

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**REDISEÑO VIAL Y MICROSIMULACIÓN DE LA AVENIDA  
EDUARDO DE HABICH ENTRE LAS CALLES MICHAEL FORT Y  
CHARLES SUTTON**

**Tesis para optar el título profesional de INGENIERO CIVIL**

**AUTOR**

Dante Dennis Quispe Vilca

Walter Eduardo Soto Sánchez

**ASESOR:**

Félix Israel Cabrera Vega

Lima, setiembre de 2019

## RESUMEN

La invasión del espacio público por el automóvil ha ido incrementando en los últimos años en el Perú. Este problema genera que las vías públicas sean cada vez más inseguras para el tránsito de peatones y ciclistas. En este sentido, el desarrollo de este proyecto de ingeniería busca analizar y mejorar las condiciones de circulación de peatones, ciclistas y automóviles en un tramo de la avenida Eduardo de Habich.

El proyecto está dividido en cuatro etapas. En la primera etapa se realizaron observaciones directas para determinar de forma cualitativa los conflictos en el tramo estudiado. En la segunda etapa se realizó la recolección de los flujos vehiculares, peatonales, fases del semáforo y geometría de la vía. En la tercera etapa, se elaboró propuestas de mejora en base a manuales de diseño urbano. Por último, en la cuarta etapa se desarrolló, en el programa VISSIM, el modelo de la sección actual y el modelo con las propuestas de mejora. En esta etapa también se compararon los resultados de ambos modelos con el fin de verificar si los cambios propuestos tuvieron éxito.

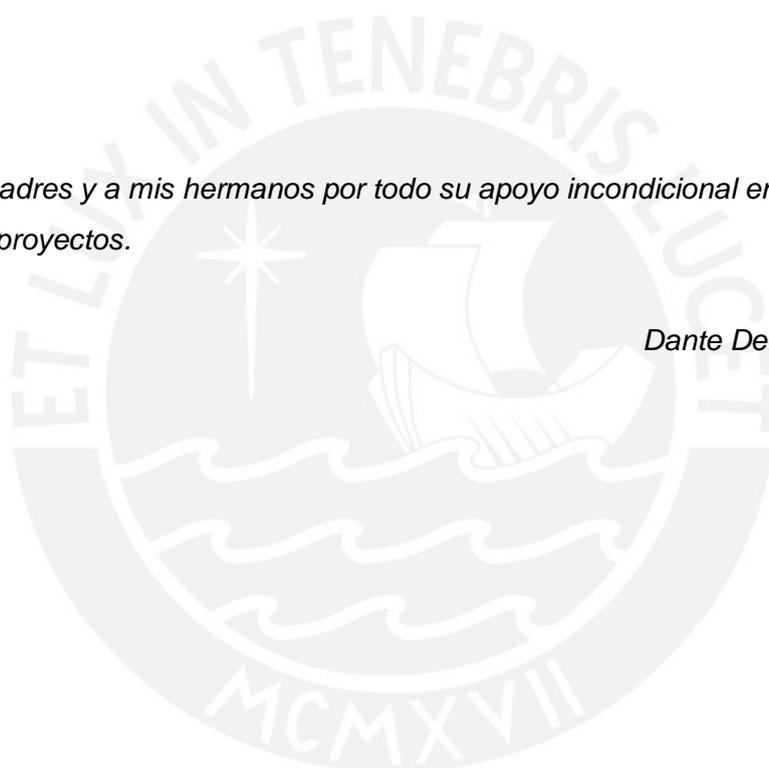
Entre las principales propuestas se puede mencionar la eliminación de carriles en la Av. Habich, la ampliación de medianas y veredas, la inclusión de ciclovías unidireccionales en ambos sentidos de la vía, el rediseño de las fases del semáforo, la ampliación de rampas y el desplazamiento de paraderos de transporte público. Los resultados de este nuevo diseño se compararon con el diseño actual y se logró que los tiempos de viaje peatonal en los cruces de la Av. Eduardo de Habich se redujeran en 8% y 30%. Del mismo modo se compararon los tiempos de viaje vehicular del tramo analizado y se obtuvo un aumento de 7% en el sentido este-oeste, mientras se redujo en 35% en el sentido contrario. Los tiempos de espera de los peatones y de los vehículos de la Calle Darío Valdizán se redujeron en un 13%. Asimismo, las longitudes de cola en calle Darío Valdizán se redujeron en un 44%, mientras que, en la Av. Habich, estas redujeron en un 31% en promedio.

Por lo tanto, se puede concluir que en la sección del tramo analizado se puede mejorar la distribución del espacio público para favorecer las condiciones de circulación de los peatones y ciclistas sin perjudicar significativamente el tráfico de vehículos.

