General Motors. En análisis posteriores, ya se estudian modelos con cambio de carril, sin la restricción de una línea (se agrega el adelantamiento) (Fernández, 2011, p. 35). Estos modelos son esenciales para el desarrollo de software de modelamiento, pues representan la base teórica fundamental de la que parte el algoritmo de simulación.

Existen diferentes modelos de seguimiento. Algunos de los modelos más importantes según el concepto en el que se basan son el modelo de respuesta a estímulos, el modelo de distancia segura y el psicofísico. A continuación se detallan estos modelos y algunos que fueron desarrollados posteriormente según Ranjitkar et al (2005).

Modelo de respuesta a estímulos

En los modelos de respuesta, la respuesta de los conductores se basa en las acciones que realiza el otro vehículo (el estímulo). El primero en proponer esta teoría fue Chandler et al. (1958) con un modelo lineal basado en este concepto. En este modelo, la respuesta del vehículo seguidor sucedía después de un tiempo T y el factor λ es denominado el factor de sensibilidad. General Motors tomó el concepto del modelo y le agregó el espaciamiento y la velocidad como parámetros de sensibilidad también; de este modo, ya no se tendría una relación lineal. Además, los parámetros α , m y l fueron denominados parámetros sensibilidad y, a diferencia del modelo de Chandler, en el que solo los parámetros T y λ serían optimizados, en el modelo de General Motors, los parámetros de sensibilidad α , m y l serían optimizados en vez de λ . En la tabla 2.2 se muestran las expresiones de Chandler (1958) y el modelo de General Motors Generalizado (1961).

Tabla 2.2

Modelos de respuesta a estímulos

Modelo	Expresión	Parámetros a optimizar
Chandler (1958)	$a_n(t + T) = \lambda \Delta v(t)$	T, λ
General Motors Generalizado	$a_n(t + T) = \alpha \frac{v_{n(t+T)^m}}{\Delta x(t)} \Delta v(t)$	T, α, m, l

Modelos de distancia segura

El concepto nace de Kometani y Sasaki (1959), en el que se indica que es el vehículo seguidor el que escoge su velocidad segura de acuerdo a la distancia para evitar una colisión

con el vehículo líder. Luego, en 1981, Gipps propuso un modelo basado en este concepto que contemplaba el uso de asunciones de sentido común acerca del comportamiento de los conductores, tales como aceleración, desaceleración, velocidad máxima, entre otros. Este modelo fue diseñado para poseer las siguientes propiedades: que imite el comportamiento real del tráfico, que los parámetros del modelo deban corresponder a características obvias del conductor y los vehículos, y que debe comportarse bien cuando el intervalo entre recálculos sucesivos de velocidad y posición es el mismo que el tiempo de reacción.

Además, el cálculo de la velocidad debe cumplir con las siguientes restricciones: un vehículo no excederá la velocidad deseada de su conductor; la aceleración del vehículo aumenta junto a su velocidad y luego se vuelve cero al llegar a la velocidad deseada; y que si el vehículo líder comienza a frenar, el seguidor debe poder frenar sin colisionar (Nerem, 2013). En la tabla 2.3, se muestra la expresión del modelo de Gipps.

Tabla 2.3

Modelo de distancia segura o de Gipps (Nerem, 2013)

Condición	Expresión
Conducción libre	$u_n^a(t + T) = u_n(t) + 2.5 \frac{a}{n} T \left(1 - \frac{u_n(t)}{U_n}\right) \sqrt{0.025 + \frac{u_n(t)}{U_n}}$
Seguimiento vehicular	$u_n^b(t + T) = b T + \sqrt{b^2 T^2 - b [2_n [x_{n-1}(t) - s_{n-1} - x_n(t)] - u_n(t) T]}$
Velocidad del vehículo	$u_n(t + T) = \min\{u_n^a(t + T), u_n^b(t + T)\}$

En la figura 2.4, se muestra una representación espacial en 2D de las variables del modelo de Gipps.

Tabla 2.4

Significado de los términos de la tabla 2.3. Con información de Nerem (2013).

Símbolo	Significado
a_n	Es la aceleración máxima que el conductor n está dispuesto a tomar.
b_n	Es la desaceleración más severa que el conductor n está dispuesto a tomar.
b	Es la desaceleración más severa del vehículo $n-1$ estimada por el conductor del vehículo n .
U_n	Es la velocidad deseada del vehículo n .
s_{n-1}	Es el tamaño efectivo del vehículo $n-1$. Esta distancia incluye el largo del vehículo $n-1$ y el margen seguro al que no entraría (incluso en reposo).
$x_n(t)$	Es la ubicación del frente del vehículo n para un tiempo t .
$u_n(t)$	Es la velocidad del vehículo n para un tiempo t .
T	Es el tiempo de reacción, que es constante para todos los vehículos e igual que el paso de la simulación

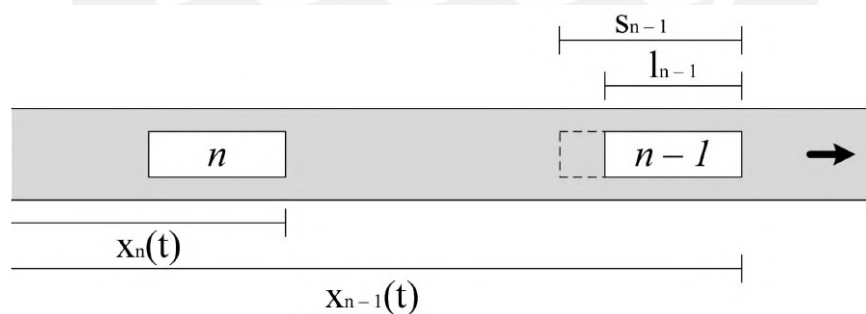


Figura 2.4 Representación espacial de las variables del modelo de Gipps. Fuente: Nerem (2013).

Modelo psicofísico: Modelo de Wiedemann

Este modelo utiliza parámetros psicofísicos del comportamiento de los conductores. Fue introducido por Wiedemann por primera vez en 1974 y es principalmente conocido por su amplia utilización en el software de simulación microscópica multimodal de tráfico VISSIM. Se desarrolló con la idea de que existen datos de entrada limitados y tiene que ser

calibrado para datos de flujo de tráfico específicos (Higgs et al., 2011, p. 1). Existe un modelo actualizado de Wiedemann de 1999; la diferencia entre ambos modelos consiste en que el de 1999, algunos de los umbrales son definidos de manera distinta a los del de 1974 para simular mejor la conducción en autopista. Por esta razón, VISSIM utiliza el modelo de Wiedemann 74 para simulaciones de conducción urbana y el de Wiedemann 99 para conducción en autopista.

El modelo de seguimiento de Wiedemann separa el comportamiento del conductor en 4 estados o áreas diferentes (Alvarez, 2017, p.19):

Estado de conducción libre: En este, no influye ningún otro vehículo en su entorno.

Estado de aproximación: En este, el conductor comienza a percatarse de que se aproxima a un vehículo más lento, por lo que reduce la velocidad de conducción hasta que no exista diferencia perceptible de velocidades al alcanzar una distancia segura.

Estado de seguimiento: En este, el vehículo seguidor no muestra cambios en su aceleración y sigue al vehículo líder manteniendo la distancia de seguridad deseada aproximadamente constante.

Estado de frenado o desaceleración: El vehículo seguidor entra en este si el conductor del vehículo líder reduce su velocidad de manera repentina o si un tercer vehículo cambia de carril frente al conductor; se aplica una reducción de velocidad considerable, ya que la distancia de separación entre vehículo seguidor y el líder cae por debajo de la mínima segura deseada.

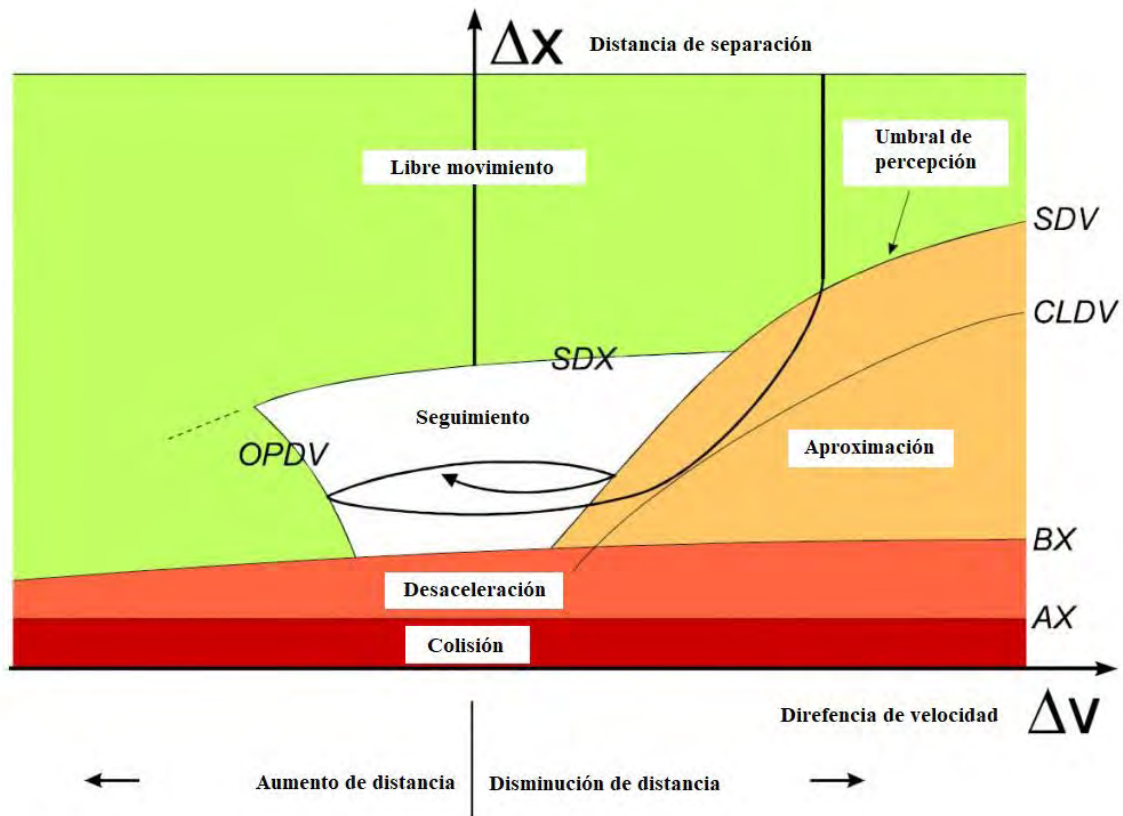


Figura 2.5 Fases del modelo de Wiedemann. Fuente: Adaptado de PTV Group (2016)

La figura 2.5 muestra las 4 fases que el conductor experimenta según el modelo de Wiedemann como áreas delimitadas por umbrales: AX , que es la distancia de separación deseada de dos vehículos sucesivos en una cola permanente; BX , que es la distancia mínima de seguimiento; SDV , que es la distancia a la que el conductor del vehículo seguidor se da cuenta de que su velocidad es mayor a la del vehículo líder (a lo lejos); $CLDV$, al que el vehículo seguidor se aproxima disminuyendo la velocidad después de pasar por el umbral de percepción SDV y, a medida que se acerca al umbral $CLDV$, reduce la distancia a la mínima segura, pero si el vehículo líder disminuye más la velocidad, el vehículo seguidor también lo hará, entrando en la fase de desaceleración para mantener un estado estacionario en el que se mantiene la distancia segura y se evita la colisión (Chura, 2018, p. 28).

Otros modelos

Modelo basado en células. Este concepto fue introducido por primera vez por Nagel-chereckenberg en 1992. Usualmente se conoce como autómata celular. Este modelo cuenta con dos parámetros a ser optimizados: la aceleración y la velocidad deseada, mientras que otros pueden ser asignados con valores fijos (Ranjitkar et al, 2005, p. 1588). En la ecuación 2.1, se presenta la expresión del modelo:

$$v_n(t + \Delta t) = \min\{g_n(t)/T, v_n(t) + a, V\} \quad (2.1)$$

En donde:

$$g_n(t) = X_{n-1}(t) - X_n(t) - s$$

y el paso de tiempo para la simulación es: $\Delta t = 0.1s$

Modelo de velocidad óptima. Este concepto por primera vez fue propuesto por Brando et al. en 1995 y sostiene que la respuesta del conductor del vehículo seguidor es proporcional a la diferencia entre la velocidad óptima para el espaciamiento deseado que se considera seguro y la velocidad en ese instante. La expresión modificada por Ranjitkar et al. contempla 2 parámetros a optimizar, que son el tiempo de respuesta “T” y un parámetro de sensibilidad “ α ”, y se presenta en la ecuación 2.2.

$$a_n(t + \Delta t) = \alpha\{V_0 - v_n(t)\} \quad (2.2)$$

En donde:

$$V_0 = \sqrt{2b(x_{n-1}(t) - x_n(t))} \quad (2.3)$$

Modelo basado en la trayectoria. En 2002, Newell propuso un modelo simple, cuyo concepto era que el vehículo seguidor seguía una trayectoria que representaba una desfasada en el espacio del vehículo líder. Esto implica que la trayectoria espacial del seguidor es la misma que la del líder con la excepción de la transformación en el espacio y tiempo. Los parámetros a optimizar son el retraso de tiempo “ τ ” y el retraso de distancia “ D_n ” (Ranjitkar et al, 2005, p. 1588). La expresión se detalla en la ecuación 2.4.

$$x_n(t + \tau) = x_{n-1}(t) - D_n \quad (2.4)$$

Los significados de los símbolos de las expresiones 2.1, 2.2 y 2.3 se presentan en la tabla 2.5.

Tabla 2.5

Significado de los términos de las expresiones 2.1, 2.2 y 2.3. Con información de Ranjitkar et al (2005).

Símbolo	Significado
a_n	Es la aceleración máxima que el conductor n está dispuesto a tomar.
t	Instante de tiempo del análisis.
Δt	Paso de tiempo para la simulación.
$x_n(t)$	Es la ubicación del frente del vehículo n para un tiempo t .
$x_{n-1}(t)$	Es la ubicación del frente del vehículo $n-1$ para un tiempo t .
$v_n(t)$	Es la velocidad del vehículo n para un tiempo t .
b	Es la desaceleración.
V	Es la máxima velocidad deseada.
S	Es el espaciamiento deseado.
α	Es un parámetro de sensibilidad.
T	Es el retraso del tiempo.
D_n	Es el retraso de la distancia.
T	Es el tiempo de reacción, que es constante para todos los vehículos e igual que el paso de la simulación.

2.3.2. Modelos de cambio de carril

Cuando el conductor toma la decisión de cambiar de carril, Racero et al. (2001) consideran que sigue las siguientes etapas:

- Decisión de realizar la maniobra de cambio de carril.

- Selección del carril al que desea cambiar.
- Comprobación y aceptación de que existe un espacio disponible para y es seguro realizar el cambio de carril.

En su modelo de cambio de carril para una simulación microscópica, Racero et al. (2001) plantean que existen dos tipos de cambio de carril: obligatorio y por mejora. Por su parte, el software VISSIM adopta una posición similar. Los tipos de cambio de carril adoptados por este software son: el cambio de carril libre, que ocurre cuando el vehículo seguidor rebasa al líder para mantener la velocidad deseada; y el cambio de carril necesario, que se da cuando un vehículo se ve obligado a realizar el cambio de carril para seguir su trayectoria o ruta deseada (Chura, 2018 , p. 19).

2.3.2. Software

Respecto a la simulación del comportamiento tanto vehicular como peatonal, existen diferentes softwares que pueden ser utilizados. De acuerdo con Alvarez, J. (2017), dados los excelentes resultados obtenidos en diferentes ciudades del mundo, especialmente en las últimas décadas, PTV VISSIM 8® es una alternativa idónea para la simulación vehicular y de circulación de usuarios.

PTV VISSIM 8® es un software que permite la creación de un modelo y simulación detallada sobre el estatus del flujo vial y sus impactos, con la posibilidad de definir múltiples escenarios hipotéticos (PTV Group, 2021).

2.3.3. Calibración y validación

El proceso de calibración se realiza para conseguir que el modelo sea lo más parecido a la realidad y se le realiza utilizando los datos recolectados en el campo. Según Siddharth y Gitakrishnan (2013), todo modelo en VISSIM necesita ser calibrado para que pueda representar la realidad con eficacia y algunos de los parámetros que pueden ser usados para la calibración son la aceleración, los tiempos de viaje, la distancia requerida, longitudes de cola, entre otros (p. 381). Luego, debe hacerse una validación del modelo, que consiste en la

evaluación del modelo calibrado con datos nuevos de campo. Se dice que el modelo está validado si los datos brindados por este son similares a los medidos en campo (Alvarez, 2017). Con el modelo vehicular validado, se pueden realizar un número mínimo de corridas y se obtendrán los parámetros de eficiencia mencionados anteriormente; y para los peatones, se discutirá su interacción con la infraestructura y los vehículos. La tesis de Álvarez es entonces una fuente que resalta la elección hecha por los autores de este documento de la microsimulación de tráfico como método de representación de la realidad.

Para realizar la calibración del modelo, se realiza un proceso iterativo. Según la Federal Highway Administration (FHA) (2019), la calibración del modelo consiste, en resumen, de tres etapas: la identificación de días representativos para la recolección de datos en campo; la preparación de las envolventes de variación para los días representativos; y la calibración de los parámetros escogidos dentro del criterio de aceptación, lo que se logra cuando la variable que arroja el software se encuentra dentro de la envolvente de variación (p. 60).

2.4. Emisiones contaminantes vehiculares

2.4.1 Definición

La inmensa mayoría de vehículos automotores funcionan a partir de motores de combustión interna que queman combustibles fósiles para desplazarse. Este proceso genera gases como resultado que son emitidos a la atmósfera. Entre los principales gases contaminantes se encuentran el dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno varios (NO_x) e hidrocarburos. Estas sustancias contaminantes tienen varios efectos en la calidad del aire y en la vida en la Tierra, principalmente a nivel de cambio climático pero también como causa directa de problemas de salud (como se discute en la sección 2.4.2).

Los gases de efecto invernadero o GHG (por sus siglas en inglés) son sustancias gaseosas que se mantienen en la atmósfera y que reflejan los rayos infrarrojos emitidos por el

sol. Esto eleva la temperatura del planeta. La elevada emisión antropogénica de GHG y el sustantivo aumento de temperatura que pueden producir se reconoce por las Naciones Unidas como principal responsable del cambio climático (1992, p. 2).

Cabe mencionar el impacto del transporte sobre la emisión de GHG representa un 14 % del total de emisiones mundiales. A su vez, de este 14 % un 72.06 % (10 % del total global) está representado por el transporte por carretera (Sims et al. 2014), es decir, por vehículos automotores.

2.4.1 Daño a la salud

Como se mencionó anteriormente, la inmensa mayoría de vehículos automotores emiten gases contaminantes. De estos, muchos tienen efectos nocivos para la salud y son los gases mencionados en la sección anterior, i.e. NO_x, particularmente el monóxido de nitrógeno NO₂, el dióxido de carbono CO₂ y el monóxido de carbono CO, los más importantes que inciden de manera perjudicial para la salud de las personas. Estos efectos pueden terminar como enfermedades respiratorias agudas, como el asma o la bronquitis, y son las personas que ya padecen de estas enfermedades las más vulnerables a la contaminación del aire (Toyota, 2019).

