

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



Impacto de los proyectos inmobiliarios y
transporte público informal en la circulación: un
enfoque desde la microsimulación

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL EN
INGENIERÍA CIVIL**

AUTORA:

Ruth Angela Molina Benavente

ASESOR:

Ing. Félix Israel Cabrera Vega

Lima, marzo, 2019



*A mis padres Marisol y Eberth,
por ser el principal motor para
poder cumplir mis sueños.*

*A mi asesor Israel Cabrera,
por todos los momentos de enseñanza y
dedicación para el desarrollo de esta tesis.*

RESUMEN

La congestión vehicular es uno de los principales problemas que enfrentan las metrópolis, sobre todo en países en vías de desarrollo como el Perú. El crecimiento poblacional genera mayor demanda de viviendas, por lo que los proyectos inmobiliarios de edificaciones multifamiliares abundan en la ciudad. Y las zonas de trabajo de las construcciones que abarcan vías urbanas acarrearán dificultades en la circulación peatonal y vehicular, dado que por lo general ocupan veredas y carriles. A ello se le suman las condiciones de informalidad presentes en el transporte público, como por ejemplo los paraderos improvisados y el mal uso de los carriles destinados al tránsito exclusivo de transporte público masivo.

Con el objetivo de caracterizar la circulación en la zona de estudio se empleó la microsimulación en los softwares VISSIM, y VISWALK 8.0. Con frecuencia se utilizan estas herramientas para modelar el movimiento de vehículos y peatones en una red de tráfico, y de este modo evaluar el rendimiento operacional bajo diversas condiciones de geometría, demanda y control. Sin embargo, pocos estudios han utilizado microsimulación para analizar las interacciones entre peatones, vehículos, y sus potenciales conflictos, dentro del contexto de las vías exclusivas para transporte público. La investigación se realizó en una sección de una vía arterial de Lima Metropolitana.

Para el estudio se analizó un tramo que comprende dos intersecciones semaforizadas con significativa influencia entre ellas. Y se identificaron tres escenarios diferentes durante hora punta: el primero que corresponde a un día típico, el segundo visibiliza el cierre de las pistas auxiliares de la avenida por actividades constructivas de una edificación multifamiliar, y el tercero refleja un escenario en el cual la calzada central es exclusiva para el tránsito de transporte público y las auxiliares para otros tipos de vehículos. Posteriormente, se utilizó la microsimulación para modelar, medir y evaluar los potenciales beneficios de implementar tratamiento prioritario para el autobús. El modelo se calibró, validó y, por último, se modelaron dos escenarios adicionales con las condiciones de circulación correspondientes.

Los resultados mostraron que, si por la calzada central sólo transitan vehículos de transporte público masivo y las vías auxiliares quedan para el uso de los demás tipos de vehículos, en las pistas centrales los tiempos de viaje vehiculares disminuyen 24.53%, además los tiempos de viaje peatonales disminuyen 16.89% en el cruce peatonal con mayores conflictos, y las longitudes de cola disminuyen 67.31% en dirección NE-SO y 43.68% en dirección SO-NE. Asimismo, se puede utilizar la microsimulación para predecir el comportamiento de las vías exclusivas para el transporte público en vías donde el tránsito del transporte público sea considerable. En suma, las pruebas de escenarios y los resultados pueden servir para comparar y evaluar las posibles mejoras en circulación que se darían al implantar medidas para un adecuado uso de la pista central de la avenida Brasil.

Contenido

CÁPITULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema y justificación	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos Específicos.....	3
1.3. Hipótesis de la investigación.....	4
1.4. Alcance y limitaciones de la investigación	4
CÁPITULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA	6
2.1. Gestión de la movilidad sostenible	6
2.2. Red vial urbana	10
2.2.1. Clasificación del sistema vial urbano.....	11
2.3. Transporte público	15
2.3.1. Carriles y vías dedicadas al transporte público.....	15
2.3.2. Informalidad en el transporte público	20
2.3.2.1. Paraderos informales o improvisados	20
2.4. Zonas de trabajo de obras civiles en áreas urbanas.....	21
2.5. Intersecciones.....	23
2.5.1. Criterios de diseño	23
2.6. Modelos de simulación de tráfico vehicular	25
2.6.1. Según la escala de las variables dependientes.....	26
2.6.2. Según la representación de procesos.....	26

2.6.3.	Según el nivel de detalle	27
2.6.3.1.	Modelos macroscópicos.....	27
2.6.3.2.	Modelos mesoscópicos	28
2.6.3.3.	Modelos microscópicos.....	29
2.7.	Microsimulación vehicular en VISSIM	31
2.8.	Micro simulación peatonal en VISWALK.....	35
CÁPITULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		37
3.1.	Trabajo previo	37
3.1.1.	Descripción de escenarios.....	38
3.1.2.	Planteamiento de objetivos y alcance	39
3.1.3.	Recolección y procesamiento de datos	40
3.1.3.1.	Datos geométricos.....	41
3.1.3.2.	Datos de demanda.....	41
3.1.3.3.	Datos de control	45
3.2.	Desarrollo del modelo base.....	46
3.3.	Calibración y validación del modelo	47
3.3.1.	Calibración del modelo	47
3.3.2.	Validación del modelo	48
3.4.	Aplicación del modelo	48
CÁPITULO 4: MODELO DE MICRO SIMULACIÓN DE LA INTERSECCIÓN.....		50
4.1.	Desarrollo del modelo base vehicular VISSIM	50
4.1.1.	Importación y escala de imagen.....	50
4.1.2.	Creación de las vías.....	51

4.1.3.	Composición vehicular	51
4.1.4.	Rutas y flujo de vehículos	52
4.1.5.	Velocidades de flujo libre y de giro	53
4.1.6.	Fases, ciclo y colocación de semáforos.....	54
4.1.7.	Áreas de conflicto	56
4.1.8.	Reglas de prioridad en la red.....	56
4.1.9.	Tiempo de parada del TP en los paraderos	57
4.2.	Desarrollo del modelo base peatonal VISWALK.....	59
4.3.	Calibración y validación del modelo vehicular.....	60
4.3.1.	Parámetros del comportamiento del conductor.....	62
4.3.2.	Prueba de hipótesis de igualdad de medias para vehículos.....	64
4.4.	Calibración y validación del modelo peatonal	65
4.4.1.	Parámetros del comportamiento del peatón	67
4.4.2.	Prueba de hipótesis de igualdad de medias para peatones	69
CÁPITULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS		70
5.1.	Análisis multiescenario	70
5.1.1.	Tiempos de viaje de los vehículos	70
5.1.2.	Longitud de colas	71
5.1.3.	Tiempos de viaje de los peatones.....	73
CÁPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		75
6.1.	Conclusiones	75
6.2.	Recomendaciones	76
REFERENCIAS.....		77

Índice de tablas

Tabla 1-1: Población total, densidad poblacional, altitud y área por distrito.....	4
Tabla 2-1: Evolución desde la circulación a la movilidad sostenible	6
Tabla 2-2: Clasificación de vías urbanas.	12
Tabla 2-3: Número mínimo de carriles libres para la circulación en función de la jerarquía vial	13
Tabla 2-4: Ahorros de tiempo en una vía segregada de Santiago de Chile durante "hora punta" de la mañana.	17
Tabla 2-5: Evaluación del antes y después de carriles segregados en la Av. Brasil.	18
Tabla 2-6: Ahorro de tiempo de buses en vías exclusivas de Santiago de Chile durante hora punta de la mañana.	19
Tabla 2-7: Niveles de servicio en intersecciones semaforizadas.	24
Tabla 2-8: Comparación entre los softwares de simulación de tráfico.	28
Tabla 2-9: Análisis del comportamiento de VISSIM en una intersección semaforizada.....	34
Tabla 2-10: Factores que PTV VISWALK considera en el modelo de fuerza social.....	36
Tabla 3-1: Escenarios de la investigación.....	38
Tabla 3-2: Leyenda para la matriz O-D del aforo vehicular.	43
Tabla 4-1: Matriz O-D de automóviles para la modelación y calibración.	52
Tabla 4-2: Velocidades en flujo libre.....	53
Tabla 4-3: Leyenda para el aforo peatonal.....	59
Tabla 4-4: Aforo peatonal de la intersección N° 2 para la modelación y calibración.....	60
Tabla 4-5: Tiempos de viaje vehiculares promedio medidos en campo para la calibración..	62
Tabla 4-6: Resultados de las iteraciones para la calibración del modelo vehicular.	62

Tabla 4-7: Análisis estadístico para determinar el número mínimo de corridas para calibrar el modelo vehicular.....	64
Tabla 4-8: Tiempos de viaje peatonales promedio medidos en campo para la calibración. ..	66
Tabla 4-9: Resultados de las iteraciones para la calibración del modelo peatonal.	67
Tabla 4-10: Análisis estadístico para determinar el número mínimo de corridas para calibrar el modelo peatonal.	68
Tabla 5-1: Comparación Tukey de tiempos de viaje vehiculares por escenarios.	71
Tabla 5-2: Comparación Tukey de longitudes de cola por escenarios.....	72
Tabla 5-3: Comparación Tukey de tiempos de viaje peatonales por escenarios.....	73



Índice de figuras

Figura 1-1: Modo principal e intermodalidad en viajes por trabajo y/o estudio.	2
Figura 1-2: Nivel de satisfacción sobre el funcionamiento del sistema de transporte en Lima Metropolitana.	3
Figura 1-3: Ubicación de la zona de estudio	5
Figura 2-1: Concepto de movilidad sostenible.	7
Figura 2-2: Jerarquía de la movilidad	10
Figura 2-3: Modalidades de carriles sólo bus.	16
Figura 2-4: Sección típica de la av. Brasil.	18
Figura 2-5: Niveles de detalle de modelos de simulación.....	27
Figura 2-6: Desarrollo y aplicación de los modelos de microsimulación.	30
Figura 2-7: Lógica del seguimiento vehicular Wiedemann 1974	31
Figura 2-8: Generación de las características del conductor.....	33
Figura 2-9: Procesos de cambio de comportamiento.	35
Figura 3-1: Proceso de la investigación	37
Figura 3-2: Modelo del primer escenario.....	38
Figura 3-3: Segundo escenario observado en campo.	39
Figura 3-4: Modelo del tercer escenario.	39
Figura 3-5: Imagen satelital y ubicación de las intersecciones	40
Figura 3-6: Clasificación de los vehículos que circulan por la zona.....	42
Figura 3-7: Ubicación de los puntos de origen y destino para el aforo vehicular.....	43
Figura 3-8: Quioscos ubicados en diferentes zonas dentro del área de estudio.	45

Figura 3-9: Zonas de estacionamiento en la av. Húsares de Junín.....	45
Figura 3-10: Ubicación de los contadores de cola.	49
Figura 4-1: Plano de las intersecciones.....	50
Figura 4-2: Vías y conectores de la zona de estudio.....	51
Figura 4-3: Composición vehicular de la zona de estudio.	52
Figura 4-4: Ubicación de los semáforos.	54
Figura 4-5: Programa de los semáforos presentes en la zona de estudio.	55
Figura 4-6: Áreas de conflicto y reglas de prioridad en la zona.	56
Figura 4-7: Distribución para el tiempo de parada del transporte público.....	57
Figura 4-8: Prueba de normalidad para los tiempos de parada desde el paradero N° 5.....	58
Figura 4-9: Prueba de normalidad para los tiempos de parada desde el paradero N° 6.....	58
Figura 4-10: Ubicación de las áreas de salida peatonal.	59
Figura 4-11: Tramos para la medición de tiempos de viaje vehiculares.....	61
Figura 4-12: Influencia de los parámetros en la calibración Tramo N° 1 del modelo vehicular.....	63
Figura 4-13: Randomization test para la calibración del tramo N° 02.....	64
Figura 4-14: Randomization test para la validación del tramo N° 02.....	65
Figura 4-15: Zonas para la medición de tiempos de viaje peatonales.....	66
Figura 4-16: :Influencia de los parámetros en la calibración Tramo N° 3 del modelo peatonal.....	68
Figura 4-17: Randomization test para la calibración del cruceo N° 03.....	69
Figura 4-18: Randomization test para la validación del cruceo N° 03.....	69

Índice de siglas, abreviaturas y símbolos utilizados

Abreviaturas y siglas

Art.: Artículo

Av.: Avenida

BID: Banco Interamericano de Desarrollo

BM: Banco Mundial

CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe

cl.: Calle

CML: Concejo Metropolitano de Lima

CPI: Compañía Peruana de Estudios de Mercado y Opinión Pública

GTU: Gerencia de Transporte Urbano

EIV: Estudio de Impacto Vial

EM: Estudios de Monitoreo

DTPM: Directorio de Transporte Público Metropolitano de Chile

IDB: Banco Inter-Americano de Desarrollo

INEI: Instituto Nacional de Estadística e Informática

JICA: Agencia de Cooperación Internacional del Japón

LCV: Observatorio Ciudadano Lima Cómo Vamos

MIDEPLAN: Ministerio de Planificación y Cooperación, Chile

MML: Municipalidad Metropolitana de Lima

MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

O/D: Origen Destino

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PBI: Producto Bruto Interno

PROTRANSPORTE: Proyecto de Preparación del Plan de Inversiones para el Transporte
Metropolitano de Lima

PROVIAS: Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional

PTV: Planung Transport Verkehr (Planificación del tráfico del transporte)

RACC: Real Automóvil Club de Catalunya

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

TP: transporte público

V.B.O.: Vehículos motorizados de baja ocupación

Símbolos y unidades

°C: grados centígrados o Celsius

E-O: dirección de este a oeste

Hab./km²: número de habitantes por kilómetro cuadrado

km: kilómetro

km²: kilómetro cuadrado

km/h: kilómetros por hora

m: metro

m/s: metros por segundo

N-S: dirección de norte a sur

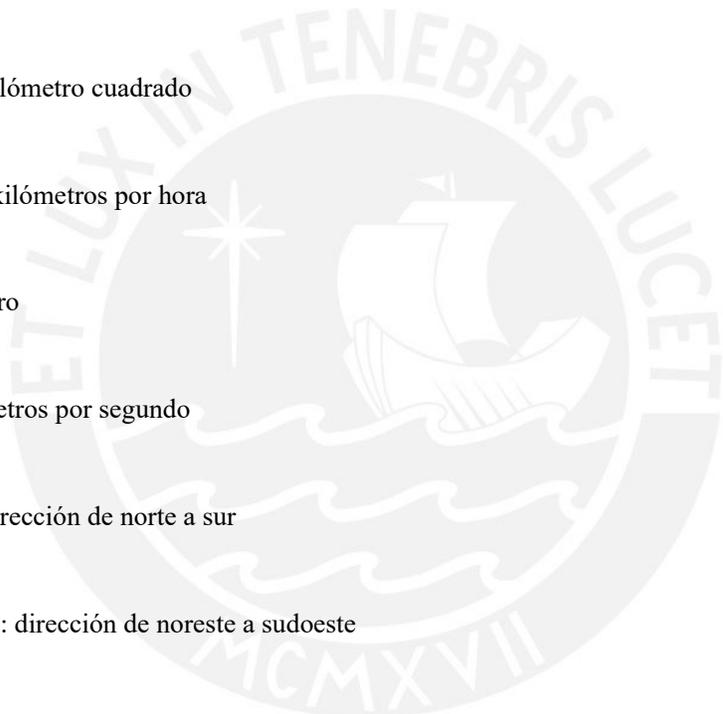
NE-SO: dirección de noreste a sudoeste

O-E: dirección de oeste a este

s: segundo

S-N: dirección de sur a norte

SO-NE: dirección de sudoeste a noreste



CÁPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema y justificación

Uno de los principales problemas de Lima Metropolitana es el tráfico vehicular, el cual genera pérdidas económicas directas e indirectas debido a las demoras, los tiempos improductivos, los accidentes de tránsito, la contaminación, la inseguridad y el consumo innecesario de combustible. La poca efectividad de las soluciones que actualmente se establecen para mejorar la movilidad en Lima se pone en evidencia, afectando el desplazamiento de los habitantes (Chaves, 2016). Se suele escuchar que el tráfico es un problema de educación de los choferes o falta de infraestructura, y es hacia este último hecho al que apuntan las últimas medidas de la Municipalidad Metropolitana de Lima (en adelante MML).

Para una gran mayoría de la población limeña resulta difícil recordar la última vez que se desplazaron sin escuchar el sonido del claxon o sin quedarse atrapado en uno de los tantos atascos interminables. Ya sea para quienes se movilizan en transporte público o para quienes usan transporte particular, existe consenso acerca del caos que caracteriza al sistema de transporte limeño (Bielich, 2009). Puesto que ahora, viajar por la ciudad y encontrarse con avenidas colapsadas se ha vuelto parte de la rutina de los habitantes de la metrópolis (Banco Mundial, Guerrero, Portabales, & Sánchez, 2018). Sólo el 15.3% de limeños opina que respecto al año pasado su calidad de vida ha mejorado. Además, el 51.3% de la población considera que el transporte público es el segundo problema más importante que afecta la calidad de vida, precedido por la delincuencia e inseguridad ciudadana que representa un 75.4% (LCV, 2017).

El aumento en la demanda de transporte y tránsito vial surge a partir de un mayor acceso al automóvil, el cual se dio tras elevarse el poder adquisitivo de las clases medias, el contar con mayores facilidades de acceder al crédito, la disminución de los precios de venta, la mayor oferta de autos usados en el mercado, el crecimiento de la población, la disminución de habitantes por hogar y la escasa aplicación de políticas bien estructuradas en el transporte urbano. En la Figura 1-1 se puede apreciar que el transporte colectivo por ser la alternativa más cómoda económicamente, es el modo principal en los viajes que se realizan por trabajo o estudios, este moviliza a un 73.4% de la población. Mientras que la caminata es la modalidad utilizada por un 60.9% lo cual la convierte en el modo más frecuente (LCV, 2017). Por lo tanto, es importante plantear mejoras a partir de estudios respecto al transporte público, espacio público y áreas peatonales para poder contar con soluciones integrales de movilidad.

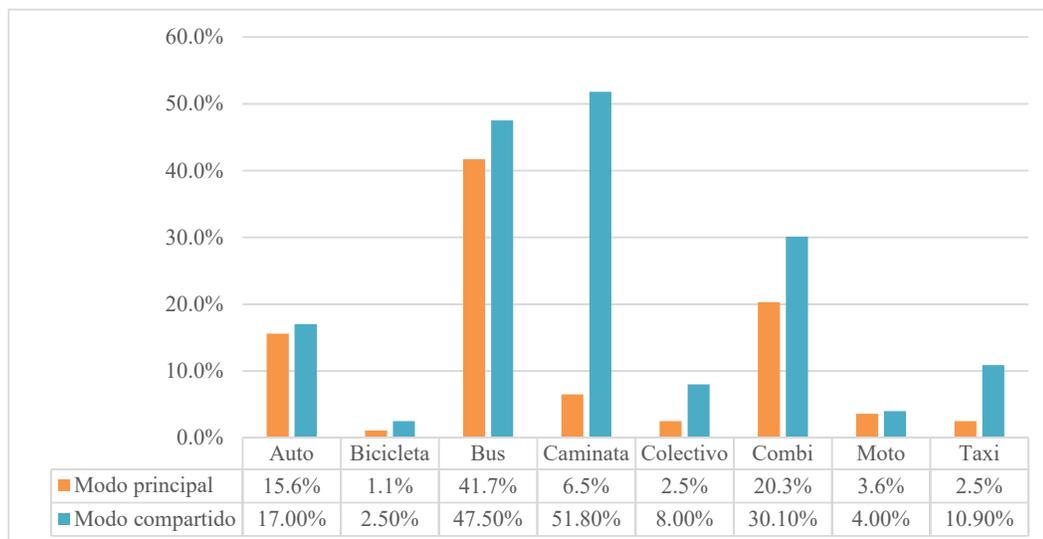


Figura 1-1: Modo principal e intermodalidad en viajes por trabajo y/o estudio.

Fuente: LCV (2017)

Existen variables que a pesar de influir frecuentemente en el tráfico vehicular son poco estudiadas en las áreas metropolitanas de los países en vías de desarrollo, como Perú. Ello se ve reflejado en la falta de literatura y su exclusión de las soluciones actuales. Puesto que, las decisiones que hoy se tomen sobre el transporte influirán en el desarrollo de la ciudad y en la calidad de vida de sus habitantes, la presente investigación nació desde la preocupación por atender la problemática del tránsito limeño desde perspectivas poco analizadas.

Por ejemplo, las zonas de trabajo de las construcciones de edificaciones multifamiliares que abarcan vías urbanas generan serios problemas de circulación. Debido al crecimiento acelerado de la población limeña se genera un incremento en la demanda de viviendas, la respuesta ante ello es la cada vez más variada oferta de edificios multifamiliares. La cuales ejecutan algunas de sus actividades constructivas dentro del espacio público, durante el día e inclusive en “horas punta” haciendo caso omiso a ordenanzas existentes y cerrando veredas y carriles.

Y, en segundo lugar, las condiciones especiales de transporte público (TP) existentes producto de la informalidad (Figura 1-2), tales como la influencia de paraderos improvisados y de carriles exclusivos para el uso de TP, los cuales ponen en peligro la seguridad de los pasajeros y generan bloqueos innecesarios. El caso de estudio seleccionado para la presente investigación compromete a una zona en la cual se pueden evidenciar las variables antes mencionadas, ya que cuenta con numerosos proyectos inmobiliarios y además existen líneas de TP.

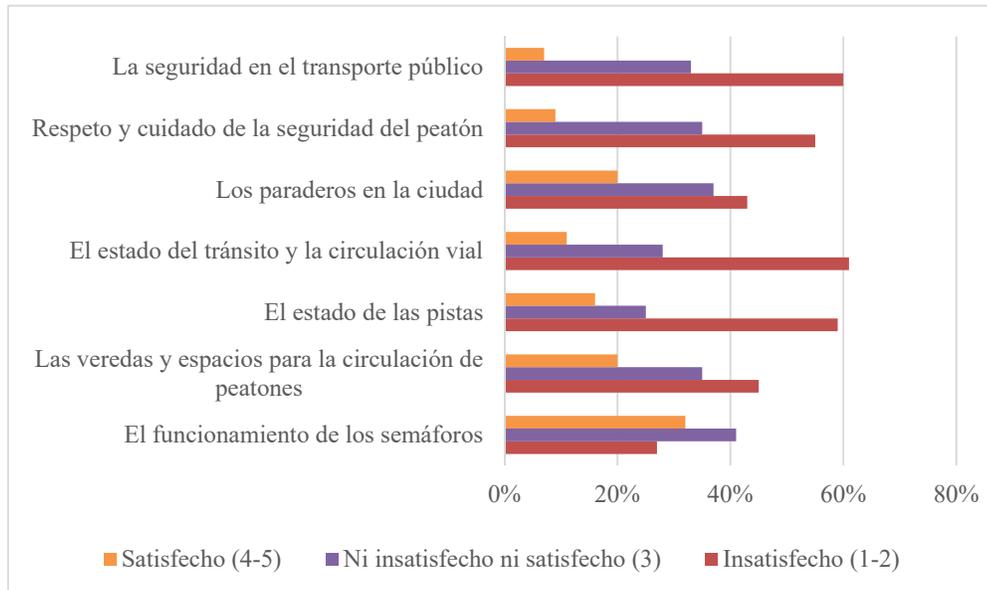


Figura 1-2: Nivel de satisfacción sobre el funcionamiento del sistema de transporte en Lima Metropolitana.

Fuente: LCV (2017)

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

El objetivo general de la presente investigación es analizar las condiciones de circulación vehicular y peatonal correspondiente a un tramo de la avenida Brasil entre las avenidas Simón Bolívar y Mello Franco.

1.2.2. Objetivos Específicos

Los objetivos específicos son los siguientes:

Identificar el efecto en el tránsito peatonal y vehicular debido al proceso de construcción de edificaciones multifamiliares. Además, analizar las condiciones de circulación en las vías exclusivas para transporte público al restringir el acceso a cualquier otro tipo de vehículos. Finalmente, determinar las fortalezas y debilidades de VISSIM 8.0 al modelar redes que consideran paraderos improvisados en vías exclusivas para transporte público.

1.3. Hipótesis de la investigación

Los paraderos improvisados y los desvíos que ocasionan los cierres de carriles que ocupan algunas actividades del proceso constructivo de edificaciones multifamiliares generan impacto negativo en la circulación dado que incrementan los tiempos de viaje vehiculares y peatonales. Además, si las vías exclusivas para el tránsito del transporte público masivo se utilizan apropiadamente; es decir, se restringe la circulación de otros tipos de vehículos, los tiempos de viaje y las longitudes de cola en la red disminuirían en al menos un 20%. Finalmente, existirían limitaciones en el software VISSIM 8.0 para representar el tiempo de parada de los vehículos de transporte público, principalmente, en los paraderos improvisados.

1.4. Alcance y limitaciones de la investigación

Lima Metropolitana, capital del Perú, es la ciudad más grande del país en densidad poblacional y funciona como centro político y administrativo (INEI, 2017b; Yachiyo Engineering & Pacific Consultants International, 2005). Alberga un tercio de la población nacional y enfrenta serios déficit y problemas urbano-ambientales, como la congestión vehicular, la tugurización, la contaminación atmosférica, de aguas y suelos, la escasez de áreas verdes, entre otros (Rodríguez & Oviedo, 2001). Está conformada por la conurbación integrada por los centros urbanos de las provincias de Lima y Callao. A enero del 2018, Lima cuenta con 9 millones 320 mil habitantes (INEI, 2018). Lima y Callao son dos urbes adyacentes; no obstante, su administración, planificación y ordenamiento no están unificados y por ello sus sistemas de movilidad no están bien integrados (Transitemos et al., 2013)

El caso de estudio seleccionado para esta investigación corresponde a la intersección de las avenidas Brasil y Simón Bolívar, a la cual se le denominará Bolívar de aquí en adelante, y una adyacente conformada por las avenidas Brasil, la calle Coraceros y la calle Afranio de Mello Franco, a la que se le llamará Mello Franco de aquí en adelante, con significativa influencia en la primera. Ambas intersecciones se encuentran localizadas en el límite entre los distritos de Jesús María y Pueblo Libre (Figura 1-3 b). En la Tabla 1-1 se muestran algunas cifras características de la zona de estudio y de la provincia en la cual se ubican ambos distritos.

Tabla 1-1: Población total, densidad poblacional, altitud y área por distrito

Distrito	Población proyectada al 30/06/2017	Densidad Poblacional (Hab./Km²)	Altitud (m.s.n.m.)	Área (km²)
Jesús María	71,680	15,685	121	4.57
Pueblo Libre	76,129	17,381	93	4.38
Provincia de Lima	9,174,855	3,436	-	2,670.21

Fuente: INEI (2017a)

Tanto Pueblo Libre como Jesús María, se encuentran en el área interdistrital denominado Lima Centro (Figura 1-3 a), y cuentan con avenidas principales importantes por las que se movilizan las personas que viven o trabajan en alguno de estos distritos o que transitan por los mismos para llegar a sus destinos.

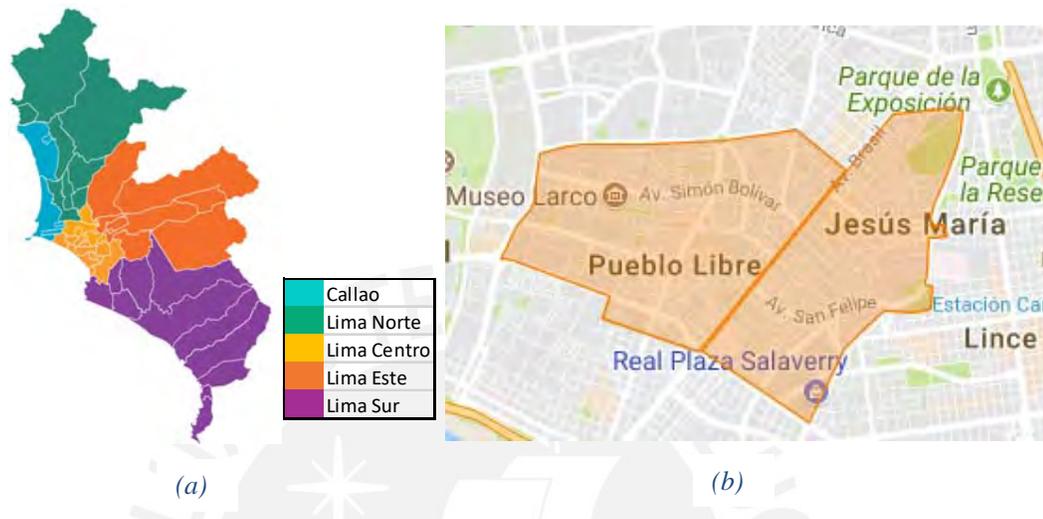


Figura 1-3: Ubicación de la zona de estudio

(a) Áreas interdistritales de Lima Metropolitana y el Callao

(b) Mapa de los distritos de Jesús María y Pueblo Libre

Fuente: Google Earth (n.d.); LCV (2017)

Los datos recolectados, el modelo de micro simulación y los resultados obtenidos, son precisamente útiles para el análisis de esta intersección. Sin embargo, la metodología descrita puede ser aplicada a la realización de otros modelos de microsimulación, en cualquier escenario.