*Dedicatoria*

*A mis padres y a mis hermanos por todo su apoyo incondicional en este y cada uno de mis proyectos.*

*Dante Dennis Quispe Vilca*



*Dedicatoria*

*A mis padres y hermano por el apoyo incondicional en esta etapa de mi vida, quienes han sabido guiarme y formarme con buenos valores y hábitos.*

*A mi enamorada Tania Cardenas por los consejos y ayuda constante en mi etapa universitaria.*

*A mi asesor Israel Cabrera por brindarnos el apoyo y compromiso en el desarrollo de este proyecto.*

*Walter Eduardo Soto Sánchez*

## INDICE

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.    Objetivo general .....	1
1.2.    Objetivos específicos .....	1
1.3.    Justificación .....	2
1.4.    Alcance y limitaciones .....	3
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1.    Del tráfico a la movilidad sostenible.....	4
2.2.    Espacio público .....	5
2.3.    Diseño de calles urbanas.....	8
2.3.1.    Principios del diseño de calles urbanas .....	8
2.3.2.    Componentes del diseño de calles urbanas .....	9
2.4.    Vías para ciclistas .....	13
2.4.1.    Tipos de vías para ciclistas.....	13
2.4.2.    Principios básicos de una adecuada ciclovía.....	15
2.5.    Modelos de tráfico vehicular .....	17
2.5.1.    Modelos determinísticos .....	18
2.5.2.    Modelos estocásticos.....	18
2.6.    Modelos de simulación de tráfico.....	19
2.7.    Fundamentos de la micro simulación vehicular -VISSIM .....	20
2.7.1.    Naturaleza aleatoria y número semilla .....	20
2.7.2.    Múltiples corridas de la simulación .....	22
2.7.3.    Periodo de estabilización del sistema (warm up).....	23
2.7.4.    Modelos de seguimiento vehicular (car following models).....	24
2.7.5.    Modelos de cambio de carril.....	29
2.7.6.    Calibración del modelo .....	29
2.7.7.    Validación del modelo .....	30
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	31
3.1.    Observación de la vía en análisis .....	31
3.2.    Recolección de datos de campo.....	32
3.3.    Propuestas de rediseño .....	34
3.4.    Microsimulación.....	35
3.4.1.    Desarrollo y verificación del modelo actual .....	35
3.4.2.    Calibración y validación del modelo actual.....	35
3.4.3.    Desarrollo del modelo de rediseño y comparación de resultados .....	37
CAPÍTULO 4: OBSERVACIÓN Y RECOLECCIÓN DE DATOS .....	38

4.1.	Observación .....	38
4.2.	Mediciones .....	39
4.2.1.	Regulación de semáforos .....	39
4.2.2.	Aforo vehicular .....	40
4.2.3.	Aforo peatonal.....	42
4.2.4.	Velocidades de peatones.....	43
4.2.5.	Datos para la calibración y validación .....	43
4.2.6.	Líneas de deseo.....	44
CAPÍTULO 5: PROPUESTAS DE REDISEÑO .....		45
5.1.	Eliminación de carriles.....	45
5.2.	Anchos de los carriles, mediana y veredas.....	46
5.3.	Desplazamiento de paraderos de transporte publico .....	47
5.4.	Creación de ciclovías unidireccionales .....	48
5.5.	Señales horizontales y verticales .....	49
5.6.	Ampliación de rampas .....	50
5.7.	Rediseño de ciclo semafórico.....	51
CAPÍTULO 6: MICROSIMULACIÓN .....		52
6.1.	Desarrollo y verificación del modelo .....	52
6.1.1.	Importación de imagen y creación de vías .....	52
6.1.2.	Flujo vehicular .....	53
6.1.3.	Flujo peatonal.....	53
6.1.4.	Colocación de semáforos .....	54
6.1.5.	Reglas de prioridad .....	55
6.1.6.	Verificación de errores .....	55
6.2.	Calibración y validación del modelo de la situación actual de la vía .....	56
6.2.1.	Parámetros de eficiencia y simulación vehicular.....	56
6.2.2.	Parámetros de Wiedemann .....	57
6.2.3.	Verificación del número mínimo de corridas .....	58
6.2.4.	Verificación del nivel de confianza.....	58
6.2.5.	Validación del modelo.....	60
6.3.	Análisis y comparación de resultados de la microsimulación de la nueva sección.....	62
6.3.1.	Tiempo de viaje vehicular .....	62
6.3.2.	Longitud de cola .....	64
6.3.3.	Tiempo de viaje peatonal.....	65
CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		68
7.1.	Conclusiones .....	68