En Madrid, la principal fuente de contaminación del aire es el tráfico rodado, pues son responsables del 86,6% del total de emisiones a la atmósfera, con aproximadamente 210 000 toneladas de gases contaminantes emitidos al año. Además, la inhalación de estos, mostró que puede producir cambios un incremento alarmante de estrés cardíaco durante el ejercicio. Asimismo, se demostró que las partículas más pequeñas (PM_{2,5}), que también son emitidas principalmente por vehículos automotores, tiene una relación de causa efecto con la aterosclerosis; esta relación se vuelve mayor si es que se combina con malos hábitos alimenticios. Finalmente, son los niños los que se ven más amenazados por los efectos de la contaminación por estar más expuestos y ser más vulnerables; lo primero debido a que respiran más aire que los adultos en relación a su peso corporal y lo segundo debido a que sus

cuerpos aún no se encuentran desarrollados por completos y son susceptibles a más enfermedades que los adultos en general. Estos son solo algunos de los efectos más importantes contra la salud de los pobladores, por lo que no utilizar el auto podría incluso considerarse un acto solidario de salud pública (Madrid Salud, 2018).



Capítulo 3: Metodología

Para realizar la comparativa de las alternativas del diseño a desnivel con el rediseño sobre la intersección de las avenidas Universitaria y O. R. Benavides, la presente investigación divide el trabajo en cinco etapas. Primero, se hará un reconocimiento de la infraestructura actual y a continuación se modelará la situación actual mediante microsimulación de tráfico y peatonal; se estimarán las emisiones contaminantes. En tercer lugar, se planteará un rediseño y se modelará el funcionamiento del mismo mediante microsimulación de tráfico y peatonal también; se estimarán las emisiones contaminantes. Luego, se realizará una estimación del costo de rediseño. Finalmente, se compararán las situaciones de tráfico, la variación de emisiones y los costos de proyecto contra el de rediseño; por otro lado, se evaluará la situación de accesibilidad peatonal comparando distancias de cruces y distancia máxima entre cruces, así como también se hará una descripción de mejoras en los espacios públicos que tienen para desplazarse.

Para el reconocimiento de la infraestructura, se realizará el levantamiento de campo, que implica tomar algunas medidas geométricas en campo y usando la plataforma Google Earth, y se medirán los flujos peatonales y vehiculares en la intersección de estudio mediante una grabación por dron durante la hora punta. Esta última se estimará con el conocimiento de la zona de los autores. Para modelar la situación actual, se calculará la demanda mediante la metodología del Highway Capacity Manual (2000) o Manual de Capacidad de Autopistas y se simulará en el software PTV VISSIM 8®. Se obtendrán los tiempos de viaje y las longitudes de cola. Además, se estimará las emisiones de CO₂, CO, NO_x e hidrocarburos siguiendo el procedimiento indicado por Fernandes et al. (2016, p. 204).

A continuación, se planteará un rediseño a nivel de la intersección mediante la herramienta de dibujo asistido por computadora AutoCAD®. Este rediseño se modelará en PTV Vissim 8 y se obtendrán nuevamente los parámetros indicados. Las emisiones

contaminantes serán estimadas nuevamente siguiendo el procedimiento mencionado anteriormente. Además, se realizará un análisis de sensibilidad para obtener un valor aproximado de la evaporación de tráfico que se necesitaría para que el rediseño a nivel sea viable o presente condiciones similares a las que se tiene actualmente.

Finalmente, se estimará de forma breve el costo de diseñar el rediseño propuesto para compararlo con el costo de la implementación del paso a desnivel. Asimismo, se comentará sobre los efectos estéticos y de accesibilidad, que son cualitativos.

En la figura 3.1 se muestra un resumen de la metodología de trabajo.



Figura 3.1 Resumen de la metodología de trabajo.

3.1. Definición de variables

Para estudiar el funcionamiento actual y propuesto de la intersección en estudio, se emplearán 8 variables cuantitativas. Estas variables se obtendrán del estudio de campo, de cálculos con estos datos, del rediseño y de la microsimulación. Se detalla en la presente sección el significado de cada una de las variables, así como la forma en que se obtendrán sus valores.

Demanda vehicular. Es la cantidad de vehículos que desean pasar por una sección de la vía en una unidad de tiempo (Alcalá, 2016 , p. 59).

Volumen vehicular. Es la cantidad de vehículos que pasa por una sección de la vía en una unidad de tiempo (Chura, 2018, p. 6). Se expresa en vehículos por hora, automóviles directos equivalentes por hora

Volumen peatonal. Se define como la cantidad de peatones que pasa por un cruce de la calzada en una unidad de tiempo.

Número semilla. En el modelo de Vissim, se define como el número de escenarios posibles para el modelo que va de acuerdo al comportamiento de los usuarios. Esto se debe a que, al ser un modelo estocástico, se realizan una gran secuencia de número aleatorios debido a que varios parámetros son propios de cada individuo. (Roca, 2019, p. 11)

Tiempo de viaje. Es el tiempo que demora un vehículo en recorrer una distancia determinada.

Longitud de cola. Es la longitud de la cola formada por los vehículos detenidos que esperan frente a una luz roja justo antes de que esta cambie. (Roca, 2019, p. 11)

Velocidad media temporal. Es la velocidad promedio de los vehículos que pasan por una sección de referencia de la vía.

Longitud de cruceo máxima. Se define como la distancia que deben recorrer los peatones de forma continua para atravesar la calzada.

Distancia máxima entre cruceos. Se define como la distancia existente entre dos cruceos peatonales contiguos de la misma vía vehicular.

Emisiones contaminantes. Se define como las emisiones de CO₂, CO, NO_x y HC que se hacen durante una unidad de tiempo (Pérez, 2018, p. 24).

3.2 Modelamiento de situación actual

3.2.1. Recolección de datos en campo

Grabación de video con dron. En campo, se recolectará el volumen vehicular y se realizará la medición de los tiempos de viaje mediante las grabaciones con dron del área de la

intersección. Esto debido a que la elevación del dron permite grabar un área que cubra suficiente superficie alrededor de la intersección a una resolución aceptable (4K) y poder realizar las mediciones de manera sencilla. El volumen vehicular se obtendrá del conteo manual de vehículos por unidad de tiempo. Debido a la capacidad de la batería del dron, se grabará en lapsos de entre 15 y 18 minutos cada vez. De acuerdo con el conocimiento de la zona de los autores, se espera que la hora punta sea entre las 16:30 y las 18:30, y por ello entre esas horas se realizará el estudio.

El modelo de dron utilizado para el estudio realizado será el Dji Mavic Mini 2 (Figura 3.2) que volará a una altura estable de entre 130 y 150 m sobre la intersección y brindará archivos de vídeo comprimido en formato MP4 en resolución 4k.



Figura 3.2 Dron Dji Mavic Mini 2 utilizado para la grabación. Fuente: apple.com

Levantamiento geométrico. Se medirán las dimensiones de las calzadas y veredas de la intersección para así dibujar el plano del estado actual de la vía. Estas mediciones se realizarán con cinta métrica de 50 m de longitud y divisiones mínimas de 2 mm. Como información complementaria a las mediciones en campo, se empleará una foto satelital para garantizar que se represente bien la forma de los elementos de la intersección.



Figura 3.3 Cinta métrica de 50m. Fuente: tramontina.com



Figura 3.4 Imagen satelital de la intersección. Fuente: Google Earth.

Aforo vehicular y peatonal, y medición de tiempos de viaje. El aforo vehicular y peatonal se realizará de manera manual con los vídeos grabados con el dron en los formatos mostrados en las figuras 3.5 y 3.6; las direcciones correspondientes se muestran en el desarrollo del modelo (Capítulo 4). De manera similar, la medición de los tiempos de viaje se realizará de manera manual utilizando los mismos vídeos y se colocarán en el formato de la figura 3.7.

Vuelo	Lapso horario	Duración (min)	Avenida X						
			Movimiento X						
			Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total	veh/h
1	16:41 - 16:57	10,83							
2	17:04 - 17:22	18,20							
3	17:29 - 17:47	18,00							
4	17:52 - 18:11	19,28							
5	17:52 - 18:11	17,98							
6	18:46 - 19:05	18,67							

Figura 3.5 Formato para realizar aforo vehicular

N° Video	Lapso horario	Duración (min)	Avenida X	
			Movimientos peatonales o de bicicletas	
			Dirección a	Dirección b
1	16:41 - 16:57	15,87		
2	17:04 - 17:22	18,20		
3	17:29 - 17:47	18,00		
4	17:52 - 18:11	19,28		
5	17:52 - 18:11	17,98		
6	18:46 - 19:05	18,67		

Figura 3.6 Formato para realizar aforo peatonal y de bicicletas

Medición	Tiempos de viaje (s)
1	
2	
...	
30	
Media	
Desviación estándar	

Figura 3.7 Formato para medición de los tiempos de viaje

Tiempos de semáforo. Para calcular los tiempos del semáforo se utilizarán las grabaciones del dron. En la figura 3.8 se muestra la distribución de los mismos en la infraestructura actual. Los tiempos de semáforo calculados para la situación actual y diseñados para la propuesta de rediseño se presentarán en los capítulos 4 y 5, respectivamente.



Leyenda



	Semáforo vehicular
	Semáforo peatonal

Figura 3.8 *Distribución de semáforos en la infraestructura actual*

3.2.2. Cálculo de la demanda vehicular

Para calcular la demanda vehicular, se empleará una metodología basada en la establecida en el HCM (2000). Se contará el volumen vehicular de cada uno de los períodos grabados para identificar aquel con más tránsito. Estos valores, expresados en vehículos por hora (veh/h), se considerarán como la demanda vehicular.

3.2.3. Elaboración del modelo y calibración

Para elaborar el modelo, se empleará el software PTV Vissim 8. Se realizará el trazo de las vías con el apoyo de una imagen satelital de la plataforma Google Earth y empleando para cada carril las medidas tomadas en el campo. A continuación, se asignará los volúmenes vehiculares de acuerdo con las mediciones realizadas en el campo. Finalmente, se realizará la verificación de datos; este proceso consiste en verificar si los datos que se introdujeron en el programa son correctos y comprobar si tienen coherencia lógica (p.ej. un dato demasiado alto para volumen peatonal de una intersección).

Para la calibración del modelo se utilizará el parámetro de tiempo de viaje, que, como se mencionó anteriormente, será medido en el tramo mostrado en la figura 3.5, ubicado en la Av. Universitaria. Este tramo tiene una longitud de 27.3 m. La calibración se realiza de manera iterativa y en cada intento se modifican en Vissim los parámetros de Wiedemann74 de la expresión 3.1 (ax , bx_{add} y bx_{mult}) (Roca, 2019, p. 30) para obtener resultados más parecidos a los de campo, hasta que la diferencia entre estos esté dentro de un margen de error aceptable; para esto último se realizará una prueba de verificación estadística para un nivel de confiabilidad de 95%. Cabe mencionar que para cada intento se debe realizar un número de corridas mínimo. Debido a que un mayor número de corridas implica un mejor resultado, se recomienda realizar como mínimo 15 corridas con diferentes números semilla; sin embargo, se puede calcular el número mínimo de corridas para una confiabilidad de 95% mediante la expresión (3.2). Finalmente, para las mediciones tomadas, se considerará un margen de error “E” del 10% de la media obtenida.

$$d = ax + (bx_{add} + bx_{mult} * z) * \sqrt{v} \quad (3.1)$$

Donde:

ax : Distancia promedio entre vehículos

bx_{add} : Parte aditiva que se le da a la distancia deseada

bx_{mult} : Parte multiplicativa que se le da a la distancia deseada

z : Valor entre 0 y 1 obtenido de la distribución normal

v : Velocidad en m/s

$$N \geq [(t_{\alpha}) * S/E]^2 \quad (3.2)$$

Donde:

N : Número mínimo de corridas

t : t-students
 α

α : 0.025 con N-1 grados de libertad

S: Desviación estándar

E: Margen de error

Para este caso de estudio, se realizarán 30 corridas de simulación con el modelo. Estas empezarán con número semilla 14 e incrementarán de a 1 con cada simulación. Además, se tomarán 30 mediciones del tiempo de viaje en campo durante el periodo crítico. Con los datos de promedio y desviación estándar obtenidos también se evaluará si son suficientes utilizando la expresión 3.2; como se realizarán 30 mediciones y corridas de simulación, el valor de los grados de libertad es de 29, por lo que el parámetro t_{α} toma el valor de 2.045 (Páez, 2009, p. 264).

Finalmente, luego de realizar los intentos cambiando los valores de los parámetros de Wiedemann, se escogen a los que cuya simulación arroje valores más cercanos a los medidos en campo y, para descartar o aceptar estos, se utilizará un *randomization test for a difference in means*, que refiere a una prueba estadística denominada test de randomización que permite analizar los dos conjuntos de datos; en este caso, los conjuntos de datos serán las medias de tiempos de viaje medidos manualmente y las arrojadas por Vissim en las corridas realizadas para la configuración de parámetros ax , bx_{add} y bx_{mult} que brinden la media más parecida a la realidad. Para este caso de estudio, se realizarán pruebas con 10000 permutaciones utilizando la herramienta virtual Statkey.

3.2.4. Validación

El proceso de validación sirve para asegurarse de que los resultados que el modelo calibrado arroja son los correctos. Para esto, se obtendrán los tiempos de viaje y se compararán los resultados obtenidos del modelo con los medidos en las grabaciones del dron, pero los datos utilizados de la medición deben ser distintos a los usados para crear y calibrar

el modelo. Debido a las restricciones económicas, solo se realizaron grabaciones en un día; es por este motivo que la validación se realizará utilizando mediciones de un momento distinto al periodo crítico, pero del mismo día. Para esto, se ingresarán los datos nuevos de demanda vehicular en el modelo y, si es que los resultados de tiempos de viaje arrojados son similares a los medidos, el modelo está validado. Para validarlo, de manera análoga al proceso de calibración, se debe realizar una prueba de verificación estadística utilizando la herramienta Statkey para 10000 permutaciones.

3.2.5. Revisión de costo de implementación

El costo de implementación se obtendrá a partir de los documentos de acceso público de la Municipalidad Metropolitana de Lima, específicamente los acuerdos de concejo que aprobaron el presupuesto para la ejecución de la obra.

3.3. Propuesta de rediseño y microsimulación

3.3.1. Elaboración de rediseño

El rediseño se dibujará mediante el software AutoCAD® sobre la base de la foto satelital de la situación actual. Se planteará un rediseño totalmente a nivel. Se considerará criterios de seguridad peatonal, ciclista y vehicular, líneas de deseo y accesibilidad. A su vez, se buscará dar prioridad a los desplazamientos vehiculares más concurridos por sobre aquellos con bajo volumen vehicular.

3.3.2. Elaboración del modelo

Como se mencionó anteriormente, la creación del modelo se realizará en el software PTV VISSIM 8®. Se dibujarán las vías vehiculares y ciclistas y las veredas y obstáculos de acuerdo con el dibujo realizado en AutoCAD®. Luego, se asignará como demanda vehicular la misma encontrada para la situación original. Ello comprenderá el tráfico en direcciones $E \rightarrow W$ y $W \rightarrow E$ (tráfico directo por la avenida O. R. Benavides) que iba por el paso a desnivel como parte del tráfico de O. R. Benavides que viaja directo a través de la intersección.

3.3.3. Análisis de sensibilidad del tráfico evaporado

Para la situación de rediseño, debe considerarse una variación en la demanda vehicular de acuerdo a lo explicado en el segundo capítulo de la presente tesis (2.2. Evaporación de tráfico). No es posible calcular con exactitud un valor para esta debido a que el fenómeno de evaporación de tráfico no se encuentra muy bien documentado y porque las condiciones varían de acuerdo a la ciudad en la que se encuentra; por esta razón, se realizará un análisis de sensibilidad modificando la demanda de la intersección y corriendo la simulación. De esta manera, se obtendrán distintos resultados para valores de demanda distintos.

Se empezará el análisis asumiendo que no existe evaporación de tráfico. Luego, se tomarán valores múltiples de 5 % del total de demanda de la intersección como evaporada, empezando con 5 % hasta un 50 %. Cabe mencionar que se realizará el mismo número de corridas para cada valor de evaporación, el cual será congruente con el análisis estadístico realizado en la calibración.

3.3.4. Estimación del costo de intervención a partir de precios unitarios

Para la estimación del costo de inversión, se realizará un metrado aproximado de la propuesta de rediseño modelada a partir del dibujo CAD. Este metrado se realizará utilizando el software Microsoft Excel, teniendo como referencia proyectos similares en la ciudad. Los precios unitarios serán obtenidos principalmente de revistas especializadas, como Costos, y de los “Valores Unitarios Oficiales de Edificación para las localidades de Lima Metropolitana y la Provincia Constitucional del Callao, la Costa, la Sierra y la Selva, vigentes para el Ejercicio Fiscal 2021” aprobados mediante la resolución ministerial N° 70-2020-VIVIENDA. Estas fuentes brindarán información de los precios de mercado. Finalmente, se obtendrá un precio total que será dividido entre el área del proyecto y se obtendrá un precio por metro cuadrado, lo que será útil para compararlo con proyectos similares en la región.

3.4. Cálculo de emisiones contaminantes

Para realizar este cálculo, se seguirá la metodología detallada por Fernandes et al. (2016), que emplea el parámetro potencia específica del vehículo (VSP, en kW/ton). Este valor toma en cuenta la velocidad, aceleración y desaceleración y pendiente del vehículo y calcula emisiones inmediatas, y permite categorizar el modo de acuerdo con los valores para calcular las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxidos nitrosos (NO_x) e hidrocarburos (HC).

El cálculo del VSP tiene dos ecuaciones de acuerdo con el tipo de vehículo. En el caso de vehículos ligeros, se emplea la ecuación 3.4. Para vehículos pesados, se empleará la ecuación 3.5. En ambas ecuaciones, v es la velocidad instantánea en m/s; a es la aceleración o desaceleración instantánea; y $grade$ es la pendiente del tramo estudiado en fracción decimal.

$$VSP = v \times [1.1 \cdot a + 9.81 \cdot \sin(\arctan(grade)) + 0.132] + 0.000302 \cdot v^3 \quad (3.4)$$

$$VSP = v \times [a + 9.81 \cdot \sin(grade) + 0.092] + 0.00021 \cdot v^3 \quad (3.5)$$

Los datos de velocidad y aceleración se obtienen a partir del software Vissim.

Se calculará el VSP segundo a segundo en el tramo de 300 m centrado en la intersección de las avenidas Universitaria y O. R. Benavides durante los 3000 segundos de simulación luego del período de estabilización. Con el VSP calculado se obtendrá las emisiones de los contaminantes mencionados con base en la tabla 3.1.

Debido a que esta metodología solo considera vehículos ligeros a diésel y gasolina y buses, es necesario establecer equivalencias entre los tipos de vehículos observados en la intersección de estudio y los del modelo presentado para así poder aplicarlo. Las equivalencias se detallan en la tabla 3.2.