Como parte de las limitaciones se puede mencionar que, al realizar el trabajo de campo para tomar la data necesaria, a pesar de haberse realizado por medio de filmaciones para reducir el error, cabe la posibilidad de obtener información errónea. A consecuencia de ello, el modelo de micro simulación podría no reflejar exactamente lo que sucede en la realidad. Para poder mostrar lo más cercano posible a lo que sucede en la realidad se calibra el modelo de tal modo que se puedan tener las condiciones del tráfico medio estudiado.

CÁPITULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Gestión de la movilidad sostenible

Cuando se aplicaba el término *tránsito*, el objeto de estudio era el automóvil (Bielich Salazar, 2007). Recién cuando se incorporan a las personas surge la noción de *movilidad*. La movilidad, como concepto ligado a los núcleos urbanos surgió en los últimos años del siglo XX y se espera que sea importante en el siglo XXI. La ciudad atraviesa por diferentes etapas a la hora de enfrentar sus problemas en cuanto a transporte, estas etapas van desde la circulación hasta llegar a la accesibilidad sostenible que promueve el diseño compacto o la compacidad que se traduce en poder acceder a bienes y servicios sin realizar viajes de grandes que involucren grandes distancias (Avellaneda, 2008; Dextre & Avellaneda, 2014; Transitemos, 2018).

Tabla 2-1: Evolución desde la circulación a la movilidad sostenible

Etapas	Énfasis	Estrategia
1	Tráfico	Capacidad vial
2	Transporte público	Prioridad al transporte público
3	Movilidad	Movilidad de todos los usuarios
4	Movilidad sostenible	Accesibilidad sostenible

Fuente: Adaptado de Dextre & Avellaneda (2014)

La movilidad es la facilidad con la que las personas se desplazan o llevan materiales para satisfacer sus necesidades. Representa también la suma de los desplazamientos individuales que las personas y los bienes tienen que hacer. Esta no solo se preocupa por los medios de transporte que los ciudadanos utilizan, sino también de los motivos que los llevan a moverse, las facilidades o dificultades que enfrentan, entre otros (Avellaneda, 2007; Transitemos, 2018). De acuerdo con World Business Council for Sustainable Development (2002), la movilidad sostenible es la capacidad de satisfacer las necesidades de la sociedad para moverse libremente, obtener acceso, comunicar, comerciar y establecer relaciones sin sacrificar otros valores humanos, ecológicos esenciales hoy o en el futuro (Figura 2-1).

El proceso de urbanización afecta directamente el crecimiento de las áreas metropolitanas debido al aumento constante de la población en dichas áreas y viene acompañado de una demanda creciente de movilidad en las ciudades (Wegener, 2013). Al mismo tiempo, la construcción de calles provocó que en las ciudades se privilegiara el desplazamiento, el movimiento trajo consigo desorden y peligro afectando en un primer momento al viandante y privilegiando al chofer, se pasó de una ciudad enfocada en el peatón a una enfocada en el conductor (Berman, 1989). De modo que si se desean cambiar los usos hoy regulados para unos usuarios a favor de otros, como la ciudad actualmente está destinada al automóvil,

solamente se podría obtener nuevo espacio si se reduce el que actualmente está destinado a este último (Navazo, 2009).

La tendencia de urbanización en Lima Metropolitana, que surgió a inicios del siglo XX y continúa hasta la actualidad (CEPLAN, 2017; García, Miyashiro, Santa Cruz, Rubio, & Marces, 2015; Panfichi & Portocarrero, 2004), contribuye con los cambios relacionados al crecimiento económico y bienestar social, pero también conlleva a la degradación del medio ambiente debido al aumento de las externalidades negativas (Mori & Christodoulou, 2012). El bajo rendimiento que tiene la defensa medioambiental y el incesante crecimiento de la población urbana, que según ONU-HABITAT (2016) alcanzará los 8.5 mil millones para el año 2030, son las presiones que se imponen para el desarrollo sostenible de las áreas urbanas. Un análisis del sistema de movilidad urbana desde una sola perspectiva no es suficiente debido a la naturaleza interdisciplinaria de la movilidad (Bläser & S. Hellali-Milani, 2014).

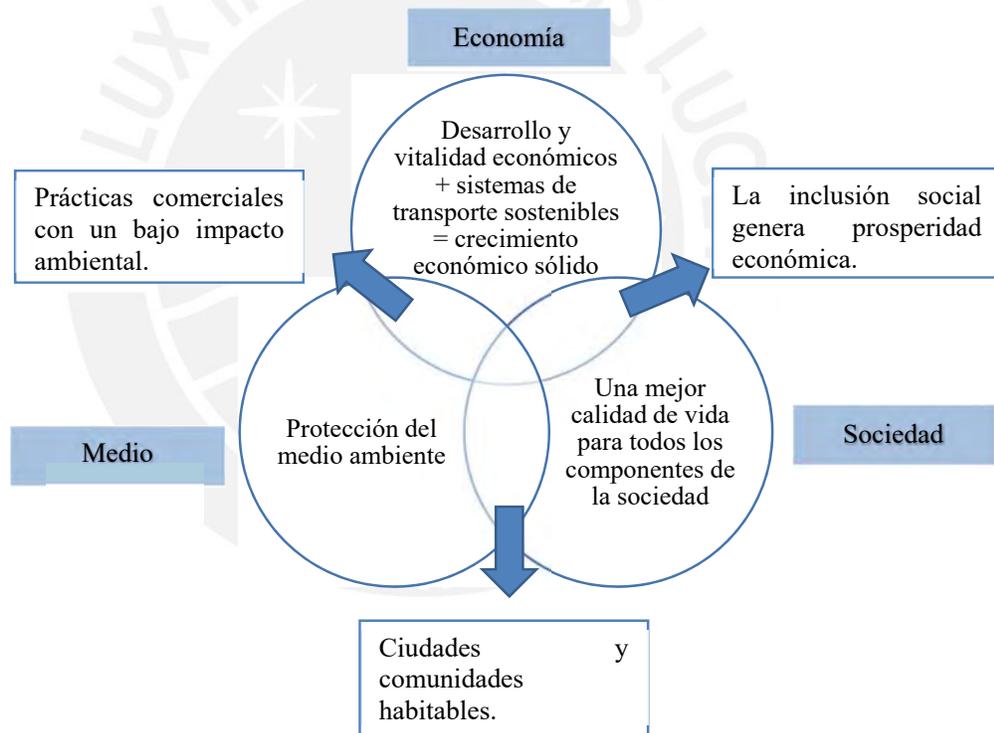


Figura 2-1: Concepto de movilidad sostenible.

Fuente: Adaptado de Hall (2002)

Por ello, para poder alcanzar la meta es recomendable tener en cuenta conceptos de espacio público, uso mixto del suelo, ciudad policéntrica y ciudad compacta o compacidad (Dextre & Avellaneda, 2014). Además, desde un punto de vista teórico, se deben considerar al menos cuatro aspectos diferentes para un estudio holístico del sistema de movilidad urbana:

demografía, sistema de transporte, estructura urbana y comportamiento de los viajes (Mori & Christodoulou, 2012).

Algunos de los atributos elementales de la población desde una perspectiva demográfica son: la distribución por edades, los procesos de crecimiento o contracción, el porcentaje de población activa y el desarrollo de áreas residenciales con respecto a los niveles de precios y la ubicación. Además, debido al flujo continuo de personas que se trasladan a un área metropolitana, estos atributos son fluctuantes. Se conoce que los habitantes recién llegados alteran las rutinas de movilidad existentes en toda el área de investigación, especialmente en las áreas metropolitanas (Hager, Rauh, & Rid, 2015). Por otro lado, la información sobre el área urbana y el desarrollo de la vivienda son esenciales para un análisis exhaustivo de las variables de la estructura demográfica que describen la población (Gaube & Remesch, 2013).

Debido a que todas las áreas urbanas cuentan con un sistema de transporte y gran parte de las externalidades son a causa de su funcionamiento, es necesaria la planificación de la movilidad urbana sostenible. Transitemos (2018) indica que gran parte de la solución se halla en el concepto de movilidad sustentable, la cual circunscribe opciones desarrolladas bajo diversos puntos de vista que van desde el cambio ineludible de mentalidad de cada uno de los usuarios de los modos de transporte, hasta la toma de medidas sobre el parque automotor que usa la infraestructura.

Mientras que en el enfoque convencional se estimula el uso de vehículos privados y la construcción de infraestructura vial, priorizando al vehículo; para el enfoque sostenible de la planificación del transporte, que va en contra del convencional y tiene como objetivos prestar servicios de movilidad e información y la conectividad entre las redes de transporte existentes, se promueve el uso de medios alternativos, como el transporte público, la bicicleta y la caminata; dándole prioridad al peatón (Tafidis, Sdoukopoulos, & Pitsiava-Latinopoulou, 2017).

Según el Ayuntamiento de Zaragoza (2018) los objetivos de la movilidad sostenible están basados en cuatro fundamentos. El primero referido a la salud y seguridad, cuenta con tres metas específicas: la disminución del número de vehículos privados que circulan por la ciudad, la reducción de la contaminación atmosférica y acústica, y la reducción en número y gravedad de los accidentes de tránsito. En el segundo se trata de la intermodalidad, dentro del cual se busca plantear sistémicamente todos los modos de transporte, mejorar la intermodalidad del sistema de transporte público de tal modo que se evite la superposición en los servicios y se desarrolle una integración tarifaria, y se pueda facilitar el intercambio modal a modos de desplazamiento sostenibles. El tercero se enfoca en la accesibilidad, a través del cual se quiere

garantizar la accesibilidad universal al sistema de movilidad, reequilibrar y redistribuir el espacio disponible en la vía pública, valorando la movilidad no motorizada, y fomentar la equidad social en el acceso de la ciudadanía al sistema de movilidad. Finalmente, la eficiencia, que viene a ser el cuarto fundamento y busca desarrollar un transporte público eficiente, plantear un modelo eficiente de distribución urbana de mercancías, impulsar e incentivar los vehículos menos contaminantes, fomentar el uso de energías limpias y renovables, aplicar las nuevas tecnologías en la gestión de la movilidad.

Böhringer & Jochem (2007) y Creutzig et al. (2015) indican que si no se mide claramente un problema la mejora será difícil de plantear por lo que la evaluación de las condiciones de movilidad actuales se considera como un proceso necesario para la sostenibilidad. A pesar de que la sostenibilidad es difícil de medir directamente (Bell & Morse, 2008), puede ser evaluada mediante un conjunto de parámetros que reflejan sus dimensiones. Los indicadores de movilidad urbana sostenible son comúnmente definidos como estadísticas o medidas cuantitativas que fueron diseñadas para identificar tendencias específicas, señalar problemas y monitorear el progreso en el tiempo hacia un objetivo significativo (Bradley Guy & Kibert, 1998; Dobranskyte-Niskota, Perujo, Jesinghaus, & Jensen, 2009; EEA, 2014; Gilbert & Myrans, 2002; Linster, 2003; Organisation for Economic Co-operation and Development, 2000).

Los indicadores constituyen parte del proceso de cuantificación de la movilidad urbana sostenible desde su primer establecimiento en 1992 por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Cada vez son más aceptados por la simplicidad con la que evalúan fenómenos complejos. No obstante, la gran cantidad de indicadores genera que, en la mayoría de casos, el proceso de evaluación sea costoso, prolongado y en algunas ocasiones no sea exitosa debido a la ausencia de datos relevantes, especialmente en áreas urbanas que carecen de bases de datos organizadas. La selección de indicadores de movilidad urbana sostenible constituye un paso metodológico crítico del proceso de evaluación, ya que se basa en una serie de criterios diferentes, como la relevancia, continuidad, compatibilidad, sensibilidad, así como disponibilidad de datos, frecuencia y confiabilidad (Tafidis et al., 2017).

Individualmente cada indicador debe proporcionar información útil sobre el desempeño en términos sociales, económicos y ambientales, mientras que debe ser capaz de ilustrar incluso los cambios leves. Deben ser relevantes para las políticas, objetivos y metas que se espera que midan. Su estructura debe ser simple y transparente para que puedan ser fácilmente entendidos por expertos, fabricantes y público en general. Además, un indicador debe permitir comparaciones tanto entre diferentes áreas urbanas y períodos de tiempo (Litman, 2009). La asequibilidad que viene a ser el costo y el tiempo necesarios para recoger los datos originales

requeridos y luego estimar el valor del indicador, es otro criterio significativo para seleccionar un indicador. La asequibilidad se considera dependiente de la disponibilidad, la frecuencia y la fiabilidad o precisión de los datos; y comprende en la mayoría de los casos el punto más débil durante el proceso de selección (Burggraf & Guehnemann, 2014).

La jerarquía de la movilidad sostenible está representada por una pirámide ideal basada en la inclusión social, la equidad, la salud el cuidado del ambiente y la economía, que se muestra en la Figura 2-2 (c); por lo tanto, la pirámide estratégica (Figura 2-2 b) en principio se enfocaría en desarrollar un sistema de movilidad eficiente y accesible que atienda inmediatamente las necesidades de la población, de tal forma que se racione el uso de los V.B.O (Figura 2-2 a).

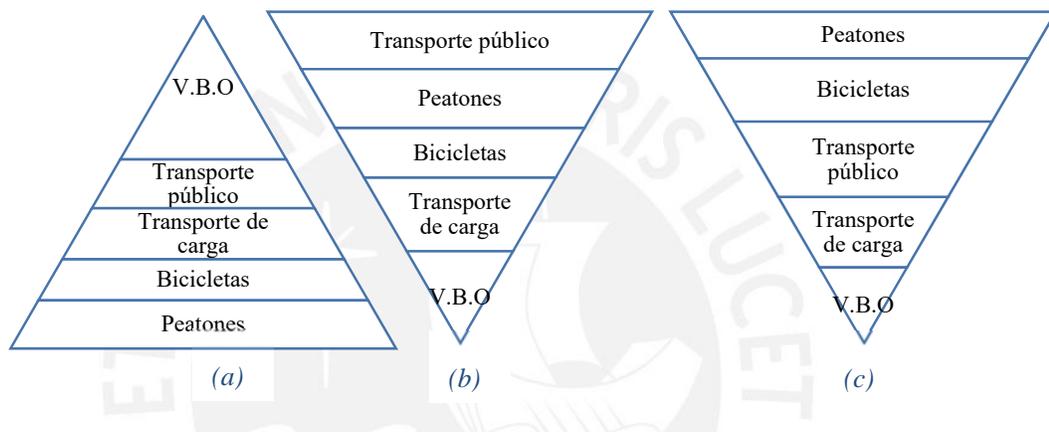


Figura 2-2: Jerarquía de la movilidad
(a) actual (b) estratégica (c) ideal.

Fuente: Adaptado de Dextre & Avellaneda (2014)

2.2. Red vial urbana

Lima Metropolitana es atractiva para los inmigrantes debido a la cantidad de empleos, universidades y oportunidades de desarrollo (Aramburú & Mendoza, 2015). Se espera que esta tendencia continúe durante los próximos años y que a consecuencia de ello la ciudad de Lima permanezca experimentando un incremento poblacional, aunque a tasas más lentas, pues tanto la fecundidad como las migraciones rural-urbanas se vienen desacelerando desde hace dos décadas (Taniguchi, Thompson, & Yamada, 2010). La relación entre ciudad y movilidad es dialéctica, ambas variables se influyen mutuamente dado que la distribución del territorio condiciona la necesidad de movilidad, pero también la movilidad va influenciando en el modo en que la ciudad está organizada (Avellaneda, 2007).

Durante siglos pasados se dio un proceso de suburbanización en el que se desarrollaron los asentamientos humanos, posteriormente las áreas urbanas empezaron a ser reurbanizadas y con ello su población empezó a crecer considerablemente. Este crecimiento poblacional hace

que cada vez haya más involucrados en el tráfico en áreas altamente condensadas, lo cual significa un desafío para el sistema de movilidad urbana (Gaube & Remesch, 2013; Hager et al., 2015).

Un sistema vial urbano desempeña dos funciones principales: de acceso a las propiedades colindantes y de circulación. La circulación facilita la realización de actividades que se desarrollan en el área urbana, como puede ser la movilización de sus habitantes y el traslado de objetos o carga. Según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2006), las vías urbanas son arterias o calles conformantes de un centro poblado, que no forman parte del Sistema Nacional de Carreteras y que se reglamentan por ordenanzas de los gobiernos locales.

Los factores geográficos hacen de la red vial urbana una red típica en la mayoría de casos. Sin embargo, en las áreas metropolitanas esta red incrementa su complejidad. Por lo que el uso de datos dinámicos es de gran ayuda. La escala urbana que aumenta debido al rápido incremento de personas que viven en las ciudades, ejerce una gran presión sobre el tráfico urbano. La congestión que se genera es casi omnipresente en muchas áreas urbanas, afecta no solo la movilidad de los pasajeros, sino que también puede incrementar considerablemente los costos externos relacionados a la contaminación, al ruido y a la seguridad vial del usuario (Tian, Jia, Dong, Su, & Zhang, 2016).

El crecimiento demográfico en las áreas metropolitanas altera la demanda de movilidad. En el caso de áreas residenciales, los estudios deben centrarse en los diversos conceptos urbanos y sus consecuencias para el sistema de movilidad urbana (Hager et al., 2015). Lima Metropolitana concentra más del 45% del total de establecimientos industriales y 52% de inversión privada; por lo que representa cerca del 41.2% de la población urbana a nivel nacional (IPSOS, 2018). Hacia 1940 sólo el 35% de la población peruana residía en centros urbanos y para el 2015 el 77% de la población es considerada urbana; por lo que en términos absolutos, la población urbana se ha multiplicado más de diez veces entre 1950 y 2015: de 2,2 millones a casi 24 millones (INEI, 2008, 2015).

La estructura de la red vial de Lima Metropolitana es radial, lo que dificulta la comunicación de las periferias. Estas dificultades se amplían por la falta de infraestructura vial adecuada, y por la falta de señalización o la señalización defectuosa (Avellaneda, 2007)

2.2.1. Clasificación del sistema vial urbano

La degradación de las condiciones de habitabilidad de las grandes ciudades, el aumento de accidentalidad, la contaminación y la desaparición progresiva de espacios libres; se deben en gran parte a la problemática que genera la confusión entre peatones y vehículos que se

estacionan o circulan, rápido o lento, para cumplir sus diferentes deseos de desplazamiento. Como no se puede ni conviene aumentar la superficie urbana ocupada por la red vial, pues esto acabaría destruyendo la ciudad; es necesario especializar las vías dándoles una función específica. De tal modo que las diferentes vías y calles puedan tener funciones determinadas, para poder satisfacer las necesidades de movilidad de personas y mercancía, de manera rápida, confortable y segura, y a las necesidades de accesibilidad (Área metropolitana de Bucaramanga, 2011; Consejo Nacional de Seguridad Vial, 2017).

Según RACC (2004) la compleja interacción de los medios de transporte, motorizado y no motorizado, demanda una clasificación del uso del espacio público en función de las prioridades que se desea asignar a cada usuario de las vías urbanas. En la Tabla 2-2 se observan algunos de los criterios más usados.

Tabla 2-2: Clasificación de vías urbanas.

Criterios de clasificación	Descripción
Por su actividad	Residenciales Industriales Comerciales y oficinas Otros usos (vías parques, calles dotacionales, entre otros)
Por su función respecto al tráfico	Vías expresas o autopistas Vías arteriales Vías colectoras Vías locales
Por la anchura de la calle	Calles estrechas Calles medias Calles anchas

Fuente: ELSAN-PACSA (2003)

La clasificación de vías para Lima Metropolitana es de carácter funcional, es decir, está basada en la función que cumple cada una de ellas dentro de la estructura urbana; las características que presentan y se muestran en la Tabla 2-3 garantizan el cumplimiento de su función. Esta clasificación se puede aplicar a todo tipo de vías públicas urbanas terrestres, ya sean calles, jirones, avenidas, alamedas, plazas, malecones, paseos, destinados al tráfico de vehículos, personas y/o mercancías; y considera las siguientes categorías: vía expresa, vía arterial, vía colectoras y vía local; cuyas definiciones se detallan a continuación (MML, 2006).

Tabla 2-3: Número mínimo de carriles libres para la circulación en función de la jerarquía vial

	Con carril de estacionamiento	Sin carril de estacionamiento
Vía expresa	No se admite estacionamiento	5
Vía arterial	5	4
Vía colectora	4 (2 si es sentido único)	2 (1 si es sentido único)
Vía local	1	1

Fuente: MML (2006)

a) Vías expresas

También llamadas autopistas; sirven principalmente para el tránsito de paso; es decir, origen y destino distantes entre sí. Soportan importantes volúmenes de vehículos que circulan a alta velocidad, en condiciones de flujo libre y poseen bajas condiciones de accesibilidad. Las que sirven directamente al área urbana de Lima Metropolitana son las vías expresas metropolitanas, estas se conectan directamente con vías arteriales (MML, 2006).

El flujo en estas vías es elevado e ininterrumpido; debido a que no existen cruces al mismo nivel con otras vías ni semáforos, sino a diferentes niveles o con intercambios diseñados especialmente; también sirven a las propiedades aledañas por medio de rampas y vías auxiliares. En caso se permita servicio de TP, deberá ser desarrollado exclusivamente por buses, de preferencia en *carriles segregados o calzadas exclusivas* y haciendo uso de paraderos debidamente diseñados en los intercambios. No está permitida la circulación de vehículos menores ni tampoco el estacionamiento, la descarga de mercadería, ni el tránsito de peatones a lo largo de su recorrido (ELSAN-PACSA, 2003).

b) Vías arteriales

Las vías arteriales permiten el tránsito mixto vehicular, con media o alta fluidez, baja accesibilidad y relativa integración con el uso del suelo colindante. Llevan considerables volúmenes de tránsito, entre áreas principales de generación de tránsito, a velocidades medias de circulación. Estas cuentan con pistas de servicio laterales con el fin de poder acceder a las propiedades. En las áreas centrales y otras sujetas a limitaciones de sección, pueden no tener vías de servicio. A pesar de que una vía arterial no equivale a una avenida, muchas vías arteriales han recibido genéricamente la denominación de avenida (ELSAN-PACSA, 2003).

En las vías arteriales deben evitarse interrupciones en el flujo de tráfico ya que este es elevado, por lo que los semáforos deberán ser sincronizados de tal modo que se minimicen las interferencias al flujo directo en las intersecciones semaforizadas. El TP autorizado de

pasajeros debe ser puesto en marcha de preferencia por buses, debiendo realizarse por *calzadas exclusivas* cuando el derecho de vía lo permita o *carriles exclusivos* y con paraderos debidamente diseñados para minimizar las interferencias con el tránsito directo. En cuanto respecta a los peatones, estos deben cruzar solo en cruces o intersecciones semaforizados. Además, en las intersecciones se pueden diseñar carriles adicionales para volteos con el fin de incrementar su capacidad (MML, 2006).

En las vías arteriales es donde más colisiones graves entre automóviles y peatones ocurren a consecuencia del volumen de usuarios y la velocidad con la que circulan los vehículos, que por lo general es alta y empeora la severidad de las lesiones (Alfaro-Basso, 2008). Las condiciones de movilidad pueden empeorar si la señalización y el diseño no considera al peatón ni al ciclista. Existen algunas consideraciones fundamentales para vías arteriales y corredores con alto volumen vehicular que pueden afectar la seguridad vial. Entre ellas se incluyen el diseño de intersecciones que tiene en cuenta el movimiento de peatones, el uso de medianas y refugios peatonales, y el equilibrio en el número de carriles, es decir, que una vía no tenga dos carriles antes de la intersección y después tres (ITDP & EMBARQ, 2012).

c) Vías colectoras

Las vías colectoras tienen la función de llevar el tránsito desde un sector urbano hacia las vías arteriales. Por ello, sirven a una buena porción de tránsito de paso. Brindan además servicio a las propiedades adyacentes. El flujo de tránsito es medio e interrumpido frecuentemente por intersecciones semaforizadas ubicadas en los empalmes con vías arteriales, otras vías colectoras, y con controles simples, con señalización horizontal y vertical, cuando empalman con vías locales. Si cuenta con la autorización para el TP de pasajeros se deben establecer y diseñar paraderos especiales y/o carriles adicionales para volteo. Los cruces peatonales donde los volúmenes de vehículos y/o peatones es de magnitud considerable reciben soluciones especiales. Además, los vehículos pueden estacionarse en áreas adyacentes a las vías característicamente destinadas para ello (MML, 2006).

d) Vías locales

Son aquellas cuya función principal es proveer acceso a los predios o lotes adyacentes; deben llevar únicamente su tránsito propio, generado tanto de ingreso como de salida. Como su nombre lo dice son vías de uso exclusivamente local y por ende de flujo bajo. Para poder restringir el tránsito de paso se pueden utilizar soluciones que permitan solo el acceso a las edificaciones. Su definición y aprobación, cuando se trata de habilitaciones urbanas con fines de vivienda, corresponde a las municipalidades distritales, y en los casos de habilitaciones

industriales, comerciales y de otros usos, a la Municipalidad Metropolitana de Lima (MML, 2006).

2.3. Transporte público

El transporte público (TP) en Lima representa un sistema de caos constante, aunque para la mayoría de habitantes sea la opción más cómoda económicamente para poder movilizarse a sus centros de trabajo y/o estudios y paradójicamente prioricen las líneas de combi, utilizadas por el 60.4% de la población, aunque consideren que su servicio es “malo o muy malo” (LCV, 2017). El sistema de rutas del servicio de transporte regular de personas está compuesto por un total de 322 rutas urbanas, 77 rutas periféricas y 15 rutas en zonas no atendidas (MML, 2015).

Según Chen et al. (2016) darle prioridad al TP como principal medida para resolver el problema de la congestión del tráfico urbano, se ha convertido en un consenso para los departamentos de gestión de tráfico alrededor del mundo. El establecer vías exclusivas para el tránsito de autobuses es una medida efectiva a fin de darle prioridad al TP.

Avellaneda (2007) sostiene que el TP en Lima Metropolitana es *eficiente*. Su afirmación se basa en que el limeño sin importar su nivel socioeconómico puede movilizarse a cualquier lugar, a cualquier hora y sin esperar mucho. Mientras que para Bielich (2009) es preferible hablar de TP *eficaz*, porque si bien es cierto que no se logra de la mejor manera debido a la inseguridad que experimentan los usuarios, incomodidad e incertidumbre acerca de cuánto tiempo va a durar el viaje, el sistema de TP limeño logra su principal fin que es el de movilizar a la población.

Los sistemas de TP siendo eficientes para atender las demandas de la población de más bajos recursos, tienen grandes déficits en calidad de servicio y en impactos ambientales, y la vialidad urbana es deficitaria, mal atendida y altamente congestionada (Figuroa, 2005).

2.3.1. Carriles y vías dedicadas al transporte público

El constante incremento de las necesidades de transporte no siempre puede ser satisfecho con los medios convencionales, debido a que las redes viales existentes podrían saturarse o alcanzar los límites de su capacidad, congestionándose las vías y haciendo el tráfico menos fluido (CEPAL, 1985). De acuerdo con Ben-Dor, Ben-Elia, & Benenson (2018) la mayoría de líneas de TP históricamente han compartido el mismo espacio vial con el resto del tráfico especialmente en áreas metropolitanas, como también ocurre en Lima Metropolitana. Como resultado, la adaptación de los pasajeros ante la adición de un carril exclusivo a nivel de ciudad

mejora fundamentalmente la efectividad del TP dado que las condiciones de circulación del TP durante las horas punta se asemejan a las características presentes durante el resto del día; es decir, durante horas no pico. A continuación, se muestran algunas de las modalidades que se emplean para reservar espacio al TP.

a) Carriles sólo bus

Estos carriles tienen la posibilidad de mejorar significativamente el rendimiento de las unidades de servicio público mientras fomentan el uso de TP en lugar de automóviles privados. Se deben encontrar debidamente señalizadas y completamente operativas para que puedan reducir los tiempos de viaje y aliviar la congestión urbana (DTPM, 2016).