7.2. Recomendaciones.....	69
REFERENCIAS.....	71



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Espacio ocupado por 60 personas en bus, bicicletas y autos.....	5
Figura 2: Espacio público apropiado por los ciudadanos – Plaza de Armas de Cusco .....	7
Figura 3: Sección de una vereda para una zona comercial.....	10
Figura 4: Elementos de una mediana.....	11
Figura 5: Crucero peatonal alineado con la franja de circulación y perpendicular a la vereda.....	12
Figura 6: Rampa del mismo ancho que la vereda.....	13
Figura 7: Ciclocarril Mariano Cornejo - Lima.....	14
Figura 8: Cicloacera Malecón Cisneros – Lima.....	14
Figura 9: Ciclovía Andrés Reyes – Lima.....	15
Figura 10: Ciclovía Salaverry – Lima.....	15
Figura 11: Señal de prioridad al ciclista.....	16
Figura 12: Señal horizontal de 30km/h.....	16
Figura 13: Generación de las características del conductor vehículo.....	21
Figura 14: Periodo de warm-up.....	24
Figura 15: Notaciones del modelo de seguimiento vehicular.....	24
Figura 16: Lógica de seguimiento vehicular.....	26
Figura 17: Ecuación de distancia entre vehículos de la versión modificado del modelo de Wiedemann y Reiter.....	28
Figura 18: Metodología del proyecto de rediseño.....	31
Figura 21: Líneas de deseo en el parque Emalجهaven – Copenhage.....	34
Figura 22: Prueba no paramétrica de hipótesis nula de diferencia de medias.....	36
Figura 23: Prueba no paramétrica de hipótesis alternativa de diferencia de medias .....	37
Figura 24: Zona de estudio.....	38
Figura 25: Sección actual de la vía.....	39
Figura 26: Ubicación de semáforos.....	40
Figura 27: Fases del ciclo semafórico.....	40
Figura 28: Flujos totales para la calibración (veh/h).....	41
Figura 29: Flujos totales para la validación (veh/h).....	41
Figura 30: Flujos peatonales para la calibración (peat/h).....	42
Figura 31: Flujos peatonales para la validación (peat/h).....	42
Figura 32: Frecuencias acumuladas de velocidades de peatones.....	43
Figura 33: Líneas de deseo en la zona de estudio.....	44
Figura 34 Lista de propuestas de mejora.....	45
Figura 35: Distribución de carriles en el diseño actual.....	46
Figura 36: Distribución de carriles en el nuevo diseño.....	46
Figura 37: Anchos de la nueva sección de la vía.....	47
Figura 38: Reubicación del paradero de bus.....	48
Figura 39: Ubicación del actual paradero de bus.....	48
Figura 40: Propuesta de crucero peatonal señalizado.....	49
Figura 41: Señal de prevención P-46 <sup>a</sup> y pictograma de bicicleta.....	50
Figura 42: Dimensiones de las rampas del diseño actual.....	51

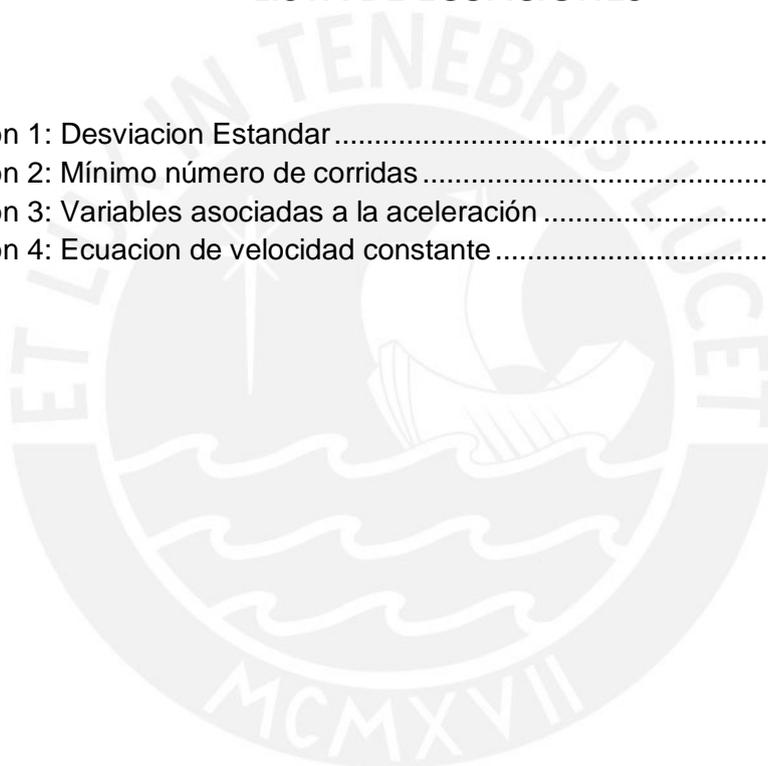
Figura 43: Dimensiones de las rampas del nuevo diseño .....	51
Figura 44: Fases del nuevo diseño.....	51
Figura 45: Creación de las vías vehiculares .....	52
Figura 46: Inserción de vehículos en las vías .....	53
Figura 47: Inserción de peatones en el modelo .....	54
Figura 48: Inserción de semáforos en el modelo .....	54
Figura 49: Áreas de conflicto en la zona de estudio .....	55
Figura 50: Parámetros de Eficiencia- Tiempo de viaje .....	56
Figura 51: Prueba de Hipótesis Nula para el carril en dirección a la Av. Túpac Amaru - Calibración .....	59
Figura 52: Prueba de Hipótesis Nula para los carriles en dirección a la Panamericana Norte – Calibración.....	59
Figura 53: Prueba de Hipótesis Nula para los carriles en dirección a la Av. Túpac Amaru - Validación.....	61
Figura 54: Prueba de Hipótesis Nula para los carriles en dirección a la Panamericana Norte - Validación .....	61
Figura 55: Tramos para la evaluación del tiempo de viaje vehicular .....	62
Figura 56: Tiempos de viajes del rediseño y diseño actual .....	63
Figura 57: Prueba de hipótesis alternativa para los tiempos de viaje vehicular del sentido N° 1.....	63
Figura 58: Resultados de la prueba de hipótesis alternativa para demoras vehiculares del sentido N° 2 .....	64
Figura 59: Longitudes de colas del diseño actual y rediseño .....	65
Figura 60: Tramos para la evaluación del tiempo de viaje peatonal.....	65
Figura 61: Tiempos de viaje peatonal del diseño actual y rediseño .....	66
Figura 62: Resultados de la prueba de hipótesis alternativa para tiempo de viaje peatonal en el cruce N°1 .....	67
Figura 63: Resultados de la prueba de hipótesis alternativa para tiempo de viaje peatonal en el cruce N°2 .....	67