Tabla 3.1*Emisiones de acuerdo con el VSP (Fernandes et al., 2016, p. 201)*

Tipo de vehículo	Definición (kW/ton)	Modo	CO ₂ (g/s)	CO (g/s)	NO _x (g/s)	HC (mg/s)
Ligero a gasolina (Light Duty Gasoline, LDGV)	VSP < -2	1	1.7	0.008	0.0009	0.40
	-2 ≤ VSP < 0	2	1.5	0.004	0.0006	0.30
	0 ≤ VSP < 1	3	1.1	0.003	0.0003	0.40
	1 ≤ VSP < 4	4	2.2	0.008	0.0012	0.40
	4 ≤ VSP < 7	5	2.9	0.011	0.0017	0.50
	7 ≤ VSP < 10	6	3.5	0.017	0.0024	0.70
	10 ≤ VSP < 13	7	4.1	0.020	0.0031	0.80
	13 ≤ VSP < 16	8	4.6	0.029	0.0042	1.00
	16 ≤ VSP < 19	9	5.2	0.036	0.0051	1.10
	19 ≤ VSP < 23	10	5.6	0.055	0.0059	1.40
	23 ≤ VSP < 28	11	6.5	0.114	0.0076	2.10
	28 ≤ VSP < 33	12	7.6	0.208	0.0121	3.40
	33 ≤ VSP < 39	13	9.0	0.442	0.0155	4.90
	VSP ≥ 39	14	10.1	0.882	0.0179	10.90
Ligero a diésel (Light Duty Diesel Vehicles, LDDV)	VSP < -2	1	0.2	0.00003	0.0013	1.29
	-2 ≤ VSP < 0	2	0.6	0.00007	0.0026	2.62
	0 ≤ VSP < 1	3	0.7	0.00014	0.0034	3.38
	1 ≤ VSP < 4	4	1.5	0.00025	0.0061	6.05
	4 ≤ VSP < 7	5	2.3	0.00029	0.0094	9.36
	7 ≤ VSP < 10	6	3.3	0.00069	0.0125	12.53
	10 ≤ VSP < 13	7	4.2	0.00058	0.0155	15.48
	13 ≤ VSP < 16	8	4.9	0.00064	0.0178	17.82
	16 ≤ VSP < 19	9	5.6	0.00061	0.0213	21.32
	19 ≤ VSP < 23	10	6.3	0.00101	0.0325	32.53
	23 ≤ VSP < 28	11	7.4	0.00115	0.0558	55.75
	28 ≤ VSP < 33	12	8.4	0.00096	0.0743	74.35
	33 ≤ VSP < 39	13	9.4	0.00077	0.1042	104.16
	VSP ≥ 39	14	10.5	0.00073	0.1459	145.94
Buses de tránsito (Transit buses)	VSP < 0	1	2.4	0.009	0.04	1.23
	0 ≤ VSP < 2	2	7.8	0.036	0.13	1.70
	2 ≤ VSP < 4	3	12.5	0.045	0.18	1.75
	4 ≤ VSP < 6	4	17.1	0.072	0.22	1.84
	6 ≤ VSP < 8	5	21.2	0.085	0.24	1.94
	8 ≤ VSP < 10	6	24.8	0.091	0.26	2.05
	10 ≤ VSP < 13	7	27.6	0.084	0.28	2.08
	VSP ≥ 13	8	29.5	0.062	0.31	2.15

Tabla 3.2

Equivalencias entre vehículos observados y vehículos del modelo.

Vehículo observado	Vehículo equivalente del modelo
Automóvil (100)	LDGV
Combi (700)	LDDV
Bus (300)	Transit bus
Motocicleta	-
Camión	-

Nótese que motocicletas y camiones no tienen equivalencias por no presentar similitud con los vehículos estudiados. Debido a que se excluyen de ambos modelos, se estima que no se afectarán significativamente los resultados obtenidos.

3.5. Comparativa de las propuestas

Con el fin de analizar de manera objetiva las propuestas, se detallarán las comparativas en los parámetros numéricos escogidos.

Tabla 3.3

Formato para comparar variables numéricas entre la situación actual y la propuesta de rediseño.

Parámetro	Situación Actual	Propuesta de Rediseño
CO ₂ total (g)		
CO total (g)		
NO _x total (g)		
HC total (g)		
Costo (S/.)		
Tiempos de viaje (min)		
Longitudes de cola (m)		
Máxima distancia de cruce (m)		
Máxima distancia entre cruces (m)		

Asimismo, para comparar la situación de seguridad peatonal y ciclista, se empleará parcialmente la lista de chequeo propuesta por la Alcaldía de Bogotá (s. f.) para intervención en proyectos existentes. Específicamente, se tomarán las siguientes secciones:

4. Urbanismo, entorno y aspectos socioeconómicos

4.5 Infraestructuras peatonales

5. Comportamiento de los usuarios

5.1 Peatones

5.2 Ciclistas

3.5.1. Comparación de parámetros de eficiencia y emisiones

Se realizarán comparaciones porcentuales entre los valores obtenidos en la simulación de la situación actual y el rediseño. Asimismo, se contrastan las situaciones de accesibilidad peatonal; esta comparación comprenderá la longitud de cruceo máxima y la distancia máxima entre cruceos y se realizarán comentarios de la situación general de desplazamiento peatonal. Finalmente, se compararán las emisiones de cada simulación.

3.5.2. Comparación de costos

Para el caso de los costos, se tomará en cuenta el costo a precio de mercado aproximado de la propuesta de rediseño a nivel y se comparará con el costo del proyecto publicado en el banco de inversiones. En primer lugar, se realizará un metrado general de las partidas del rediseño a nivel. Luego, para la estimación del costo total de la implementación de la propuesta de rediseño, se utilizarán precios de proyectos similares realizados en Lima recientemente. Se utilizarán ratios por unidad de la partida analizada; este ratio toma en cuenta todas las subpartidas e insumos que requiere y se obtendrá del promedio de los datos encontrados en los proyectos. De esta manera, se podrá obtener un valor estimado para el costo por unidad y calcular el costo total del proyecto.

Capítulo 4: Modelamiento de Situación Actual

4.1. Recolección de datos en campo

Debido a limitaciones de batería del dron empleado para grabar, se grabó en lapsos de aproximadamente 17 minutos entre las 16:40 y las 19:00. La toma de datos se realizó el 4 de agosto de 2021, de 4:45 pm hasta las 7:15 pm. En la figura 4.1 se muestra la ubicación aproximada del controlador de vuelo del dron y del drone mientras realizaba la grabación.



Figura 4.1 Ubicación aproximada de dron y control. Fuente: Adaptado de Google Earth.

Para realizar el aforo vehicular y peatonal, se utilizaron los formatos mostrados en el capítulo anterior, siguiendo las distribuciones de rutas mostradas en las figuras 4.2 para la avenida O. R. Benavides y 4.3 para la avenida Universitaria. Asimismo, los resultados de los aforos vehiculares obtenidos se muestran en el Anexo 1.

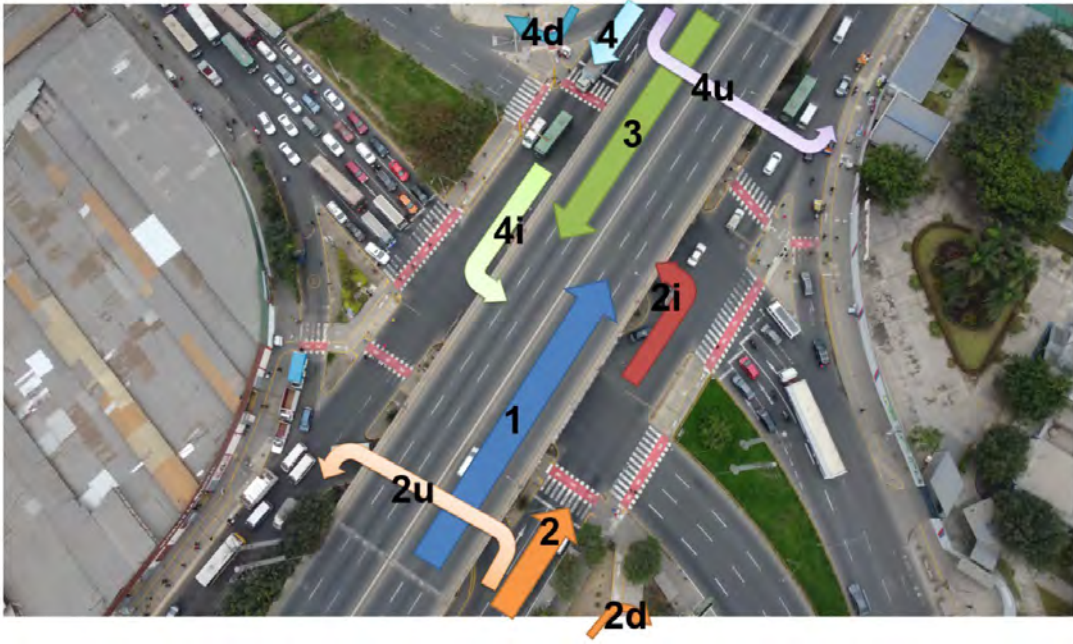


Figura 4.2 *Distribución de rutas para el aforo vehicular en Av. Benavides.*



Figura 4.3 *Distribución de rutas para el aforo vehicular en Av. Universitaria.*

De manera similar, en el Anexo 2 se muestran los resultados del conteo peatonal y de bicicletas del periodo crítico determinado, que sigue la distribución mostrada en la figura 4.4.

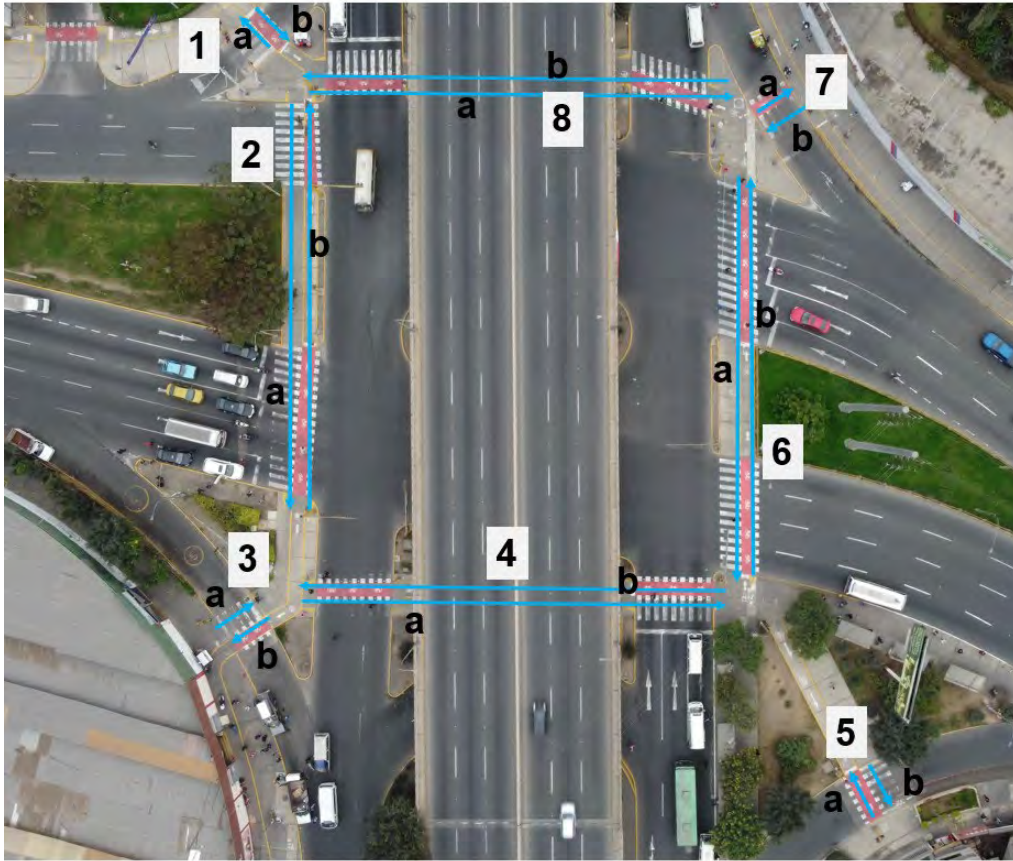


Figura 4.4. *Distribución de rutas para el aforo peatonal y de bicis en Av. Universitaria*

Finalmente, para la medición de los tiempos de viaje utilizados para la calibración del modelo, se escogió el tramo mostrado en la figura 4.5, que corresponde a la avenida Universitaria en dirección sur-norte. Las 30 mediciones realizadas en el periodo crítico se pueden visualizar en el Anexo 3.



Figura 4.5. Tramo para medición de tiempos de viaje en la Avenida Universitaria (sur - norte). Fuente: Adaptado de Google Earth

4.2. Procesamiento de datos

4.2.1. Cálculo de la demanda

El cálculo de la demanda se realizó con el método basado en la metodología planteada por el HCM, utilizando los valores de los conteos vehiculares. Los valores totales obtenidos se muestran en la tabla 4.1. El periodo crítico obtenido corresponde al vídeo del vuelo número 4, que se grabó entre las 5:52 y las 6:11pm, con una duración de 19 minutos con 17 segundos. En este periodo, se obtuvo una demanda vehicular total de 6,872 veh/h. Este valor se obtuvo de sumar las demandas de cada ruta propuesta en las figuras 4.2 y 4.3 durante el vuelo mencionado.

Tabla 4.1

Demanda total para el aforo vehicular

N° de vuelo	Intervalo	Duración	Demanda total (veh/h)
1	16:41 - 16:57	15:52:00	6,157
2	17:04 - 17:22	18:12:00	5,978
3	17:29 - 17:47	18:00:00	6,785
4	17:52 - 18:11	19:17:00	6,872
5	17:52 - 18:11	17:59:00	6,538
6	18:46 - 19:05	18:40:00	6,467

4.2.2. Medición de tiempos de viaje

De las 30 mediciones realizadas en el periodo crítico, se obtuvo una media de 2.84 s y una desviación estándar de 0.58 s. Además, se utilizó la expresión 3.2 para comprobar que el número de datos medidos es suficiente; el valor mínimo de mediciones obtenido para los datos mencionados fue de 18, por lo que las 30 realizadas fueron suficientes. Asimismo, se utilizaron también las mediciones en el tramo para calcular las velocidades de los vehículos medidos; el valor promedio de este parámetro para las 30 mediciones fue de 35.85 km/h, con una desviación estándar de 6.51 km/h. Estos valores también se muestran en el Anexo 3.

4.3. Creación del modelo base utilizando el software de PTV Vissim 8@

El primer paso para elaborar este modelo fue colocar la imagen de fondo obtenida de Google Earth. A continuación, se dibujaron las vías como elementos *link*, para los cuales se debe indicar el número de carriles, el ancho de cada uno de los mismos y el nivel en que se encuentran. Se muestran algunos ejemplos de información ingresada en la tabla 4.2.

Tabla 4.2

Ejemplo de datos introducidos en Vissim para algunos elementos tipo link.

<i>Link</i>	Nombre	Nivel	N.º de carriles	Ancho de carriles (m)
2	Universitaria N→S	1 (Base)	5	3.10
4	Benavides auxiliar W→E	1 (Base)	3	3.00

Estos *links* se conectan a su vez mediante conectores (elementos *link* de un tipo distinto) que permiten cambios de dirección y conexión entre tramos con distinto ancho y/o número de carriles.

Acto seguido, se ingresó la composición del flujo vehicular de acuerdo con el aforo de tipos de vehículos y la velocidad de la vía para cada una de las entradas. Se consideró la composición del período crítico para el estudio. Luego, esta composición es asignada a cada entrada junto con la demanda calculada en la sección 4.2.2.

Tabla 4.3

Composición vehicular del tráfico en cada uno de los accesos en el período crítico

Avenida	Acceso	Volumen por tipo de vehículo (veh/h)				
		Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones
OSCAR R. BENAVIDES	Bypass E→W	301	39	21	2	2
	Auxiliar E→W	200	23	33	6	1
	Bypass W→E	3	336	54	26	2
	Auxiliar W→E	117	13	29	7	2
UNIVERSITARIA	S→N	402	123	67	21	8
	N→S	105	28	9	0	0

Para indicar las direcciones que tomarán los vehículos de la simulación, se colocó la demanda vehicular de cada uno de los movimientos correspondientes a dicha entrada en la columna correspondiente al flujo relativo; el programa se encarga de convertir este total en el valor fraccionario correspondiente cuando se ejecuta la simulación.

Para representar la detención que hace el transporte público en los paraderos, se colocaron zonas de velocidad reducida en estas zonas y se configuraron para afectar solo a buses y combis. Por otro lado, se ajustó la prioridad en todos los conflictos para que

El siguiente paso fue configurar los semáforos de forma análoga a la realidad. Se consideraron 5 grupos de señales con fases de verde distintas. Luego, se colocaron las líneas de control en los *links* correspondientes para controlar el flujo.

Con estas asignaciones realizadas, se configuraron los parámetros de la simulación. Esta tuvo una duración de 3600 segundos, pero los datos se recogieron solo a partir del segundo 600, pues antes estuvo el período de estabilización. El primer número semilla fue el 13 —escogido arbitrariamente— y el incremento de este valor fue de uno. Inicialmente, se emplearon los valores por defecto de los parámetros ax , bx_{add} y bx_{mult} . De acuerdo con los resultados del proceso de calibración y validación, se plantearon modificaciones para que el escenario simulado sea una mejor representación de la realidad.

Por otro lado, se modeló el desplazamiento de los peatones. Para ello, se dibujaron las áreas peatonales con los elementos *Area*. Luego, se incorporaron obstáculos (como árboles, jardines o barreras) mediante elementos *Obstacle*. Finalmente, se establecieron las rutas peatonales de acuerdo con los aforos realizados.

El último paso antes de ejecutar la simulación fue configurar las recolecciones de datos necesarias para la calibración, validación, cálculo de emisiones contaminantes y comparación con el rediseño: tiempo de viaje en la sección determinada para la calibración, longitudes de cola en las ocho entradas semaforizadas y velocidad media temporal a través de la intersección.

4.4. Calibración y validación del modelo

Como se mencionó en capítulos anteriores, la calibración consiste en un proceso iterativo que sirve para que el modelo creado en Vissim represente adecuadamente los valores observados en la realidad. Para obtener los valores de mediciones de tiempo de viaje, se realizaron 30 corridas para cada juego de parámetros de comportamiento general de comportamiento de manejo del modelo (según expresión 3.2); el programa trae por defecto los valores de $a = 0.5$, $bx_{add} = 2$ y $bx_{mult} = 3$. De cada una de las 30 simulaciones, se obtienen promedios de tiempos de viaje; de este grupo de 30 medias se obtiene un promedio y desviación estándar final. Para el caso de los parámetros que vienen por defecto en el

programa, se obtuvo un promedio de 2.64 s y una desviación estándar de 0.009 s. Este valor es considerablemente menor que el medido de 2.84 s, por lo que se modifican los parámetros en cada intento para tratar de obtener una media más cercana a la medida. En la tabla 4.4 se muestra un resumen con las medias de los intentos realizados con cada juego de parámetros comparadas con la media obtenida de las 30 mediciones realizadas con las grabaciones del dron.

Tabla 4.4

Resultados de tiempos de viaje para diferentes parámetros de comportamiento de manejo.

Intento	Parámetros de comportamiento de manejo			Promedio de tiempos de viaje de simulaciones (s)	Desviación estándar (s)	Promedio de mediciones de tiempos de viaje (s)	Diferencia de medias (s)
	a	bx_{add}	bx_{mult}				
1	0.50	2.00	3.00	2.639	0.009	2.84	0.201
2	1.00	3.00	5.00	2.626	0.009	2.84	0.214
3	1.20	3.50	4.50	2.640	0.012	2.84	0.200
4	1.00	4.50	4.75	2.642	0.010	2.84	0.198
5	0.90	3.00	3.00	2.639	0.010	2.84	0.201
6	1.20	2.00	5.00	2.639	0.009	2.84	0.201
7	1.20	4.00	4.00	2.637	0.008	2.84	0.203

De la tabla 4.4, se obtiene que el intento 4 es el que más se asemeja al valor de la media de mediciones, con una diferencia de medias de 0.198 s. Los valores de la simulación de este intento se muestran en el Anexo 4. Se compraron estos grupos de valores mediante la herramienta virtual Statkey y los resultados se muestran en la figura 4.6.