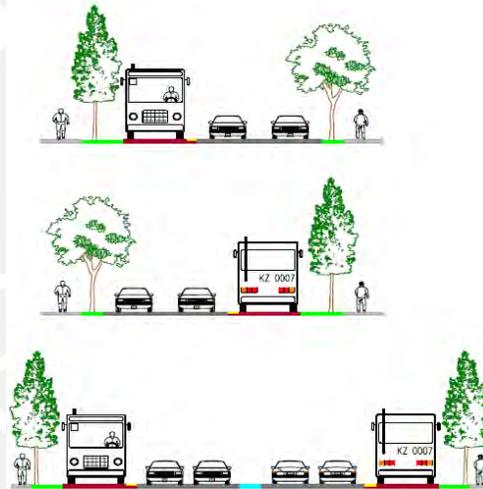


Figura 2-3: Modalidades de carriles sólo bus.

Fuente: MIDEPLAN (1998)

En la Figura 2-3 se observa la versatilidad de las modalidades con las que este sistema puede ser implantado. Se dedican únicamente a la circulación de buses, generalmente se encuentran demarcados. Por un lado, el bajo costo de su implantación resulta positivo; sin embargo, su rendimiento dependerá de la voluntad de cumplimiento de la medida por parte de los automovilistas, por lo que se deberá invertir en acciones de vigilancia y fiscalización sostenidas por largos periodos de tiempo. A veces la medida termina siendo invalidada por el incumplimiento sistemático de la restricción (Bull & CEPAL, 2003; DTPM, 2016; Fiscalización Transportes, 2018).

b) Carriles segregados para buses

Está destinado a la circulación de vehículos de TP; pero a diferencia de los carriles sólo bus, en estos se establece una separación física con el espacio destinado al resto de los vehículos mediante un obstáculo que inhibe la posibilidad de invasión y agiliza el desplazamiento de los buses. Mayormente los carriles segregados se emplazan en el centro de la calzada y pueden ser unidireccionales o bidireccionales, uno o más para cada sentido, con o sin carril auxiliar (Bull & CEPAL, 2003; MTT, 2016; MTT & Subsecretaría de Transportes, 2018). La principal ventaja de este sistema es que permite trasladar a una gran cantidad de personas en poco tiempo y a un costo de infraestructura bajo. Sin embargo, para que funcione de manera adecuada, se debe reorganizar el sistema de buses (Thomson, 2007).

En la Tabla 2-4 se presenta la evolución de una avenida que consta de dos calzadas con cinco carriles cada una. En la cual originalmente se establecieron dos carriles sólo bus por calzada, separadas por marcas en el pavimento; luego, se segregaron tres carriles por calzada para buses, separadas del resto del flujo, mediante elementos físicos que inhibieron severamente las transgresiones. Se observa que los tiempos de viaje para buses disminuyeron en promedio de 36%, mientras que los autos disminuyeron sus tiempos de viaje en un sentido, pero en el otro aumentaron en promedio de 2.5 minutos (Bull & CEPAL, 2003; Subsecretaría de Transportes, 2012).

Tabla 2-4: Ahorros de tiempo en una vía segregada de Santiago de Chile durante "hora punta" de la mañana.

Avenida	Tiempo de viaje buses				Tiempo de viaje autos			
	Antes de la medida (min)	Con la medida (min)	Ahorro (min)	Ahorro (%)	Antes de la medida (min)	Con la medida (min)	Ahorro (min)	Ahorro (%)
B. O'Higgins (7 km) Sentido								
E-O	28.0	17.4	10.6	37.9	17.5	12.1	5.4	30.9
O-E	33.0	21.6	11.4	34.5	21.0	23.5	-2.5	-11.9

Fuente: Bull & CEPAL (2003)

Con el cofinanciamiento del Banco Mundial, a partir de 1983 la MML realizó estudios para brindar facilidades viales que privilegiaran al TP. Entre todas las vías estudiadas, se construyeron y operaron solo algunas entre las que estuvo la Av. Brasil, en toda su longitud. Esta es una arteria radial que cuenta con tres calzadas, que inicialmente se utilizaban para el tránsito mixto, incluyendo al TP. La pista central posee cuatro carriles de circulación que se destinaron a la implantación de pistas exclusivas para el TP, dos carriles para cada dirección. Para que los cuatro carriles de la calzada central de la Av. Brasil se usen como carriles segregados, se ejecutaron obras de paraderos de buses, nueva semaforización en las

intersecciones, canalización de la circulación peatonal, mediante una barrera que permita el cruce únicamente en las intersecciones, y se repararon los pavimentos (Figura 2-4) (CEPAL, 1989).



Figura 2-4: Sección típica de la av. Brasil.

Fuente: Elaboración propia

La evaluación publicada en setiembre de 1989 presentó valores anteriores y posteriores a la implantación de carriles segregados en la Av. Brasil los cuales que se muestran en la Tabla 2-5. Las pérdidas y beneficios se valorizaron y la nueva situación significó una pérdida de 190 dólares por hora punta. Cabe resaltar que en dicho monto no se incluyeron los costos de inversión, la ingeniería del proyecto, ni las mayores congestiones que sufrió el tráfico que cruza la avenida. (CEPAL, 1989).

Tabla 2-5: Evaluación del antes y después de carriles segregados en la Av. Brasil.

	Transporte Público		Automóviles	
	Antes	Después	Antes	Después
Velocidades promedio (km/h)	15	19	40	25
Ahorro/perdida (min)	4 (ahorro)		9 (pérdida)	

Fuente: CEPAL (1989)

c) Vías exclusivas para buses

En este tipo de vía toda la calzada es asignada al uso exclusivo del TP. A pesar de parecer una medida sencilla en cuanto a la implementación, operacionalmente genera impactos importantes debido a que se debe reordenar el tránsito de vehículos privados y el acceso a las propiedades se ve limitado. Esta medida ha sido implementada en varios países por muchos años. Sin embargo, lo más reciente es la implementación de esta exclusividad sólo durante ciertos periodos de tiempo, horas punta, para disminuir la congestión; luego de ellos vuelve a estar abierta al tránsito mixto (Bull & CEPAL, 2003; DTPM, 2016).

En la Tabla 2-6 se observa las mejoras debido a la implementación de esta medida en diferentes vías. Cabe resaltar que es necesario realizar campañas masivas de información anticipada a la población en general, en las que se propongan desvíos y rutas alternativas destinados a disminuir los posibles efectos negativos que puedan generarse.

Tabla 2-6: Ahorro de tiempo de buses en vías exclusivas de Santiago de Chile durante hora punta de la mañana.

Vía exclusiva	Longitud (km)	Sentido	Tiempos de viaje antes de la medida	Tiempos de viaje con la medida	Ahorro	
			(min)	(min)	(min)	(%)
Av. Gral. Carrera	9.4	S-N	38.4	29.3	9.1	23.7%
		N-S	26.8	28.4	-1.6	-6.0%
Recoleta	4.3	S-N	14.1	12.8	1.3	9.2%
		N-S	17.1	14.4	2.7	15.8%
Santa Rosa	10.5	S-N	40.4	33.6	6.8	16.8%
		N-S	24.6	26.2	-1.6	-6.5%
Pajaritos	7.8	E-O	17.7	17.4	0.3	1.7%
		O-E	22.7	19.6	3.1	13.7%
San Pablo	9.6	O-E	33.9	25.4	8.5	25.1%
Independencia	5.9	N-S	17.3	17.2	0.1	0.6%
Vicuña Mackenna	9.3	S-N	26.2	23.4	2.8	10.7%
		N-S	22.6	23.3	-0.7	-3.1%

Fuente: Bull & CEPAL (2003)

d) Transporte público reorganizado con un esquema equivalente a un metro de superficie

No solo la circulación separada de los buses, sino también estaciones, sistema integrado de pasajes y terminales de intercambio son parte de esta modalidad de servicios de transporte, que guarda similitud con los sistemas de metro, con la ventaja de que los costos de puesta en servicio son muy inferiores. Luego de la experiencia en Curitiba, Brasil; un caso relevante es el sistema de trolebús de Quito, Ecuador inaugurado en 1995 (Arias, 2001). Las mediciones de tiempos de viaje, antes y después de la implantación del proyecto, permitieron cuantificar ahorros que ascienden en promedio al 50%. Adicional a estos dos, el “Transmilenio” en Bogotá, Colombia que fue inaugurado a finales del año 2000 cuenta con servicios troncales que operan en vías segregadas; este sistema se ha consolidado no sólo como una iniciativa de transporte, sino de desarrollo de la ciudad (Sandoval, 2002).

2.3.2. Informalidad en el transporte público

La informalidad está asociada a aquellas actividades generadoras de ingresos que no están reguladas por el estado en un medio ambiente social donde actividades similares están reguladas (Calderon, 2005). El transporte informal sostenía la movilidad de los limeños, a tal punto de poder estimar que el 91% del total de transporte masivo era informal, y que el 9% formal sólo tenía la capacidad para transportar al 21% de usuarios recurrentes de TP (De Soto, 2002).

Las actitudes y prácticas de los choferes y cobradores son consecuencia del sistema laboral en el que se encuentran. Por lo tanto, el manejo agresivo, el poco respeto hacia las normas de tránsito, la competencia entre unidades, entre otros factores, guardan estrecha relación con la situación laboral de las empresas en la que cada sujeto labora (Bielich, 2009).

2.3.2.1. Paraderos informales o improvisados

En Lima Metropolitana no hay horarios ni frecuencias definidas para el TP. Es decir, no se puede saber con exactitud la hora en que va a pasar la unidad que cubre determinada ruta. Sin embargo, en la práctica los habitantes limeños saben que pueden encontrar unidades de TP tanto muy temprano en la mañana como muy tarde en la noche, existe incluso servicio nocturno con lo que se cubre prácticamente todas las franjas horarias. Por lo tanto, las frecuencias elevadas evitan que los limeños tengan que esperar mucho tiempo para poder conseguir una unidad que los lleve a su destino, lo que hace que estén acostumbrados a tomar buses o combis en cualquier esquina de la ciudad. No se respetan los paraderos porque debido a la alta frecuencia, siempre habrá un bus en la esquina más cercana. Esto hace del TP limeño un sistema con relativa eficiencia social. No obstante, también encuentra dos factores de deficiencia: la red viaria, con infraestructura pobre; y los choferes y cobradores con actitudes y prácticas inadecuadas (Avellaneda, 2007).

Para evaluar la relación entre presencia de paraderos de TP, sus características específicas de parada y la ocurrencia de colisiones entre peatones y vehículos motorizados en Lima, Perú, se utilizó como unidad de estudio los cruces peatonales. En el año 2011 realizaron una muestra aleatoria en 11 comisarías policiales de las cuales se obtuvo un total de 97 intersecciones en las que acontecieron 1134 colisiones, mientras que en 40 espacios ubicados en medio de diferentes cuadras ocurrieron 469 colisiones entre octubre del año 2010 y enero del 2011 (MTC, 2009; Quistberg et al., 2013).

A diferencia de la mayoría de ciudades en países desarrollados, en Lima los paraderos fueron ubicados justo antes de las intersecciones. Lo cual demostró en los resultados que en las

intersecciones que contaban con paraderos de TP la probabilidad de colisiones entre peatones y vehículos motorizados era tres veces más en comparación con aquellas intersecciones que no contaban con paraderos. Tanto a los paraderos formales como informales se les asociaron con mayores probabilidades de colisión en las intersecciones. Además, los paraderos ubicados a media cuadra en carriles destinados al tránsito de autobuses también presentan riesgo de colisiones. Por lo tanto, en Lima Metropolitana se vinculó la presencia de paraderos con el aumento de riesgo de accidentes de tránsito causados por colisiones entre peatones y vehículos (Bielich, 2009; Mendoza & Bielich, 2011; Quistberg et al., 2013).

2.4. Zonas de trabajo de obras civiles en áreas urbanas

Parte de los desvíos en las rutas de los viajeros son forzados y algunas veces se deben a la ocupación de pistas o veredas por obras civiles.

a) Obras de infraestructura

En un país en desarrollo como Perú, el aumento de la infraestructura vial y el desarrollo de sistemas ferroviarios rápidos masivos se proyectan como la solución para resolver este problema. Sin embargo, la implementación de dichos proyectos irrumpe el paso inevitablemente a pesar de que su objetivo a largo plazo sea el de descongestionar vías. Esto se debe a la falta de normas de planificación e implementación adecuadas para estas zonas de trabajo (Bhutani, Ram, & Ravinder, 2016).

Los efectos de las zonas de trabajo debido a un proyecto de construcción de metro son diferentes a los proyectos de carreteras y, por lo tanto, se hace necesario estudiar y cuantificar el impacto de las zonas de trabajo de construcción de infraestructura vial en relación al tráfico, que ayudará aún más a estimar la pérdida económica debida al trabajo de construcción del metro en la zona. Las operaciones de mantenimiento y construcción afectan la cantidad de carriles que normalmente se tenían disponibles para el tráfico y las características de circulación a través del área. En India, también país en desarrollo, la construcción de un metro ferroviario según un estudio basado en las longitudes de cola en condiciones de zona de trabajo y zona de no trabajo, tiene pérdidas económicas totales anuales alrededor de 30 millones de dólares por kilómetro (Bhutani et al., 2016).

Por lo tanto, es necesario contar con una programación ordenada de la zona de trabajo haciendo uso de técnicas de gestión del tráfico para reducir los impactos de las zonas de trabajo de la construcción de infraestructura. Además, el estudio arrojó que el porcentaje máximo de pérdidas económicas se debe a la pérdida de tiempo de los pasajeros de TP en la zona de trabajo, por lo que, se concluye que se debe dar prioridad al TP en la zona de trabajo. Una

manera de regular dicha prioridad sería la restricción de uno o más tipos de vehículos durante horas pico en la zona de trabajo.

b) Edificaciones

Las áreas urbanas se caracterizan por concentrar las actividades económicas en su dominio, que incluyen empleos, actividades académicas, y en general, oportunidades para el desarrollo. A consecuencia de ello, cuentan con mayor población en comparación a la población de sectores rurales, tienen alta densidad poblacional, gran extensión y poseen variada infraestructura. Debido al rápido crecimiento de la población urbana y al aumento del número de vehículos complementado por un mayor uso de vehículos privados, la congestión en las vías urbanas se ha incrementado enormemente (Bhutani et al., 2016).

En estas áreas, las zonas de trabajo establecidas para las actividades de construcción que demanda la implementación de obras civiles pueden generar problemas tales como; la reducción de la capacidad, el aumento de los retrasos en los tiempos de viaje, las longitudes de cola que se forman, el consumo de combustible, el número de conflictos forzados y los accidentes que causan pérdidas económicas que hasta la actualidad en nuestro medio no han sido cuantificadas (Astarita, Giofrè, Guido, & Festa, 2014).

La ordenanza 2087 de la MML regula el procedimiento para la evaluación y aprobación de los estudios de impacto vial (EIV) y estudios de monitoreo (EM) en proyectos de habilitación urbana y de edificación que se ubican frente a vías locales y metropolitanas, también establece las infracciones y sanciones ante el incumplimiento de las obligaciones establecidas. Un EIV agrupa un conjunto de actividades para evaluar cualitativa y cuantitativamente los efectos que produce sobre el entorno vial y el transporte, el desarrollo urbanístico o la renovación de zonas o lotes de terreno, de tal forma, que se puedan prever y mitigar sus efectos negativos mediante medidas administrativas y técnicas adecuadas para recuperar, alcanzar o mejorar el nivel de servicio existente en el sistema vial adyacente. Un EM es un documento técnico para realizar el seguimiento de la calidad de los componentes del sistema de tránsito y transporte afectados, de tal forma, que se controlen los impactos viales negativos (MML, 2018).

Asimismo, los EIV deben proponer medidas y soluciones eficaces que neutralicen los posibles impactos viales negativos que puedan generar los proyectos tanto de habilitación urbana como de edificación, para ello se define un área de influencia, la cual será impactada de manera directa o indirecta por la ejecución del proyecto que afectará a la vía que da acceso al terreno, así como a sus intersecciones (MML, 2018). Los proyectos de edificación de vivienda, multifamiliares, con más de 10 pisos, que se definen en el artículo 7° de la ordenanza deben

incluir como parte de las medidas de mitigación una serie de requisitos desde su nivel funcional; sin embargo, el proceso constructivo no se encuentra debidamente fiscalizado.

2.5. Intersecciones

Las intersecciones son elementos importantes presentes en toda vía y en el sistema de transporte (Lu, Liu, Wang, & Yu, 2012). Por lo que la seguridad presente en ellas tiene un rol importante en el tráfico. Para poder mejorar el nivel de seguridad del transporte urbano, la seguridad en las intersecciones debe evaluarse objetivamente. Los métodos tradicionales de evaluación de seguridad en intersecciones se basan fundamentalmente en estadísticas de accidentes de tránsito. Sin embargo, es difícil evaluar la seguridad en términos de cifras de accidentes de tránsito porque son eventos impredecibles y raros (Oh, Min, Kim, & Cho, 2009).

La mayoría de estudios sobre conflictos que se realizan involucran un recuento de conflictos basado netamente en observaciones subjetivas de las interacciones del tráfico, mientras los otros utilizan mediciones más cuantitativas, en términos de proximidad de tiempo y espacio entre vehículos (Chin & Quek, 1997).

De acuerdo con Roess, Prassas, & McShane (2011) en el diseño de intersecciones se espera garantizar la seguridad de los usuarios de la intersección, y también un flujo eficiente de los usuarios. Así mismo, los requerimientos demandados por una intersección están condicionados al número de vehículos que circulan, el número de peatones y discapacitados que circulan, la frecuencia de uso de la intersección por parte de las personas y el contexto en que se encuentra la intersección (RACC, 2004).

2.5.1. Criterios de diseño

El aumento del parque vehicular entre otros factores hace cada vez más notorios los problemas de tránsito en áreas urbanas, que a la vez demandan un mayor control en las intersecciones de la red vial lo cual da como resultado un aumento en las demoras de viajes. Por ello, mediante la ingeniería de tránsito, se busca la optimización de operación del flujo vehicular en intersecciones utilizando rotondas, pasos a desnivel o semaforizaciones que puedan satisfacer la demanda vehicular en una intersección y con ello mitigar o al menos minimizar los problemas que existan (RACC, 2004).

a) Intersecciones semaforizadas

Los semáforos son dispositivos operados eléctricamente mediante los cuales se regula la circulación de vehículos y peatones por medio de luces de color rojo, ámbar o amarilla y verde.

La semaforización es el sistema constituido por semáforos para el control del tránsito de vehículos (MTC, 2006). La función principal de un semáforo en el control de una intersección es dar el paso alternativamente a los distintos grupos de vehículos, peatones, bicicletas y/u otro medio de transporte de tal manera que estos puedan pasar a través de la intersección con un mínimo de conflictos, riesgos y demoras (Valencia Alaix, 2000). Se clasifican en base a su mecanismo de operación de controles en:

- a) Semáforos para el control del tránsito de vehículos.
- b) Semáforos para pasos peatonales
- c) Semáforos especiales.

Los niveles de servicio para las intersecciones semaforizadas se establecen de acuerdo a demora promedio por parada de cada vehículo (Tabla 2-7) (Cal y Mayor, 1978).

Tabla 2-7: Niveles de servicio en intersecciones semaforizadas.

NIVEL DE SERVICIO	CARACTERÍSTICAS DE LA OPERACIÓN	DEMORAS (segundos)
A	Baja demora, sincronía extremadamente favorable y ciclos cortos, los vehículos no se detienen.	< 10
B	Ocurre con una buena sincronía y ciclos cortos, los vehículos empiezan a detenerse.	10 – 20
C	Ocurre con una sincronía regular y/o ciclos largos, los ciclos en forma individual empiezan a fallar	20 – 35
D	Empieza a notarse la influencia de congestión ocasionado por un ciclo largo y/o una sincronía desfavorable o relaciones v/c altas, muchos vehículos se detienen.	35 – 55
E	Es el límite aceptable de la demora, indica una sincronía muy pobre, grandes ciclos y relaciones v/c mayores, las fallas en los ciclos son frecuentes.	55 – 80
F	El tiempo de demora es inaceptable para la mayoría de los conductores, ocurren cuando los valores de flujo exceden la capacidad de la intersección o cuando las relaciones v/c son menores a 1 pero con una sincronía muy pobre y/o ciclos demasiados largos	> 80

Fuente: HCM (2000)

Según SEDESOL (2008) los semáforos asignan derecho de paso de vehículos y peatones secuencialmente, por las indicaciones de luces de color rojo, ámbar y verde, operadas por un aparato electrónico de control de tráfico. El semáforo ejerce gran influencia sobre el flujo del tránsito, por lo que, desde el punto de vista de la movilidad, el diseño de las fases y tiempos del semáforo, en la mayoría de veces, está enfocado a mejorar el nivel del servicio vehicular y el tiempo restante está asignado a la circulación de peatones y discapacitados.

Sin embargo, según (Valencia Alaix, 2000) se deben considerar los objetivos del diseño de una intersección controlada por semáforo en el siguiente orden: primero, reducir y prevenir algunas causas de accidentes en la intersección y en intersecciones aledañas; segundo, reducir las demoras que experimentan los peatones y vehículos al intentar cruzar la intersección, y al mismo tiempo, evitar los obstáculos de las intersecciones más cercanas causados por largas colas; tercero, reducir el consumo de combustible de los vehículos que circulan por la intersección; por último, reducir la emisión de contaminantes emitidos por los automóviles y otros factores medioambientales.

b) Intersecciones no semaforizadas

Si bien conseguir una adecuada interacción entre todos los usuarios de una intersección es complicada, el caso opuesto que es la monopolización de uno de los agentes, los cuales hacen uso de la intersección, no está cerca de lo idóneo (Salamanca, 2008). Las políticas que priorizan solo el transporte han restringido y quitado espacio a uno de los elementos más vulnerables al momento de usar una intersección: el peatón. Es por ello que la movilidad intenta proteger a las personas y les da pleno protagonismo especialmente en el uso de las intersecciones que no son controladas por semáforos (RACC, 2004).

Según Schoon (2010), la mayoría de diseños están orientados a que el vehículo motorizado evite colisión con peatones y hay menos diseños que indiquen cómo un peatón o persona discapacitada evada la colisión con vehículos motorizados. Es por ello, que es importante conocer el movimiento y dimensiones características del peatón o discapacitado.

Este tipo de intersecciones operan bajo tres niveles de control (reglas básicas en intersecciones, señales de pare y ceda el paso) y los volúmenes de tráfico son bajos, por ello se señala que el número de carriles a usar en la intersección debe ser el mismo que los que se aproximan a la misma. Cabe resaltar, que las vías de alta velocidad y/o poca visibilidad son contextos especiales para las intersecciones y se debe tratar de canalizar el flujo además de usar señales de tránsito apropiadas (Roess et al., 2011).

2.6. Modelos de simulación de tráfico vehicular

Un modelo es una representación de un objeto, sistema o idea. Su propósito es explicar, entender o mejorar un sistema (Shannon, 1988). En los estudios de tráfico para poder describir las condiciones existentes en una vía o red vial se utiliza la modelación. Además, para poder representar un determinado sistema se utilizan diferentes modelos.

Existen diversos modelos que representan el comportamiento de los vehículos y el peatonal, dichos modelos pueden clasificarse de acuerdo con los siguientes criterios.

2.6.1. Según la escala de las variables dependientes

Las variables cuantitativas se clasifican en discretas y continuas que a su vez arrojan sistemas discretos y continuos respectivamente. Las relaciones funcionales de un sistema discreto sólo permiten variaciones en un conjunto finito o contable de puntos temporales; es decir, las variables de los modelos discretos pueden tomar solo un determinado número de valores dado que los valores de sus variables dependientes están separados. Mientras que en un sistema continuo las relaciones funcionales entre sus variables sólo permiten una evolución continua en el tiempo; matemáticamente, las variables de los modelos continuos pueden tomar infinitos valores correspondientes a varios puntos en un intervalo dado que los valores de sus variables no están separados unos de otros. Finalmente, las combinaciones entre sistemas continuos y discretos corresponden a modelos reales, y la forma de tratarlos depende de los objetivos de estudio y de la característica dominante (Law & Kelton, 1991; Tarifa, 1988).

2.6.2. Según la representación de procesos

Existen modelos determinísticos y estocásticos. Un sistema determinístico no posee ningún elemento aleatorio, al especificar los datos de entrada, los parámetros y las variables de estado, los datos de salida y los datos internos del sistema quedan bien definidos; por lo tanto, se determinan perfectamente las relaciones funcionales entre las variables del sistema. Mientras que para un sistema estocástico alguno de sus elementos tiene conducta aleatoria, por lo que para datos de entrada conocidos no será posible afirmar los valores de salida. Si a un sistema determinístico se le ingresa data estocástica, la respuesta del sistema es estocástica. Además, un sistema real mayormente se considera estocástico debido a su propia naturaleza o porque son casos que actualmente no se comprenden y se desean estudiar; sólo se considerará como determinístico un sistema real cuya incertidumbre es menor que un valor aceptado (Law & Kelton, 1991; Tarifa, 1988).

2.6.3. Según el nivel de detalle

Es la clasificación más frecuente dentro de la cual se pueden distinguir los tres niveles de detalle que se presentan en la Figura 2-5. Los modelos microscópicos consideran los vehículos individuales y sus interacciones, mientras que los modelos macroscópicos incluyen grandes cantidades de densidad, velocidad, flujo y la interacción de los vehículos dentro de una red, y la capa intermedia entre el enfoque micro y macro denominada escala mesoscópica, la cual supera algunas deficiencias de los niveles extremos (Ehlert, Schneck, & Chanchareon, 2017). Según Jimenez (2011) existen muchas aproximaciones que tratan de modelar el flujo de tráfico vehicular destacando alguna de sus características y dichas características responden con cierto grado de aproximación a la realidad.

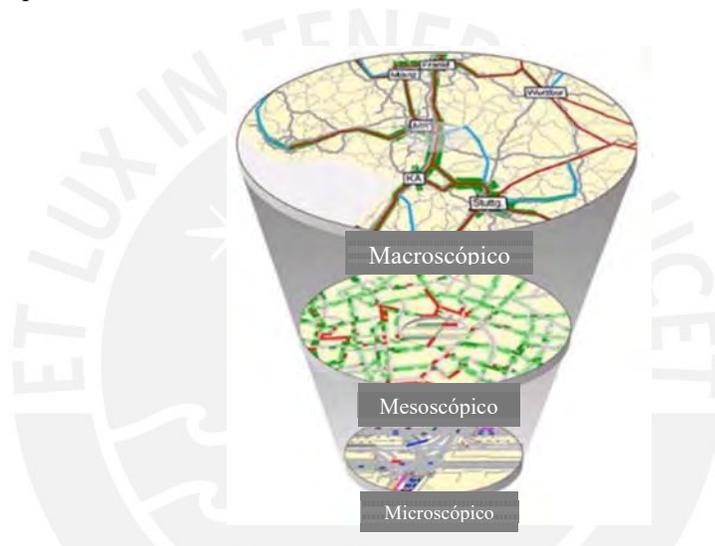


Figura 2-5: Niveles de detalle de modelos de simulación.

Fuente: Adaptado de PTV AG (2012)

2.6.3.1. Modelos macroscópicos

Los modelos macroscópicos se caracterizan por ser representaciones continuas del flujo del tránsito, su estudio se concentra en captar las relaciones globales entre la velocidad de los vehículos, la densidad del tráfico y el flujo vehicular. Estas características pierden mucho detalle, pero benefician en habilidad al modelo por tratar problemas grandes dentro de tiempos de ejecución cortos. En lugar de considerar el tráfico como un conjunto de vehículos individuales, se interpreta como un flujo continuo de la materia. La principal limitación de estos modelos es que impiden estudiar el movimiento vehicular cuando hay congestión por lo que se serán recomendables para estudiar únicamente vías urbanas con tránsito fluido (Jiang, Ma, & Zhou, 2018).