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Tiempos de viaje para la calibración .....	43
Tabla 2: Tiempos de viaje para la validación .....	44
Tabla 3: Parámetros usados para la calibración .....	57
Tabla 4: Verificación del número mínimo de corridas de la calibración.....	58
Tabla 5: Verificación del número mínimo de corridas de la variación.....	60
Tabla 6: Flujos totales para cada vía de la calibración y validación <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1: Desviación Estandar .....	22
Ecuación 2: Mínimo número de corridas .....	22
Ecuación 3: Variables asociadas a la aceleración .....	25
Ecuación 4: Ecuación de velocidad constante .....	33



## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN**

El diseño de vías urbanas ha ido cambiando a lo largo de los años. Inicialmente este diseño se concibió en función del automóvil particular. Por lo tanto, se buscaba mejorar la circulación de este medio de transporte construyendo más carriles y estacionamientos para autos reduciendo el espacio destinado a los peatones y bicicletas. Este enfoque no tuvo éxito, puesto que cada vez que se ampliaba un carril, este se congestionaba en el mediano plazo. Debido a este resultado, hoy en día se debe diseñar considerando todos los modos de transporte presentes en la vía priorizando la circulación de los desplazamientos más sostenibles como la caminata y la bicicleta.

La avenida Eduardo de Habich lamentablemente fue diseñada en función del automóvil, lo cual queda evidenciado en las deficiencias de circulación de los peatones y ciclistas. Según la encuesta de LCV, en Lima Norte, solo el 0.4% realiza viajes en bicicleta mientras que el 7.6% lo realiza a pie (LCV, 2016). Por lo tanto, se pone en evidencia la necesidad de mejorar los espacios públicos destinados a estos usuarios para que se pueda aumentar el porcentaje de viajes en bicicleta y a pie, y reducir los viajes en vehículos motorizados.

El presente proyecto busca analizar las condiciones de circulación de peatones, ciclistas y automóviles de un tramo de la Av. Eduardo Habich para luego proponer medidas de mejora para dicho tramo utilizando manuales de diseño de calles urbanas y evaluar esta propuesta a través de un modelo de microsimulación en el software VISSIM.

### **1.1. Objetivo general**

Analizar las condiciones de circulación de peatones, ciclistas y automóviles en un tramo de la avenida Eduardo de Habich y proponer medidas de mejora para dicho tramo.

### **1.2. Objetivos específicos**

Los objetivos de este proyecto son los siguientes:

- Determinar las deficiencias en la circulación de todos los usuarios en el tramo de vía a analizar

- Desarrollar a detalle una propuesta de mejora que considere una nueva distribución de la vía que mejore los problemas encontrados y utilice modelos de tráfico

### 1.3. Justificación

El presente proyecto se puede justificar con los siguientes argumentos:

- **Conflicto entre peatones y ciclistas**

En el tramo estudiado existe una cicloacera que ocupa más de la mitad de la vereda, lo cual reduce el espacio de los peatones e incita a que los peatones circulen sobre la cicloacera. Este conflicto genera inseguridad en los peatones, ya que estos pueden llegar a ser atropellados por los ciclistas. En el caso de ciclistas, estos no se pueden desplazar cómoda y eficazmente debido a alta presencia de peatones sobre la cicloacera. La solución a este problema es el ensanche de la acera que permita la existencia de un espacio propio y amplio para los peatones y otro espacio que permita una cómoda y eficaz circulación de los ciclistas. Cabe resaltar que el tramo en estudio es una avenida comercial; por lo tanto, este ensanche en la vereda también refuerza la actividad económica de la zona (Herce, 2009).

- **Inseguridad vial para los ciclistas**

Actualmente la cicloacera existente no es muy utilizada por ciclistas, debido a que se encuentra invadida por los peatones. En este sentido, los ciclistas se transportan por la autopista, lo cual no es atractivo para que más personas se movilicen a través de este medio de transporte. Esto ocurre debido a que resulta peligroso manejar bicicleta en una autopista, donde la velocidad es relativamente alta y el volumen de tráfico también. Por lo tanto, debido a la velocidad y el volumen del tráfico se precisa de una cicloavía segregada físicamente (MT Colombia, 2016).

- **Condiciones favorables para efectuar viajes cortos de forma no motorizada**

La avenida Eduardo de Habich conecta viajes en los cuales la distancia entre los orígenes y destinos son menor a 1 km y además la pendiente es suave. Por lo tanto, los viajes a pie y en bicicleta son los modos de transporte puerta a puerta más rápidos y además no emiten CO<sub>2</sub> ni consumen energía (Dextre y Avellaneda, 2014).

Por otro lado, el 53% de las personas de Lima Norte indicaron estar insatisfechas con el estado de las ciclovías, asimismo el 49% se encuentran insatisfechas con los

espacios para la circulación de peatones (LCV, 2017). Por tanto, no solo las condiciones físicas son favorables, sino también, hay un grupo considerable de personas que puede comenzar a efectuar sus viajes cortos en bicicleta o a pie si se mejora las condiciones de circulación para peatones y ciclistas de esta vía.