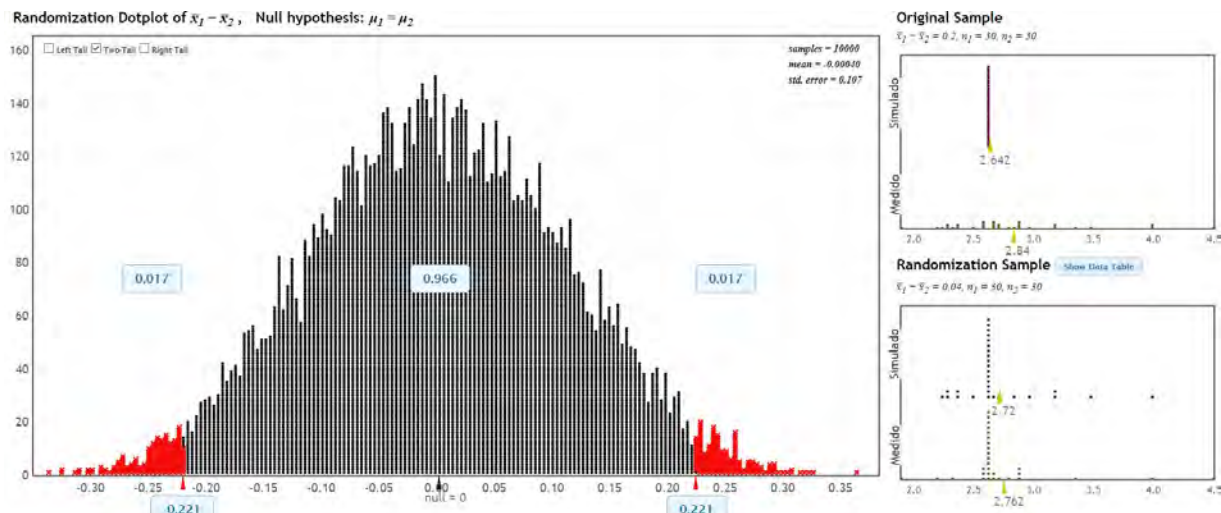


Figura 4.6. Verificación mediante test de randomización de tiempos de viaje para calibración del modelo. Fuente: Elaboración propia con Statkey.com

Tabla 4.5

Resultados de verificación de calibración mediante test de randomización.

Datos	Mediciones en campo	Resultados de Vissim
Media (s)	2.840	2.642
Desviación estándar (s)	0.580	0.010
Diferencia entre medias (s)		0.198
¿Cumple?		Sí

Para que cumpla con la verificación, la diferencia debe caer dentro de la distribución mostrada en la figura 4.6. En este caso, el intento 4 sí cumple con pertenecer al intervalo de confianza, por lo que se acepta que, con los parámetros

$a = 1$, $bx_{add} = 4.5$ y $bx_{mult} = 4.75$, el modelo está calibrado.

Para la validación del modelo, de manera análoga a la calibración, se realizaron las corridas de simulación y los resultados se contrastaron con las mediciones realizadas. Los datos y mediciones fueron obtenidos del vídeo número 2 de las grabaciones del drone (16:41 - 16:57 pm). La comparación se realizó con el mismo método de la calibración, utilizando la herramienta para la prueba de randomización Statkey. Los resultados de las mediciones de

tiempos de viaje en campo se muestran en el Anexo 5 y los obtenidos de la simulación en el Anexo 6. En la tabla 4.6 se muestran los resultados de la prueba realizada.

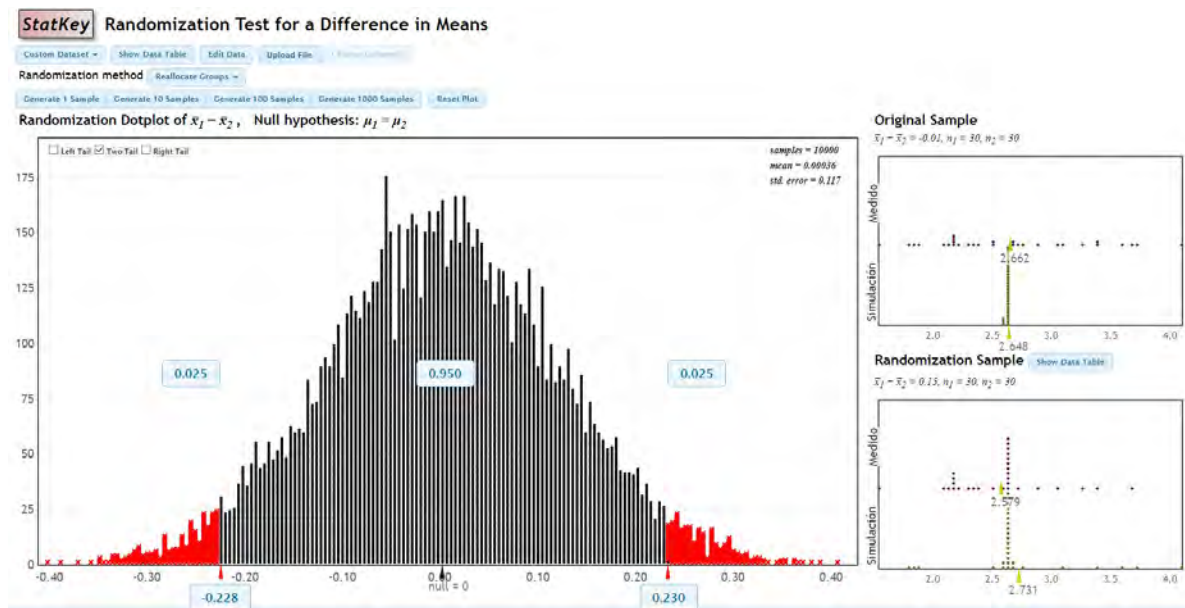


Figura 4.7. Verificación mediante test de randomización de tiempos de viaje para validación del modelo. Fuente: Elaboración propia con Statkey.com

Tabla 4.6

Resultados de verificación de validación mediante test de randomización.

Datos	Mediciones en campo	Resultados de Vissim
Media (s)	2.66	2.65
Desviación estándar (s)	0.65	0.01
Diferencia entre medias (s)		0.01
¿Cumple?		Sí

De manera análoga a la mencionada en la calibración, el valor de la diferencia de medias debe pertenecer al intervalo de confianza. En este caso, el valor obtenido de 0.01 sí cumple con la condición. De acuerdo con la figura 4.7, esta diferencia puede ser de hasta 0.23, por lo que es posible afirmar que el modelo está validado.

4.5. Cálculo de emisiones contaminantes

Para realizar el cálculo de emisiones, se obtuvieron datos de aceleración y velocidad de los vehículos estudiados de acuerdo a lo descrito en la sección 3.4. Luego, se calculó el VSP. Con ello, se grafica la distribución de frecuencias de cada modo de VSP para cada tipo de vehículo estudiado (figura 4.8). Con base en los valores de VSP, se reportan las emisiones contaminantes (tabla 4.7).

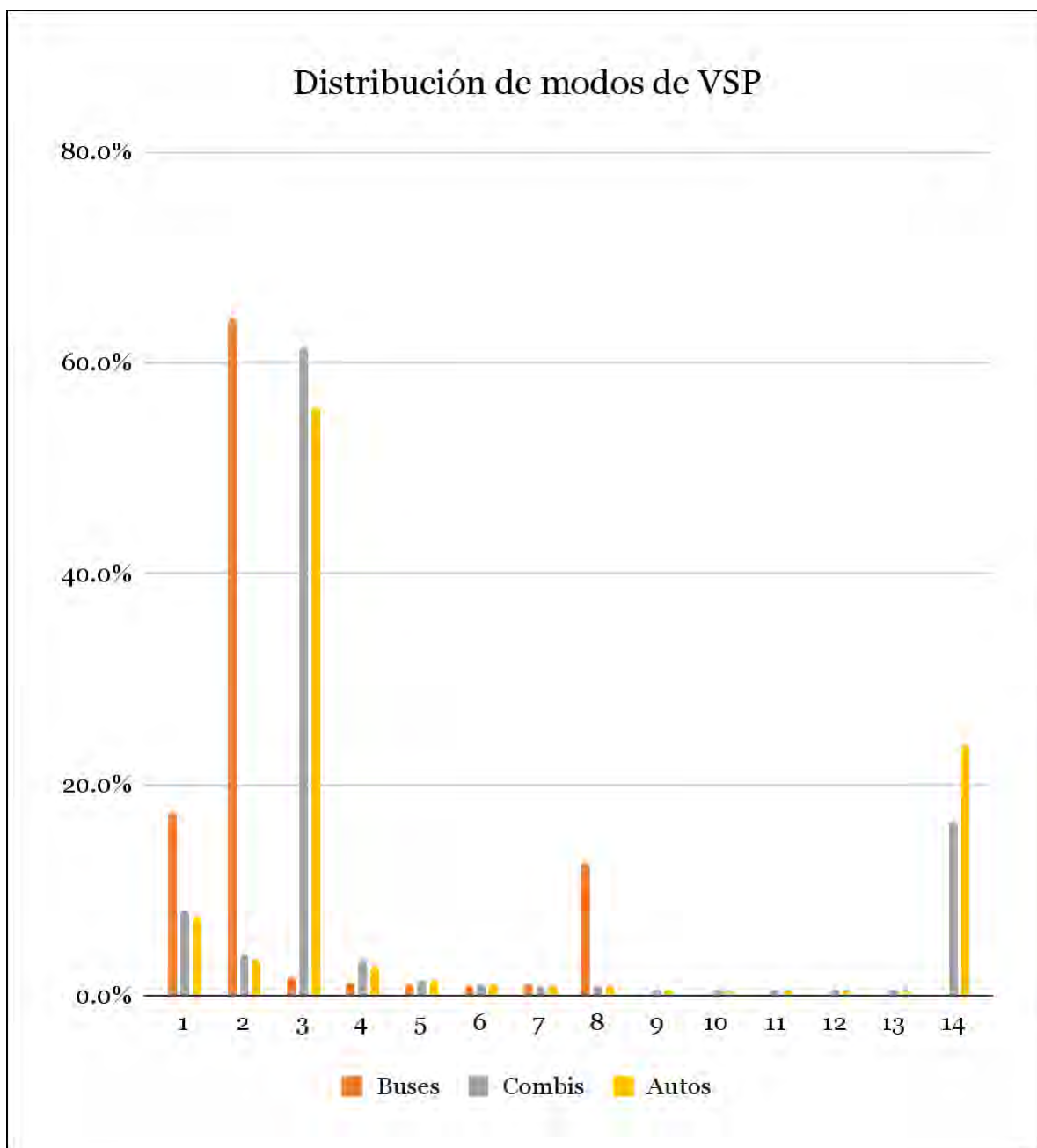


Figura 4.8. Distribución de modos de VSP por tipo de vehículo en la situación original.

Tabla 4.7*Reporte de emisiones contaminantes en la situación original*

Tipo de vehículo	CO₂ (g)	CO (g)	NOX (g)	HC (mg)
Autos (LDGV)	1 335 656.26	81 020.89	1825.51	1 103 610.85
Combis (LDDV)	173 291.43	17.77	1910.77	1 910 259.38
Buses	267 269.06	953.47	3711.61	43 821.52
Total	1 776 216.75	81 992.13	7447.89	3 057 691.75

4.6. Reporte general

Los resultados de la simulación para el parámetro de longitudes de cola se muestran en el Anexo 7. El promedio de estos se toma como el valor representativo mostrado en la tabla 4.8. Finalmente, la distancia máxima entre cruces y la máxima distancia de cruce fueron obtenidas mediante mediciones en la plataforma de Google Earth. La primera se muestra en la figura 1.1 y la segunda en la figura 4.9. En la figura 4.10 se muestra una imagen del puente peatonal este cuya longitud efectiva de cruce resultó ser la mayor. Asimismo, en el Anexo 8 se muestran los resultados de las velocidades promedio en toda la intersección. Finalmente, el reporte general se muestra en la tabla 4.8.

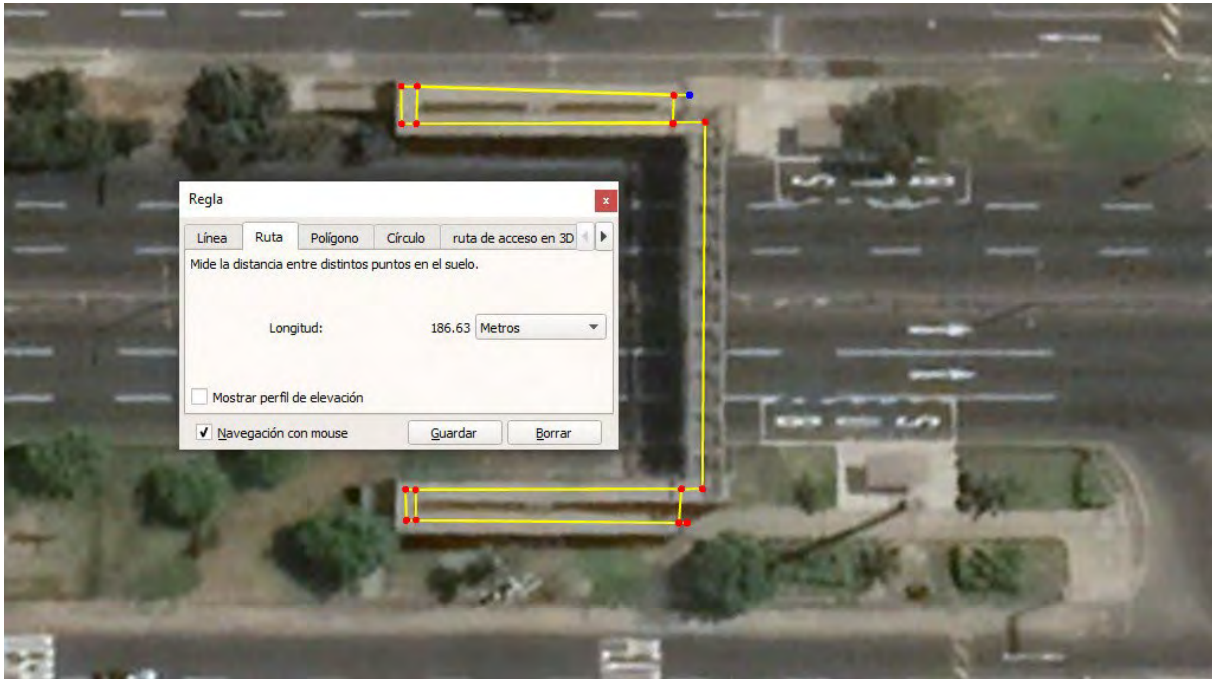


Figura 4.9. Distancia máxima de cruce medida en el puente al este de la intersección.

Fuente: Google



Figura 4.10. Puente al este de la intersección. *Fuente: Google*

Tabla 4.8

Resumen de datos de la situación actual.

Parámetro	Situación actual
CO ₂ total (g)	1 657 561.45
CO total (g)	72 150.28
NO _x total (g)	6 985.61
HC (mg)	2 690 269.01
Costo total (2009)	S/.42,221,706.00
Costo total ajustado a inflación a inicios de 2021 (S/.)	S/.57,556,629.62
Longitudes de cola (m)	45.73
Velocidad promedio (km/h)	42.39
Máxima distancia de cruce (m)	186.6
Máxima distancia entre cruces (m)	460



Capítulo 5: Modelamiento de Propuesta de Rediseño

5.1. Creación de la propuesta de rediseño utilizando Autodesk® Autocad™

Se presentan en la figura 5.1 las principales características de la propuesta de rediseño —a nivel— planteada.

5.1.1. Características de la propuesta de rediseño

- ❖ Se ha planteado giros tangenciales para que sea posible girar a la izquierda simultáneamente desde direcciones opuestas. Asimismo, para evitar que se empleen los carriles de giro para ir de frente, se ha planteado una isla central de guía e islas canalizadoras en cada acceso al que se llega con giro a la izquierda.
- ❖ Se ha planteado carriles reducidos en la dirección N→S de Universitaria al sur de la intersección de acuerdo con el tráfico reducido que pasa por este tramo de vía.
- ❖ Se ha planteado carriles exclusivos de giro hacia la izquierda para evitar embotellamientos a causa de vehículos que esperan su turno para hacer dicho movimiento.
- ❖ Se ha planteado colocar estacionamientos cercanos a la intersección para evitar que haya vehículos detenidos en la vía.
- ❖ Se ha planteado un bulevar central con espacio para el desplazamiento peatonal y ciclista segregado y suficientemente alejado de los vehículos.
- ❖ Gran parte del espacio recuperado del paso a desnivel y de los carriles de giro a la derecha se ha destinado a expandir paraderos, jardines, espacio público y área comercial.

Los cambios planteados en la propuesta de rediseño muestran un énfasis importante en la mejora íntegra de la accesibilidad para los peatones (como se ve en la lista de chequeo comentada en la sección 7.2), además de abordar otros problemas mencionados en capítulos anteriores. Asimismo, para evaluar los parámetros de comparación planteados, se creará el modelo base de la propuesta utilizando el software PTV Vissim 8®, cuyo procedimiento se detalla a continuación. Finalmente, el plano de rediseño se muestra en el Anexo 9.

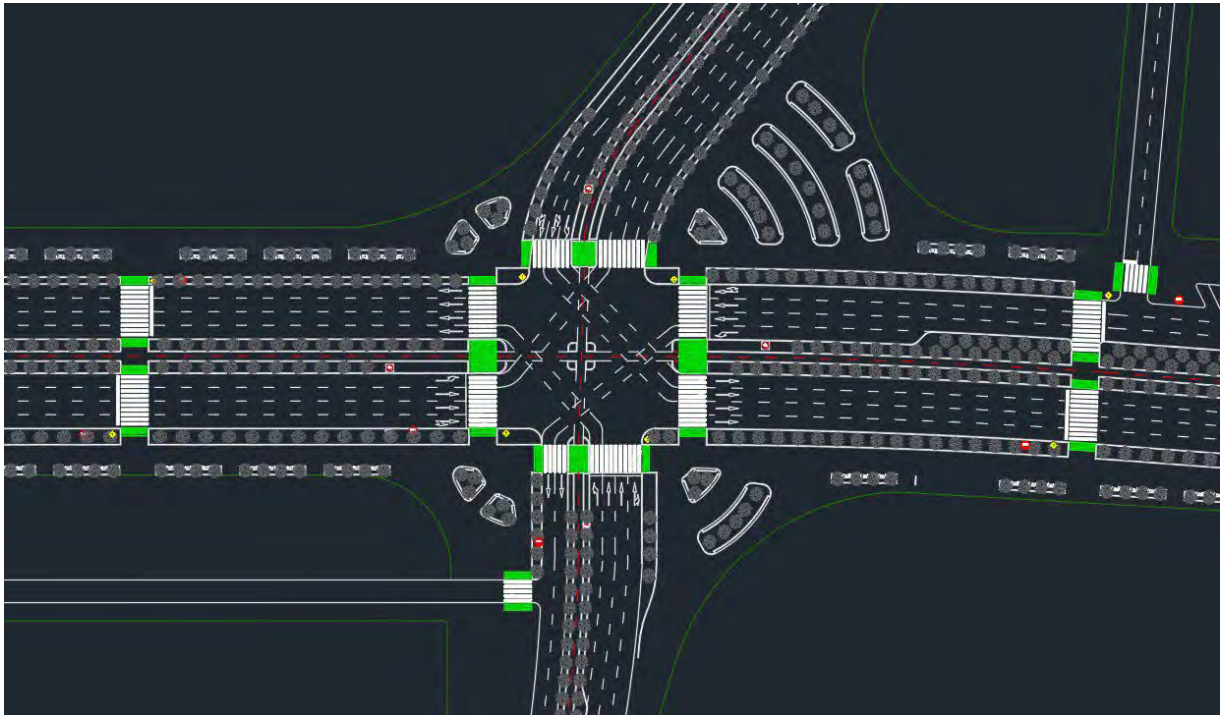


Figura 5.1. Vista sobre la intersección rediseñada

5.2. Creación del modelo base utilizando el software de PTV Vissim 8®

El primer paso para elaborar este modelo fue colocar el diseño realizado en CAD como imagen de fondo. A continuación, se dibujaron las vías como elementos *link* de forma similar al procedimiento detallado en la sección 4.3. Debido a que en el rediseño no existe separación por nivel de los flujos vehiculares, toda la demanda del paso a desnivel se consideró parte de la demanda de movimiento directo $W \rightarrow E$ o $E \rightarrow W$ como correspondiera.

Tabla 5.1

Composición vehicular del tráfico en cada uno de los accesos en el período crítico.