Estos modelos utilizan diferentes ecuaciones existentes para la mecánica de fluidos, la teoría cinética de gases, entre otras ecuaciones diferenciales de continuidad. Sin embargo, dentro de estos existen modelos puramente empíricos, denominados modelos de capacidad y niveles de servicio, que renuncian al planteamiento de las ecuaciones diferenciales y se limitan a establecer relaciones empíricas entre las principales variables bajo el control del diseñador con el fin de alcanzar una mayor simplificación (Adacher & Tiriolo, 2018).

Entre los softwares más relevantes se encuentran: VISUM, FREFLO, NETVACI, NETFLO, TRANSYT, TRANSYT-7F, TRANSCAD, KRONOS, AUTOS, EMME/2, METANET y METACOR (Wang, Szeto, Han, & Friesz, 2018).

Algunos de los programas de simulación son híbridos y pueden representar escalas macro, meso y micro a la vez de manera (Tabla 2-8). Como es posible que se combinen las características de modelos de diferente nivel de detalle, KRONOS clasificado como modelo macroscópico, simula las conductas de cambio de carril por lo que se le puede considerar también como mesoscópico (Ejercito, Nebrija, Fera, & Lara-Figueroa, 2017; Suárez Castaño, 2007; Wang et al., 2018).

Tabla 2-8: Comparación entre los softwares de simulación de tráfico.

	Aimsun 7	Cube Voyage / Avenue	DRACULA	DynaMIT	FLEXYT-II	FreeSim	Integration	MITSIMLab	PELOPS	PLANSIM-T	Paramics	SITRA-B+	SUMO	TransModeler	TSIS-CORSIM	VISSIM
Macro	X	O	O			X	O	O			O		O	X	O	O
Meso	X	X	O	X		O	O	O			O		X	X	O	O
Micro	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
O	No															
X	Sí															
[vacío]	No dado															

Fuente: Pell, Meingast, & Schauer (2017)

2.6.3.2. Modelos mesoscópicos

Este nivel en comparación con los modelos macroscópicos puede producir información más detallada y en comparación con los modelos microscópicos reduce los tiempos de ejecución y velocidad de corrida que demanda la producción bastante detallada de los datos de entrada. Su metodología consiste en simular pelotones de vehículos como si fueran uno solo

(Jamshidnejad, Papamichail, Papageorgiou, & De Schutter, 2017; Tordeux, Lämmel, Hänseler, & Steffen, 2018; Zhu, Xiong, Chen, He, & Zhang, 2018).

La escala mesoscópica se puede utilizar si los vehículos individuales se mueven a través de la red en función de cantidades macroscópicas agregadas como densidad o velocidad agregada (Burghout, 2005; Burghout, Wahlstedt, & Ab, 2007). Modelos donde los grupos de vehículos con características similares se mueven a través de una red (Leonard, Gower, & Taylor, 1989), enfoques basados en células en los que la red de carreteras se divide en celdas y según la cantidad de vehículos caben en tal célula que se subdividen en modelos microscópicos (un vehículo por célula) o modelos mesoscópicos (más de un vehículo por celda) (Mahut, 2001; Mihăiță, Dupont, & Camargo, 2018; Nagel & Schreckenberg, 1992) y modelos donde los vehículos individuales se mueven a través de la red pero basados en el seguimiento y carriles simplificados del automóvil cambio de modelos (Mahut, 2001).

Las plataformas más utilizadas para estos modelos son CONTRAM, SATURNO, METROPOLIS, INTEGRATION, DYNAMIT y DINASMART (Suárez Castaño, 2007; Wang et al., 2018).

2.6.3.3. Modelos microscópicos

Analizan el comportamiento individual de cada vehículo y conductor, de manera que, integrando los datos de cada vehículo se puede obtener información del tráfico viario en tu totalidad. Al no considerar el tráfico de manera global permite la evaluación de los diferentes tipos de vehículos que se requieran estudiar como buses, microbuses, motocicletas, automóviles, bicicletas, entre otros.

La metodología de estos modelos, estocásticos por naturaleza, se basa en la teoría de seguimiento vehicular en complementación con el adelanto de vehículos y cambio de carril que describe el comportamiento vehicular. El desarrollo y la aplicación de los modelos de microsimulación se describe en la Figura 2-6.

Las limitaciones de estos modelos se dan debido a que cada conductor puede reaccionar de distinta manera en función a su edad, experiencia, vehículo, condiciones meteorológicas, estado de ánimo, etc. y esta variabilidad resulta difícil de considerar en los modelos.

El tránsito en Lima Metropolitana, una realidad compleja en la que participan simultáneamente diversos modos de transporte, presenta características peculiares que deben poderse replicar en el modelo seleccionado; los modelos micro son los únicos capaces de modelar

adecuadamente los múltiples conflictos encontrados en las intersecciones de la metrópoli (Cabrera, 2012).

Entre los softwares de microsimulación más relevantes se encuentran: AIMSUN, VISSIM, INTRAS, FREESIM, MITSIM, CORSIM, THOREAU, FLEXXSYT II (Suárez Castaño, 2007; Wang et al., 2018).

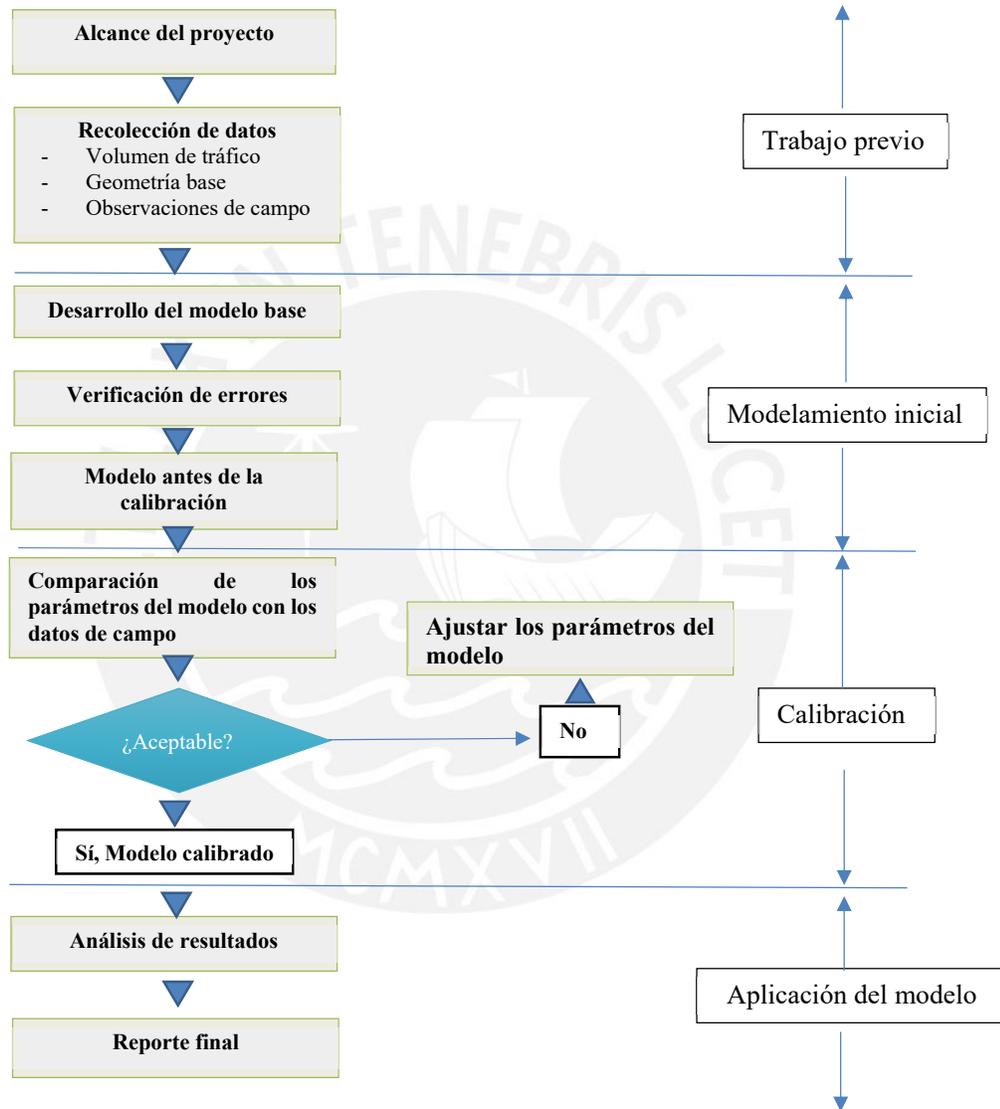


Figura 2-6: Desarrollo y aplicación de los modelos de microsimulación.

Fuente: Adaptado de FHWA (2004)

2.7. Microsimulación vehicular en VISSIM

La microsimulación en VISSIM se introdujo en 1994 para analizar y optimizar los flujos de tráfico, consiste en un simulador multipropósito que se basa en el comportamiento de cada conductor y su interacción con los otros (Fellendorf & Vortisch, 2010). Por tanto, permite simular el tráfico con bastante realismo (PTV, 2018). VISSIM utiliza el modelo psicofísico de seguimiento vehicular presentado por Wiedemann en 1974, que se presenta en la Figura 2-7, el cual se basa en el tiempo y comportamiento, y fue desarrollado para modelar principalmente el tráfico urbano y zonas de entrecruzamiento (PTV AG, 2012).

El concepto de este modelo es que el conductor de un vehículo en movimiento más veloz empieza a desacelerar una vez que alcanza su umbral de percepción individual hacia un vehículo en movimiento más lento. Como para el primer conductor no es posible determinar con exactitud la velocidad a la que viaja el más lento, procederá a disminuir su velocidad hasta estar por debajo de la velocidad del más lento hasta que se inicie la nueva etapa de aceleración luego de alcanzar nuevamente otro umbral de percepción; resultando en un proceso iterativo de aceleración y desaceleración (PTV AG, 2012). Por lo tanto, se definen cuatro modos de conducción: conducción libre, en el cual el conductor busca alcanzar y oscilar a una cierta velocidad individual deseada; aproximación, en el cual el conductor se adapta a una velocidad inferior del vehículo precedente.

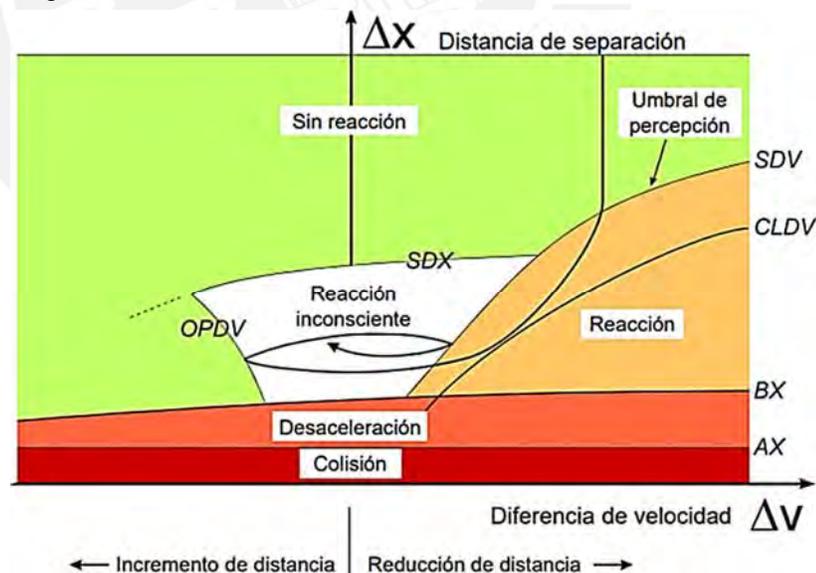


Figura 2-7: Lógica del seguimiento vehicular Wiedemann 1974

Fuente: Adaptado de PTV AG (2012)

A continuación, se detallan los fundamentos de la microsimulación en VISSIM.

a) Modelo estocástico y número semilla

Los modelos estocásticos representan la naturaleza aleatoria del tráfico (Suárez Castaño, 2007), en VISSIM las distribuciones estocásticas de velocidad y los umbrales de espaciamiento replican las características de comportamiento individual del conductor (PTV AG, 2012).

Para determinar las posibles características de los conductores en una microsimulación utilizando VISSIM se emplea el número semilla. Este es un parámetro aleatorio que genera una secuencia de valores aleatorios, en el software tiene un valor inicial por defecto de 42, el mismo que está relacionado con la primera corrida. Sin embargo, el usuario puede introducir un número cualquiera que irá variando de acuerdo con el valor de incremento que el usuario indique. Entonces, cada valor de número semilla que se genere estará asociado a una única corrida. A continuación, se explica cómo es que conforme cambia el número semilla, cambian los valores correspondientes al conductor y al vehículo.

Primero, se observa la distribución uniforme (Figura 2-8 a), donde el generador de números aleatorios produce un valor, R , para cada vehículo; aplicando el *método de transformación inversa* a esta distribución, asigna un valor de X al vehículo, definiendo la agresividad del conductor. Luego, la distribución discretizada que relaciona el índice de agresividad del conductor con la velocidad de flujo libre deseada (Figura 2-8 b), la cual implica que los conductores agresivos seleccionan altas velocidades de flujo libre. Finalmente, la distribución discretizada que relaciona el índice de agresividad del conductor con la desaceleración aceptable durante la maniobra de cambio de carril (Figura 2-8 c), esta implica que los conductores agresivos aceptan riesgos más altos y están dispuestos a aceptar situaciones que podrían requerir grandes desaceleraciones para evitar una colisión (FHWA, 2004).

Por lo tanto, para cierto número semilla se tiene un índice de agresividad, que resulta en una velocidad de flujo libre y una desaceleración aceptable. Con ello, se garantiza el cambio en los valores del tráfico. Cabe resaltar que los resultados obtenidos no están relacionados con el tamaño del número semilla.

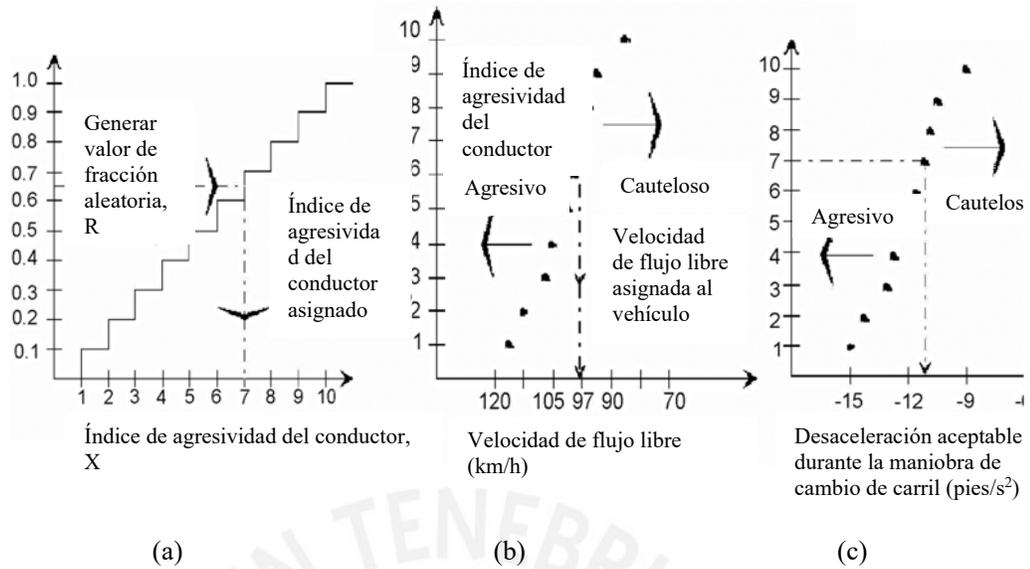


Figura 2-8: Generación de las características del conductor.

Fuente: Adaptado de FHWA (2004)

b) Múltiples corridas y nivel de confiabilidad

Debido a que la microsimulación representa procesos de manera estocástica y, esto hace que en cada corrida cambie el número semilla, como se explicó anteriormente. La cantidad de corridas mantiene relación directa con la mejora en los resultados que se obtienen; es decir, a mayor número de corridas, se obtendrán mejores resultados.

El número de corridas dependerá del análisis estadístico de los resultados, por lo tanto, se trata de un proceso iterativo (FHWA, 2004) en el que se utilizan las Ecuación 2-2 y Ecuación 2-1.

Ecuación 2-1: Desviación estándar

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}$$

Dónde:

- S = desviación estándar
- x = cada valor de la variable
- \bar{x} = promedio de los valores de x
- N = número de corridas

Ecuación 2-2: Número mínimo de corridas

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

Dónde:

- e = margen de error
- $t_{\alpha/2}$ = valor de la distribución "t" student
- S = desviación estándar
- N = número de corridas mínimo obtenido

c) Mecanismo de actualización del modelo

Se define por intervalos de tiempo en los que el programa actualiza la información para cada vehículo. La diferencia entre intervalos grandes y pequeños radica en la representación de la agresividad del conductor. Se recomienda actualizar cada décima de segundo (0.1 s).

d) Periodo de estabilización del sistema o “warm up”

Es el periodo de inicialización antes de que el sistema alcance el equilibrio (FHWA, 2004), representa el tiempo previo antes de poder registrar resultados, pues al inicio de este periodo el modelo aún no representa el escenario real. Este tiempo se considera el necesario para que el vehículo más lento viaje a través del segmento más largo del modelo (Karakikes, Spangler, & Margreiter, 2017), de tal manera que el tránsito se estabilice a las condiciones de la realidad. Por lo tanto, los resultados que se obtienen durante este periodo no se deberán considerar para la evaluación del estudio.

El analista debe elegir un período de calentamiento equivalente al menos al doble del viaje estimado, tiempo en condiciones de flujo libre para atravesar la longitud de la red (FHWA, 2004).

La Tabla 2-9 se construyó a partir de un estudio comparativo entre los softwares VISSIM y SIDRA. De donde se pudo concluir que la data de entrada requerida por VISSIM puede llegar a ser compleja; pero el error en los resultados de salida de VISSIM es mínimo por lo que está más cerca del valor real. Finalmente, al simular una intersección señalizada, si se necesita una demora promedio precisa del vehículo, VISSIM es una elección deseable (Tianzi, Shaochen, & Hongxu, 2013).

Tabla 2-9: Análisis del comportamiento de VISSIM en una intersección semaforizada.

Datos	VISSIM	
Entrada	Construcción de la red vial	Complejo
	Tiempo de semáforo	Complejo
	Composición de vehículos de entrada	Complejo
	Flujos de entrada	Complejo
Salida	Información de salida	Información basta pero necesita ser establecida de antemano
	Velocidad de procesamiento	Varía con el número de corridas y la velocidad de ejecución, generalmente más largo
	Error (demora promedio vehicular)	Relativamente pequeño

Fuente: Adaptado de Tianzi, Shaochen, & Hongxu (2013)

2.8. Micro simulación peatonal en VISWALK

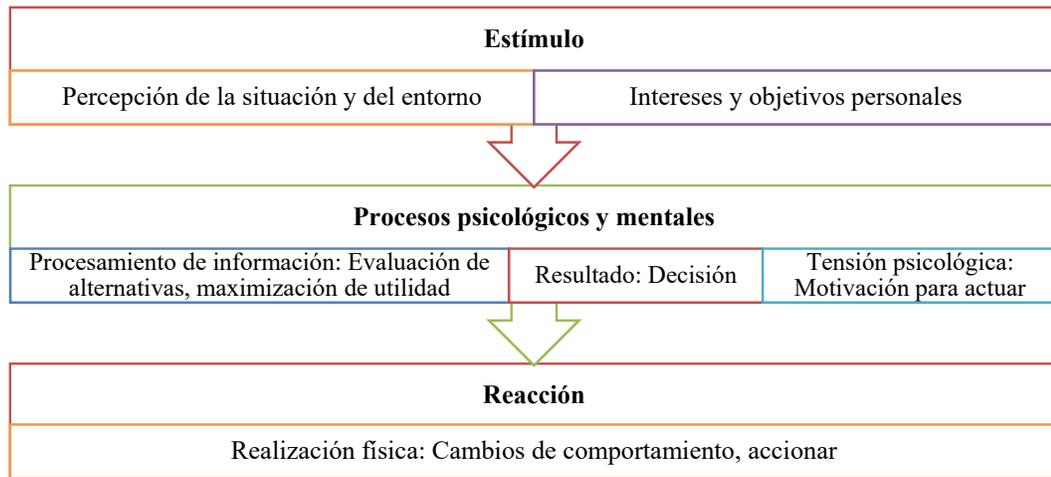


Figura 2-9: Procesos de cambio de comportamiento.

Fuente: Adaptado de Helbing & Molnár (1995)

PTV VISWALK está basado en el modelo de fuerza social desarrollado por Helbing y Molnar en 1995 que considera implícitamente comportamientos complejos de los peatones (Rangel-Huerta, 2013). Permite simular y modelar el comportamiento del peatón considerando la incidencia de fenómenos físicos y sociales en el espacio. Estas fuerzas sociales no son proporcionadas directamente por los peatones, pero se entienden como las motivaciones internas que llevan a actuar a cada individuo (Figura 2-9) (Alexandersson & Johansson, 2013; Helbing & Molnár, 1995).

En los modelos de fuerza social existe gran complejidad de comportamiento de los peatones, la cual se representa por interacciones psicológicas de repulsión social (Parisi, Gilman, & Moldovan, 2009). La fuerza social está compuesta por diferentes influencias como: fuerza de repulsión entre personas y bordes del espacio público, fuerzas de relajación para caminar a la velocidad deseada, entre otras que se muestran en la Tabla 2-10. Estos factores implican tomas de decisiones complejas y diferentes por parte de los peatones; El modelo de fuerza social tiene como finalidad la representación del tránsito peatonal que pueda ser simulado en algún software (Kretz, 2015), lo cual será posible una vez entendidos los comportamientos mediante prueba y error para ser aplicados de manera automática (Rangel-Huerta, 2013).

Tabla 2-10: Factores que PTV VISWALK considera en el modelo de fuerza social

Factor	Efecto	Descripción
Dirección deseada	Dirección	Los peatones toman el camino más corto para llegar a su destino.
Velocidad deseada	Aceleración	La velocidad de flujo libre varía entre los peatones.
Tiempo de relajación	Aceleración	Los peatones tratan de alcanzar su velocidad deseada.
Otros peatones	Repulsión	Los peatones procuran no acercarse a otros peatones, es decir cada peatón tiene su esfera privada.
Obstáculos	Repulsión	Los peatones evitan acercarse a los límites del espacio público (edificios, cercas, etc.)
Atracciones	Atracción	Los peatones son atraídos entre amigos, publicidad, objetos de interés, entre otros.
Ángulo de visión	Ponderación de factores	Los objetos que se encuentran delante de los peatones interfieren más su desplazamiento que los objetos que están detrás de ellos.
Fluctuación	Variaciones aleatorias	Se incluyen aleatoriedades

Fuente: Adaptado de Alexandersson & Johansson (2013)

CÁPITULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio corresponde a una investigación cuantitativa. En la Figura 3-1 se presenta un diagrama de flujo del proceso de investigación empleado. Seguidamente, se detalla la metodología empleada.

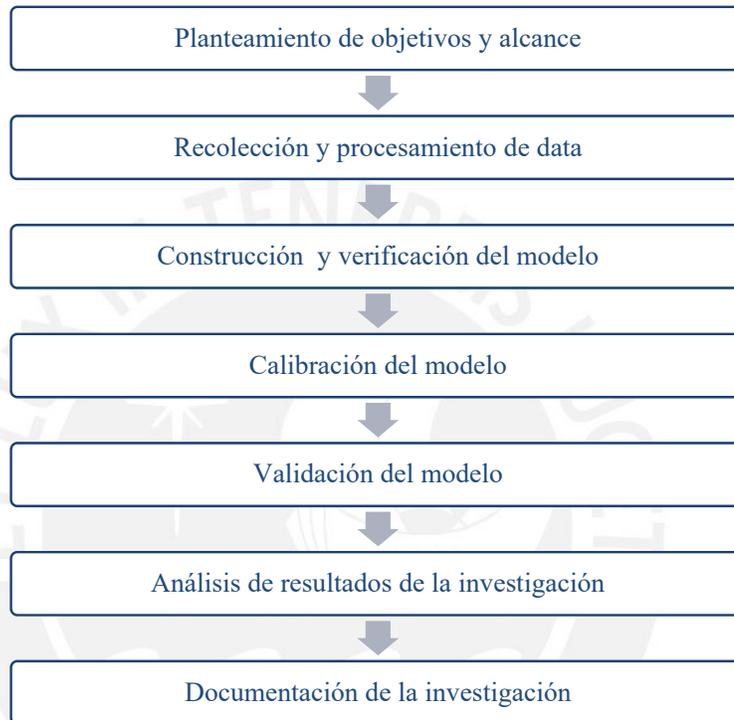


Figura 3-1: Proceso de la investigación

Fuente: Adaptación de FHWA (2004)

3.1. Trabajo previo

En esta etapa se determinaron los datos generales del trabajo tales como: el planteamiento de las preguntas de investigación, la revisión de la literatura, la definición de variables involucradas, el planteamiento de las hipótesis, la delimitación de objetivos, alcances, recolección y obtención de los datos de campo con los cuales se realizó el modelo de las intersecciones (Hernández, Fernández, & Baptista, 1991).

3.1.1. Descripción de escenarios

Para el estudio se distinguieron tres escenarios durante hora punta: el primero que corresponde a un día típico (Figura 3-2), el segundo representa el cierre de las pistas auxiliares de la avenida por actividades constructivas de una edificación multifamiliar (Figura 3-3), y el tercero representa un escenario en el cual la calzada central es exclusiva para el tránsito de transporte público y las auxiliares para otros tipos de vehículos (Figura 3-4).

A continuación, en la Tabla 3-1 se describen los tres escenarios que se evaluarán en la investigación, los escenarios 1 y 2 figuran según lo observado en campo.

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Día de la filmación	21 de marzo de 2018	21 de marzo de 2018	
Hora de la filmación	08:00 – 09:00	07:00 – 08:00	
Pista central	Uso mixto	Uso mixto	Sólo transporte público masivo
Pistas auxiliares	Uso mixto	Clausurada	Otros tipos de vehículo
Veredas y cruces peatonales	Libres para la circulación peatonal	Con obstáculos	Libres para la circulación peatonal

Tabla 3-1: Escenarios de la investigación.

Fuente: Elaboración propia

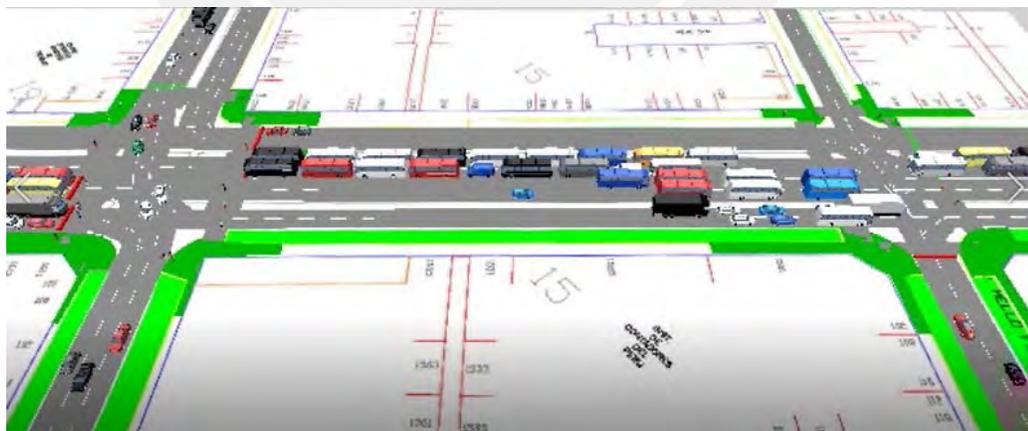


Figura 3-2: Modelo del primer escenario.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3-3: Segundo escenario observado en campo.

Fuente: Elaboración propia



Figura 3-4: Modelo del tercer escenario.

Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Planteamiento de objetivos y alcance

En base a las preguntas de investigación, la revisión de la literatura y la definición de variables involucradas, se definió el tipo de investigación que se busca realizar, en este caso cuantitativa. Luego, lo primero que se realizó fue el planteamiento de las hipótesis y la delimitación de objetivos, ya que en base a ello se determinaron las demás características. Posteriormente, se

determinó el alcance de la investigación. Dentro del cual se deben considerar las características que tienen las intersecciones que serán analizadas y su complejidad.