- **Integración de la bicicleta con el Metropolitano**

La bicicleta es el modo de alimentación por excelencia debido a que es económico y rápido en viajes de cortas distancias. Entre los beneficios de la integración de bici con el Metropolitano se puede mencionar que el servicio de puerta a puerta puede llegar a ser igual a mejor que el de vehículos privados, habrá un aumento de los pasajeros y además se aliviará la congestión debido a la reducción del uso de otros buses alimentadores (MT Perú, 2016)

La actual ciclovía llega hasta la estación UNI del Metropolitano; no obstante, no es muy usada, debido a sus pésimas condiciones de circulación. Por ello, las personas prefieren usar combis a usar bicicletas para llegar a dicha estación de Metropolitano.

#### **1.4. Alcance y limitaciones**

El proyecto se ubica en la Urbanización Ingeniería del distrito de San Martín de Porres, el cual abarca un tramo de la avenida Eduardo Habich comprendido entre las calles Michael Fort y Charles Sutton. El estudio realizado tiene como alcance el modelamiento vehicular y peatonal, así como el rediseño de la vía respetando los límites de propiedad, y el rediseño del ciclo semafórico de la intersección de la avenida Eduardo de Habich con la calle Darío Valdizán.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

Las condiciones de circulación de una vía pueden mejorar a partir del rediseño y la microsimulación, los que tienen en cuenta conceptos propios de movilidad y de la gestión del tránsito. Los primeros cuatro acápite tratan de introducir a los conceptos de movilidad, espacio público, diseño de calles urbanas y vías para ciclistas sobre los cuales se realizó el proyecto de rediseño. Los últimos tres acápite tratan sobre la microsimulación vehicular, en los cuales se detalla los modelos sobre los cuales se ha desarrollado el software que se ha utilizado en este proyecto.

### 2.1. Del tráfico a la movilidad sostenible

El diseño de zonas urbanas ha ido cambiando a lo largo de los años. Inicialmente este diseño se concibió en función del tráfico; es decir, en función del automóvil particular. Por lo tanto, se buscaba mejorar la circulación de este medio de transporte construyendo más carriles y estacionamientos para autos. Sin embargo, este enfoque fue desplazado, ya que no tuvo éxito, pues cada vez que se incrementaron más carriles o estacionamientos, también aumentaban las ganas de adquirir un automóvil para gozar de estas nuevas infraestructuras. En consecuencia, estos carriles y estacionamientos después de cierto tiempo se volvían a congestionar. Sobre esto, Dextre y Avellaneda (2014) indican que este enfoque sólo alivia el problema a corto plazo y lo agrava en un mediano o largo plazo.

Después de pasar por este problema, se dejó de priorizar el desplazamiento de los automóviles y se empezó a priorizar el desplazamiento de las personas. A este nuevo enfoque se le conoce como diseño en función de la movilidad, el cual busca una mejor circulación de las personas a través del transporte público y modos no motorizados como la bicicleta o la caminata. No obstante, este diseño se realizaba en función de un adulto promedio dejando de lado al resto de la población, tales como niños, ancianos y personas con movilidad restringida. En ese entonces, este concepto se fue puliendo proponiendo el diseño en función de todos los usuarios. Sobre esto Tonucci propone diseñar en función de los niños, debido a que, si ellos pueden movilizarse con facilidad, el resto de la población también lo hará (Tonucci, 2004).

El término movilidad sostenible es aquel que prioriza el desplazamiento de las personas que el de automóviles y relaciona estos desplazamientos con su impacto sobre el medio ambiente (Dextre y Avellaneda, 2014). Cabe resaltar que este

concepto pone énfasis en la sostenibilidad ambiental; sin embargo, este término involucra también la sostenibilidad social y económica. Sobre esto, Herce (2009), pone énfasis en la sostenibilidad social; es decir, busca la equidad en el acceso a la movilidad. Este enfoque propone favorecer a los modos más accesibles por toda la población, tales como el transporte público, la bicicleta y la caminata.

En nuestro país, la infraestructura vial favorece a las personas que tienen acceso a un auto particular, lo cual excluye a las personas que no lo tienen. Esta distribución es ineficiente, ya que en el espacio ocupado por este se podría movilizar más personas a través de un Bus de Transito Rápido (BRT) o bicicletas (ver Figura 1). Por lo tanto, para lograr la equidad social se busca reformar el espacio público de tal forma que las personas puedan utilizar la bicicleta o andar a pie de forma cómoda y segura en viajes cortos y puedan utilizar el transporte público para efectuar viajes de mayor distancia de forma rápida y económica.

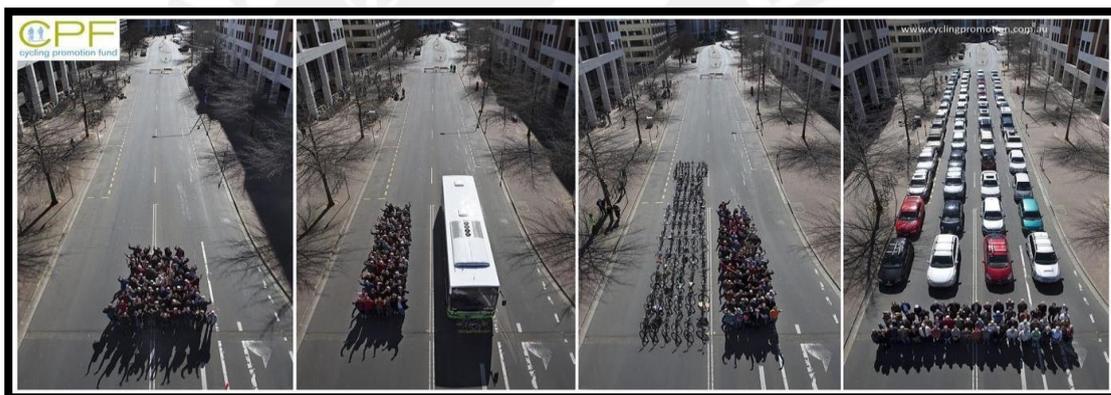


Figura 1: Espacio ocupado por 60 personas en bus, bicicletas y autos

Fuente: Cycling Promotion Fund (2017)