Avenida	Acceso	Volumen por tipo de vehículo (veh/15 min)				
		Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones
Oscar R. Benavides	E→W	501	62	54	8	3
	W→E	120	349	83	33	4
Universitaria	S→N	402	123	67	21	8
	N→S	105	28	9	0	0



Figura 5.2. Rediseño modelado en Vissim; vista 3D.

La composición del flujo vehicular se presenta en la tabla 5.1; los volúmenes vehiculares asignados a cada una de las entradas se corresponden con la mitad de la demanda calculada en la sección 4.2.1, ajustados de acuerdo con lo descrito en el párrafo anterior. Se considera inicialmente la mitad de la demanda medida por las consideraciones explicadas en la sección siguiente (5.3).

Para configurar las direcciones que tomarían los vehículos y representar la detención de combis y buses, se siguió un procedimiento similar al descrito en la sección 4.3.

El siguiente paso fue configurar los semáforos planteados. Se consideró un ciclo de 136 segundos con fases exclusivas de giro a la izquierda. Debido al giro tangencial implementado, se podía girar a la izquierda desde direcciones opuestas a la vez (E→S con W→N y S→W con N→E) sin que hubiera conflictos entre sí. Se consideró períodos todo rojo de 1 segundo entre fases para permitir el despeje de la intersección. El tiempo se repartió de igual forma para cada avenida.

Con estas asignaciones realizadas, se configuraron los parámetros de la simulación. Esta tuvo una duración de 3600 segundos, pero los datos se recogieron solo a partir del segundo 600, pues antes estuvo el período de estabilización. El primer número semilla fue el

14 —escogido arbitrariamente— y el incremento de este valor fue de uno. Debido a que no es posible validar ni calibrar un modelo de una intersección que no está en uso, se emplearon los mismos parámetros ax , bx_{add} y bx_{mult} de Wiedemann calibrados y validados para la situación actual.

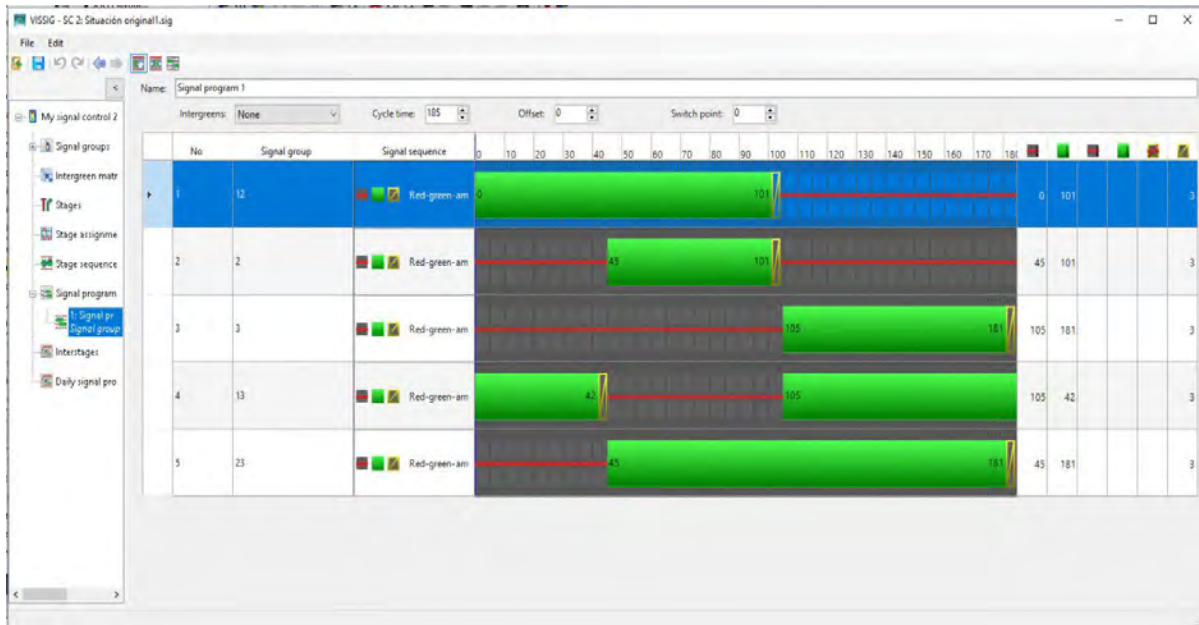


Figura 5.3. Programación semafórica en Vissim

El último paso antes de ejecutar la simulación fue configurar las recolecciones de datos necesarias para la comparación con la situación actual: tiempo de viaje en la sección determinada para la calibración de la situación original, longitudes de cola en las cuatro entradas semaforizadas y aceleración y velocidad de cada vehículo a lo largo del tiempo evaluado.

5.3. Análisis de sensibilidad

De acuerdo con lo visto en la sección 2.2, es razonable esperar que si una intersección de menor capacidad a la existente se hubiera construido en su lugar, una parte del tráfico que actualmente circula a través de la misma no lo haría. Ello podría haberse debido a que las personas elegirían medios de transporte distintos al automóvil privado, tomarían otras rutas o

recorrerían la misma ruta en un horario distinto. Por lo tanto, el estudio del rediseño debe tener en consideración esta reducción de la demanda.

Se hicieron sucesivas simulaciones con el mismo número semilla ajustando los volúmenes vehiculares (*vehicle inputs*) para representar situaciones a partir del 50 % del tráfico medido en la intersección original y hasta el 100 %. El paso empleado fue de 5 %. Debido a que se observó que la cola en el acceso W-E rediseñado, la última que superó a su cola original, lo hacía cerca a la mitad entre 70 % y 75 %, se hizo una simulación con el 72.5 % del volumen del tráfico (como se ve en la figura 5.4). Este volumen fue considerado para el análisis por ser el que causa que el acceso más favorable se comporte igual de mal que el original. Los valores obtenidos en este análisis se muestran en el Anexo 10.

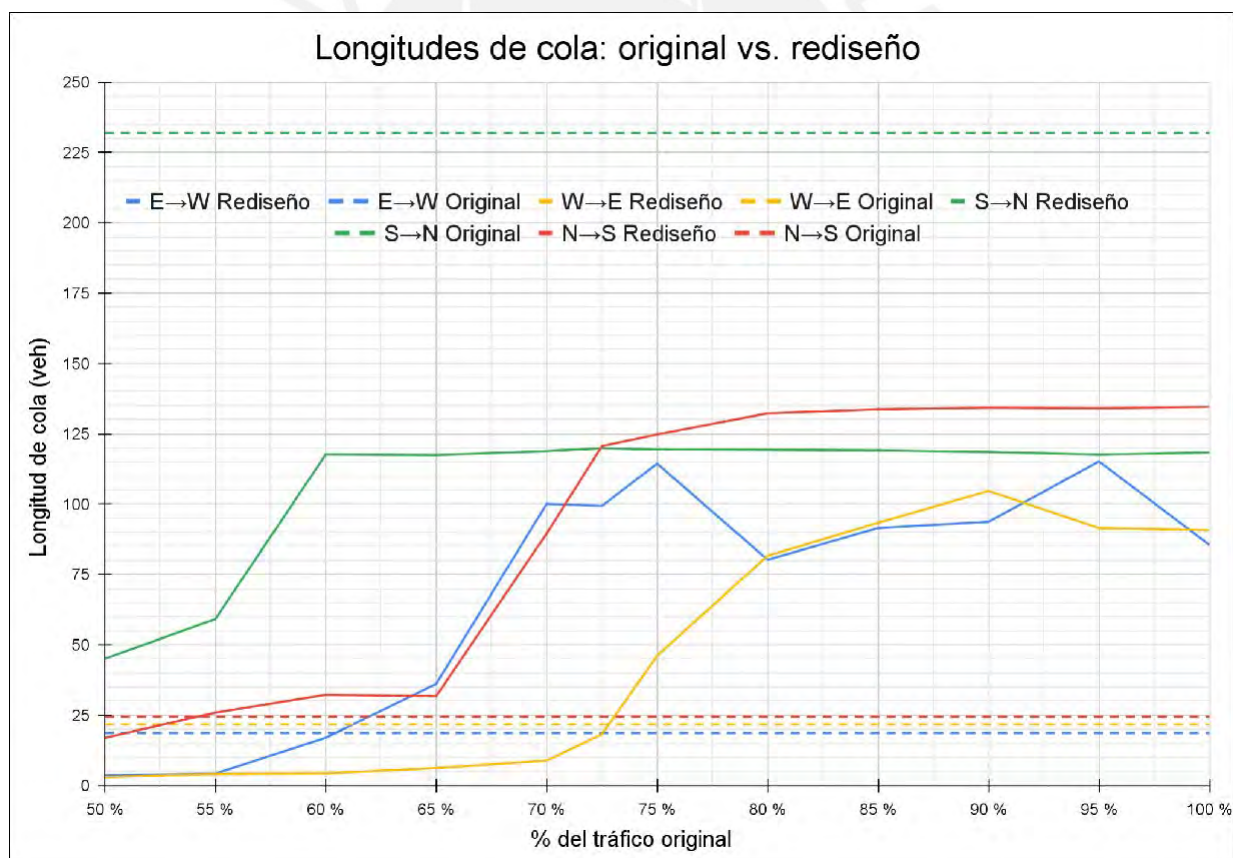


Figura 5.4. Comparación de longitudes de cola en el rediseño contra la situación original

5.4. Cálculo de emisiones contaminantes

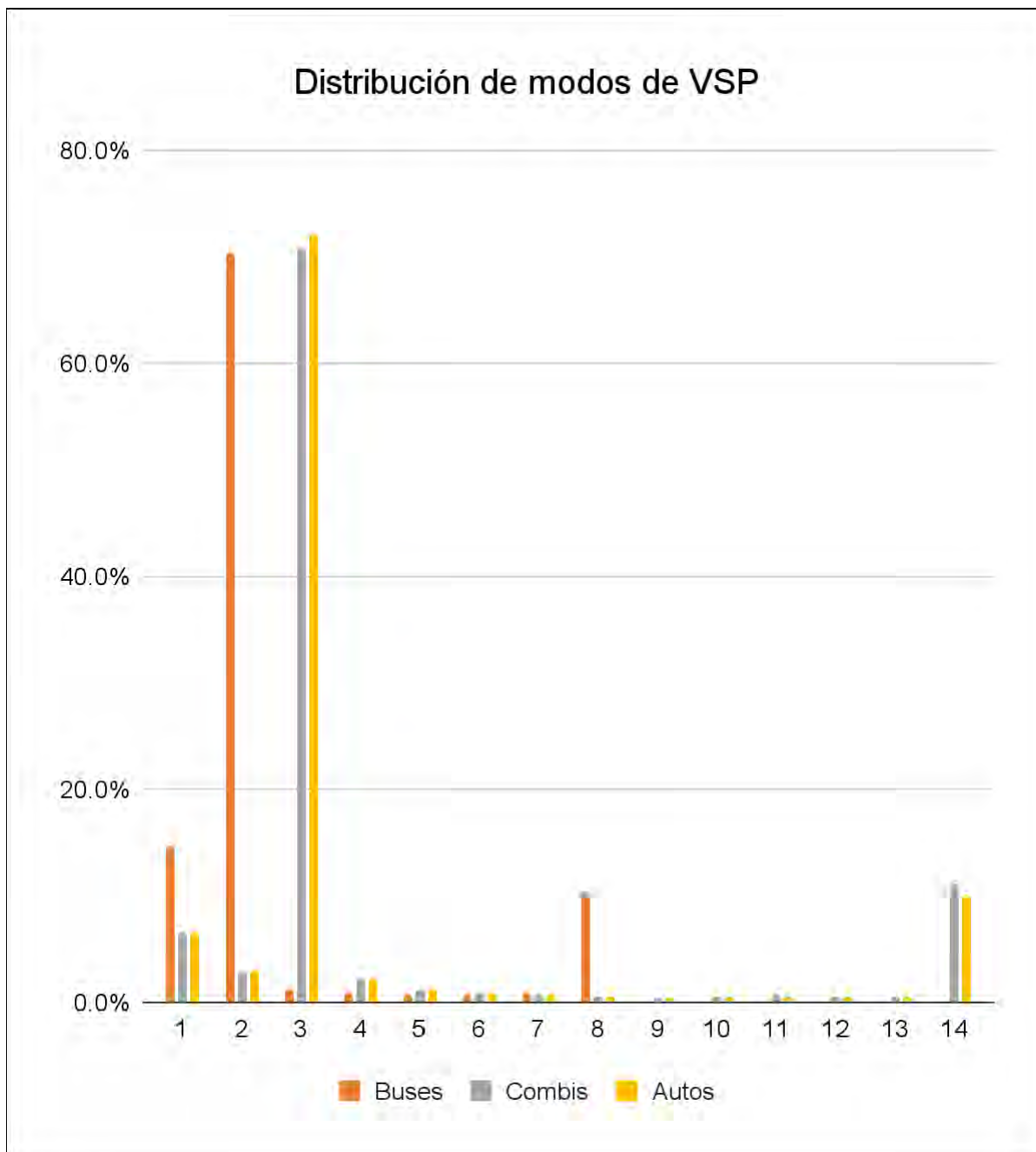


Figura 5.5. *Distribución de modos de VSP por tipo de vehículo en el rediseño.*

Para realizar el cálculo de emisiones, se obtuvieron datos de aceleración y velocidad de los vehículos estudiados de acuerdo a lo descrito en la sección 3.4. Luego, se calculó el VSP. Con ello, se grafica la distribución de frecuencias de cada modo de VSP para cada tipo de vehículo estudiado (figura 5.5). Con base en los valores de VSP, se reportan las emisiones contaminantes (tabla 5.2).

Tabla 5.2*Reporte de emisiones contaminantes en el rediseño*

Tipo de vehículo	CO₂ (g)	CO (g)	NO_X (g)	HC (mg)
Autos (LDGV)	917 871.3	38 362.8	972.9	602 484.1
Combis (LDDV)	148 146.9	16.8	1 515.3	1 514 457.2
Buses	225 890.7	837.9	3 226.1	38 863.1
Total	1 291 909.0	39 217.5	5 714.2	2 155 804.4

5.5. Reporte general

Los resultados de los tiempos de viaje para el tramo estudiado y los del promedio de velocidad de toda la intersección se muestran en el Anexo 11 y 12, respectivamente.

Tabla 5.3*Resumen de datos del rediseño.*

Parámetro	Situación actual
CO ₂ total (g)	1 291 909.0
CO total (g)	39 217.5
NO _x total (g)	5 714.2
HC (mg)	2 155 804.4
Costo total (S/.)	<i>Ver capítulo 6</i>
Longitudes de cola (m)	89.50
Velocidad promedio (km/h)	43.59
Máxima distancia de cruce (m)	31.67
Máxima distancia entre cruces (m)	198.1

Capítulo 6: Estimación del Costo de Rediseño

6.1. Metrado

A partir de los elementos que forman parte del rediseño propuesto, se requiere estimar cuánto costaría directamente, i. e. por la construcción en sí, ejecutar el rediseño. Se escogen partidas que, de acuerdo con la experiencia de los autores, representan los mayores costos asociados con la ejecución de una obra de infraestructura como la propuesta. Estas partidas y su correspondiente metrado se presentan en la tabla 6.1.

Tabla 6.1

Partidas consideradas para el costo directo de la ejecución del rediseño y su metrado

Partida	Unidad	Metrado
Mantenimiento de tránsito y seguridad vial	global	1.00
Pavimento de concreto e=0.20 m	m ²	26,925.35
Vereda de concreto e= 0.10 m	m ²	16,700.46
Línea divisoria de carril discontinua e=0.1 m	und	4,950.71
Señalización en piso (horizontal)	m ²	785.90
Señal reguladora	und	4.00
Bancas de madera	und	126.00
Sembrado de gras	m ²	5,223.87
Sembrado de árboles	m ²	632.00

6.2. Cálculo de costo

Para la estimación de los precios de cada partida, se escogieron 5 proyectos con características similares a las del estudiado cuyos costos fueron publicados entre 2020 y 2021. Estos proyectos se listan en la tabla 6.2.

Tabla 6.2

Listado de proyectos considerados para estimación de precios

Nombre de proyecto	N°	Fecha de presupuesto
ELABORACIÓN DEL ESTUDIO DEFINITIVO DEL PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SANTA ROSA, ACCESOS, ROTONDA Y PASO A DESNIVEL, REGIÓN CALLAO	01	31/01/2021

CREACIÓN DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL EN EL P.J NUEVA JERUSALÉN Y AVENIDA B DEL BARRIO SEGURO LAS LOMAS, SECTOR 10 DEL DISTRITO DE CARABAYLLO - PROVINCIA DE LIMA - DEPARTAMENTO DE LIMA	02	02/06/2020
MEJORAMIENTO DEL ENTORNO URBANO DE LA AV. JOSE CARLOS MARIATEGUI TRAMOS COMPRENDIDOS ENTRE AV. PACHACUTEC Y LOMO CORVINA DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR - PROVINCIA DE LIMA - DEPARTAMENTO DE LIMA	03	31/08/2020
MEJORAMIENTO DEL ENTORNO URBANO EN LA AVENIDA SEPARADORA INDUSTRIAL DESDE LA AV. CÉSAR VALLEJO HASTA LA AV. MARIA REICHE, DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR - PROVINCIA DE LIMA - DEPARTAMENTO DE LIMA	04	19/01/2021
CREACIÓN DE PISTAS Y VEREDAS EN LA AVENIDA REAL, AVENIDA LAS FLORES Y CALLE LAS ROSAS DEL DISTRITO DE SANTA MARÍA - PROVINCIA DE HUAURA - DEPARTAMENTO DE LIMA	05	16/12/2020

En la tabla 6.3, se muestra un resumen de los costos encontrados en los 5 proyectos. Los valores de los costos de las partidas “Pavimento de concreto e=0.2 m”, “Vereda de concreto e=0.1 m” y “Bancas de madera de 1.8m espesor” fueron adaptados a las características de pavimento, de vereda y de tamaño de las bancas de madera escogidas para este proyecto. Además, se muestra el promedio utilizado para la estimación del costo de implementación de la propuesta de rediseño.

Tabla 6.3

Resumen de costos de los 5 proyectos

Partida	Unidad	Costos					Promedio
		Proyecto 1	Proyecto 2	Proyecto 3	Proyecto 4	Proyecto 5	
Pavimento de concreto e=0.2 m	m ²	S/.315.08	S/.364.88	S/.346.51	-	S/.307.84	S/.333.58
Vereda de concreto e=0.1 m	m ²	S/.89.75	S/.77.24	S/.98.77	S/.74.51	S/.98.71	S/.87.80
Señalización en piso (horizontal)	m ²	S/.16.35	S/.20.70	S/.38.57	-	S/.9.87	S/.21.37
Señal preventiva	und	S/.315.55	S/.238.17	-	-	S/.380.00	S/.311.24
Señal reguladora	und	S/.320.00	S/.203.17	-	-	-	S/.261.59
Bancas de madera de 1.8 m	und	S/.274.19	-	S/.300.00	-	-	S/.287.10
Sembrado de gras	m ²	S/.13.24	S/.16.74	-	-	-	S/.14.99
Sembrado de árboles	und	S/.71.83	S/.51.00	-	-	S/.54.33	S/.59.05
Línea discontinua separadora de carriles	m	-	-	S/.2.07	-	-	S/.2.07

Finalmente, se muestra el cálculo del costo de la implementación del proyecto en la tabla 6.4. Se obtuvo un costo de inversión estimado de **S/.15,813,343.53**. Asimismo, en la tabla 6.5 se muestran los otros gastos que el proyecto conlleva, que son los estudios de preinversión, elaboración de expediente técnico, costo de supervisión e imprevistos. Estos valores se estimaron de igual manera que el Costo Directo (CD), Gastos Generales y Utilidad, de acuerdo a la experiencia de los autores.