El área de influencia de la investigación está compuesta por dos intersecciones semaforizadas. La Figura 3-5 muestra una imagen satelital de la ubicación de ambas. La complejidad del modelo aumentará por tratarse de dos intersecciones que requieren ser simuladas debido a la influencia de una intersección cercana (2) sobre la intersección principal (1). Una vez que se cuenta con el alcance de la investigación definido se puede realizar el trabajo de campo.



Figura 3-5: Imagen satelital y ubicación de las intersecciones

Fuente: Adaptado de Milermeter (n.d.)

3.1.3. Recolección y procesamiento de datos

La recolección de data se realizó un día típico, hábil, a mitad de semana del mes de marzo. Se consideraron dos intervalos de tiempo durante las “horas pico”, tanto en la mañana desde las 07:00 horas hasta las 09:00 horas como en la tarde desde las 17:30 horas hasta las 19:30 horas. La temperatura para el día de la recolección de datos según el SENAMHI (2018) osciló entre

un máximo de 26 °C y mínimo de 18 °C, humedad promedio de 81% y radiación solar alta desde las 10:00 horas hasta las 16:00 horas.

La recolección de datos es parte fundamental del procedimiento seguido. Por lo tanto, se debe definir cuáles serán los equipos necesarios, los tipos de datos que se recolectarán y de qué manera se realizará la recolección de los mismos. Para este caso se lograron distinguir tres tipos de datos.

3.1.3.1. Datos geométricos

Representan las medidas geométricas distintivas de cada intersección, algunos datos geométricos básicos requeridos por la mayoría de los modelos son: el número de carriles, ancho, longitud, y velocidad de flujo libre. Además, cuando se trata de intersecciones, también se puede incluir radios y carriles de giro. E inclusive para algunos modelos, dependiendo del área de estudio, se puede requerir información relacionada a estacionamientos, estado del pavimento, límites de carga, entre otros. Estos datos generalmente pueden ser obtenidos de planos de construcciones, estudios de campo, sistema de información geográfica (GIS), o fotografías aéreas (FHWA, 2004).

Los equipos topográficos son recomendados para la obtención de este tipo de datos, ya que garantizan mayor precisión. Sin embargo, en el caso en el que se cuente con planos preexistentes de la zona, estos podrán ser utilizados, siempre y cuando sean verificados en una visita de campo (Cabrera, 2018). Para la presente investigación se utilizaron planos de ubicación existentes de Jesús María y Pueblo Libre, a partir de los cuales se obtuvo el plano de la zona. Durante el trabajo de campo se realizó la medición de los anchos de carriles: ocho carriles en la av. Brasil, seis carriles en la av. Bolívar, dos carriles en la av. Húsares de Junín, dos carriles en la cl. Mello Franco y dos carriles en la cl. Coraceros. Luego, se midieron los separadores centrales que canalizan las vías de las avenidas Brasil y Bolívar, los anchos de calzada, los anchos de las rampas de acceso y de los cruces peatonales. Finalmente, se tomaron las medidas de los paraderos de TP y de los estacionamientos presentes en las vías.

3.1.3.2. Datos de demanda

Estos datos se obtienen del aforo vehicular y peatonal. El aforo vehicular se realizó en base a los tipos de vehículos y rutas que siguen los mismos. También, se consideran las velocidades de los vehículos, tiempos de semáforos y tiempos de viaje. Además, se obtienen las velocidades, movimientos, y líneas de ruta de los peatones.

En primer lugar, para ejecutar el aforo vehicular se debe definir la clasificación de vehículos según su naturaleza, pues los tipos de vehículos que circulan por una determinada zona dependen de su ubicación, por ende, para cada estudio se podrán encontrar diferentes tipos. Para la intersección en la que se realizó la presente investigación, se pudo identificar a los vehículos que se presentan en la

Figura 3-6 transitando.

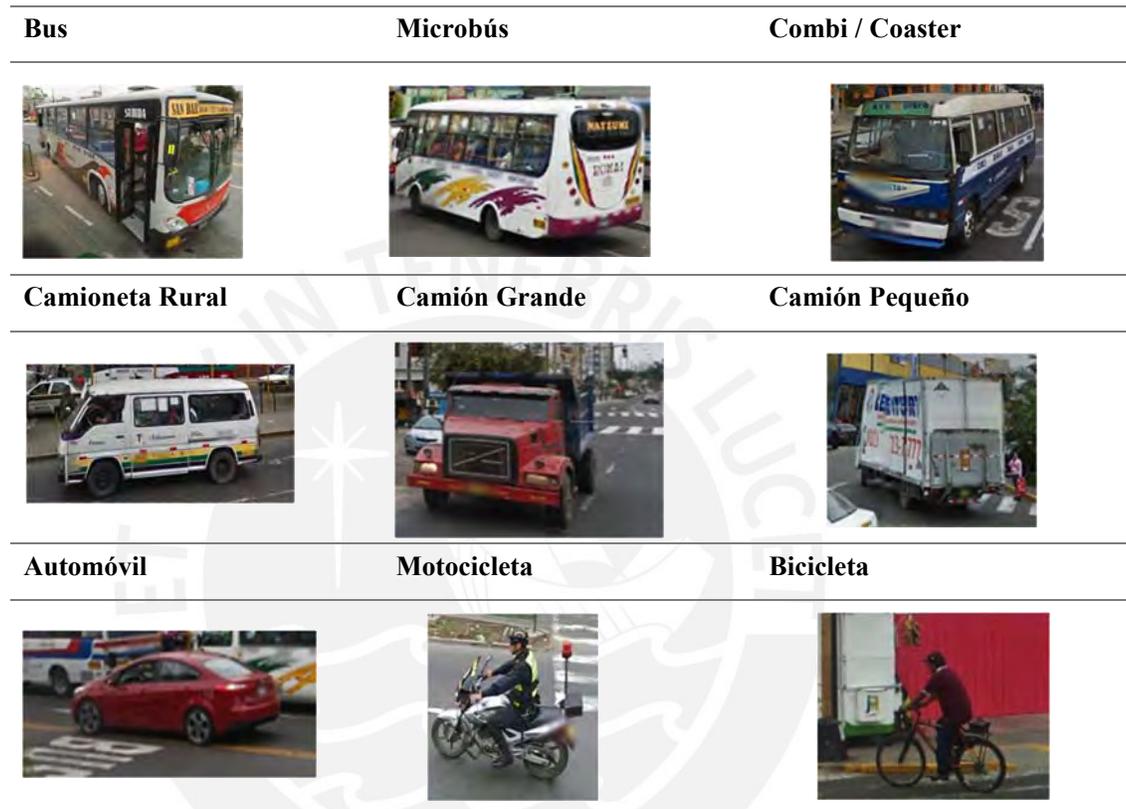


Figura 3-6: Clasificación de los vehículos que circulan por la zona.

Fuente: Elaboración propia

Una vez establecida la clasificación vehicular se creó un formato de aforo vehicular en Excel, se definieron hojas para cada ingreso. Se le asignaron números a cada carril de ingreso y letras a cada carril de salida para poder ordenar el conteo manual como se muestra en la Figura 3-7. Finalmente se crearon matrices O-D para poder seguir un mejor orden, de acuerdo con la leyenda establecida en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Leyenda para la matriz O-D del aforo vehicular.

Origen		Destino	
Avenida/Calle	Denominación	Avenida/Calle	Denominación
Bolívar	1	Húsares de Junín	A
Brasil (auxiliar hacia el centro)	2	Brasil (auxiliar hacia el centro)	B
Brasil (central hacia el centro)	3	Brasil (central hacia el centro)	C
Brasil (central hacia el mar)	4	Brasil (central hacia el mar)	D
Brasil (auxiliar hacia el mar)	5	Brasil (auxiliar hacia el mar)	E
Mello Franco	6	Bolívar	F
		Coraceros	G

Fuente: Elaboración propia



Figura 3-7: Ubicación de los puntos de origen y destino para el aforo vehicular.

Fuente: Adaptado de Milermeter (n.d.)

Del mismo modo, para el aforo peatonal se definieron puntos de paso peatonal que demarcan los recorridos que realizan los peatones en las intersecciones. Se tomaron los tiempos de recorrido peatonal y con las distancias determinadas se obtuvo la velocidad de los mismos. Se tomó una muestra de 30 peatones por recorrido y los resultados se muestran en un gráfico de frecuencias acumuladas.

Cabe resaltar que para la presente investigación se realizó la recolección de datos de demanda, durante el mismo día, pero en horarios distintos, considerados “pico”, para poder calibrar y validar el modelo. Se realizó de tal manera que se pudiera cumplir con los objetivos del estudio, ya que, el cierre de carriles ocasionados por las zonas de trabajo de una edificación multifamiliar se realizaba durante la mañana, la “pista sólo bus” funciona durante todo el día y el paradero improvisado se satura en “horas pico” tanto en la mañana como en la tarde.

Debido a la complejidad de análisis de dos intersecciones y los altos flujos presentes, se optó por realizar la recolección de datos de demanda utilizando filmaciones de una hora de duración. Cabe indicar que los días lunes, viernes y fines de semana existe la posibilidad de que se presenten anomalías en los datos que se puedan obtener para las intersecciones, por lo que la toma de datos se realizó a mitad de semana. Las filmaciones se realizaron el día miércoles 21 de marzo del 2018 de 7:00 a. m. a 9:00 a. m. y de 5:30 p. m. a 7:30 p. m., horarios que corresponden a los datos de modelación y de validación respectivamente.

Ambas intersecciones fueron filmadas por separado. La primera que corresponde a las avenidas Brasil y Bolívar, fue capturada desde las instalaciones de Plaza Vea. Mientras que la segunda la cual corresponde a la av. Brasil, cl. Mello Franco y cl. Coraceros fue capturada desde el piso 11 del condominio “Jardines de Brasil”. En base a cada filmación se obtuvieron los flujos peatonales y vehiculares, y los tiempos de viaje peatonales y vehiculares. Así mismo, se realizó la toma de datos de los ciclos del semáforo, las velocidades de vehículos y peatones, y los tiempos de parada vehiculares.

Para definir las fases de los semáforos se tomaron los tiempos de los semáforos utilizando un cronómetro. Se registraron cinco tiempos de verde, ámbar y rojo, luego se obtuvo el promedio de los valores. Los semáforos de la intersección entre la Av. Brasil y Av. Bolívar tienen dos fases.

Los modelos de microsimulación también requieren datos sobre las características del vehículo y del conductor – longitud del vehículo, velocidad y aceleración máxima, velocidad y aceleración deseada, agresividad del conductor – como estos datos pueden ser difíciles de medir en campo, mayormente son tomados los valores predeterminados del software (FHWA, 2004).

3.1.3.3. Datos de control

Consisten en la ubicación y sincronización de los dispositivos de control de tránsito y de las señales de tránsito. Esta información se podrá obtener de las oficinas que operan dichos controles o de inspección en campo. Se tomó en cuenta la información de las señales de tránsito, ubicación de semáforos y/o restricciones de movimiento debido a las normas de tránsito o señalización. Los datos fueron obtenidos directamente de campo, por lo que, para una mayor precisión, se necesitaron realizar múltiples lecturas de los tiempos de los semáforos presentes.

Además, la zona de estudio cuenta con puestos de venta o “quioscos” (Figura 3-8) y zonas de estacionamiento de vehículos (Figura 3-9), a los cuales se les consideró dentro de la toma de datos de la presente categoría ya que influyen en el ancho efectivo de las veredas.



Figura 3-8: Quioscos ubicados en diferentes zonas dentro del área de estudio.

Fuente: Propia



Figura 3-9: Zonas de estacionamiento en la av. Húsares de Junín.

Fuente: Propia

3.2. Desarrollo del modelo base

Como el modelo que se realiza debe tratarse de uno verificable, reproducible y preciso, el desarrollo del mismo involucra dos actividades en simultaneo: el modelamiento de la intersección utilizando los softwares VISSIM y VISWALK 8.0 y la verificación permanente del modelo.

El modelo se inicia importando un dibujo de las intersecciones al software VISSIM 8.0. Este dibujo puede ser una vista satelital de la zona o un plano. Para esta investigación se utilizó un plano CAD pre-existente. Luego, sobre la imagen base se realiza el trazo de las vías pertenecientes a la zona de estudio para las cuales se consideran anchos de vías y número de carriles por sentido. Para completar el trazado de vías, se realizan las conexiones entre las mismas articulándolas para que permitan los posibles movimientos que pueden hacer tanto vehículos como peatones de acuerdo a lo observado en campo.

Para el siguiente paso se configuran los tipos y clases de vehículos que estarán presentes en el modelo. Existe la posibilidad de modificar o crear vehículos que se presenten en la realidad de la zona de estudio. Luego de haber realizado la configuración se introducen los volúmenes de vehículos totales en las vías, las proporciones que representan cada tipo de vehículo y las velocidades promedio o de distribución. Del mismo modo, se procede con la introducción de los volúmenes de peatones.

El siguiente paso se trata de las reglas de prioridad de paso. Como se trata de intersecciones controladas por semáforos, se realiza la introducción de los ciclos del semáforo y de la posición de las líneas de pare. Para finalizar, se debe indicar y generar los paraderos, zonas de parqueo y otros elementos de infraestructura, de tal modo que el modelo presente todo lo que la zona de estudio contiene a la fecha de toma de datos.

La verificación del modelo se debe desarrollar de manera paralela con la construcción del modelo para poder contar con un control de calidad que disminuya la introducción de errores en los datos de entrada del modelo. Una vez que se detectan los posibles errores de modelación, estos ya no interfieren como parámetros erróneos en la calibración y por ende los resultados no serán distorsionados. Principalmente se revisa con especial cuidado los conectores entre vías, las prohibiciones y regulaciones de tráfico que se colocan en el modelo, los valores de las dimensiones, velocidades, volúmenes y la distribución de vehículos. Los errores como los relacionados con las reglas de prioridad de paso y las señalizaciones del modelo se pueden detectar realizando múltiples corridas en el software para observar que no ocurran incidentes o situaciones que no se han considerado.

3.3. Calibración y validación del modelo

Cuando el modelo está orientado a reproducir salidas del sistema real sin modelar su comportamiento interno; se trata de un modelo experimental o de caja negra. El cual requiere una gran cantidad de datos para poder calibrarlo o ajustarlo correctamente y su rango de validez está limitado a este conjunto de datos. Por lo tanto, para la calibración y validación es necesario contar con la data recolectada de campo y también con el parámetro que se utilizará para ambos procesos previamente definido, el cual no deberá cambiar.

Para esta investigación se decidió utilizar el parámetro *tiempos de viaje*. En este método, uno o más vehículos son conducidos a lo largo de la red varias veces durante el período analítico y se calcula el tiempo de viaje promedio. La cantidad de recorridos del vehículo requeridos para establecer un tiempo de viaje promedio dentro de un nivel de confianza del 95% depende de la variabilidad de los tiempos de viaje medidos en el campo. En condiciones de flujo libre pueden requerir tan solo tres recorridos para establecer un tiempo de viaje promedio confiable, mientras que en condiciones congestionadas pueden requerir 10 o más medidas (FHWA, 2004).

Se utilizaron pruebas no paramétricas de randomization test y pruebas de hipótesis nula y alternativa. El randomization test consiste en realizar pruebas utilizando muestreos aleatorios de las posibles permutaciones, para esta investigación se hicieron diez mil permutaciones en StatKey (Cabrera, 2018).

3.3.1. Calibración del modelo

La información que se ingresa a los modelos microscópicos de simulación de tránsito está inextricablemente conectada a este. Por lo tanto, a mayor información, mayor nivel de precisión del modelo. Sin embargo, en muchos casos, la recopilación de toda la información necesaria es complicada, ya sea por el costo o por la dificultad de registrar o cuantificar ciertos parámetros. Por lo tanto, se debe ajustar el modelo hasta que los datos del modelo estén dentro de una divergencia aceptable de los datos de campo reales. Un modelo que no se calibra no puede replicar las condiciones de tráfico con alta precisión (Karakikes et al., 2017).

Una vez que el modelo haya sido verificado deberá ser ajustado a la realidad que desea representar de tal manera que los resultados arrojen predicciones adecuadas. El proceso de calibración consta de múltiples corridas del modelo buscando que los valores obtenidos de VISSIM se asemejen a los obtenidos en campo. Para el presente estudio se utilizará el parámetro denominado *tiempos de viaje*.

La calibración basada en los tiempos de viaje debe ser lo más detallada posible. Por lo tanto, se tomaron los tiempos de viaje promedio para diferentes zonas definidas con anticipación. El proceso de calibración finaliza una vez que los tiempos de viaje en todos los segmentos se encuentran dentro del umbral. Para normalizar los resultados y exportar resultados confiables en cada paso de calibración. Todo el proceso de calibración se basó en intervalos donde no ocurrieron incidentes, ya que la calibración en los segmentos bajo incidente dependerá en gran medida de las características únicas del incidente (duración, gravedad) y la naturaleza del incidente (accidente, bloqueo de uno, dos o todos los carriles) y deben ser tratados por separado, según el caso (Karakikes et al., 2017).

3.3.2. Validación del modelo

Este proceso guarda similitud con la calibración; sin embargo, requiere nueva data. Esta data no cambia la infraestructura de la zona de estudio, está relacionada únicamente con los aforos, velocidades, distribución vehicular, demanda, entre otros. En primer lugar, se modifican los valores con el segundo juego, suponiendo que el primer juego se utilizó para la calibración. Luego, se corre el modelo y se verifican los parámetros de calibración. Si los valores son similares, se puede decir que el modelo está validado. Caso contrario, debe realizarse nuevamente el proceso de calibración modificando los parámetros y luego se verifica; se tiene de esta manera un proceso cíclico.

3.4. Aplicación del modelo

Mientras la ciudad va expandiéndose, las distancias de los desplazamientos urbanos incrementan y eso repercute en el tiempo de viaje que los habitantes emplean para movilizarse. El propósito de realizar un modelo es poder utilizarlo para cumplir determinados objetivos, es decir la aplicación del modelo. Se buscó responder a las hipótesis que se plantearon para el presente caso estudio, a partir de saber que la av. Brasil cuenta con pistas centrales y pistas auxiliares bidireccionales; la calzada central corresponde a carriles segregados para el TP; además, la ubicación de Brasil es considerada céntrica pues sus 41 cuadras atraviesan los distritos de Magdalena del Mar, Jesús María, Pueblo Libre y Breña; y actualmente, cuenta con números proyectos inmobiliarios distribuidos a lo largo de su extensión.

Para ello, luego de que el modelo haya sido validado se modelarán dos escenarios adicionales: uno de ellos corresponde a la circulación durante un periodo de hora punta en la mañana con datos de demanda que se recolectaron el día miércoles 21 de marzo de 2018 desde las 07:00 horas hasta las 08:00 horas, mientras que el otro corresponde a un escenario propuesto. En el escenario propuesto se restringió la circulación de otros tipos de vehículos por la calzada

central de la av. Brasil y se rerutearon a las líneas de TP que tengan como destino la av. Bolívar por la cl. Coraceros, luego hacia la cl. Fernandini, y a consecuencia de ello se reubicó el paradero de TP ubicado en la calzada auxiliar de la av. Brasil. Además, se garantizó que las vías auxiliares estén en funcionamiento sobre todo durante “hora punta”.

Por lo tanto, se evaluarán los efectos, en función a tiempos de viaje vehiculares, longitudes de cola y tiempos de viaje peatonales. La evaluación de los tiempos de viaje tanto vehiculares como peatonales se realizó de acuerdo a los tramos en los que fueron medidos en campo; sin embargo, para la evaluación de las longitudes de cola se realizó la medición en todas las vías que conforman el área de investigación y los puntos se definieron de acuerdo a las zonas más críticas que se observaron en campo de acuerdo a como indica la Figura 3-10..



Figura 3-10: Ubicación de los contadores de cola.

Fuente: Elaboración propia

Luego de que la eficiencia de las características de la zona de estudio se cuantificó en los resultados, toda la información recolectada se debe procesar para presentar un informe final en el que resalten las características principales del modelamiento y en análisis de los resultados que arrojó la investigación. Sin embargo, también se deberán incluir la data recolectada, el registro del proceso de modelamiento y verificación, la calibración y validación, los resultados y su justificación, y las conclusiones que se obtienen del estudio.

CÁPITULO 4: MODELO DE MICRO SIMULACIÓN DE LA INTERSECCIÓN

En este capítulo se desarrolla procedimiento para la realización el modelo base de micro-simulación utilizando los softwares VISSIM y VISWALK.

4.1. Desarrollo del modelo base vehicular VISSIM

Para el análisis de la zona de estudio se utilizó el software PTV VISSIM versión 8.0

4.1.1. Importación y escala de imagen

La red se puede crear directamente en el software de microsimulación o se puede utilizar varios tipos de software de diseño asistido por computadora (CAD). Si la red se crea en el software de microsimulación, como en el presente estudio, es útil importar un mapa o una fotografía aérea al software sobre el que se puede superponer el dibujo de la red (FHWA, 2004).

Para el desarrollo del modelo base se utilizó una imagen procedente de un plano pre-existente de las intersecciones estudiadas (Figura 4-1), el cual se importó y escaló.

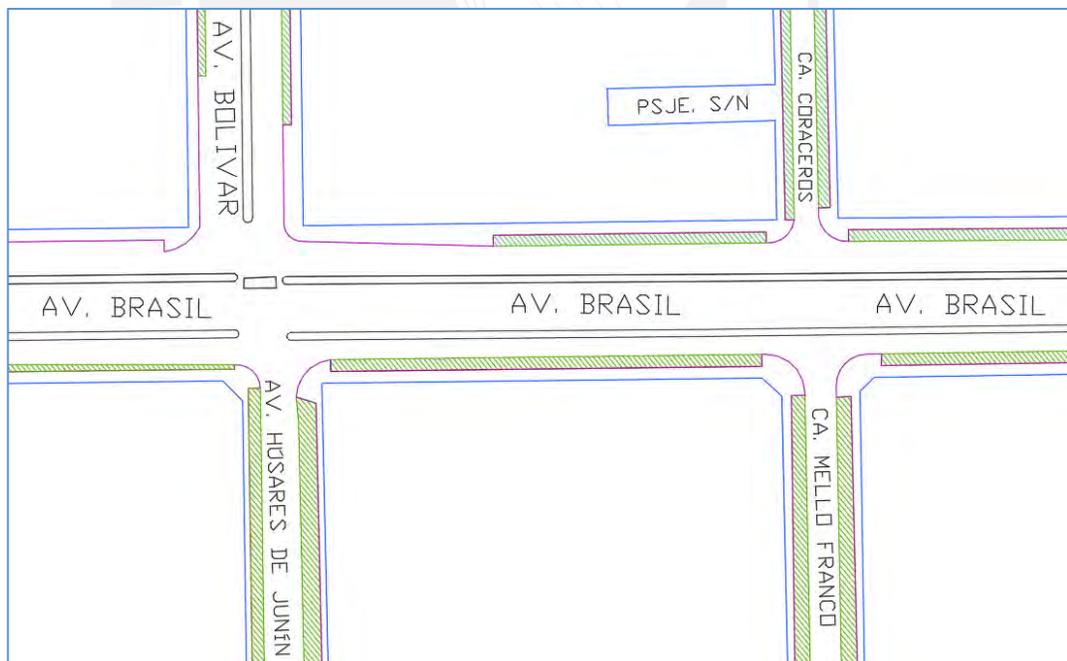


Figura 4-1: Plano de las intersecciones.

Fuente: FAU-PUCP (2017)

4.1.2. Creación de las vías

La creación de la red es el anteproyecto para construir el modelo de microsimulación. Esta identifica y representa a las calles y autopistas que se incluirán en el modelo. Se ingresó la siguiente información: número de carriles, ancho de carriles y cruces peatonales. Una vez que se crean las vías, es necesario crear conectores que las unan.

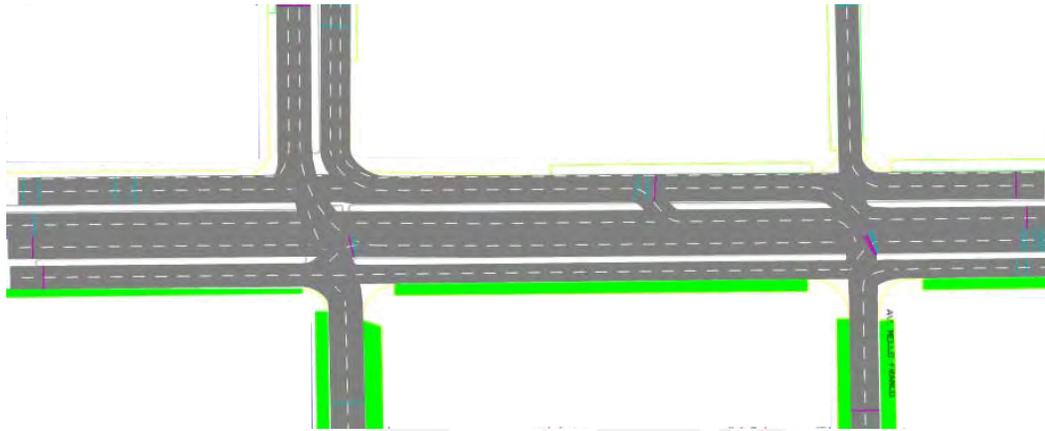


Figura 4-2: Vías y conectores de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Composición vehicular

Inicialmente se realizó el aforo vehicular siguiendo nueve tipos de vehículos observados en la zona: bus, microbús, coaster, camioneta rural, camión grande, camión pequeño, automóvil, moto lineal y bicicleta; tal como se mostró en la

Figura 3-6. Sin embargo, VISSIM tiene preestablecido solamente algunos de ellos por lo que se decidió agruparlos de la siguiente manera: bus, que engloba también microbús y coaster; camioneta rural; camión, que incluye a los camiones grandes y pequeños; automóvil; moto lineal y bicicleta.

Para la calibración se obtuvo que transitan por la zona un total de 5596 veh/h, de los cuales la mayoría son automóviles, seguidos de TP masivo el cual engloba a buses como se muestra en la Figura 4-3 (a). Mientras que para la validación se contaron un total de 5647 veh/h que siguen la distribución que se muestra en la Figura 4-3 (b).

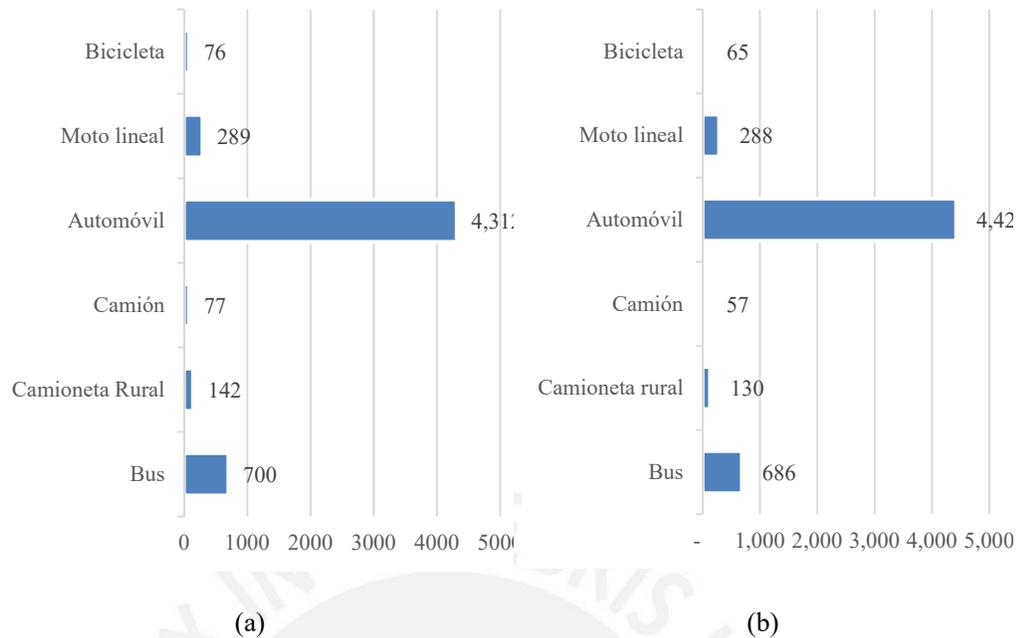


Figura 4-3: Composición vehicular de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Rutas y flujo de vehículos

Los flujos vehiculares se obtuvieron realizando el aforo vehicular en las seis vías de ingreso que se definieron previamente en la Tabla 3-2. Lo usual en proyectos de microsimulación es realizar un flujograma de la zona; sin embargo, dada la extensión del área de estudio de la presente investigación se optó por utilizar matrices O-D. Cada matriz está relacionada a un tipo de vehículo y se realizaron matrices para la calibración, validación y evaluación; las cuales se encuentran en los anexos. A continuación, se presenta la matriz O-D de automóviles utilizada para la modelación y calibración (Tabla 4-1).