## 2.2. Espacio público

El objetivo del espacio público es lograr una buena interacción entre la vida pública y el espacio público (Gehl, 2013). Esto se refiere a que se debe conseguir grandes masas de personas sobre los espacios públicos y permitir una vida diaria donde las condiciones físicas estén a favor de los peatones y ciclistas. A continuación, se define el concepto de espacio público y sus principales dimensiones.

Según Takano (2007), el espacio público es aquel territorio de la ciudad donde cualquier persona tiene derecho a estar y circular libremente. En ese entonces, los espacios públicos más cercanos a nuestro medio son las calles, las plazas, los parques y otros. Por otro lado, Dascal (2013) señala que los espacios públicos son escenarios de acción en el cual se activan procesos psíquicos y psicosociales. Este enfoque sostiene que los espacios públicos deben ser espacios donde se aprende a reconocer las diferencias y semejanzas del otro, y se puede expresar libremente pensamientos de todo tipo. El espacio público se caracteriza por ser un concepto que puede ser enfocado desde distintas perspectivas. Entre las importantes se puede mencionar la dimensión territorial, política, social, cultural y económica.

- **Dimensión territorial**

Según este enfoque el espacio público debe ser multifuncional; es decir, un espacio que se puede adaptar a nuevos usos (Takano, 2007). Por ejemplo, un parque puede haber sido creado como un espacio de recreación; sin embargo, puede ser usado en una manifestación como un espacio de expresión de libertad de pensamiento.

- **Dimensión política**

Este enfoque señala que el espacio público es la propiedad no privada que es administrada por los municipios, el cual tiene la obligación de equipar y lograr que los ciudadanos se apropien de ella (Carrión, 2007). A esta apropiación, Borja (2003) la define como ciudadanía, la cual es concebida como un derecho de todas las personas que habitan en una ciudad. En la Figura 2 se muestra la apropiación de la plaza de armas de Cusco por parte de los turistas y cusqueños gracias a la peatonalización de dicho espacio.

- **Dimensión social**

Esta perspectiva sostiene que el espacio público debe ser accesible para todos sin importar sexo, edad ni estatus social y económico, pues de esta forma se puede desarrollar el anonimato que permite una verdadera integración social de los ciudadanos donde se establece a todos como iguales. Sobre esto, Jordi Borja, señala que el espacio público es una creación humana para que en ella vivan seres libres e iguales (Borja, 2003).

- **Dimensión cultural**

Este enfoque relaciona al espacio público con el desarrollo de la identidad a través monumentos que permiten que el observador se representa en el

tiempo en el que transcurrió el acontecimiento relacionado al monumento. Esta representación permite el desarrollo de identidad de los ciudadanos con su historia. Sobre esto Dascal se extiende a los parques nacionales, ya que al recorrer estos caminos las personas desarrollan sentido de pertenencia e incluso conciencia ecológica (Dascal, 2013).

- **Dimensión económica**

Esta perspectiva señala que el espacio público funciona como un espacio donde se puede intercambiar productos. Este intercambio se puede desarrollar en mercados, ferias o incluso en calles comerciales por medio de los vendedores ambulantes. Sin embargo, hoy en día, muchas municipalidades buscan generar estos intercambios en espacios privados, tales como centros comerciales (Carrión, 2007). Este reemplazo de las plazas por los *Malls* muestra el descuido de los espacios públicos por parte del Estado.



Figura 2: Espacio público apropiado por los ciudadanos – Plaza de Armas de Cusco

Fuente: <https://casaecologica.pe/catedral-cusco-plaza/> , (02/10/2018)

Retomando las ideas presentadas se puede entender al espacio público como un lugar en el que se pueden encontrar personas heterogéneas para recrearse,

expresarse e intercambiar bienes y pensamientos, además de identificarse con su ciudad y desarrollar ciudadanía.

### **2.3. Diseño de calles urbanas**

El diseño de vías urbanas en Perú, en los últimos años, ha sido influenciado fuertemente por el diseño de carreteras, en el cual el vehículo motorizado es el que tiene la prioridad. Este diseño resulta inapropiado para las zonas urbanas, puesto que además del automóvil, existen otros modos de transporte tales como el transporte público, la bicicleta y la caminata. Por esta razón el diseño de calles urbanas debe buscar la adecuada convivencia de todos los modos de transporte dentro de la ciudad, dado que la calle es un espacio público que pertenece a todos.