Tabla 6.4

Costo total del proyecto

Partida	Unidad	Cantidad	Costo	Parcial
Mantenimiento de tránsito y seguridad vial	global	1.00	S/.267,416.72	S/.267,416.72
Pavimento de concreto e=0.20 m	m2	26,925.35	S/.333.58	S/.8,981,691.61
Vereda de concreto e= 0.10 m	m2	16,700.46	S/.87.80	S/.1,466,233.67
Línea divisoria de carril discontinua e=0.1m	und	4,950.71	S/.2.07	S/.10,247.96
Señalización en piso (horizontal)	m2	785.90	S/.21.37	S/.16,796.56
Señal reguladora	und	4.00	S/.261.59	S/.1,046.34
Bancas de madera	und	126.00	S/.287.10	S/.36,174.22
Sembrado de gras	m2	5,223.87	S/.14.99	S/.78,305.83
Sembrado de árboles	m2	632.00	S/.59.05	S/.37,321.71
			Costo directo (CD)	S/.10,895,234.62
			Gastos Generales	S/.1,634,285.19
			Utilidad (8% CD)	S/.871,618.77
			Subtotal	S/.13,401,138.58
			IGV (18% cd)	S/.2,412,204.94
			Costo Total	S/.15,813,343.53

Tabla 6.5

Costos inherentes al proyecto de inversión

Ítem	Costo estimado
Estudio de Preinversión y Elaboración de Expediente Técnico (3% de CT)	S/.474,400.31
Costo de supervisión (8% de CT)	S/.1,265,067.48
Imprevistos (5 % de CT)	S/.790,667.18

Capítulo 7: Comparación Entre Situaciones

7.1. Comparación de parámetros vehiculares

Como se mencionó en capítulos anteriores, se realizará una comparativa de los parámetros obtenidos mediante microsimulación de la situación actual contra la obtenida en el rediseño propuesto. En la tabla 7.1, se muestra el cambio entre las velocidades promedio de la intersección y entre las longitudes de cola para el caso de evaporación de 27.25% del volumen de tráfico original en el rediseño.

Tabla 7.1

Comparación entre parámetros vehiculares en la situación original y en el rediseño

Parámetros	Tramo	Situación	Rediseño (evaporación:	Cambio	Diferencia porcentual
		original	27.5%)		
Velocidad promedio (km/h)	E→W	55.27	47.90	- 7.37	-13.33%
	W→E	65.53	41.16	- 24.38	-37.20%
	S→N	23.69	46.74	23.05	97.28%
	N→S	25.07	38.58	13.51	53.86%
Longitudes de cola (veh)	E→W	24.41	99.35	74.94	307.00%
	W→E	18.70	18.21	- 0.49	-2.60%
	S→N	231.85	119.85	- 112.00	-48.31%
	N→S	21.68	120.60	98.92	456.26%

7.2. Comparación cualitativa de flujo y accesibilidad peatonal

Para hacer esta comparación, se empleó parte de la lista de chequeo propuesta por la Alcaldía de Bogotá. Las respuestas y comentarios completos se pueden encontrar en el Anexo 13.

Los principales problemas de seguridad de la intersección actual vienen dados por la falta de adaptaciones para las personas con movilidad reducida, la falta de intervisibilidad de peatones y conductores en los refugios, la cercanía de las ciclovías con las calzadas y el haber diseñado sin tener en consideración las líneas de deseo peatonal. Por otro lado, pese a que en teoría los vehículos que doblan deben dar prioridad al peatón que está atravesando la calzada,

esto casi nunca sucedía. Se requería proteger mediante separación de fases los cruces peatonales.

Las líneas de deseo peatonal se ven afectadas en buena medida por la presencia de un supermercado. Cuando las personas salían del mismo, preferían cruzar por donde no había nada señalizado para ahorrarse el tener que caminar hacia la esquina.

La presencia de un gran comercio de muebles causaba obstrucciones en la vereda. Los vendedores recibían pedidos y los dejaban en la calle un rato hasta ingresarlos a su local mientras que los compradores los tenían allí mientras esperaban su transporte. Se busca resolver este problema mediante la inclusión de estacionamientos cercanos en los que se puedan ubicar los vehículos que recogen estos productos y mediante la reducción de espacios apropiados para abandonar mercancía.

Las diferencias más resaltantes entre la situación original y el rediseño son capturadas por dos medidas importantes, la distancia máxima de cruce (entre veredas) y entre dos cruces consecutivos. La comparación entre estas medidas entre la situación original y el rediseño se presentan en la tabla 7.2.

Tabla 7.2

Comparación entre distancias máximas de cruce y entre cruces en la situación original y en el rediseño

Parámetros	Situación original	Rediseño	Cambio	Rediseño como porcentaje del original
Distancia máxima de cruce (m)	41.67	31.67	- 10.0	76.00%
Distancia máxima entre cruces (m)	460.0	198.1	- 261.9	43.06%

7.3. Comparación de emisiones

Se procede a comparar las emisiones contaminantes calculadas a partir de la metodología descrita en la sección 3.4. Nótese que en todos los casos las emisiones se reducen en gran medida, pues como máximo son el 56.54 % del total.

Tabla 7.3

Comparación entre emisiones en la situación original y en el rediseño

Emisión	Situación original (g)	Rediseño (g)	Cambio (g)	Rediseño como porcentaje del original
CO₂ (g)	1 776 216.8	1 291 909.0	- 484 307.8	72.73%
CO (g)	81 992.1	39 217.5	- 42 774.6	47.83%
NOX (g)	7 447.9	5 714.2	- 1 733.7	76.72%
HC (mg)	3 057.7	2 155.8	- 901.9	70.50%

7.4. Comparación de costo

En la tabla 7.4 se muestra la comparación de costos de acuerdo a los valores obtenidos de la estimación de costo de implementación en el capítulo 6 y con el costo de obra de la situación original.

Tabla 7.4

Comparación entre costos

Situación original (al 2021)	Propuesta de rediseño	Ahorro	Diferencia porcentual
S/.57,556,629.62	S/.15,797,956.47	S/.41,758,673.15	-72.55%

7.5. Discusión

La reducción de las emisiones contaminantes a cerca de 3/4 e incluso a poco más de la mitad para el caso del monóxido de carbono (CO) permite afirmar que el rediseño propuesto mejoraría la calidad del aire en la zona. Esto, como se describió anteriormente, significaría

que quienes residen o laboran en las cercanías estarían menos expuestos a contaminantes respirables que a largo plazo podrían terminar causando enfermedades respiratorias. Otro punto que contribuye a ello es el aumento de árboles que absorben dióxido de carbono.

En cuanto a los valores presentados en la tabla 7.1, un cambio significativo en las velocidades promedio y un aumento importante en las longitudes de cola. En tanto a las velocidades promedio, en los tramos $E \rightarrow W$ y $W \rightarrow E$, la velocidad promedio disminuye. Esto puede explicarse debido a que en la situación original, estas eran las rutas por las que existía el paso a desnivel, por lo que ahora, al no tener un paso libre de semáforos, los vehículos en promedio irán más lento. Asimismo, para los tramos de la avenida Universitaria ($N \rightarrow S$ y $S \rightarrow N$) se nota un incremento en esta velocidad; esto se puede explicar con que las condiciones de infraestructura no varían mucho respecto a la situación original y con que los datos obtenidos son para un volumen de tráfico menor que el que actualmente se tiene. Por otro lado, para las longitudes de cola, se puede mencionar que el aumento en la ruta $E \rightarrow W$ es esperable debido a la reducción de 5 a 3 carriles, a diferencia de los 4 que se consideró para la ruta $W \rightarrow E$. Asimismo, para la ruta $N \rightarrow S$ sucede algo similar a la situación mencionada anteriormente, pues se redujeron los carriles de 4 más exclusivo de giro a solo 3. Debido a este cambio, el resultado de aumento en la cola es esperable.

Es muy evidente que, de acuerdo con la comparación resumida en la tabla 7.4, existe una reducción significativa de más del 70% en el costo de implementación de la propuesta de rediseño respecto al costo que resultó de la construcción del actual paso a desnivel. Para comprender esta diferencia, es menester mencionar que se trata de dos infraestructuras distintas: la construcción de un paso a desnivel conlleva el diseño y construcción de puentes. Para este caso en particular, la estructura cuenta con dos puentes, uno al lado del otro. Esto significa que se requiere mucha mayor cantidad de material, espacio y tiempo de construcción, lo que finalmente se traduce en un costo de implementación superior. De esta

manera, la propuesta de rediseño mostrada en la presente tesis, mediante medidas de gestión de tránsito, se presenta como una alternativa mucho más económica para el Estado que la actual.



Capítulo 8: Conclusiones y Recomendaciones

8.1. Conclusiones

Con respecto a las condiciones de flujo vehicular, se puede observar que las colas indican que el flujo se ralentiza en un rediseño a nivel. Sin embargo, los otros beneficios para la ciudad y —sobre todo— para los usuarios peatonales de la intersección son elevados y compensan este aumento de las colas y demoras. Asimismo, con respecto a las velocidades promedio, se puede observar que, en general para toda la intersección, no existe una disminución muy significativa en este aspecto.

La calibración y validación del modelo mediante un proceso iterativo es de vital importancia para que este pueda acercarse lo máximo posible a representar la realidad; esto es particularmente importante en Lima, debido a que los conductores tienen un comportamiento muy cambiante entre vehículos, predominante agresivo y a que existe un alto porcentaje de conductores que ignora señales reglamentarias. Sin embargo, es por estos últimos factores que, a pesar de que el modelo esté calibrado y validado, es imposible obtener una representación completamente fiable del comportamiento de conducción en la zona. Esto resultó fácil de notar durante el procesamiento de los datos obtenidos de las grabaciones con dron.

Un rediseño de la intersección permitiría mejorar la calidad del aire en la zona y prevendría enfermedades respiratorias a futuro de quienes habitan y laboran cerca.

Es clave señalar que un rediseño a nivel habría resultado más barato para la autoridad ejecutora en un 73 %. El ahorro es tan significativo que implica que siempre debería evaluarse un rediseño a nivel con medidas de gestión del tránsito como reprogramación de semáforos, carriles de giro a la izquierda e islas centrales mucho antes de considerar pasos a desnivel.

Otro punto importante a resaltar es que un paso a desnivel genera muchos problemas de accesibilidad y seguridad peatonal y ciclista. Un rediseño a nivel de la intersección

permite evitarlos y promover una ciudad donde estos usuarios tengan espacios donde son prioridad y pueden circular con seguridad.

Los indicadores analizados con respecto a calidad del espacio, accesibilidad peatonal y vehicular indican que es posible reconciliar los espacios urbanos con un diseño que dé prioridad a que los ciudadanos de a pie, quienes circulan por la intersección a diario para desplazarse en la zona, hacer compras o tomar transporte público, quienes son el sustento de la vida urbana. Es posible pensar en una ciudad mejor. No obstante, para que un rediseño a nivel no afecte el desplazamiento de personas que toman transporte público (una mayoría en Lima), se requiere pensar en medios de transporte masivos que se separen del tráfico vehicular. Ello por supuesto implica planificación e inversión a una escala mucho mayor que una intersección. Lima lo requiere con urgencia.

8.2. Recomendaciones

- ❖ Visitar intersecciones de forma virtual mediante Google Maps permite prever problemas que se podrían observar al visitarla de forma presencial.
- ❖ El empleo de la grabación por dron facilita la recolección de información, minimiza errores humanos que el conteo en el momento podría producir y reduce la cantidad de personas necesarias para recolectar datos. También evita exponer a las personas a una zona contaminada y con inseguridad ciudadana.
- ❖ Para plantear giros hacia la izquierda tangenciales, es necesario demarcar de forma continua el recorrido que los vehículos deben seguir y señalar con anticipación que se trata de un giro de este tipo. Ello debido a que este tipo de giros no son demasiado comunes en el Perú y podrían llevar a confusiones por parte de los automovilistas.

Bibliografía

Acuerdo de Concejo Metropolitano de Lima n.º 395 de 2007. Aprobación de la

Reestructuración de los Presupuestos de los Proyectos de Inversión que son financiados con los recursos a obtenerse por la Emisión de Bonos Municipales de la Titulización del Peaje.

http://www.transparencia.munlima.gob.pe/gobierno-abierto-municipal/transparencia/mml/datos-generales/disposiciones-emitidas-1/acuerdos-de-concejo/doc_download/26851-acuerdo-de-concejo-395

Acuerdo de Concejo Metropolitano de Lima n.º 273 de 2009. Incorporación en el Plan de

Acción y Presupuesto 2009 de la Municipalidad Metropolitana de Lima de la Ampliación Presupuestal del Proyecto de Inversión “Intercambio Vial Av. Universitaria-Av. Oscar R. Benavides (Ex Colonial).”

http://www.transparencia.munlima.gob.pe/gobierno-abierto-municipal/transparencia/mml/datos-generales/disposiciones-emitidas-1/acuerdos-de-concejo/doc_download/27901-acuerdo-de-concejo-273

Alcaldía de Bogotá (s.f.) *Guía de Auditorías de Seguridad Vial en Vías Urbanas*. Alcaldía de Bogotá.

Alvarez, J. (2017). *Micro-Simulación intermodal en la ciudad del Cusco empleando los software VISSIM 8 y VISWALK 8* [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú] <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/8642>

Arqandina (s. f.). Arqandina Historia, Periodo 4: 1945-1965, Galería de Fotos y Planos.

<https://www.arqandina.com/pages/p4/f413.htm>

Benitez-Perez, L. E., y Páramo, P. (2021). Espacio público en discusión: el caso del parque

Japón en Bogotá Colombia. *Bitácora Urbano Territorial*, 31(2), 203–214.

<https://doi.org/10.15446/bitacora.v31n2.86157>

- Chura, C. (2018). *Rediseño y microanálisis de la intersección de los jirones Oquendo, Tacna, Los Incas y Av. La Torre, Puno*. [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú] <http://hdl.handle.net/20.500.12404/13423>
- Congreso de la República del Perú. (2001). La nueva Vía Expresa Javier Prado constituye un anhelo largamente acariciado por los usuarios debido a que es uno de los más importantes ejes de distribución vehicular en Lima
<https://www4.congreso.gob.pe/congresista/2001/namprimo/documentos/obrasdecorazon.htm>
- Costa, L. G. y Cole, T. B., Coburn, J., Chang, Y.-C., Dao, K., y Roqué, P. J. (2017). Neurotoxicity of traffic-related air pollution. *NeuroToxicology*, 59, 133–139.
<https://doi.org/10.1016/j.neuro.2015.11.008>
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (1992).
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf>
- Decreto Ley n.º 25789 de 1992. Derogan todas las disposiciones que prohíban o restrinjan la importación de bienes usados. 14 de octubre de 1992.
<https://docs.peru.justia.com/federales/decretos-leyes/25789-oct-14-1992.pdf>
- Dextre, J. C. y Avellaneda, P. (2014). *Movilidad en zonas urbanas*. Fondo Editorial PUCP.
- Dirección General de Medio Ambiente de la Comisión Europea (2004). *Reclaiming city streets for people: Chaos or quality of life?* Oficina de Publicaciones Oficiales de la Unión Europea.
- Federal Highway Administration. (2019). Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software (Vol. III) [Review of Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software].

- Fernandes, P., Bandeira, J. M., Fontes, T., Ramos Pereira, S., Schroeder, B. J., Roupail, N. M., y Coelho, M. C. (2016). Traffic restriction policies in an urban avenue: A methodological overview for a trade-off analysis of traffic and emission impacts using microsimulation. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(3), 201–215. <https://doi.org/10.1080/15568318.2014.885622>
- Fernández, R. y Dextre, J. C. (2011). *Elementos de la teoría del tráfico vehicular*. Fondo Editorial PUCP.
- Fernández-Maldonado, A. M. (2014). La marcha de las barriadas en la segunda mitad del siglo XX. En A. Panfichi & C. Aguirre (Eds.), *Lima Siglo XX* (pp. 36–53). Fondo Editorial PUCP.
- Gehl, J. y Gemzoe, L. (2002). *Nuevos Espacios Urbanos*. Editorial Gustavo Gili.
- Gehl, J. (2010). *Cities for People*. Island Press.
- Hidalgo-Solórzano, E., Campuzano-Rincón, J., Rodríguez-Hernández, J., Chias-Becerril, L., Reséndiz-López, H., Sánchez-Restrepo, H., Baranda-Sepúlveda, B., Franco-Arias, C. e Híjar, M. (2010). Motivos de uso y no uso de puentes peatonales en la Ciudad de México: la perspectiva de los peatones. *Salud Pública Mex*, 52(6), 502-510. <http://doi.org/10.1590/S0036-36342010000600004>
- Higgs, B., Abbas, M., & Medina, A. A. (2011). Analysis of the Wiedemann Car Following Model over Different Speeds Using Naturalistic Data [Review of Analysis of the Wiedemann Car Following Model over Different Speeds Using Naturalistic Data]. https://www.researchgate.net/publication/281302974_Analysis_of_the_Wiedemann_Car_Following_Model_over_Different_Speeds_using_Naturalistic_Data

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2019). *Víctimas de accidentes de tránsito fatales, según departamento* [reporte].

<https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/traffic-accidents/>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). (2021). Resolución Jefatural n° 205-202-inei. Índices de Precios al Consumidor a Nivel Nacional y de Lima Metropolitana correspondientes al mes de agosto de 2021.

Ley 13517 de 1961. Declarado de necesidad y utilidad públicas e interés nacional la remodelación, saneamiento legalización de los Barrios Marginales o BARRIADAS, existentes en las áreas urbanas y sub-urbanas del territorio nacional. 14 de febrero de 1961. <https://peru.justia.com/federales/leyes/13517-feb-14-1961/gdoc/>

Nerem, S. (2013). Vehicle Weight in Gipps' Car-Following Model.

<https://core.ac.uk/download/pdf/52097719.pdf>

Oficina Europea de la Organización Mundial de la Salud (OMS). (2016). *Urban green spaces: a brief for action*. Organización Mundial de la Salud: Oficina Regional Europea. OMS.

https://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0010/342289/Urban-Green-Spaces_EN_WHO_web3.pdf

Páez, J. (2009). LA INTERPOLACIÓN LINEAL EN LA DISTRIBUCIÓN T: valores y errores [Review of LA INTERPOLACIÓN LINEAL EN LA DISTRIBUCIÓN T: valores y errores]. SABER. Revista Multidisciplinaria Del Consejo de Investigación de La Universidad de Oriente, 21(3), 261–268.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=427739442008>

Pérez Darquea, D. G. (2018). Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. INNOVA Research Journal, 3(3), 23-34.

<https://doi.org/10.33890/innova.v3.n3.2018.635>

PTV Vissim new. (2020, October 22). PTV-Group.

<https://www.ptvgroup.com/en/solutions/products/ptv-vissim/>

Racero, J., Canca, D., Sánchez, J., Jiménez, F. y Muñuzuri, J. (2001). Modelo de cambio de carril para un simulador microscópico de tráfico urbano.

Ramón, G. (2004). *Ensayos en Ciencias Sociales*. Fondo Editorial de la Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional Mayor De San Marcos.

Ranjitkar, P., Nakatsuji, T., Kawamura, A. (2005) *Car-following Models: An Experiment Based Benchmarking*, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, vol. 6, pp. 1582-1596. <https://doi.org/10.11175/easts.6.1582>

Redacción Correo (2017). Lima es la gran ciudad sin jardín. *Correo*.

<https://diariocorreo.pe/peru/lima-es-la-gran-ciudad-sin-jardin-753842/>

Roca, A. (2019). *Análisis y rediseño de la intersección de av. La Molina y av. Víctor Malasquez* [Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]

<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15893>

Romero, Y., Chicchon, N., Duarte, F., Noel, J., Ratti, C., y Nyhan, M. (2019). Quantifying and spatial disaggregation of air pollution emissions from ground transportation in a developing country context: Case study for the Lima Metropolitan Area in Peru.