Tabla 4-1: Matriz O-D de automóviles para la modelación y calibración.

O/D	AUTOMÓVIL (veh/h)							
	A	B	C	D	E	F	G	
1	1,518	135	11	-	13	-	-	1,677
2	175	459	9	-	-	-	-	643
3	-	-	57	-	-	-	-	57
4	-	-	-	87	82	30	5	204
5	-	-	-	-	466	81	164	711
6	-	45	-	-	75	7	930	1,057
	1,693	639	77	87	636	118	1,099	4,349

Fuente: Elaboración propia

El origen vehicular N° 01 se le asignó a la av. Bolívar en la dirección de noroeste a sudeste, desde donde los vehículos toman cuatro posibles rutas, tanto para la calibración como para la validación. Además, para la modelación se aforó un total de 1907 vehículos por hora. Mientras que para la validación se obtuvo un total de 2048 vehículos por hora.

El origen vehicular N° 02 se le asignó a la pista auxiliar de la av. Brasil en la dirección sudoeste hacia noreste, desde donde los vehículos toman tres posibles rutas, tanto para la calibración como para la validación. Además, para la modelación se aforó un total de 704 vehículos por hora. Mientras que para la validación se obtuvo un total de 738 vehículos por hora.

El origen vehicular N° 03 se le asignó a la pista central de la av. Brasil en la dirección sudoeste hacia noreste, desde donde los vehículos toman una única ruta, tanto para la calibración como para la validación. Además, para la modelación se aforó un total de 256 vehículos por hora. Mientras que para la validación se obtuvo un total de 246 vehículos por hora.

El origen vehicular N° 04 se le asignó a la pista central de la av. Brasil en la dirección noreste hacia sudoeste, desde donde los vehículos toman cinco posibles rutas, tanto para la calibración como para la validación. Además, para la modelación se aforó un total de 533 vehículos por hora. Mientras que para la validación se obtuvo un total de 536 vehículos por hora.

El origen vehicular N° 05 se le asignó a la pista auxiliar de la av. Brasil en la dirección noreste hacia sudoeste, desde donde los vehículos toman tres posibles rutas, tanto para la calibración como para la validación. Además, para la modelación se aforó un total de 818 vehículos por hora. Mientras que para la validación se obtuvo un total de 840 vehículos por hora.

El origen vehicular N° 06 se le asignó a la av. Mello Franco en la dirección sudeste hacia noroeste, desde donde los vehículos toman ocho posibles rutas. Además, para la modelación se aforó un total de 1185 vehículos por hora. Mientras que para la validación se obtuvo un total de 1172 vehículos por hora.

4.1.5. Velocidades de flujo libre y de giro

Tabla 4-2: Velocidades en flujo libre.

Tipo de vehículo	Velocidad de flujo libre (km/h)
Bus	50
Camioneta rural	50
Camión	50
Automóvil	50
Moto lineal	40
Bicicleta	12

Fuente: Cabrera (2018)

Se formaron varias categorías de velocidad para reproducir las velocidades deseadas de cada tipo de vehículo. El rango de los valores de velocidad, así como la distribución en cada categoría se decidió en función del perfil de velocidad de cada segmento (Karakikes et al., 2017). Por lo tanto, a cada clase de vehículo le corresponde una velocidad de flujo libre (Tabla 4-2) alrededor de la cual los vehículos se movilizan cuando no existen limitaciones u obstáculos como semáforos, otros vehículos o peatones. Además, se asumió la velocidad de giro de 20 km/h debido a que se trata de una zona urbana, la misma que se definió en áreas de velocidad reducida.

4.1.6. Fases, ciclo y colocación de semáforos

Se obtuvieron los ciclos de los semáforos utilizando cronómetros. Para cada uno de los diez semáforos que se encuentran en la zona (Figura 4-4), se registraron cinco veces los tiempos de verde, ámbar y rojo. El semáforo número 1 controla el flujo vehicular procedente de la av. Bolívar; el 2, 7, 5 y 10 los flujos que provienen de las pistas auxiliares de la av. Brasil en ambos sentidos; el 3, 4, 8 y 9 los flujos que provienen la calzada central de la av. Brasil en ambos sentidos; el 6 controla el flujo vehicular procedente de la cl. Mello Franco. Finalmente, para cada ciclo semafórico correspondiente a cada intersección, se obtuvo un promedio de los valores que resulto en dos agrupaciones de movimiento de 93 segundos cada una.

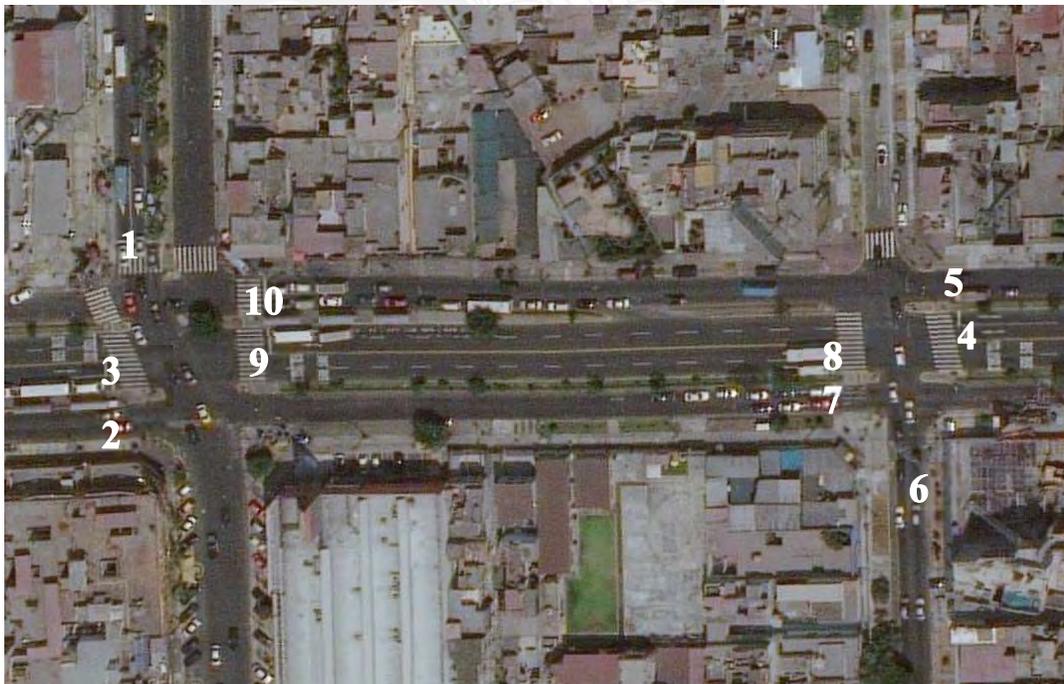


Figura 4-4: Ubicación de los semáforos.

Fuente: Adaptado de Milermeter (n.d.)

Para la primera intersección conformada por las avenidas Brasil, Bolívar y Húsares de Junín, la fase uno correspondiente a la av. Brasil cuenta con 40 segundos de verde, 3 segundos de ámbar y 50 segundos de rojo y la fase dos correspondiente a la av. Bolívar con 45 segundos de verde, 3 segundos de ámbar y 45 segundos de rojo. Mientras que para la segunda intersección conformada por la av. Brasil, av. Mello Franco y cl. Coraceros, la fase uno correspondiente a la av. Brasil cuenta con 45 segundos de verde, 3 segundos de ámbar y 45 segundos de rojo y la fase dos correspondiente a la cl. Mello Franco con 40 segundos de verde, 3 segundos de ámbar y 50 segundos de rojo. Además, el inicio del tiempo de verde de la primera intersección cuenta con 18 segundos de retraso respecto del segundo. Por lo tanto, para poder garantizar la sincronización entre los semáforos presentes en las dos intersecciones, se realizó un único programa de semáforo en VISSIM, el cual se distinguen cuatro agrupaciones de movimiento (Figura 4-5).

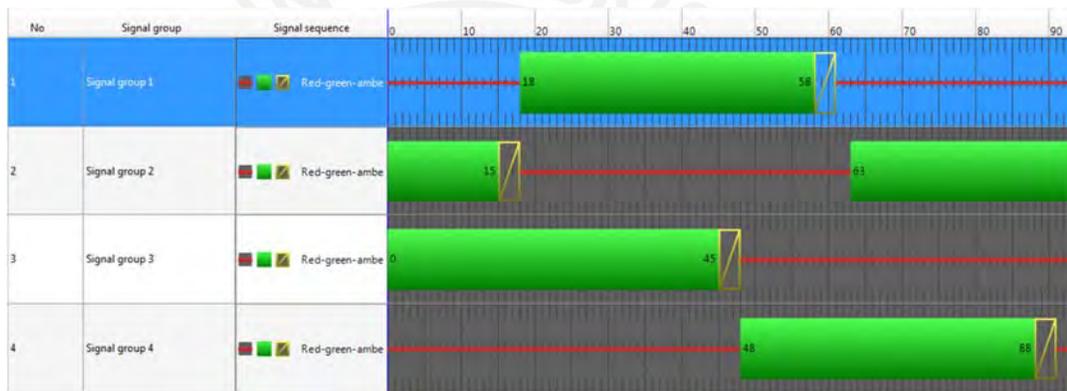


Figura 4-5: Programa de los semáforos presentes en la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia

4.1.7. Áreas de conflicto

Las áreas de conflicto son un elemento de red que ayuda a regular conflictos existentes entre vehículos en dos tramos o conectores diferentes. Pueden ser modeladas con facilidad y obtener un comportamiento de vehículos más inteligente (PTV AG, 2012). Para poder definir un área de conflicto es necesario el traslape entre dos tramos o conectores. Por cada área de conflicto se puede definir cuál de los tramos tiene el derecho de vía. Si los tramos y conectores de traslapan de manera innecesaria, esto resultará en áreas de conflicto generadas por error (PTV AG, 2015), con lo que se debe tener especial cuidado.

Luego de haber analizado las áreas de conflicto más problemáticas se decidió dejar sin definir las áreas de conflicto del ingreso desde la pista central de la av. Brasil con sentido de noreste a sudoeste hacia la pista auxiliar de la av. Brasil en el mismo sentido, así como también el área de conflicto correspondiente al giro hacia la derecha desde la av. Bolívar hacia la pista auxiliar de la av. Brasil y el giro a la derecha desde la pista auxiliar de la av. Brasil hacia la av. Bolívar.

4.1.8. Reglas de prioridad en la red

El derecho de vía para movimientos conflictivos es modelado utilizando reglas de prioridad. Se puede aplicar a todas las situaciones en las que los vehículos en diferentes tramos y conectores deben reconocerse entre sí. Generalmente, las áreas de conflicto son recomendadas para la modelación, pero si estas no ofrecen resultados esperados, se deberá hacer uso de las reglas de prioridad (PTV AG, 2012).

Las áreas de conflicto que no se lograron definir se ordenaron utilizando reglas de prioridad. Finalmente, las áreas de conflicto y reglas de prioridad que se definieron se muestran en la Figura 4-6.



Figura 4-6: Áreas de conflicto y reglas de prioridad en la zona.

Fuente: Elaboración propia

4.1.9. Tiempo de parada del TP en los paraderos

Dado que un gran porcentaje del volumen vehicular que presenta la zona de estudio corresponde a vehículos de TP y por la influencia de estos en la circulación de la zona debido a las paradas que realizan para que los pasajeros puedan subir o bajar de los vehículos, se midió el tiempo de parada de los vehículos de TP masivo en los paraderos presentes en la av. Brasil.

Los puntos 5 y 6 de la Figura 3-7 corresponden a paraderos de TP en la dirección noreste hacia sudoeste y sudoeste hacia noreste respectivamente. Se tomaron un total de 30 tiempos en total y se construyeron las curva de frecuencias acumuladas para cada paradero como se muestran en la Figura 4-7 a y b respectivamente.

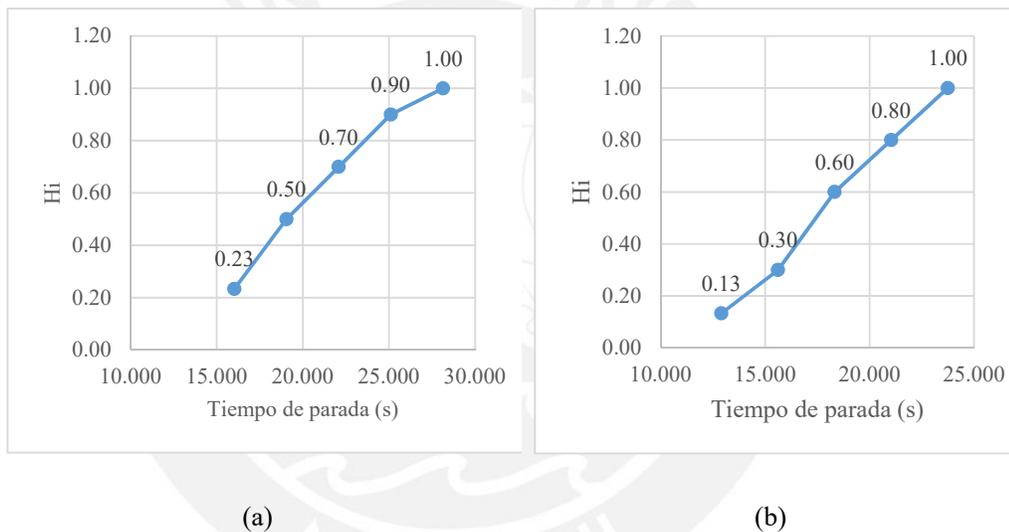


Figura 4-7: Distribución para el tiempo de parada del transporte público.

- (a): Paradero N° 05 de la av. Brasil
- (b): Paradero N° 06 de la av. Brasil

Fuente: Elaboración propia

Luego de tener la distribución de tiempos de parada se utilizó el software Minitab para realizar la prueba de normalidad de Kolmogorov – Smirnov. Los resultados de dicha prueba indican si se debe aceptar o rechazar la hipótesis nula de que los datos provienen de una distribución normal. Para ello se definió un nivel de significancia igual a 0.05, el cual representa el riesgo de 5% de concluir que los datos no siguen una distribución normal, cuando los datos sí siguen una distribución normal (Minitab, 2017). Se parte de aceptar una hipótesis nula, la cual consiste en que los datos siguen una distribución normal. Entonces, si el valor p es menor o igual al nivel de significancia, se decide rechazar la hipótesis nula y se concluye que los datos

no siguen una distribución normal; mientras que, si el valor p es mayor que el nivel de significancia, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Se observa que el valor p para la distribución de tiempos de parada en el paradero N° 5 es mayor a 0.15 (Figura 4-8) y por ende es mayor al nivel de significancia, lo cual indica que los datos seguirán una distribución normal. Lo mismo ocurre con los tiempos de parada en el paradero N° 6, el valor p es mayor al nivel de significancia, lo cual significa que se cuenta con una distribución normal (Figura 4-9).

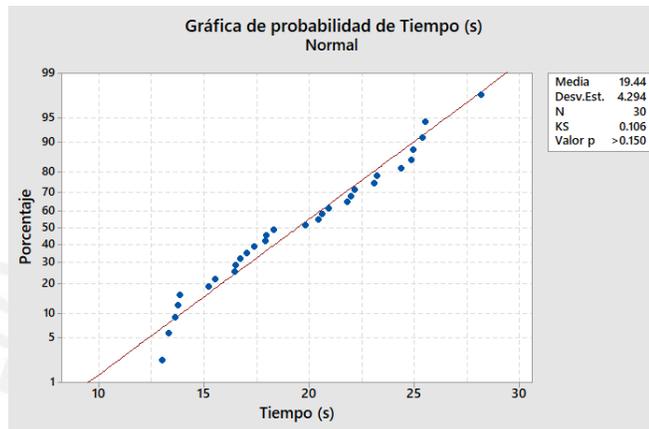


Figura 4-8: Prueba de normalidad para los tiempos de parada desde el paradero N° 5

Fuente: Elaboración propia

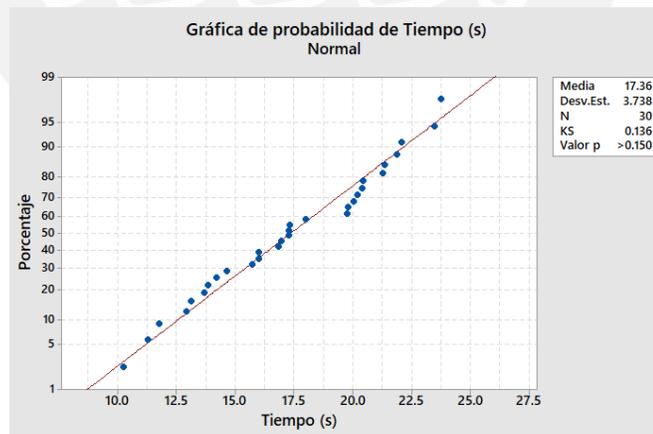


Figura 4-9: Prueba de normalidad para los tiempos de parada desde el paradero N° 6

Fuente: Elaboración propia

4.2. Desarrollo del modelo base peatonal VISWALK

Se definieron ocho áreas peatonales, cuatro en cada intersección, desde donde se realizó el aforo peatonal. El aforo se realizó en intervalos de diez minutos debido al gran flujo de peatones. Para ello, se diferenciaron las áreas de cada intersección (Figura 4-10 y Tabla 4-3).



Figura 4-10: Ubicación de las áreas de salida peatonal.

Fuente: Adaptado de Milermeter (n.d.)

Tabla 4-3: Leyenda para el aforo peatonal.

Intersección 1		Intersección 2	
Denominación		Denominación	
Martillo 1 (Grifo)	1	Martillo A	A
Martillo 2 (Casino)	2	Martillo B	B
Martillo 3 (Plaza Veá)	3	Martillo C	C
Martillo 4 (MiFarma)	4	Martillo D	D
Paradero N-S	5		
Paradero S-N	6		

Fuente: Elaboración propia

Utilizar flujogramas es lo habitual para representar el flujo peatonal. Sin embargo, dada la extensión del área de estudio se decidió presentar matrices O-D para cada intervalo de tiempo tanto para la calibración, como para la validación y la evaluación. Las rutas que siguen los peatones se crearon con la herramienta *links*, a diferencia de las vías vehiculares se indicó que se trata de un área peatonal y se consideraron las rutas de cada intersección independientemente debido a la complejidad para seguir la ruta que sigue cada peatón entre ambas intersecciones.

A continuación, se presenta un resumen de las matrices O-D de la segunda intersección que se utilizó para la modelación y calibración. tablas de aforos peatonales correspondientes a la modelación y calibración del modelo (Tabla 4-4). Las demás matrices se encuentran en el anexo al presente documento.

Tabla 4-4: Aforo peatonal de la intersección N° 2 para la modelación y calibración.

		ORIGEN											
		A			B			C			D		
		DESTINO											
INTERVALO (min)		B	C	D	A	C	D	A	B	D	A	B	C
	00-10	7	4	13	10	12	3	5	17	8	21	7	20
	10-20	11	3	12	3	8	0	2	8	10	19	3	21
	20-30	9	6	10	4	9	1	4	16	7	23	3	18
	30-40	12	7	13	3	11	2	4	14	12	27	4	23
	40-50	11	6	11	4	10	1	4	13	14	23	4	21
	50-60	11	8	8	3	11	1	3	10	15	19	6	20

Fuente: Elaboración propia

Las rutas que siguen los peatones se crearon con la herramienta *links*, a diferencia de las vías vehiculares se debe indicar que se usará como área peatonal y se consideraron las rutas de cada intersección independientemente debido a la complejidad para seguir a cada peatón entre ambas intersecciones.

4.3. Calibración y validación del modelo vehicular

Antes de realizar la calibración se verificaron todos los datos geométricos, de demanda y de control. En las primeras revisiones de la animación se pudo detectar que algunas áreas de conflicto no estaban siendo respetadas por lo que se utilizó reglas de prioridad para casos especiales (Figura 4-6).

Los tramos se delimitaron para poder cumplir con los objetivos de la presente investigación. Por lo tanto, se consideró medir los tiempos de viaje tanto en una pista auxiliar como en una

central de la av. Brasil, además, el tiempo de viaje desde la av. Mello Franco hacia la cl. Coraceros de tal modo que se pueda evaluar la posibilidad de rerutear a las líneas de TP por dicho tramo, y finalmente, el que representa el ingreso vehicular desde la av. Bolívar hacia la av. Húsares de Junín. Se tomaron los tiempos de viaje vehiculares en campo tanto para la calibración como para la validación, de acuerdo con los tramos definidos en la Figura 4-11. El primer tramo corresponde a la calzada central de la av. Brasil, el segundo tramo a la pista auxiliar, el tercer tramo a la ruta que siguen los vehículos que circulan desde la cl. Mello Franco hacia la cl. Coraceros, y el cuarto tramo a los vehículos que van hacia la av. Húsares de Junín y parten de la av. Bolívar.



Leyenda

Tramo 1 Tramo 2 Tramo 3

Figura 4-11: Tramos para la medición de tiempos de viaje vehiculares.

Fuente: Adaptado de Milermeter (n.d.)

A continuación, se presenta el análisis estadístico realizado para los datos que se midieron en campo y se utilizaron para la calibración (Tabla 4-5). La cantidad mínima de datos recolectados fue 30, sin embargo, se realizó el análisis para ver si era suficiente data de acuerdo a la desviación estándar. En todos los casos 30 datos fue suficiente pues se cumple con el tamaño mínimo de la muestra por lo que no se necesitó recolectar más datos desde los videos. De igual modo se realizó el análisis para los datos de validación y evaluación cuyas mediciones y resultados se encuentran en el anexo del presente documento.

Tabla 4-5: Tiempos de viaje vehiculares promedio medidos en campo para la calibración.

	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Promedio (s)	5.818	16.535	4.177
Desviación Estándar	1.105	3.163	1.097
Error	0.582	1.654	0.418
n	30	30	30
Grado de libertad	29	29	29
ta	2.045	2.045	2.045
Número Mínimo	16	15	29

Fuente: Elaboración propia

4.3.1. Parámetros del comportamiento del conductor

Luego de haber realizado nueve iteraciones las cuales se presentan en la Tabla 4-6, en las cuales se fueron variando la distancia media en detención (ax), la parte aditiva de la distancia de seguridad deseada (bx add) y la parte multiplicativa de la distancia de seguridad deseada (bx mult). Además, se conoce que la distancia media en detención define la distancia deseada promedio entre vehículos detenidos (PTV AG, 2012), lo cual lo hace un parámetro que se puede percibir en campo de tal modo que se empiece iterando con valores cercanos a la realidad.

Tabla 4-6: Resultados de las iteraciones para la calibración del modelo vehicular.

Nº Iteración	Parámetros de comportamiento del conductor			Tiempo de viaje vehicular promedio (s)		
	ax	bx add	bx mult	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
1	2.00	1.00	1.00	6.90	18.57	4.30
2	2.00	1.00	1.50	6.76	18.91	4.31
3	2.00	1.00	2.00	7.13	21.17	4.35
4	1.00	1.00	1.00	6.53	18.33	4.38
5	2.00	1.00	1.50	6.76	18.91	4.31
6	2.00	1.00	2.00	7.13	21.17	4.35
7	1.00	1.50	1.50	6.90	18.55	4.43
8	1.00	1.00	1.50	6.06	17.95	4.33
9	1.00	0.80	1.50	6.63	17.65	4.36
Campo				5.82	16.54	4.18

Fuente: Elaboración propia

Dado que los resultados de tiempos de viaje vehicular que brindó VISSIM para los tres tramos se acercaban más a los medidos en campo cuando se emplearon los parámetros de la iteración

N° 8, se decidió calibrar el modelo vehicular con dichos parámetros. La Figura 4-12 corresponde a la calibración del primer tramo; donde se observa la influencia de los parámetros de comportamiento vehicular en los tiempos de viaje de dicho tramo. Las gráficas de los demás tramos se muestran en el anexo del documento.

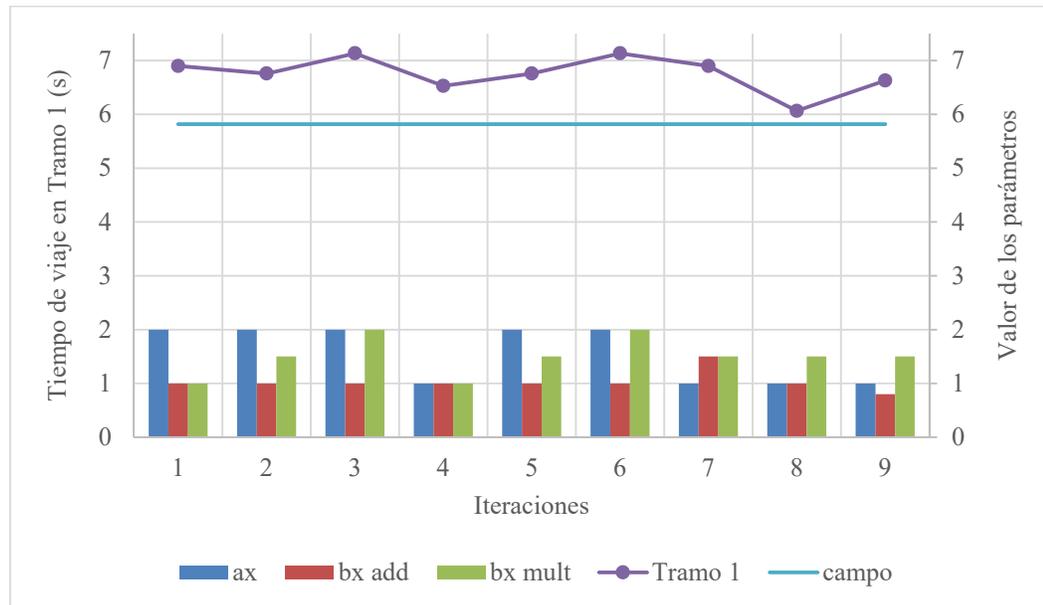


Figura 4-12: Influencia de los parámetros en la calibración Tramo N° 1 del modelo vehicular.

Fuente: Elaboración propia

Luego que se encontraron los parámetros más adecuados para la calibración del modelo vehicular, se realizaron 15 corridas en VISSIM, para ello se utilizó el mismo número semilla igual a 13 y un incremento igual a uno. A continuación, se utilizó la distribución de la “t-student” para realizar el análisis estadístico que determina el tamaño mínimo de la muestra; es decir, si el número de corridas es suficiente. Este análisis se realizó para los 15 resultados de cada tramo que provienen de las 15 corridas iniciales. A continuación, se presenta el análisis estadístico que requería el mayor número de corridas, este representa el análisis de los resultados de tiempos de viaje vehicular en el tramo N° 02 y se puede observar que 15 corridas son suficientes.(Tabla 4-7). Se observó que los resultados obtenidos de VISSIM tienen bajos valores de desviación estándar, por lo cual se necesitan pocas corridas.

Tabla 4-7: Análisis estadístico para determinar el número mínimo de corridas para calibrar el modelo vehicular.

Promedio (s)	17.948
Desviación estándar	1.188
Error	1.795
N	15
Grado de libertad	14
α	2.145
Número mínimo de corridas en VISSIM	3

Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Prueba de hipótesis de igualdad de medias para vehículos

Se realizó una comparación entre los valores que se obtuvieron en campo y en VISSIM para los tiempos de viaje en la pista central de la av. Brasil en la dirección NE-SO, tramo N° 01; en la pista auxiliar de la av. Brasil en la dirección NE-SO, tramo N° 02; y en el cruce de la av. Brasil que une a la av. Mello Franco con la cl. Coraceros, tramo N° 03. Para la comparación de medias se utilizó Stat-key, donde se ingresaron dos grupos de datos: el primer grupo de datos corresponde a los datos de campo y el segundo grupo a los datos de VISSIM. La hipótesis nula afirma que todas las medias son iguales, mientras que la hipótesis alterna dice que no todas las medias son iguales. A continuación, se muestra la calibración (Figura 4-13) y validación (Figura 4-14) del tramo N° 02.