#### **2.3.1. Principios del diseño de calles urbanas**

El diseño de calles urbanas, hoy en día, busca controlar la velocidad de los automóviles y aumentar la seguridad para efectuar desplazamientos tanto a pie como en bicicleta. Según la National Association of City Transportation Officials (NACTO, 2012), el diseño de calles urbanas debe tener en cuenta los siguientes principios:

- **La calle es un espacio público**

Las calles ocupan más del 70% del espacio público de las ciudades (NACTO, 2012). Sin embargo, usualmente han sido subutilizadas, debido a que se destinaba la mayor parte de su espacio al automóvil particular. Por esta razón, se debe diseñar las calles tanto como un espacio público como una vía para el tráfico de automóviles.

- **Una gran calle es un gran negocio**

A lo largo de los años, se observó que la disminución del espacio de la calle destinado al peatón tuvo como consecuencia un decaimiento de la actividad económica de las calles. En este sentido es importante destacar que una calle bien diseñada atrae más personas y actividades, lo cual permite generar ingresos a los propietarios de los negocios; por lo tanto, la ciudad se beneficia al recibir mayores impuestos por estas personas.

- **La calle debe ser segura para todos los usuarios**

Entre 1998 y 2008 los accidentes de tránsito provocaron 35596 muertes siendo Lima la más afectada con 61.7% del total (Morales, 2010). En este sentido, las calles deben ser diseñadas para poder desplazarse de forma segura, principalmente, a pie o en bicicleta. Es importante resaltar que la severidad de estos accidentes aumenta con la velocidad; por lo tanto, este diseño busca reducir la velocidad de los vehículos motorizados.

- **Las calles pueden ser rediseñadas**

A pesar de que los límites de propiedad ya se encuentran bien definidos, el ingeniero de transporte puede redistribuir este espacio para todos los modos de transporte. La mayoría de las vías urbanas fueron diseñadas muchos atrás; por ello, es necesario rediseñar las calles para las necesidades actuales y futuras.

### **2.3.2. Componentes del diseño de calles urbanas**

#### **2.3.2.1. Veredas**

Las veredas son la infraestructura por la cual transitan las personas. Por esta razón, un buen diseño de veredas puede lograr un espacio público atractivo y seguro para las ellas. Sobre esto la NACTO (2012), menciona que, así como, construir más carriles atrae mayor cantidad de vehículos, ampliar el ancho de las veredas atrae mayor cantidad de personas. Para lograr esta atracción es importante incluir en el diseño un adecuado arbolado e iluminación.

Por otro lado, el manual de accesibilidad de Chile (CCA, 2010) menciona que las veredas se dividen en una franja de circulación y una franja elementos. La franja de circulación es el espacio por el cual transitan las personas, el cual debe estar libre de obstáculos. Esta franja debe permitir incluso la circulación de personas en silla de ruedas. Por este motivo, el ITDP (2016) señala que esta franja debe tener un ancho mínimo de 1.5m. Por otro lado, la franja de elementos es el espacio donde se encuentran los paraderos de bus, mobiliario, señales de tránsito, arboles e iluminación. Por último, en caso de zonas comerciales el ITDP (2016) recomienda un ancho entre 4m y 5m con un ancho mínimo de circulación de 2.6m. A continuación, la Figura 3 muestra las dimensiones de las franjas para una zona comercial.

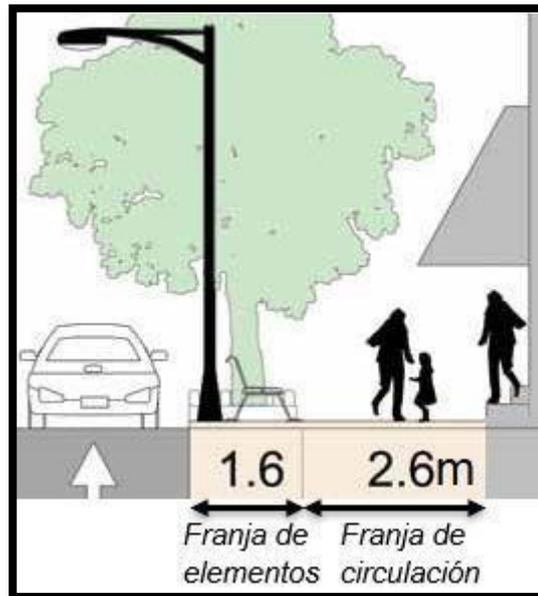


Figura 3: Sección de una vereda para una zona comercial

Fuente: Adaptado de ITDP (2016)

### 2.3.2.2. Medianas

La mediana es un área que segrega los carriles vehiculares de sentidos opuestos. Sobre este espacio se puede colocar árboles o poste de alumbrado. En calles comerciales, las medianas pueden ser utilizadas como refugio peatonal. Estos refugios permiten cruzar la calle de forma segura a aquellas personas que no pueden cruzar la calle en una sola fase del semáforo. Sin embargo, para asegurar que también ciclistas y personas en sillas de ruedas puedan esperar a que cambien el semáforo, se recomienda que la extensión mínima del refugio sea 1.8m (NACTO, 2012). Por otro lado, para garantizar la circulación de personas de movilidad reducida se recomienda que el ancho del refugio sea el mismo que del cruceo peatonal (ITDP, 2016). Además, se recomienda utilizar adoquines o concreto para diferenciar el espacio peatonal del espacio vehicular (ITDP, 2016). Finalmente, se recomienda incluir una “nariz” para fortalecer la seguridad de los peatones (NACTO, 2012). Seguidamente, la Figura 4 muestra todas las características de una mediana descrita líneas arriba.