Science of The Total Environment. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134313>

Salud Madrid (2018). Efectos del tráfico sobre la salud. Página de Salud Pública Del

Ayuntamiento de Madrid. <https://madridsalud.es/efectos-del-traffic-sobre-la-salud/>

Siddharth, S. M. P. y Ramadurai, G. (2013). Calibration of VISSIM for Indian Heterogeneous Traffic Conditions. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 104, 380–389.

<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.131>

Sims, R., Schaeffer, R., Creutzig, F., Cruz-Núñez, X., D'Agosto, M., Dimitriu, D., Figueroa Meza, M.J., Fulton, L., Kobayashi, S., Lah, O., McKinnon, A., Newman, P., Ouyang,

- M., Schauer, J.J., Sperling, D., y Tiwari, G. (2014). Transport. En Edenhofer, O., Pichs-Madruga, R., Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel y Minx, J.C. (Ed.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 599–670). Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_full.pdf
- Stromberg, J. (2015, May 14). Highways gutted American cities. So why did they build them? Vox; Vox. <https://www.vox.com/2015/5/14/8605917/highways-interstate-cities-history>
- Thomson, I., y Bull, A. (2001). *La congestión del tránsito urbano : causas y consecuencias económicas y sociales*. Santiago De Chile Naciones Unidas, Cepal, Div. De Recursos Naturales E Infraestructura, Unidad De Transporte.
- Toyota. (2019). Cómo afecta la contaminación a tu salud | Toyota España. <https://www.toyota.es/world-of-toyota/articles-news-events/2019/efectos-contaminacion-salud-toyota>
- Valcarcel Ruiz, M. (2019). Lima, metrópoli bicéfala: reflexiones sobre su configuración urbana rumbo a los quinientos años de su fundación. *Alternativa Financiera*, 11(1), 26–50. <https://doi.org/10.24265/afi.2020.v11n1.03>
- Zahra, A. N., & Herlily, H. (2018). Reclaiming the Street for Pedestrians as a Sustainable City Approach. *International Journal of Technology*, 9(7), 1365. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i7.2521>
- Zubieta, R. (2013). Las combis: más de 20 años de un mal que debe desaparecer del transporte público. *El Comercio*.

<https://elcomercio.pe/sociedad/lima/combis-mas-20-anos-mal-que-desaparecer-transp-orte-publico-noticia-1571324/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**Comparativa del paso a desnivel existente contra un rediseño
a nivel en la intersección de las avenidas Universitaria y
Oscar R. Benavides**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

ANEXOS

AUTORES

Alfredo Victor Altamirano Garay
Marco Fabrizio Diaz Mora

ASESOR

Juan Carlos Dextre Quijandría

Lima, julio de 2023

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Resultados del aforo vehicular	1
Anexo 2 Resultados del conteo peatonal y de bicicletas	2
Anexo 3 Tiempos de viaje medidos en campo para periodo crítico	3
Anexo 4 Resultados de tiempos de viaje de simulación para periodo crítico	4
Anexo 5 Tiempos de viaje medidos en campo para periodo de validación	5
Anexo 6 Resultados de tiempos de viaje de simulación para validación	6
Anexo 7 Resultados de Longitudes de cola de la situación original	7
Anexo 8 Resultados de velocidad de viaje promedio en situación original	8
Anexo 9 Plano de rediseño	9
Anexo 10 Análisis de sensibilidad para resultados de longitudes de cola del rediseño	10
Anexo 11 Resultados de tiempos de viaje de simulación para rediseño	11
Anexo 12 Resultados de velocidad de viaje promedio en el rediseño	12
Anexo 13 Lista de chequeo	13



Anexo I Resultados del aforo vehicular
 Aforo de vehículos
 Fecha: Miércoles 04/08/2021
 Benavides

Benavides W-E																																						
Aforador (a):																																						
N° de vuelo	Intervalo	Duración	Duración	MOVIMIENTO 1							MOVIMIENTO 2							MOVIMIENTO 2i							MOVIMIENTO 2d							MOVIMIENTO 2u						
				Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)	Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)	Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)	Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)	Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)
1	16:41 - 16:57	15:52:00	15:87	234	36	19	4	5	298	1,127	41	5	21	2	1	70	265	4	0	0	1	0	5	19	47	4	2	0	0	53	201	32	8	0	3	0	43	163
2	17:04 - 17:22	18:12:00	18:20	264	30	21	8	7	330	1,088	46	8	28	2	0	84	277	7	3	0	0	0	10	33	38	8	2	3	0	51	169	27	8	1	3	0	39	129
3	17:29 - 17:47	18:00:00	18:00	319	38	8	4	18	387	1,290	35	10	25	1	0	71	237	5	3	0	2	0	10	34	76	14	4	3	0	97	324	35	5	2	3	0	45	150
4	17:52 - 18:11	19:17:00	19:28	301	39	21	2	2	365	1,136	76	7	29	1	0	113	352	3	1	0	0	0	4	13	89	13	3	3	1	109	340	35	3	1	2	0	41	128
5	18:23 - 18:39	17:59:00	17:98	333	34	10	1	1	379	1,265	62	5	27	1	0	95	317	6	0	0	0	0	6	21	76	15	6	7	1	105	351	43	1	1	1	0	46	154
6	18:46 - 19:05	18:40:00	18:67	340	39	11	2	4	396	1,273	65	13	27	0	0	105	338	16	1	0	0	0	17	55	105	14	4	7	0	130	418	27	4	1	1	0	33	107

Benavides E-W																																						
Aforador (a):																																						
N° de vuelo	Intervalo	Duración	Duración	MOVIMIENTO 3							MOVIMIENTO 4							MOVIMIENTO 4i							MOVIMIENTO 4d							MOVIMIENTO 4u						
				Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)	Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)	Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)	Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)	Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)
1	16:41 - 16:57	15:52:00	15:87	264	45	34	3	12	358	1,354	55	14	28	10	1	108	409	19	8	2	2	0	31	118	5	2	0	0	7	27	14	4	0	0	0	18	69	
2	17:04 - 17:22	18:12:00	18:20	321	37	46	3	4	411	1,355	40	17	29	9	1	96	317	10	10	2	1	0	23	76	5	5	1	0	0	11	37	9	3	1	0	0	13	43
3	17:29 - 17:47	18:00:00	18:00	326	44	27	4	7	408	1,360	63	19	35	8	2	127	424	16	7	2	0	0	25	84	8	2	0	1	1	12	40	16	2	1	0	0	19	64
4	17:52 - 18:11	19:17:00	19:28	336	54	26	2	6	424	1,320	80	11	28	7	2	128	399	37	6	1	0	2	46	144	12	1	0	0	0	13	41	25	1	1	0	0	27	85
5	17:52 - 18:11	17:59:00	17:98	281	47	19	0	2	349	1,165	61	15	35	7	0	118	394	21	7	4	0	0	32	107	16	1	1	0	0	18	61	20	2	1	0	0	23	77
6	18:46 - 19:05	18:40:00	18:67	281	36	9	2	2	330	1,061	15	40	6	0	27	88	283	37	13	1	0	0	51	164	9	3	0	0	0	12	39	19	3	0	0	0	22	71

Universitaria

UNIVERSITARIAS--N																																						
Aforador (a):																																						
N° de vuelo	Intervalo	Duración	Duración	MOVIMIENTO 1							MOVIMIENTO 1i							MOVIMIENTO 1d							MOVIMIENTO 1u													
				Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)	Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)	Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)	Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)							
1	16:41 - 16:57	15:52:00	15:87	175	40	22	15	4	256	969	16	2	2	0	0	20	76	25	6	4	0	0	35	118	5	2	0	0	7	27	14	4	0	0	0	18	69	
2	17:04 - 17:22	18:12:00	18:20	189	48	35	14	5	291	960	47	4	7	0	0	58	192	26	11	4	0	0	41	136	5	5	1	0	0	11	37	9	3	1	0	0	13	43
3	17:29 - 17:47	18:00:00	18:00	216	84	39	18	8	365	1,217	59	6	4	0	0	69	230	46	0	4	0	0	50	167	8	2	0	1	1	12	40	16	2	1	0	0	19	64
4	17:52 - 18:11	19:17:00	19:28	306	108	59	21	8	502	1,562	42	5	3	0	0	50	156	54	10	5	0	0	69	215	12	1	0	0	0	13	41	25	1	1	0	0	27	85
5	17:52 - 18:11	17:59:00	17:98	217	85	35	18	3	358	1,195	39	7	5	0	0	51	171	47	5	5	0	1	58	194	16	1	1	0	0	18	61	20	2	1	0	0	23	77
6	18:46 - 19:05	18:40:00	18:67	217	75	22	21	3	338	1,087	68	12	7	0	0	87	280	51	4	2	0	0	57	184	9	3	0	0	0	12	39	19	3	0	0	0	22	71

UNIVERSITARIAS--S																																						
Aforador (a):																																						
N° de vuelo	Intervalo	Duración	Duración	MOVIMIENTO 2							MOVIMIENTO 2i							MOVIMIENTO 2d							MOVIMIENTO 2u													
				Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)	Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)	Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)	Autos	Motos	Combi	Buses	Camiones	Total Veh.	Demanda (veh/h)							
1	16:41 - 16:57	15:52:00	15:87	9	10	1	0	0	20	76	183	12	31	18	1	245	927	50	7	2	0	0	59	224	5	2	0	0	7	27	14	4	0	0	0	18	69	
2	17:04 - 17:22	18:12:00	18:20	10	14	1	0	0	25	83	189	35	27	14	2	267	881	54	4	3	0	0	61	202	5	5	1	0	0	11	37	9	3	1	0	0	13	43
3	17:29 - 17:47	18:00:00	18:00	12	13	1	1	0	27	90	193	33	23	16	1	266	887	47	5	3	0	1	56	187	8	2	0	1	1	12	40	16	2	1	0	0	19	64
4	17:52 - 18:11	19:17:00	19:28	9	13	1	0	0	23	72	159	31	30	19	1	240	747	41	9	1	0	1	52	162	12	1	0	0	0	13	41	25	1	1	0	0	27	85
5	17:52 - 18:11	17:59:00	17:98	12	11	1	0	0	24	81	186	23	21	8	1	239	798	44	9	2	1	0	56	187	16	1	1	0	0	18	61	20	2	1	0	0	23	77
6	18:46 - 19:05	18:40:00	18:67	15	15	1	0	0	31	100	199	24	26	13	0	262	843	48	2	0	1	0	51	164	9	3	0	0	0	12	39	19	3	0	0	0	22	71

Anexo 2 - Resultados del conteo peatonal y de bicicletas

Aforo de peatones y bicis

FECHA: Miercoles 04/08/21

				Movimientos peatonales															
				1		2		3		4		5		6		7		8	
N° Video	Intervalo	Duración (min:seg)	Duración (min)	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
2	16:41 - 16:57	18:12:00	18.20	28	54	85	21	74	51	47	38	25	20	93	56	43	49	40	37
Demanda (peatones/h)				88	169	265	66	231	159	147	119	78	63	290	175	134	153	125	116
4	17:52 - 18:11	19:17:00	19.28	29	75	93	25	53	88	55	63	40	26	68	52	72	105	97	123
Demanda (peatones/h)				91	234	290	78	165	274	172	197	125	81	212	162	225	327	302	383

				Bicicletas															
				1		2		3		4		5		6		7		8	
N° Video	Intervalo	Duración (min:seg)	Duración (min)	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
2	16:41 - 16:57	18:12:00	18.20	13	16	10	9	10	7	15	14	4	6	20	21	12	8	11	16
Demanda (bicis/h)				41	50	32	29	32	22	47	44	13	19	63	66	38	25	35	50
4	17:52 - 18:11	19:17:00	19.28	17	38	21	13	10	14	21	7	8	6	23	26	14	16	20	19
Demanda (bicis/h)				53	119	66	41	32	44	66	22	25	19	72	81	44	50	63	60

Anexo 3 -Tiempos de viaje medidos en campo para periodo crítico

Tramo de 27.3 m

Medición	Tipo	Tiempos de viaje (s)	Velocidad (km/h)
1	Auto	2.62	37.51
2	Auto	2.67	36.81
3	Moto	2.30	42.73
4	Auto	2.70	36.40
5	Auto	2.69	36.54
6	Auto	2.30	42.73
7	Auto	2.60	37.80
8	Auto	2.90	33.89
9	Auto	2.40	40.95
10	Auto	2.28	43.11
11	Auto	2.37	41.47
12	Combi	2.75	35.74
13	Auto	3.20	30.71
14	Auto	3.39	28.99
15	Bus	4.50	21.84
16	Moto	3.20	30.71
17	Moto	2.20	44.67
18	Auto	2.50	39.31
19	Combi	2.36	41.64
20	Auto	2.87	34.24
21	Moto	2.73	36.00
22	Auto	4.00	24.57
23	Camión	3.00	32.76
24	Auto	2.90	33.89
25	Auto	2.62	37.51
26	Auto	2.82	34.85
27	Moto	3.50	28.08
28	Bus	4.01	24.51
29	Combi	2.92	33.66
30	Auto	1.90	51.73
Promedio		2.84	35.85
Desviación estándar		0.58	6.51
N. mínimo de mediciones		18	14

Anexo 4 - Resultados de tiempos de viaje de simulación para periodo crítico

Situación original (ax = 1.00, bxadd = 4.50 y bxmult = 4.75)					
N.º	SimRun	Tiempo	N.º de vehículos	Tiempo de viaje (s)	Velocidad (km/h)
1	121	600-3600	1058	2.661	36.93
2	122	600-3600	1046	2.639	37.24
3	123	600-3600	1007	2.633	37.32
4	124	600-3600	962	2.641	37.21
5	125	600-3600	1026	2.654	37.03
6	126	600-3600	1048	2.663	36.91
7	127	600-3600	1077	2.653	37.05
8	128	600-3600	1027	2.645	37.15
9	129	600-3600	995	2.626	37.42
10	130	600-3600	1039	2.626	37.42
11	131	600-3600	1016	2.652	37.06
12	132	600-3600	1034	2.640	37.23
13	133	600-3600	964	2.636	37.28
14	134	600-3600	1012	2.640	37.22
15	135	600-3600	1044	2.648	37.11
16	136	600-3600	919	2.631	37.35
17	137	600-3600	993	2.645	37.16
18	138	600-3600	983	2.650	37.09
19	139	600-3600	1027	2.635	37.30
20	140	600-3600	936	2.639	37.23
21	141	600-3600	1050	2.635	37.30
22	142	600-3600	1024	2.657	36.99
23	143	600-3600	1001	2.631	37.35
24	144	600-3600	961	2.636	37.28
25	145	600-3600	1027	2.636	37.29
26	146	600-3600	1019	2.648	37.11
27	147	600-3600	1044	2.656	37.00
28	148	600-3600	1031	2.628	37.40
29	149	600-3600	964	2.633	37.32
30	150	600-3600	984	2.638	37.25
Promedio				2.642	37.201
Desviación estándar				0.010	0.144

Anexo 5 -Tiempos de viaje medidos en campo para periodo de validación

Tramo de 27.3 m

Medición	Tipo	Tiempos de viaje (s)	Velocidad (km/h)
1	Auto	3.40	28.91
2	Auto	2.20	44.67
3	Auto	2.40	40.95
4	Bus	3.07	32.01
5	Moto	3.10	31.70
6	Moto	2.10	46.80
7	Auto	2.70	36.40
8	Auto	3.60	27.30
9	Combi	3.40	28.91
10	Moto	3.70	26.56
11	Auto	2.75	35.74
12	Bus	2.20	44.67
13	Auto	2.36	41.64
14	Moto	1.91	51.46
15	Auto	3.75	26.21
16	Auto	2.18	45.08
17	Combi	1.83	53.70
18	Bus	2.92	33.66
19	Moto	1.55	63.41
20	Moto	2.70	36.40
21	Auto	2.80	35.10
22	Auto	3.30	29.78
23	Auto	2.20	44.67
24	Auto	2.15	45.71
25	Moto	2.25	43.68
26	Auto	2.33	42.18
27	Camión	4.10	23.97
28	Moto	1.86	52.84
29	Auto	2.52	39.00
30	Camión	2.52	39.00
Promedio		2.66	39.07
Desviación estándar		0.65	9.43

Anexo 6 - Resultados de tiempos de viaje de simulación para validación

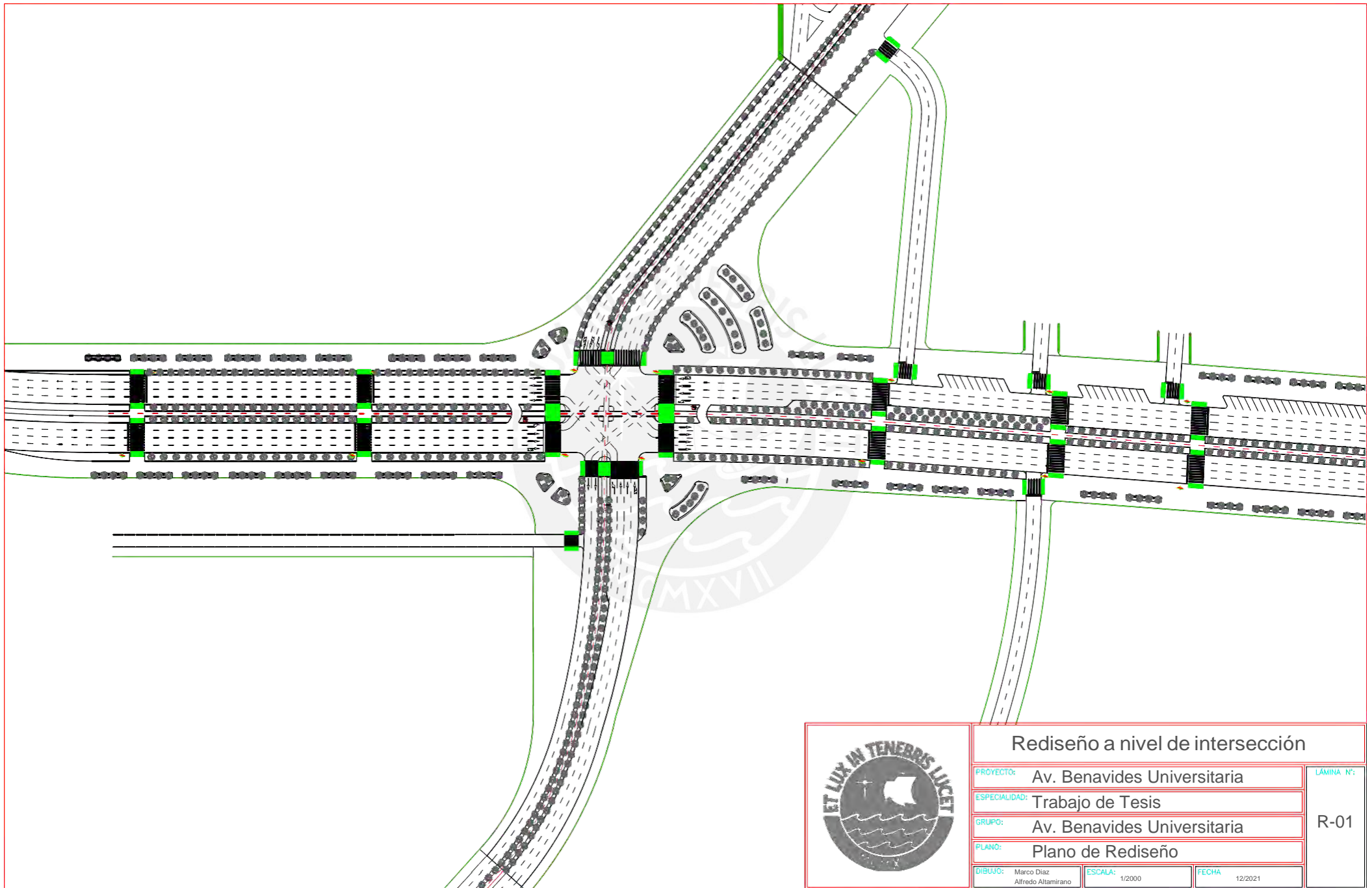
N.º	Tiempo (s)	N.º de vehículos	Tiempo de viaje (s)	Velocidad (km/h)
1	600-3600	1059	2.65	37.09
2	600-3600	1007	2.66	36.95
3	600-3600	926	2.65	37.09
4	600-3600	1043	2.66	36.95
5	600-3600	888	2.63	37.37
6	600-3600	948	2.65	37.09
7	600-3600	1046	2.66	36.95
8	600-3600	1045	2.65	37.09
9	600-3600	1025	2.64	37.23
10	600-3600	1048	2.65	37.09
11	600-3600	948	2.65	37.09
12	600-3600	920	2.65	37.09
13	600-3600	995	2.66	36.95
14	600-3600	1033	2.65	37.09
15	600-3600	985	2.64	37.23
16	600-3600	881	2.63	37.37
17	600-3600	952	2.66	36.95
18	600-3600	928	2.63	37.37
19	600-3600	1056	2.65	37.09
20	600-3600	1000	2.64	37.23
21	600-3600	1092	2.64	37.23
22	600-3600	1014	2.64	37.23
23	600-3600	1097	2.66	36.95
24	600-3600	951	2.64	37.23
25	600-3600	1010	2.64	37.23
26	600-3600	1015	2.65	37.09
27	600-3600	924	2.64	37.23
28	600-3600	1022	2.65	37.09
29	600-3600	997	2.65	37.09
30	600-3600	1013	2.66	36.95
Promedio			2.648	37.120
Desviación estándar			0.010	0.131