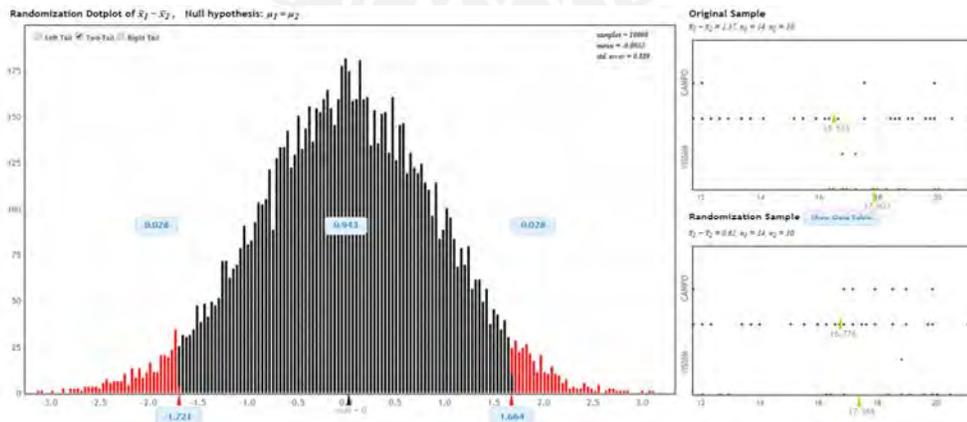


Figura 4-13: Randomization test para la calibración del tramo N° 02

Fuente: Elaboración propia

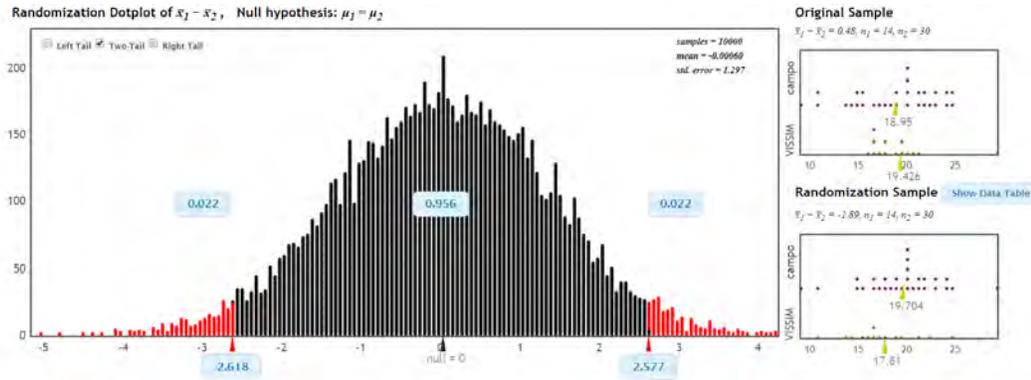


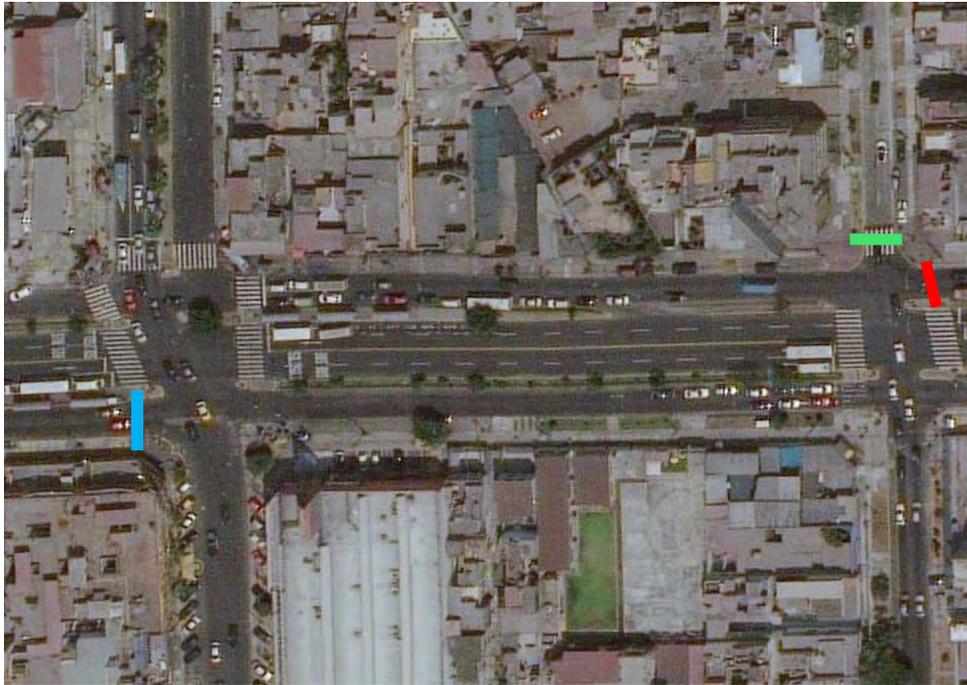
Figura 4-14: Randomization test para la validación del tramo N° 02

Fuente: Elaboración propia

4.4. Calibración y validación del modelo peatonal

Del mismo modo a los tiempos de viaje vehiculares, se delimitaron cuatro tramos para la obtención de los tiempos de viaje peatonales. Por lo tanto, se consideró medir los tiempos de viaje peatonal en tres cruces peatonales: el primero en el cruce peatonal de la pista auxiliar de la av. Brasil, para estudiar el flujo peatonal que aporta uno de los paraderos ubicados en dicha zona; el segundo en el cruce peatonal de la cl. Coraceros para poder medir los efectos en los peatones tras rerutear a las líneas de TP por dicha calle; y el tercero en el cruce peatonal de la pista auxiliar de la av. Brasil cerca a la cl. Coraceros, para analizar el efecto del carril clausurado en los peatones. Se tomaron los tiempos de viaje peatonales en campo tanto para la calibración como para la validación, de acuerdo con los tramos que se muestran en la Figura 4-15.

En la Tabla 4-8 se presenta el análisis estadístico realizado para los datos que se midieron en campo y se utilizaron para la calibración. La cantidad mínima de datos recolectados fue 30, sin embargo, se realizó el análisis para ver si era suficiente data de acuerdo a la desviación estándar. En todos los casos 30 datos fue suficiente pues se cumple con el tamaño mínimo de la muestra por lo que no se necesitó recolectar más datos desde los videos. De igual modo se realizó el análisis para los datos de validación y evaluación cuyas mediciones y resultados se encuentran en el anexo del presente documento.



- Crucero 1
- Crucero 2
- Crucero 3



- Crucero peatonal en la pista auxiliar de la av. Brasil
- Crucero peatonal en la cl. Coraceros
- Crucero peatonal en la pista auxiliar de la av. Brasil

Figura 4-15: Zonas para la medición de tiempos de viaje peatonales.

Fuente: Adaptado de Milermeter (n.d.)

Tabla 4-8: Tiempos de viaje peatonales promedio medidos en campo para la calibración.

	Crucero 1	Crucero 2	Crucero 3
Promedio (s)	9.374	14.621	11.474
Desviación Estándar	1.750	2.648	1.937
Error n	0.937	1.462	1.147
Grado de libertad	30	30	30
ta	29	29	29
Número Mínimo	2.052	2.052	2.052
	15	14	12

Fuente: Elaboración propia

4.4.1. Parámetros del comportamiento del peatón

Luego de haber realizado cinco iteraciones (Tabla 4-9), en las cuales se varió únicamente el tiempo de relajación (τ), se mantuvieron el parámetro que regula la cantidad de anisotropía de las fuerzas desde el hecho que los eventos y fenómenos detrás de un peatón no lo influyen tanto como si los eventos fueran vistos por el peatón (λ) y el que regula la fuerza aleatoria que se condiciona a las fuerzas calculadas sistemáticamente si un peatón permanece por debajo de su velocidad deseada por cierto tiempo (noise) (PTV AG, 2012).

Tabla 4-9: Resultados de las iteraciones para la calibración del modelo peatonal.

N° Iteración	Parámetros de comportamiento peatonal			Tiempo de viaje peatonal promedio (s)		
	Tau	Lambda	Noise	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3
1	0.40	0.176	1.20	12.79	17.79	13.59
2	0.05	0.176	1.20	7.90	13.41	9.85
3	0.18	0.176	1.20	11.71	16.22	12.76
4	0.10	0.176	1.20	9.65	14.66	11.13
5	0.12	0.176	1.20	10.71	15.33	12.16
Campo				9.37	14.62	11.47

Fuente: Elaboración propia

La primera corrida se realizó con el valor por defecto de τ igual a 0.40, luego se realizó la segunda corrida con el valor mínimo para τ igual a 0.05 y en las siguientes iteraciones se ajustó el valor de τ entre los que se emplearon al inicio. Finalmente, los resultados de tiempos de viaje de los peatones que brindó VISWALK para los tres tramos se acercaron más a los medidos en campo cuando se emplearon los parámetros de la iteración N° 4, por lo que se decidió calibrar el modelo peatonal con dichos parámetros. La Figura 4-16 corresponde a la calibración del tercer tramo; donde se observa la influencia de los parámetros en el comportamiento peatonal. Adicionalmente, las gráficas que relacionan los parámetros de comportamiento peatonal con los demás tramos se encuentran en el anexo del documento.

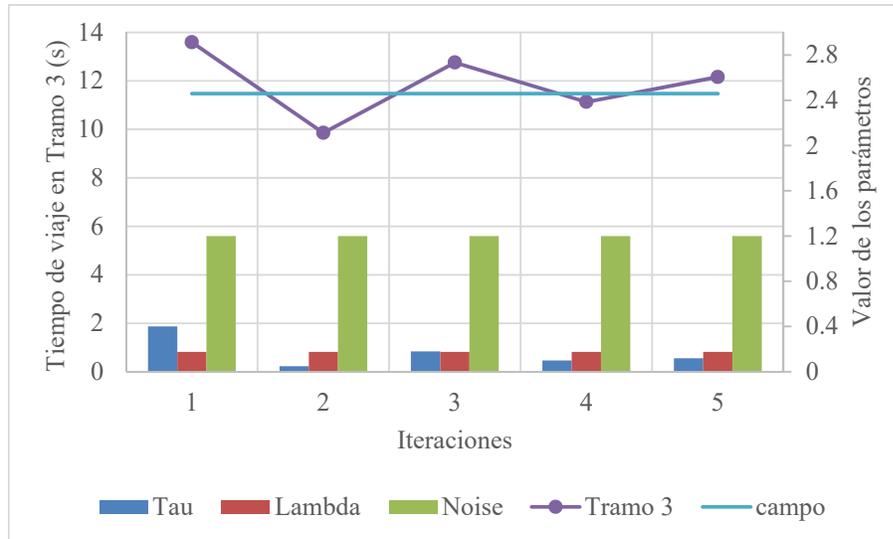


Figura 4-16: Influencia de los parámetros en la calibración Tramo N° 3 del modelo peatonal.

Fuente: Elaboración propia

Luego que se encontraron los parámetros de comportamiento peatonal más adecuados para el modelo, se realizaron 15 corridas con el mismo número semilla de 13 e incremento de uno. Además, se realizó un análisis estadístico para determinar si el número de corridas era suficiente. Este análisis se realizó para los 15 resultados de cada tramo que provienen de las 15 corridas iniciales. A continuación, se presenta el análisis estadístico que requería el mayor número de corridas, este representa el análisis de los resultados de tiempos de viaje peatonal en el tramo N° 03 y se puede observar que 15 corridas son suficientes (Tabla 4-10).

Tabla 4-10: Análisis estadístico para determinar el número mínimo de corridas para calibrar el modelo peatonal.

Promedio (s)	11.135
Desviación estándar	0.592
Error	1.114
N	15
Grado de libertad	14
t_{α}	2.145
Número mínimo de corridas en VISWALK	2

Fuente: Elaboración propia

4.4.2. Prueba de hipótesis de igualdad de medias para peatones

Se realizó una comparación entre los valores que se obtuvieron en campo y en VISWALK para los tiempos de viaje de los peatones en el cruceo peatonal de la pista auxiliar de la av. Brasil en la dirección SO-NE cerca al paradero TP, cruceo N° 01; en el cruceo peatonal de la pista auxiliar de la av. Brasil en la dirección NE-SO, cruceo N° 02; y en el cruceo peatonal de la cl. Coraceros, cruceo N° 03. Para la comparación de medias se utilizó Stat-key, donde se ingresaron dos grupos de datos: el primer grupo de datos corresponde a los datos de campo y el segundo grupo a los datos de VISSIM. La hipótesis nula afirma que todas las medias son iguales, mientras que la hipótesis alterna dice que no todas las medias son iguales. A continuación, se muestra la calibración (Figura 4-17) y validación (Figura 4-18) del cruceo N° 03.

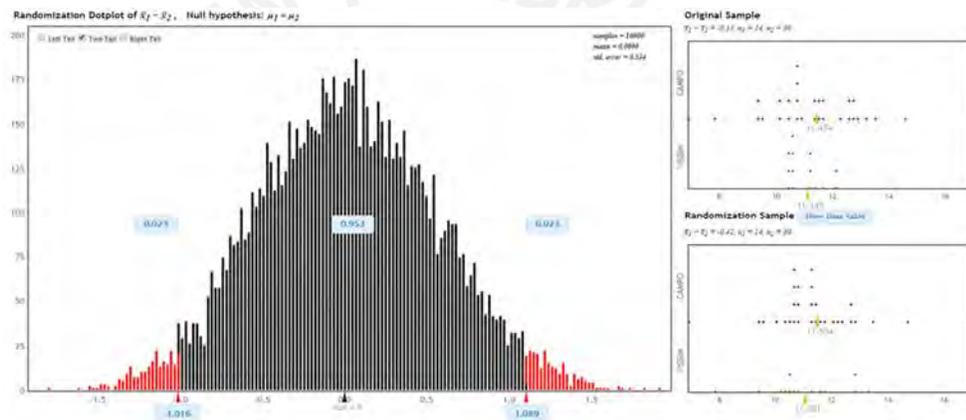


Figura 4-17: Randomization test para la calibración del cruceo N° 03

Fuente: Elaboración propia

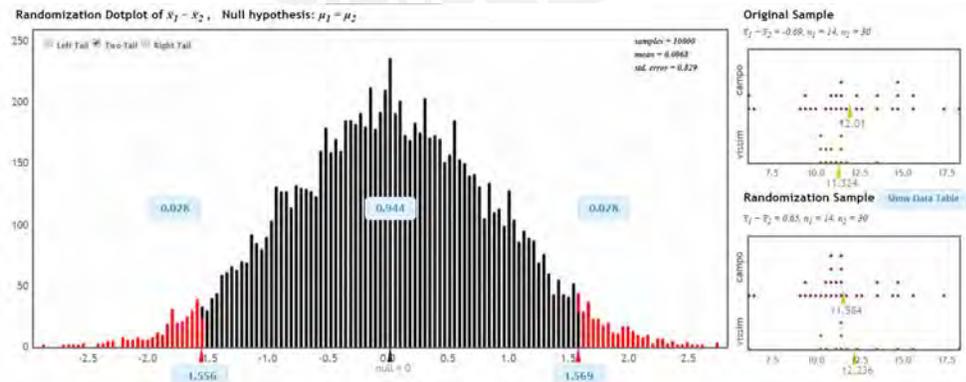


Figura 4-18: Randomization test para la validación del cruceo N° 03

Fuente: Elaboración propia

CÁPITULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Análisis multiescenario

Para el análisis multiescenario se consideraron tres contextos: el primero representa la actualidad, el segundo representa el efecto de los cierres de carriles debido a las zonas de trabajo de las construcciones de edificaciones y finalmente el tercero representa uno ideal. En cada escenario se midieron los tiempos de viaje vehicular, longitudes de cola y tiempos de viaje peatonal. La ubicación y detalle de los tramos de medición se detalló en los capítulos de metodología y modelación. Para poder realizar el análisis multiescenario se utilizó un análisis de varianza, ANOVA. La hipótesis nula, donde todas las medias son iguales, y la hipótesis alterna, donde no todas las medias son iguales están descritas en la Ecuación 5-1 (a) y (b).

Ecuación 5-1: Hipótesis nula y alterna para el análisis de varianza.

$$H_0: u_1 = u_2 = u_3$$

(a)

$$H_1: u_1 \neq u_2 \neq u_3$$

(b)

Luego, del análisis de la varianza se utilizó el método Tukey para crear intervalos de confianza para todas las diferencias de medias. Con lo cual se compararon los tiempos de cada escenario con un nivel de confianza de 95%. En las siguientes tablas las medias que no comparten una letra de agrupación son significativamente diferentes.

5.1.1. Tiempos de viaje de los vehículos

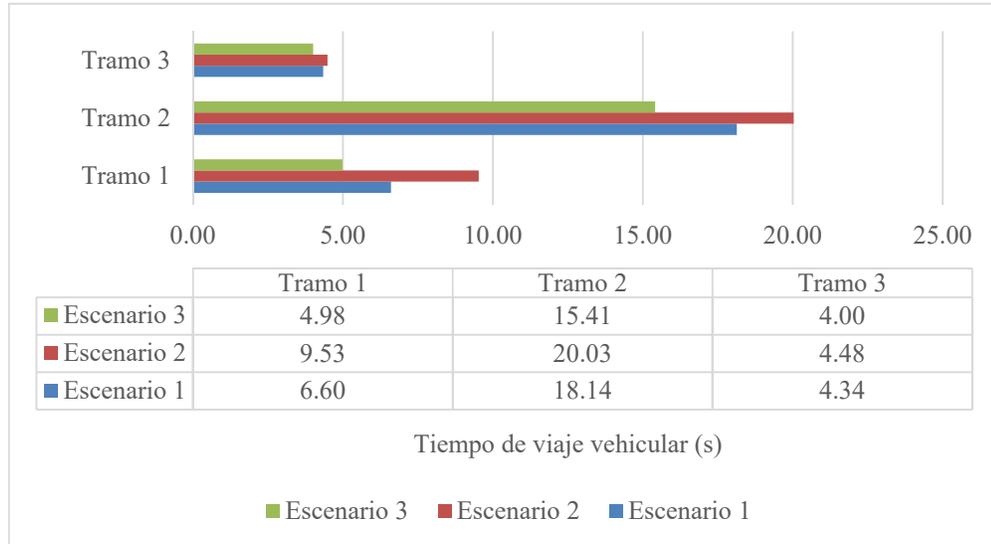
La Tabla 5-1 muestra que en la pista central de la av. Brasil en dirección NE-SO el escenario más desfavorable se debe a los desvíos ocasionados por las zonas de trabajo de la construcción de una edificación multifamiliar. Además, el mejor escenario es el 3 que corresponde al ideal, donde por la pista central únicamente circula TP masivo. Este escenario disminuye en dos segundos el tiempo de viaje vehicular actual en la pista central.

Para el segundo tramo se observa que el escenario más desfavorable corresponde al cierre de pistas debido a la zona de trabajo de una construcción. Además, la única diferencia significativa es entre el escenario ideal y el escenario que representa los desvíos en la pista auxiliar, la cual es cinco segundos en promedio.

En el tercer tramo se muestra como el tiempo de viaje en el tramo que cruza la av. Brasil desde la av. Mello Franco hasta la cl. Coraceros disminuye significativamente en el escenario ideal. Mientras que de la misma manera que en los tramos anteriores el escenario más desfavorable

se debe al cierre de las pistas auxiliares por el proceso constructivo de una edificación multifamiliar.

Tabla 5-1: Comparación Tukey de tiempos de viaje vehiculares por escenarios.



Tramo 1: pista central de la av. Brasil NE-SO

Tramo 2: pista auxiliar de la av. Brasil NE-SO

Tramo 3: cruce desde av. Mello Franco hacia cl. Coraceros

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Longitud de colas

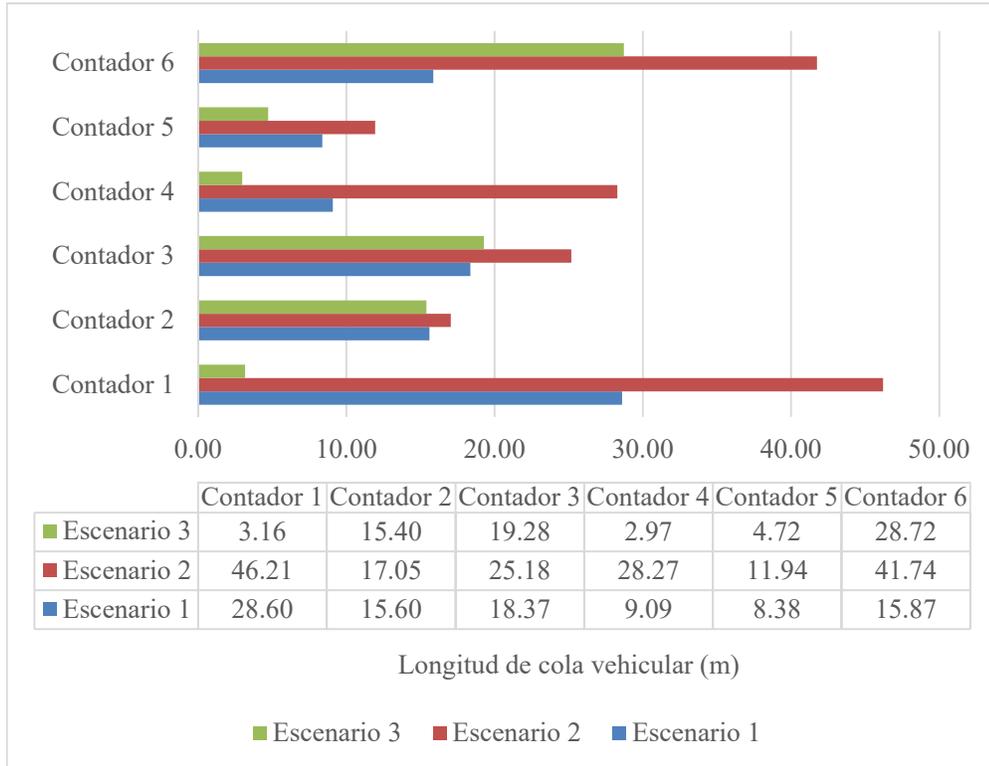
La Tabla 5-2 muestra la comparación entre los diferentes escenarios en las pistas auxiliares de la av. Brasil en función a las longitudes de cola que se forman. Se observa que el escenario 2, cuando se cerraron carriles, es el más desfavorable dado que las longitudes de cola son mayores. Además, se puede aceptar el escenario 3 como es mejor para las pistas auxiliares en ambas direcciones, de NE-SO dado que representa una reducción de 25 metros de colas en promedio y de SO-NE dado que se encuentra dentro de la misma agrupación que el escenario real, lo cual significa que no existen diferencias significativas entre ambos.

Además, se aprecia que el escenario 3 es el más favorable para disminuir las longitudes de cola en la av. Mello Franco; sin embargo, las longitudes de cola en la av. Simón Bolívar no son las menores en el escenario 3. Pero de acuerdo con la agrupación la variación no es significativa, por lo tanto, se podría aceptar el escenario 3 en ambas avenidas.

Asimismo, en las mediciones multiescenario de longitudes de cola en las pistas centrales de la av. Brasil se observa que el escenario 3 es el más favorable. En dicho escenario se restringió

la circulación de TP masivo en ambos sentidos de la calzada evaluada. Y el escenario más desfavorable corresponde al ocasionado por el cierre de las pistas auxiliares lo cual se debe a que los vehículos que normalmente transitaban por las vías auxiliares tomaron la vía central como desvío.

Tabla 5-2: Comparación Tukey de longitudes de cola por escenarios.



Contador 1: pista auxiliar de la av. Brasil NE-SO

Contador 2: av. Mello Franco

Contador 3: av. Bolívar NO-SE

Contador 4: pista central de la av. Brasil NE-SO

Contador 5: pista central de la av. Brasil SO-NE

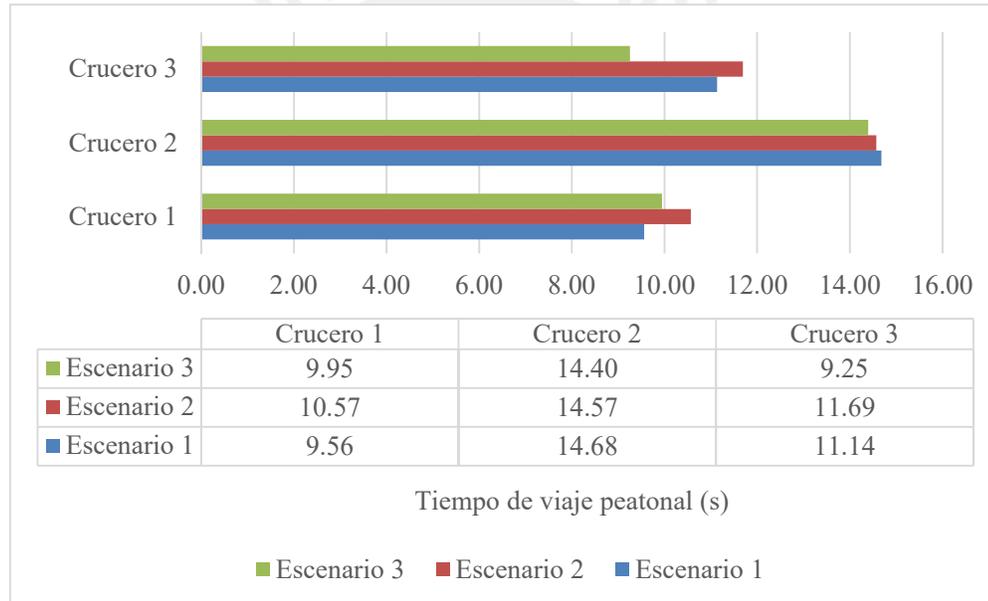
Contador 6: pista auxiliar de la av. Brasil SO-NE

Fuente: Elaboración propia

5.1.3. Tiempos de viaje de los peatones

En la Tabla 5-3 se pueden ver las mediciones para la primera intersección y segunda intersección. En la primera se midieron los tiempos de viaje en el cruce peatonal N° 01 de la av. Brasil SO-NE. Los resultados muestran menores tiempos de viaje peatonales asociados al escenario real; sin embargo, de acuerdo con la agrupación de la comparación Tukey el escenario ideal y el real se encuentran dentro de la misma agrupación, lo cual indica que no existe significativa diferencia entre ellos. Para la segunda intersección se analizaron dos cruces peatonales en la cl. Coraceros y en la pista auxiliar de la av. Brasil en dirección NE-SO. En ambos tramos se analizaron los tiempos de viaje peatonales y el resultado más favorable se da en el escenario ideal.

Tabla 5-3: Comparación Tukey de tiempos de viaje peatonales por escenarios.



Fuente: Elaboración propia

La circulación peatonal y vehicular en la av. Brasil entre las avenidas Simón Bolívar y Mello Franco se analizó de acuerdo con dos parámetros de eficiencia vehicular: tiempos de viaje de los vehículos y longitudes de cola. Y un parámetro de eficiencia peatonal: tiempos de viaje de los peatones. Los mayores tiempos de viaje de vehículos se presentan en un tramo de 80 metros que pertenece a la pista auxiliar de la av. Brasil en dirección NE-SO con 18.14 segundos.

Sin embargo, los tiempos de viaje vehiculares no se pueden comparar de acuerdo con los tramos en los que se evaluaron porque no tienen la misma longitud, sino deben ser comparados por escenario. Por lo tanto, se utilizó el parámetro de longitudes de cola con el cual se

determinó que las vías más críticas en toda la zona de estudio son la pista auxiliar de la av. Brasil en dirección NE-SO con una longitud de cola de 28.60 metros, seguida por el ingreso en la av. Simón Bolívar con una longitud de cola de 18.37 metros.

Se concluye que el efecto de las zonas de trabajo de construcciones multifamiliares es negativo para la circulación en la zona evaluada; debido a que los parámetros tanto de eficiencia vehicular como peatonal incrementan, lo cual está directamente relacionado con pérdidas económicas. Por un lado, los tiempos de viaje en la pista central de la misma avenida en dirección NE-SO incrementaron en 44.32%, en la pista auxiliar con la misma dirección incrementaron en 10.43%, y en el tramo que va desde la av. Mello Franco hasta la cl. Coraceros incrementaron en 3.35%. Por otro lado, las longitudes de cola en las pistas auxiliares de la av. Brasil en dirección NE-SO y SO-NE aumentaron en 61.57% y 163.12%, respectivamente. También se observa que en las pistas auxiliares de la av. Brasil en dirección N-E y S-O aumentaron en 211.22% y 42.49%, respectivamente. Además, en la av. Mello Franco aumentó en 9.26% y finalmente en la av. Bolívar con dirección NO-SE incrementó un 37.09%. En la evaluación para los tiempos de viaje peatonales se observó que en un cruce peatonal de la pista auxiliar de la av. Brasil en dirección SO- NE se dio un incremento de 10.53%, en otro cruce ubicado en la cl. Coraceros el incremento fue de 0.75% y finalmente, en el cruce ubicado en la pista auxiliar de la av. Brasil en dirección NE-SO se incrementó en 5.01%.