Anexo 7 - Resultados de Longitudes de cola de la situación original

N.º	Longitudes de cola (veh)			
	E→W	W→E	S→N	N→S
1	16.14	22.21	215.43	20.17
2	19.64	21.43	239.99	25.3
3	16.68	19.81	216.08	40.96
4	22.1	20.97	237.89	14.56
5	19.4	18.47	246.34	46.74
6	18.64	19.25	216.44	24.89
7	13.95	24.37	223.14	22.76
8	19.92	26.9	242.41	31.16
9	20.53	28.03	241.73	28.64
10	18.76	19.27	242.14	26.56
11	21.13	19.89	245.05	18.53
12	18.78	18.52	244.09	23.17
13	19.41	22.57	230.42	23.44
14	19.04	22.99	246.27	23.6
15	17.11	27.57	163.42	42.57
16	21.5	21.23	240.8	22.99
17	18.91	23.5	238.56	27
18	20.98	25.79	245.78	28.78
19	14.03	22.5	205.08	15.86
20	21.28	23.56	244.23	20.79
21	19.74	23.73	239.53	26.47
22	17.47	18.4	244.69	19.02
23	19.63	16.41	216.59	20.77
24	17.51	22.15	190.99	19.03
25	18.46	20.96	241.88	15.98
26	18.72	19.22	233.18	15.83
27	18.68	22.5	240.84	18.76
28	18.57	20.07	243.74	25.25
29	17.25	17.65	241.5	23.33
30	17.08	20.51	237.23	19.29
Promedio	18.70	21.68	231.85	24.41
Desviación estándar	1.96	2.92	18.97	7.70
Máximo	13.95	16.41	163.42	14.56
Mínimo	22.10	28.03	246.34	46.74

Anexo 8 - Resultados de velocidad de viaje promedio en situación original

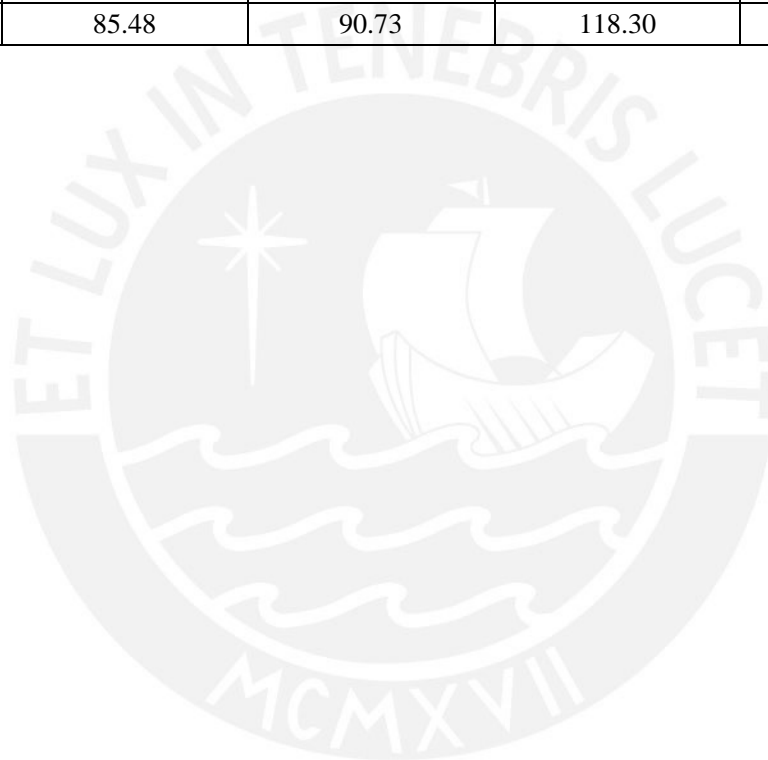
N°	Tiempo	Velocidad promedio (km/h)			
		E→W	W→E	S→N	N→S
1	600-3600	55.33	66.11	22.97	25.26
2	600-3600	54.71	64.62	22.69	24.77
3	600-3600	56.18	65.92	23.84	25.04
4	600-3600	55.66	65.93	24.13	24.93
5	600-3600	55.31	65.62	23.94	25.28
6	600-3600	55.31	65.52	24.53	25.17
7	600-3600	55.52	66.38	23.76	25.14
8	600-3600	55.61	65.78	23.77	25.03
9	600-3600	55.11	65.74	23.91	24.99
10	600-3600	55.25	65.37	23.66	25.11
11	600-3600	55.31	64.99	23.39	25.08
12	600-3600	55.75	65.17	24.46	25.16
13	600-3600	54.85	65.08	23.96	25.24
14	600-3600	54.97	65.56	24.11	24.92
15	600-3600	55.39	64.9	23.23	25.08
16	600-3600	55.03	64.94	23.67	25.11
17	600-3600	55.28	65.7	23.63	25.05
18	600-3600	54.99	65.56	23.11	24.93
19	600-3600	55.05	66.19	23.67	25.1
20	600-3600	54.73	65.6	23.46	25.05
Promedio		55.27	65.53	23.69	25.07
Desviación estándar		0.36	0.47	0.46	0.13
Mínimo		54.71	64.62	22.69	24.77
Máximo		56.18	66.38	24.53	25.28



	Rediseño a nivel de intersección		
	PROYECTO:	Av. Benavides Universitaria	LÁMINA N°: R-01
	ESPECIALIDAD:	Trabajo de Tesis	
	GRUPO:	Av. Benavides Universitaria	
	PLANO:	Plano de Rediseño	
DIBUJO:	Marco Diaz Alfredo Altamirano	ESCALA: 1/2000	FECHA: 12/2021

Anexo 10 - Análisis de sensibilidad para resultados de longitudes de cola del rediseño

% de tráfico	Longitudes de cola			
	E→W Rediseño	W→E Rediseño	S→N Rediseño	N→S Rediseño
0.500	3.57	2.99	45.05	16.94
0.550	4.19	4.08	59.14	25.88
0.600	16.97	4.29	117.66	32.25
0.650	36.13	6.16	117.42	31.76
0.700	100.11	8.84	118.81	89.57
0.725	99.35	18.21	119.85	120.60
0.750	114.40	46.10	119.40	124.76
0.800	80.20	81.63	119.27	132.26
0.850	91.50	93.36	119.05	133.62
0.900	93.71	104.66	118.51	134.26
0.950	115.17	91.49	117.57	134.04
1.000	85.48	90.73	118.30	134.51



Anexo 11 - Resultados de tiempos de viaje de simulación para rediseño

N.º	Tiempo	N.º de vehículos	Tiempo de viaje
1	600-3600	921	1.71
2	600-3600	865	1.72
3	600-3600	885	1.71
4	600-3600	835	1.73
5	600-3600	887	1.71
6	600-3600	830	1.73
7	600-3600	847	1.71
8	600-3600	888	1.73
9	600-3600	996	1.72
10	600-3600	915	1.71
11	600-3600	864	1.71
12	600-3600	828	1.73
13	600-3600	885	1.72
14	600-3600	887	1.72
15	600-3600	885	1.73
Promedio			1.72
Desviación estándar			0.01

Anexo 12 - Resultados de velocidad de viaje promedio en el rediseño

N°	Tiempo	Velocidad promedio (km/h)			
		E→W	W→E	S→N	N→S
1	600-3600	47.36	46.68	47.59	39.22
2	600-3600	48.39	39.4	48.31	38.98
3	600-3600	49.53	41.44	47.25	39.58
4	600-3600	50.52	37.9	46.07	38.63
5	600-3600	48.35	44.33	46.44	39.18
6	600-3600	48.15	42.15	47.08	38.69
7	600-3600	49.94	42.47	47.66	38.13
8	600-3600	47.89	39.95	46.6	37.64
9	600-3600	46.23	40.03	47.36	38.46
10	600-3600	48.87	43.11	46.7	39.06
11	600-3600	47.35	41.52	46.5	39.45
12	600-3600	45.33	40.52	45.91	39
13	600-3600	47.25	46.24	47.39	37.76
14	600-3600	46.9	37.36	46.14	37.72
15	600-3600	46.02	38.74	45.13	37.65
16	600-3600	48.87	44.25	46.76	38.53
17	600-3600	46.83	37.6	46.67	38.24
18	600-3600	48.07	36.76	47.1	38.86
19	600-3600	48.08	36.14	45.94	36.98
20	600-3600	48.03	46.54	46.27	39.78
Promedio		47.90	41.16	46.74	38.58
Desviación estándar		1.30	3.29	0.74	0.75
Mínimo		45.33	36.14	45.13	36.98
Máximo		50.52	46.68	48.31	39.78

Anexo 13 - Lista de chequeo

	Situación original	Rediseño
4. Urbanismo, entorno y aspectos socioeconómicos		
4.5 Infraestructuras peatonales		
¿Se requieren medidas especiales para determinados grupos por ejemplo para niños, personas de la tercera edad, personas enfermas, personas en condición de discapacidad (minusválidas, sordas o ciegas)?	Sí	Sí
¿Hay barandas donde se necesitan? (por ejemplo sobre puentes o rampas).	Sí	N. A.
Donde se requiere ¿hay elementos para peatones con movilidad reducida? (Por ejemplo, señales táctiles o auditivas o demarcaciones táctiles).	No	Sí
Donde se requiere ¿hay elementos para adultos mayores o discapacitados? (por ejemplo tiempo de verde extendido o fases despejadas)	No	No
¿Las trayectorias de viaje y puntos de cruce para peatones y ciclistas son adecuados?	No	
¿Hay una defensa de seguridad instalada donde se requiere guiar a los peatones y ciclistas hacia los cruces o puentes?	No	No
¿En los puntos de cruce, se da la orientación adecuada para que los peatones observen el tráfico?	Sí	Sí
¿Las infraestructuras para peatones y bicicletas son adecuadas para uso nocturno?	No	Sí
¿Hay un número adecuado de peatones que cruzan a lo largo de la ruta?	No	-
¿Hay infraestructura adecuada para adultos mayores, discapacitados, niños, sillas de ruedas y coches de bebé? (por ejemplo carriles realzados, aceras, cruces en el separador, rampas).	No	Sí
¿Hay una distancia adecuada de separación entre el tráfico vehicular y los peatones?	No	Sí
¿Las infraestructuras peatonales sobre los puentes son apropiadas y seguras?	No	N. A.
¿Se proporcionan andenes en los puentes?	No	N. A.
¿En vías donde existen dos o más carriles por sentido, existe algún refugio peatonal, en aquellos lugares donde es más probable que los peatones crucen?	Sí	Sí
¿En intersecciones semaforizadas, se dispone de fases exclusivas para peatones?	No	Sí
¿Los accesos a pasos peatonales elevados e inferiores son cómodos, como para que los peatones no prefieran cruzar la calle a nivel?	-	N. A.
¿Los anchos de los refugios son los suficientes para el volumen de peatones?	Sí	Sí
¿Están los andenes bien mantenidos, de manera que los peatones no estén forzados o estimulados a caminar por la calzada?	Sí	-
¿Se han provisto suficientes facilidades peatonales para cruzar y están en lugares donde el mayor número de peatones desea cruzar?	No	Sí
¿Las isletas como refugio para peatones son suficientemente grandes, para acomodar a todos los peatones?	Sí	Sí
¿Los conductores y peatones son mutuamente intervisibles en los refugios?	No	Sí
¿Los cruces peatonales en intersecciones están demarcados con líneas de cebra?	Sí	Sí
¿El ancho de los andenes es suficiente para la cantidad de peatones?	Sí	Sí

¿La visibilidad de los peatones que se encuentran sobre una isleta de refugio, es obstaculizada por vehículos que esperan girar a la derecha o por bolardos o cualquier otra señal?	No	No
¿En el cruce escolar, hay un patrullero o policía de tránsito dirigiendo?	-	-
¿Los refugios, las isletas y andenes están acondicionados para discapacitados y coches de bebés?	Sí	Sí
¿Está el cruce peatonal controlado con semáforo?	Sí	Sí
¿Se contemplan facilidades para el tránsito de peatones?	No	Sí
¿Se han identificado pasos peatonales inseguros, sin protección?	Sí	No
¿Los refugios peatonales son los suficientemente anchos para acomodar a todos los peatones en el cruce?	Sí	-
¿Existen barreras metálicas para peatones al aproximarse al cruce?	Sí	No
¿Existen barreras metálicas en las zonas de andenes próximas a zonas escolares?	No	Sí
¿En áreas de alta concentración estudiantil, existen facilidades peatonales suficientes y seguras?	No	Sí
¿Para población discapacitada existen facilidades peatonales accesibles y seguras?	No	Sí
¿Existen en zonas con presencia de equipamiento urbano y servicios sociales permanentes (centros de salud, comercio e instituciones) que generan alto flujo peatonal, facilidades seguras para movilización peatonal y vehicular?	No	Sí
¿El tipo y el espaciamiento de las diferentes instalaciones de cruce están coordinados (por ejemplo, cruces ferroviarios, semáforos, pasos de cebra)?	Sí	Sí
¿Los pasos de peatones guían a los peatones de acera a acera por una ruta lógica?	Sí	Sí
Comprobar la necesidad de establecer elementos de disuasión para los peatones en su propósito de cruzar por lugares no previstos.	No es necesario	-
5. Comportamiento de los usuarios		
5.1 Peatones		
Se evidencia la circulación de menores de edad (específicamente menores de seis años) SIN el acompañamiento de una persona mayor.	No	-
Se evidencia la circulación de adultos mayores SIN el acompañamiento de una persona de apoyo o guía.	No	-
Se evidencia la circulación de personas en condición de discapacidad sensorial - física - motora o cognitiva SIN el acompañamiento de una persona de apoyo o guía.	No	-
Se evidencia la circulación de peatones en espacios no apropiados o destinados para la circulación peatonal (calzada, separador, berma, etc.).	Sí	-
Se evidencia la circulación de peatones que portan elementos que interfieren en el tráfico (cajas, vehículos de tracción humana-carretas-, mercancía, etc.).	Sí	-
Existe suficiente iluminación para evidenciar la circulación de peatones.	Sí	-
Se evidencia que las condiciones de iluminación están ubicadas en zonas estratégicas de circulación peatonal (puentes peatonales, cruces a nivel, bocacalles, etc.).	Sí	-
Se evidencia que en los cruces a nivel, los peatones miran a ambos lados antes de cruzar.	Sí	-
Se evidencia que los peatones NO se anticipan al cambio semaforizado y realizan el cruce peatonal en verde o amarillo.	Sí	-

No se evidencian signos de afán (mirar el reloj, intentar cruzar en reiteradas ocasiones, correr, etc.) en los peatones que se encuentran en los cruces peatonales semaforizados.	Se evidencian	-
Se evidencia el uso de los pasos peatonales, conforme lo dispuesto por la señalización horizontal.	No	-
No se evidencia la circulación de deportistas (atletas, marcha, etc.) en las calzadas vehiculares.	No se evidencian	-
No se evidencia la circulación de menores de edad acompañado por otros menores de edad.	Se evidencia	-
Se evidencia la ejecución de actividades deportivas por parte de colegios o jardines en zonas cercanas a las vías.	No se evidencia	-
No se evidencia la circulación de peatones distraídos por el uso de aparatos o elementos electrónicos (celular, audífonos, tablet, etc.).	Se evidencia	-
La circulación de menores acompañados por un adulto se realiza por la parte interna del andén.	Sí	-
Se evidencia que los peatones NO requieren salir a la calzada para tener visibilidad para realizar los cruces.	Se evidencia	-
Se evidencia cruce de peatones en medio de los vehículos.	Se evidencia	-
Se evidencia la presencia de vendedores informales en calzadas vehiculares.	Se evidencia	-
Se evidencian aglomeraciones de peatones en puntos específicos de la vía.	Se evidencia	-
Sobre el final del día o las horas de la noche se evidencia el uso de prendas oscuras por parte de los peatones.	-	-
Se evidencian comportamientos erráticos (correr, devolverse, dudar el cruce, empujar, etc.) en los cruces de las calzadas.	-	-
Los peatones que cruzan por los pasos seguros no verifican los dispositivos de control (semáforos), actúan por imitación de conducta de terceros (otro peatón que realiza un cruce inseguro).	Sí	-
Se evidencian conductas agresivas por parte de peatones hacia otros usuarios de la vía (señas, palabras, conductas retadoras, etc.).	-	-
Se evidencian circulación de peatones desatentos (no verificar previamente el sentido de la vía, no identificar pasos seguros previamente, no hay inspección visual, etc.).	-	-
Se evidencia que los peatones ocupan la zona de seguridad y protección de la vía férrea.	N. A.	-
Se evidencia el ascenso y descenso a vehículos en movimiento.	No	-
No se evidencia que el uso de paraderos y zonas destinadas para la toma del transporte público.	No se evidencia	-
Se evidencia ingreso irregular e inseguro al transporte público.	Sí	-
¿Existen mercados o puestos de venta en las aceras que obliguen al peatón a circular por la calzada?	No	-
¿Se ha detectado algún paso de peatones no respetado por los vehículos por su escasa visibilidad (pintura gastada, cambio de rasante, curva, etc.)?	No	-
¿Los vehículos respetan los cruces peatonales?	No	-
¿Cuándo hay una fase semaforizada conflictiva con peatones, los vehículos ceden el paso?	No	-
¿Se presenta cruce de peatones por zonas prohibidas?	Sí	-
¿Se observan marcas en las zonas verdes de separadores e isletas que indiquen el paso frecuente de peatones por zonas prohibidas?	Sí	-
En caso afirmativo, dado el flujo peatonal ¿Se requiere controlar el paso peatonal o debe prohibirse?	Debe controlarse	-

Se evidencian conflictos con los peatones (en especial en aquellos donde la infraestructura de la cicloruta esta aledaña al andén).	Sí	-
¿Son utilizados las ciclo-infraestructuras por otro tipo de vehículos como, por ejemplo, las motocicletas?	Sí	-
¿En la noche los ciclistas cuentan con dispositivos luminosos en sus bicicletas?	No	-
¿La velocidad de las bicicletas es adecuada y segura de acuerdo al tipo de zona e interacción con peatones?	Sí	-
¿Se presenta circulación de vehículos motorizados por las ciclo infraestructuras o aceras?	Sí	-
¿Los ciclistas cuentan con los elementos de protección adecuados? (casco, ropa reflectiva, etc.).	No	-
¿Los ciclistas respetan la luz roja del semáforo?	No	-
¿Se observa la circulación de ciclistas en los carriles vehiculares?	Sí	-