Al restringir la circulación de cualquier otro tipo de vehículo que no sea de transporte público masivo por la calzada central de la av. Brasil se observa una disminución de 24.53% en los tiempos de viaje vehiculares en la pista central de dicha avenida en dirección NE-SO. Además, las longitudes de cola en dirección NE-SO y SO-NE disminuyeron en 67.31% y 43.68%. No obstante, los tiempos de viaje peatonal en un cruce de la pista auxiliar de la av. Brasil incrementaron en 4%. Pero en los cruces peatonales de la segunda intersección disminuyeron 1.94% en el de la cl. Coraceros y 16.89% en el de la pista auxiliar de la av. Brasil en dirección NE-SO.

CÁPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

El estudio buscó analizar las condiciones de circulación vehicular y peatonal en un tramo de la av. Brasil, entre las avenidas Simón Bolívar y Mello Franco. A partir de los objetivos que se plantearon para el presente estudio, se concluye:

En primer lugar, las zonas de trabajo propias del proceso constructivo de edificaciones multifamiliares, representadas en el segundo escenario de la investigación, afectan el tránsito peatonal y vehicular. Puesto que generar desvíos por el cierre de las pistas auxiliares y el tránsito de estas pistas se redirige hacia las pistas centrales. Lo cual incrementa los tiempos de viaje de los vehículos en la calzada central de la av. Brasil en un 44.32%, equivalente a tres segundos adicionales en comparación con el escenario típico. Sin embargo, esto afecta también al tramo adyacente, que no se encuentra clausurado, de las vías auxiliares y al cruce desde la av. Mello Franco hacia la cl. Coraceros, en los cuales los tiempos de viaje vehiculares también incrementan en 10.43% y 3.35% respectivamente. Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos se podría demostrar la veracidad de la primera hipótesis. Dado que el segundo escenario, el cual representa los cierres de carriles, es el más desfavorable según las mediciones de tiempos de viaje vehiculares y peatonales en todos los tramos evaluados respecto del primero en el cual no existe cierre de carriles.

Adicionalmente, el tercer escenario en el cual se representan las condiciones de prioridad para la circulación exclusiva de unidades de transporte público masivo por la pista central de la av. Brasil demostró un notable beneficio que se refleja en la reducción de 24.53% en los tiempos de viaje vehiculares en dicha calzada, en comparación con el primer escenario o escenario típico. Por lo tanto, se prueba la veracidad de la segunda hipótesis. Los tiempos de viaje de los vehículos de transporte público masivo, que circulan por la calzada central de la av. Brasil, disminuyeron en 24.53%. Mientras que las longitudes de cola disminuyeron 55.50% en promedio de ambas direcciones. De este modo se puede garantizar la prioridad de los usuarios que se movilizan en transporte público sobre aquellos que utilizan en automóvil.

Asimismo, a la hora de representar el transporte público se tuvieron deficiencias. Algunas de las cuales están relacionadas a la informalidad y al déficit de regulación en este ámbito, mientras que otras como el tiempo de parada de los vehículos de transporte público masivo, surgen a partir de adaptar las herramientas de VISSIM al transporte público en Lima Metropolitana. Donde los conductores pueden permanecer detenidos a la espera de pasajeros

por tiempos prolongados, generando congestión. Por lo tanto, se encontraron potenciales limitaciones con respecto a la modelación de redes que consideran paraderos improvisados en vías exclusivas para transporte público utilizando VISSIM y WISWALK 8.0, las cuales pueden influir en la proximidad del modelo con la realidad. Pues como se menciona anteriormente, la zona de estudio cuenta con cuatro paraderos de transporte público masivo, dos de los cuales son improvisados y se encuentran mal ubicados. El modelo de Wiedemann permite modelar las paradas de TP como una distribución de tiempo de espera. Se llegó a la conclusión de que la distribución de los tiempos de parada de los vehículos de transporte público masivo en los paraderos ubicados en la av. Brasil responden a una distribución normal.

6.2. Recomendaciones

El modelo de dos intersecciones semaforizadas en VISSIM se calibró con éxito, de tal modo que se reflejaron las condiciones de flujo de campo. Si bien los modelos de microsimulación pueden ser calibrados con diferentes valores de los parámetros de Wiedemann, se recomienda que estos respondan a la realidad que se busca figurar. En esta investigación los conflictos modelados coinciden con los conflictos observados para el primer y segundo escenario. Además, las pruebas multiescenario y los resultados han demostrado un beneficio significativo si se establecen medidas para regular el tránsito exclusivo de transporte público masivo por la pista central.

Para poder tener un panorama más definido respecto a todos los paraderos presentes en la zona de estudio, sería recomendable realizar un estudio que relacione el número de pasajeros que abordan un vehículo de TP con el tiempo de parada de este. De tal modo que se puedan implementar medidas de seguridad relacionadas al recojo de pasajeros, tales como: ubicación adecuada de paraderos, ancho efectivo de paraderos acorde con la normativa vigente y tiempo de parada de los vehículos de TP.

Si bien este estudio muestra que el trato preferencial para autobús podría beneficiar al tráfico general en la zona, se recomienda realizar la evaluación en otras intersecciones comprendidas dentro de la av. Brasil para poder tener un panorama completo ante la implementación de medidas que brinden prioridad a la circulación de vehículos de TP a lo largo de toda la arteria.

REFERENCIAS

- Adacher, L., & Tiriolo, M. (2018). A macroscopic model with the advantages of microscopic model: A review of Cell Transmission Model's extensions for urban traffic networks. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 86, 102–119. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2018.05.003>
- Alexandersson, S., & Johansson, E. (2013). Pedestrians in Microscopic Traffic Simulation: Comparison between software Viswalk and Legion for Aimsun, 89. Retrieved from <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/184582/184582.pdf>
- Alfaro-Basso, D. (2008). *Problemática sanitaria y social de la accidentalidad del transporte terrestre*.
- Aramburú, C. E., & Mendoza, W. (2015). El futuro de la población peruana: problemas y oportunidades. *Debates En Sociología N°*, 41, 5–24. Retrieved from <http://www.unfpa.org.pe/Articulos/Articulos/ARAMBURU-MENDOZA-Debates-Sociologia.pdf>
- Área metropolitana de Bucaramanga. (2011). *Plan maestro de movilidad Área metropolitana de Bucaramanga 2011-2030*.
- Arias, C. (2001). Corredores de trole y ecovía en Quito, Ecuador. Caracas: Seminario Internacional. Retrieved from <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/repotencializar-trole-parte-de-solucion.html>
- Astarita, V., Giofrè, V. P., Guido, G., & Festa, D. C. (2014). Traffic delays estimation in two-lane highway reconstruction. In *Procedia Computer Science*. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.05.432>
- Avellaneda, P. (2007). *Movilidad, pobreza y exclusión social*.
- Avellaneda, P. (2008). Ciudad popular, organización funcional y movilidad. *Cuadernos de Arquitectura y Ciudad*, 10, 1–126.
- Ayuntamiento de Zaragoza. (2018). *Plan de movilidad urbana sostenible Zaragoza* (Vol. Memoria Fi). Retrieved from <https://www.zaragoza.es/sede/portal/movilidad/plan-movilidad/>

- Banco Mundial, Guerrero, S., Portabales, I., & Sánchez, I. (2018). Hacia una movilidad urbana sostenible en Lima. Retrieved from <https://gestion.pe/blog/termometro-desarrollo/2018/01/hacia-una-movilidad-urbana-sostenible-en-lima.html?Ref=gesr>
- Bell, S., & Morse, S. (2008). *Sustainability Indicators: Measuring the Immeasurable? Second Edition Earthscan.London.Sterling, VA*. [https://doi.org/10.1016/S0743-0167\(99\)00036-4](https://doi.org/10.1016/S0743-0167(99)00036-4)
- Ben-Dor, G., Ben-Elia, E., & Benenson, I. (2018). Assessing the Impacts of Dedicated Bus Lanes on Urban Traffic Congestion and Modal Split with an Agent-Based Model. In *Procedia Computer Science*. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.071>
- Berman, M. (1989). Todo lo sólido se desvanece en el aire. La experiencia de la modernidad, 201.
- Bhutani, R., Ram, S., & Ravinder, K. (2016). Impact of Metro Rail Construction Work Zone on Traffic Environment. In *Transportation Research Procedia*. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.11.113>
- Bielich, C. (2009). *La Guerra del Centavo*. Retrieved from www.cies.org.pe
- Bielich Salazar, C. (2007). ¿Cómo influye el sistema laboral de las empresas de transporte público en la problemática del tránsito limeño? Un acercamiento a las dinámicas de trabajo de las empresas de transporte a partir de la liberalización del sector en 1991. *Consortio de Investigación Económica y Social Instituto de Estudios Peruanos*.
- Bläser, D., & S. Hellali-Milani. (2014). Elektromobilität. Die Lösung für die Mobilität der Zukunft in der Stadt? *Radikale Innovationen in Der Mobilität Technische Und Betriebswirtschaftliche Aspekte*, 549–570.
- Böhringer, C., & Jochem, P. E. P. (2007). Measuring the immeasurable - A survey of sustainability indices. *Ecological Economics*, 63(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.008>
- Bradley Guy, G., & Kibert, C. J. (1998). Developing indicators of sustainability: US experience. *Building Research & Information*, 26(1), 39–45. <https://doi.org/10.1080/096132198370092>
- Bull, A., & CEPAL. (2003). *Congestion de transito el problema y como enfrentarlo*.
- Burggraf, K., & Guehnemann, A. (2014). Why is monitoring and evaluation a challenge in

sustainable urban mobility planning ?, (January), 9.

Burghout, W. (2005). Mesoscopic simulation models for short-term prediction. *Centre for Traffic Research*, (September), 10–20. Retrieved from http://www2.infra.kth.se/publications/ctr2005_03.pdf

Burghout, W., Wahlstedt, J., & Ab, R. S. (2007). Hybrid Traffic Simulation with Adaptive Signal Control, 1–13.

Cabrera, F. I. (2018). *Gestión del tránsito*. Lima, Perú.

Cal y Mayor, R. (1978). *Ingeniería de tránsito*. (A. M. De Caminos, Ed.) (5th ed.).

Calderon, J. (2005). *La ciudad ilegal. Lima en el siglo XX*. Lima: UNMSM - Fondo Editorial.

CEPAL. (1985). *Pistas Exclusivas para Omnibus en la Vía Expresa del Paseo de la República: Lima, Perú*.

CEPAL. (1989). *Evaluacion de Pistas Exclusivas para Buses en Lima*. La Habana.

CEPLAN. (2017). PERÚ 2030 : tendencias globales y regionales, 1–58.

Chaves, C. (2016). *Simulación de escenarios de tráfico vehicular para la ciudad de Bogotá*. Pontificia Universidad Javeriana. Retrieved from <https://docplayer.es/63736037-Simulacion-de-escenarios-de-trafico-vehicular-para-la-ciudad-de-bogota-cesar-alejandro-chaves-pinzon.html>

Chen, Y., Chen, G., & Wu, K. (2016). Evaluation of Performance of Bus Lanes on Urban Expressway Using Paramics Micro-simulation Model. In *Procedia Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.288>

Chin, H. C., & Quek, S. T. (1997). Measurement of traffic conflicts. *Safety Science*, 26(3), 169–185. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(97\)00041-6](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(97)00041-6)

Consejo Nacional de Seguridad Vial. (2017). Plan estratégico Nacional de Seguridad Vial 2017-2021. *El Peruano*, 72. Retrieved from https://www.mtc.gob.pe/cnsv/documentos/pensv_2017-2021.pdf

Creutzig, F., Jochem, P., Edelenbosch, O. Y., Mattauch, L., van Vuuren, D. P., mcollum, D., & Minx, J. (2015). Energy and environment. Transport: A roadblock to climate change mitigation? *Science (New York, N.Y.)*, 350(6263), 911–912. <https://doi.org/10.1126/science.aac8033>

- De Soto, H. (2002). *El otro sendero: la revolución informal*. (I. L. Y Democracia, Ed.) (6th ed.).
- Dextre, J. C., & Avellaneda, P. (2014). Movilidad en Zonas Urbanas, 233.
- Dobranskyte-Niskota, A., Perujo, A., Jesinghaus, J., & Jensen, P. (2009). *Indicators to Assess Sustainability of Transport Activities Part 2: Measurement and Evaluation of Transport Sustainability Performance in the EU27*. EUR - Scientific and Technical Research Reports. <https://doi.org/10.2788/46618>
- DTPM. (2016). Medidas de Gestión. Retrieved from <http://www.transportepublicosantiago.cl/index.php/infraestructura/medidas-de-gestion?Highlight=wyzb2xviiwiynvziiwic29sbybidxmixq==>
- EEA. (2014). *Focusing on environmental pressures from long-distance transport*. TERM 2014: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe. <https://doi.org/10.2800/857401>
- Ehlert, A., Schneck, A., & Chanchareon, N. (2017). Junction parameter calibration for mesoscopic simulation in Vissim. In *Transportation Research Procedia*. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.03.091>
- Ejercito, P. M., Nebrija, K. G. E., Feria, R. P., & Lara-Figueroa, L. L. (2017). Traffic simulation software review. *2017 8th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/IISA.2017.8316415>
- ELSAN-PACSA. (2003). Las Vías Urbanas.
- Fellendorf, M., & Vortisch, P. (2010). Microscopic traffic flow simulator VISSIM. In *International Series in Operations Research and Management Science*. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6142-6_2
- FHWA. (2004). Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software. *Rep. No. FHWA-HRT-04-040, U.S. DOT, Federal Highway Administration, Washington, D.C, III*(July), 146.
- Figueroa, O. (2005). *Transporte urbano y globalización. Políticas y efectos en América Latina*. *Revista eure* (Vol. XXXI). Santiago de Chile. Retrieved from <https://scielo.conicyt.cl/pdf/eure/v31n94/art03.pdf>

- Fiscalización Transportes. (2018). Listado de vías exclusivas y pistas sólo buses de la Región Metropolitana. Retrieved from <http://www.fiscalizacion.cl/listado-de-vias-exclusivas-y-pistas-solo-buses-de-la-region-metropolitana/>
- García, R., Miyashiro, J., Santa Cruz, P., Rubio, D., & Marces, R. (2015). Desarrollo o crecimiento urbano en Lima : el caso de los distritos del Sur, 226–247. Retrieved from PH-2015.pdf
- Gaube, V., & Remesch, A. (2013). Impact of urban planning on household's residential decisions: An agent-based simulation model for Vienna. *Environmental Modelling and Software*, 45, 92–103. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.11.012>
- Gilbert, R., & Myrans, K. (2002). Sustainable transportation performance indicators. *STPI Projects, Reports On*, 1–18. Retrieved from [http://richardgilbert.ca/Files/2003/Sustainable Transportation Performance Indicators \(for TAC\).pdf](http://richardgilbert.ca/Files/2003/Sustainable%20Transportation%20Performance%20Indicators%20(for%20TAC).pdf)
- Google Earth. (n.d.). Imágenes satelitales Lima, Perú. Retrieved from <https://www.google.com/maps?Ll=-12.07483,-77.05335&z=17&t=h>
- Hager, K., Rauh, J., & Rid, W. (2015). Agent-based modeling of traffic behavior in growing metropolitan areas. In *Transportation Research Procedia*. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.080>
- Hall, R. P. (2002). *Introducing the Concept of Sustainable Transportation to the U . S . DOT through the Reauthorization of TEA-21*.
- HCM. (2000). *Highway Manual Capacity*.
- Helbing, D., & Molnár, P. (1995). Social force model for pedestrian dynamics. *Physical Review E*, 51(5), 4282–4286. <https://doi.org/10.1103/physreve.51.4282>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (1991). *Metodología de la Investigación. McGraw hill* (Vol. 1).
- INEI. (2008). Perú: Compendio Estadístico.
- INEI. (2015). Peru: Síntesis Estadística 2015. *Síntesis Estadística INEI*, 105. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- INEI. (2017a). Compendio Estadístico De Lima 2017, 358. Retrieved from

https://www.inei.gob.pe/media/menurecursivo/publicaciones_digitaless/Est/Lib1477/libro.pdf

INEI. (2017b). N° 012 – 17 Enero 2017, 18–19.

INEI. (2018). Lima alberga 9 millones 320 mil habitantes al 2018. Retrieved April 1, 2018, from <https://www.inei.gob.pe/prensa/noticias/lima-alberga-9-millones-320-mil-habitantes-al-2018-10521/>

IPSOS. (2018). Tasa de Crecimiento Anual de Población Peruana. Retrieved March 10, 2018, from <https://gestion.pe/economia/ipsos-tasa-crecimiento-anual-poblacion-peruana-1-01-226591>

ITDP, & EMBARQ. (2012). Vida y Muerte de las Autopistas Urbanas, 44. Retrieved from http://embarqmexico.org/sites/default/files/vidaymuerteautopistasurbanas_vf.pdf

Jamshidnejad, A., Papamichail, I., Papageorgiou, M., & De Schutter, B. (2017). A mesoscopic integrated urban traffic flow-emission model. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 75, 45–83. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.11.024>

Jiang, Y. Q., Ma, P. J., & Zhou, S. G. (2018). Macroscopic modeling approach to estimate traffic-related emissions in urban areas. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 60, 41–55. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.10.022>

Jimenez, M. (2011). *Sistema adaptativo de control y optimización del tráfico de un corredor vial semaforizado*.

Karakikes, I., Spangler, M., & Margreiter, M. (2017). Designing a Vissim-Model for a motorway network with systematic calibration on the basis of travel time measurements. In *Transportation Research Procedia*. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.086>

Kretz, T. (2015). On Oscillations in the Social Force Model, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2015.07.002>

Law, A. M., & Kelton, W. D. (1991). *Simulation modeling and analysis*. McGrawhill New York *lõecuyer P Giroux N Glynn PW* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1145/1667072.1667074>

LCV. (2017). VIII Informe de Percepción sobre la Calidad de Vida en Lima y Callao. Retrieved from <http://www.limacomovamos.org/>

Leonard, D. R., Gower, P., & Taylor, N. B. (1989). *CONTRAM: Structure of the model*.

- Linster, M. (Oecd). (2003). OECD Environmental Indicators: development, measurement and use. *SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação*, 25(0), 37. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2008.09.005>
- Litman, T. (2009). Sustainable Transportation Indicator Data Quality and Availability. *2010 Transportation Research Board Annual Meeting*, 8.
- Lu, G., Liu, M., Wang, Y., & Yu, G. (2012). Quantifying the Severity of Traffic Conflict by Assuming Moving Elements as Rectangles at Intersection. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.04.098>
- Mahut, M. (2001). A multi-lane link model of traffic dynamics based on the “space-time” queue. *ITSC 2001. 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems. Proceedings (Cat. No.01TH8585)*, 122–126. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2001.948641>
- Mendoza, R., & Bielich, C. (2011, July 24). El transporte en Lima no es un problema técnico sino político. *La República*.
- MIDEPLAN. (1998). *REDEVU: recomendaciones para el diseño del espacio vial urbano*. Santiago de Chile.
- Mihăiță, A. S., Dupont, L., & Camargo, M. (2018). Multi-objective traffic signal optimization using 3D mesoscopic simulation and evolutionary algorithms. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 86, 120–138. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2018.05.005>
- Milermeter. (n.d.). Gmaps Pedometer. Retrieved from <https://www.gmap-pedometer.com/>
- Minitab. (2017). Minitab 18. Retrieved from <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/normality/test-for-normality/>
- MML. (2006). *Plano del Sistema Vial Metropolitano de Lima*.
- MML. (2015). *Ordenanza N° 1876 Sistema de rutas del servicio de transporte regular de personas en Lima Metropolitana*. Lima. Retrieved from <http://www.gtu.munlima.gob.pe/sites/default/files/ordenanzas/Ordenanza No. 1876-2015 y Anexo 1.pdf>
- MML. (2018). ORDENANZA N° 2087: Ordenanza que regula el procedimiento de aprobación de los Estudios de Impacto Vial en Lima Metropolitana y deroga las Ordenanzas N°s. 1268-MML, 1404-MML y 1694-MML. Lima: El Peruano. Retrieved

from <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ordenanza-que-regula-el-procedimiento-de-aprobacion-de-los-e-ordenanza-no-2087-1636216-1/>

Mori, K., & Christodoulou, A. (2012). Review of sustainability indices and indicators: Towards a new City Sustainability Index (CSI). *Environmental Impact Assessment Review*, 32(1), 94–106. <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2011.06.001>

MTC. (2006). Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial. Lima, Perú: El Peruano. Retrieved from <http://www.proviasdes.gob.pe/Normas/Proyecto.pdf>

MTC. (2009). *La vulnerabilidad de los peatones en la vialidad del área metropolitana de Lima y Callao*. Lima, Perú. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/187994229/Vulnerabilidad-de-Peatones-Informe-Final-Sttu>

MTT. (2016). Resolución 462 - Establece en vías de la ciudad de Santiago pistas de uso exclusivo para vehículos que indica. Retrieved from <https://www.leychile.cl/N?I=258683&f=2016-09-23&p=>

MTT, & Subsecretaría de Transportes. (2018). Resolución 139: establece uso de vías segregadas en la comuna de antofagasta para vehículos del transporte público que se indican.

Nagel, K., & Schreckenberg, M. (1992). A cellular automaton model for freeway traffic. *J. Phys. I France*, 2(December 1992), 2221–2229. <https://doi.org/10.1051/jp1:1992277>

Navazo, M. (2009). Cambiar las reglas del juego para transformar la ciudad. *Boletín CF+ S*, 40, 79–86. <https://doi.org/10.7760/bcf.s/40/amnav>

Oh, J., Min, J., Kim, M., & Cho, H. (2009). Development of an Automatic Traffic Conflict Detection System Based on Image Tracking Technology. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2129(December 2009), 45–54. <https://doi.org/10.3141/2129-06>

ONU-HABITAT. (2016). *Nueva Agenda Urbana*. Retrieved from <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2000). Towards Sustainable Development: Indicators to measure progress. *OECD Rome Conference*, 417.

Panfichi, A., & Portocarrero, F. (2004). La Urbanización de Lima, 1535-1900. *Mundos*

Interiores: lima., 22.

- Parisi, D. R., Gilman, M., & Moldovan, H. (2009). A modification of the Social Force Model can reproduce experimental data of pedestrian flows in normal conditions. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 388(17), 3600–3608. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2009.05.027>
- Pell, A., Meingast, A., & Schauer, O. (2017). Trends in Real-time Traffic Simulation. In *Transportation Research Procedia*. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.175>
- PTV. (2018). Simulating driving behaviour. Retrieved from <http://vision-traffic.ptvgroup.com/index.php?Id=6394>
- PTV AG. (2012). VISSIM 5.40 - Manual del usuario, 814. Retrieved from <http://www.ptvag.com/>
- PTV AG. (2015). Ptv Vissim 8 User Manual.
- Quistberg, D. A., Koepsell, T. D., Johnston, B. D., Boyle, L. N., Miranda, J. J., & Ebel, B. E. (2013). Bus stops and pedestrian–motor vehicle collisions in lima, peru: A matched case–control study. *Injury Prevention*. <https://doi.org/10.1136/injuryprev-2013-041023>
- RACC. (2004). Memoria 2004. *Area*, 1–43.
- Rangel-Huerta, A. (2013). Ecuación de Boltzmann de discos rígidos auto-impulsados para peatones en contraflujo. *Revista Mexicana de Física*, 59(2), 153–159.
- Rodríguez, A., & Oviedo, E. (2001). *Gestión urbana y gobierno de áreas metropolitanas*. Santiago de Chile.
- Roess, R. P., Prassas, E. S., & mcshane, W. R. (2011). *Traffic engineering* (4th ed.). Upper Saddle River, NJ : Pearson, 2011.
- Salamanca, L. (2008). Ponferrada : Hacia una movilidad más sostenible. In *9no CONAMA - Cumbre del Desarrollo Sostenible* (p. 23).
- Sandoval, E. (2002). Concepto integral del espacio público y la movilidad urbana. Enfoque de la ciudad de Bogotá. Caso específico: sistema Transmilenio. Caracas: Seminario Internacional. Retrieved from <http://eltiempo.terra.com.co/bogo/%0A2002-07-25/index.html%0A>
- Schoon, J. G. (2010). *Pedestrian Facilities*.

- SEDESOL. (2008). Manual de Normas y Reglas de Vialidad, Dispositivos de Tránsito y Mobiliario Urbano, *Capítulo V*, 221–240.
- SENAMHI. (2018). Datos hidrometeorológicos a nivel nacional. Retrieved from <https://www.senamhi.gob.pe/?P=estaciones>
- Shannon, R. E. (1988). *Simulación de sistemas: diseño, desarrollo e implantación*. (Trillas Editorial, Ed.) (1st ed.). México D.F.
- Suárez Castaño, L. A. (2007). Análisis y evaluación operacional de intersecciones Urbanas mediante microsimulación, 1–239.
- Subsecretaría de Transportes. (2012). Plan maestro de transporte Santiago 2025. *Conectando Chile*, 236. Retrieved from <http://www.pmts2025.cl/documentos/documentos/Plan Maestro Transporte Stgo 2025 vfinal - 03062013.pdf>
- Tafidis, P., Sdoukopoulos, A., & Pitsiava-Latinopoulou, M. (2017). Sustainable urban mobility indicators: Policy versus practice in the case of Greek cities. In *Transportation Research Procedia*. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.122>
- Taniguchi, E., Thompson, R. G., & Yamada, T. (2010). Incorporating risks in city logistics. In *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2010.04.005>
- Tarifa, E. E. (1988). Teoría de modelos y simulación: Introducción a la simulación. *Universidad Nacional de Jujuy*, 1–17.
- Thomson, I. (2007). Los buses sobre vías segregadas. *Nueva Sociedad*, 212, 8. Retrieved from <http://nuso.org/articulo/los-buses-sobre-vias-segregadas/>
- Tian, Z., Jia, L., Dong, H., Su, F., & Zhang, Z. (2016). Analysis of Urban Road Traffic Network Based on Complex Network. In *Procedia Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.01.290>
- Tianzi, C., Shaochen, J., & Hongxu, Y. (2013). Comparative Study of VISSIM and SIDRA on Signalized Intersection. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.226>
- Tordeux, A., Lämmel, G., Hänseler, F. S., & Steffen, B. (2018). A mesoscopic model for large-scale simulation of pedestrian dynamics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 93(September 2017), 128–147. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.05.021>

- Transitemos. (2018). Qué es la movilidad. Retrieved from <http://transitemos.org/2018/06/21/que-es-la-movilidad/>
- Transitemos, LCV, Luz Ámbar, Asociacion Cruzada Vial, PUCP, UNI, ... UCL. (2013). *Hacia una ciudad para las personas*. Retrieved from <http://www.limacomovamos.org/cm/wp-content/uploads/2013/08/Resumen-Ejecutivo-Hoja-de-Ruta.pdf>
- Valencia Alaix, V. G. (2000). Principio sobre semáforos. *Universidad Nacional de Colombia*, 240. Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/12057/1/10539884.2000.pdf>
- Wang, Y., Szeto, W. Y., Han, K., & Friesz, T. L. (2018). Dynamic traffic assignment: A review of the methodological advances for environmentally sustainable road transportation applications. *Transportation Research Part B: Methodological*. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2018.03.011>
- Wegener, M. (2013). The future of mobility in cities: Challenges for urban modelling. *Transport Policy*, 29, 275–282. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.07.004>
- World Business Council for Sustainable Development. (2002). The sustainable mobility. *The Sustainable Mobility Project*, 19. Retrieved from www.wbcsd.org/contentwbc/download/2526/30927
- Yachiyo Engineering, & Pacific Consultants International. (2005). *Plan Maestro de Transporte Urbano para el área metropolitana de Lima y Callao en la República del Perú*. Retrieved from http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/11798261_01.pdf
- Zhu, Z., Xiong, C., Chen, X., He, X., & Zhang, L. (2018). Integrating mesoscopic dynamic traffic assignment with agent-based travel behavior models for cumulative land development impact analysis. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 93(December 2016), 446–462. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.06.011>