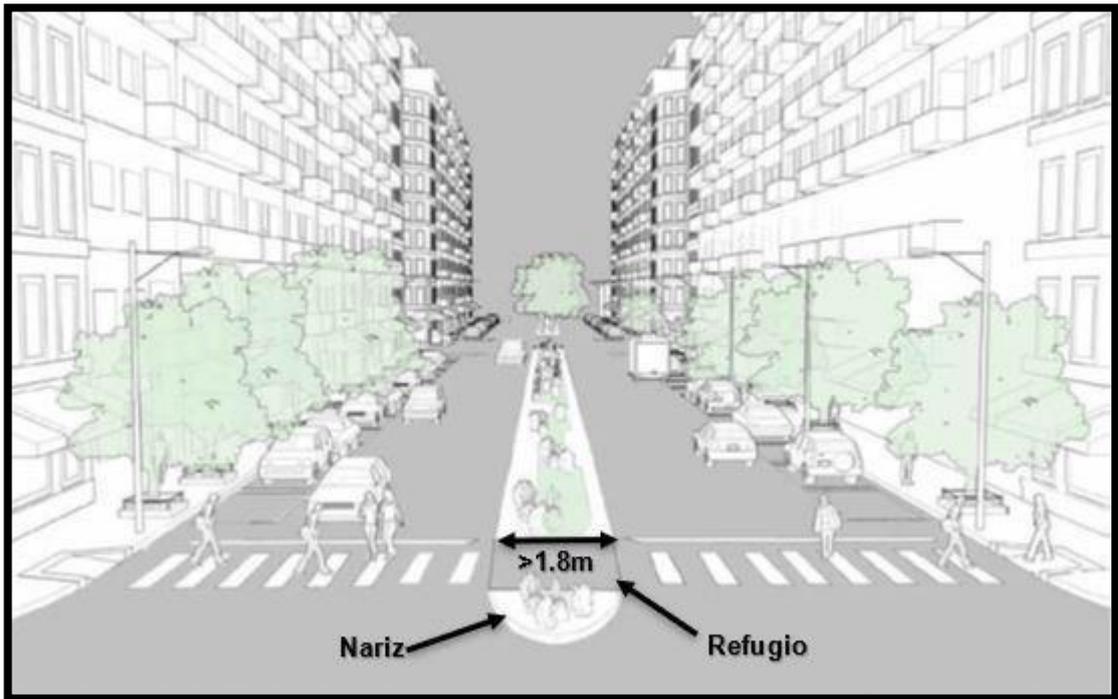


Figura 4: Elementos de una mediana

Fuente: Adaptado de ITDP (2016)

### 2.3.2.3. Cruceos peatonales

Los cruceos peatonales o líneas de cebra son un elemento importante para la circulación segura de los peatones en una intersección. Estas líneas permiten informar a los conductores la presencia de circulación de peatones. Sobre esto, el ITDP (2016) señala que las líneas de parada de automóviles debe estar separados por lo menos un metro del cruceo peatonal. Además, el cruceo necesita de semáforos o reductores de velocidad para garantizar la seguridad de los peatones (WRI, 2016).

Por otro lado, la NACTO (2012) señala que se debe colocar cruceos en todas las piernas de la intersección e indica que los pasos de cebra deben estar alineados con la franja de circulación de las veredas. Sobre esto, el ITDP (2016) agrega que el ancho del cruceo debe ser el mismo ancho que la vereda o 3m como mínimo.

Por último, el recorrido del cruceo debe permitir a una persona en silla de ruedas cruzar la pista o llegar a la mediana en un solo ciclo del semáforo (NACTO, 2012). En seguida, la Figura 5 muestra resaltado la alineación del cruceo con la franja de circulación, además indica la distancia mínima entre la línea de parada y las líneas peatonales.

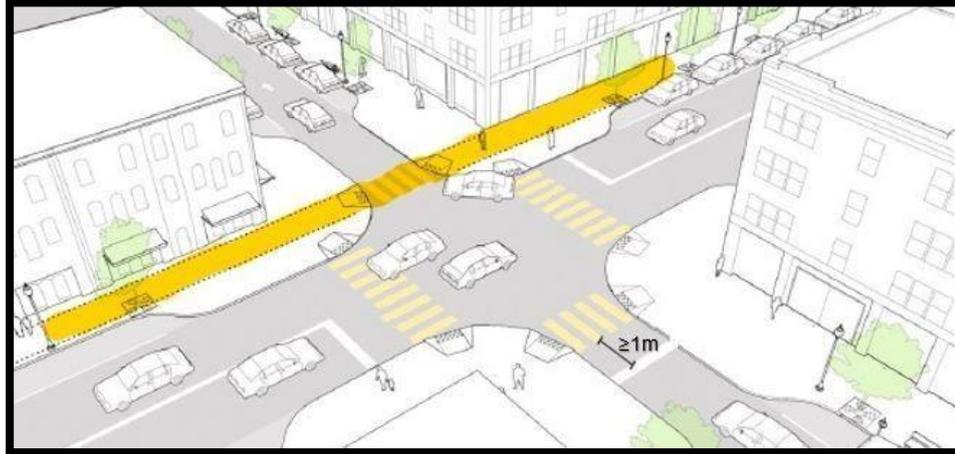


Figura 5: Cruce peatonal alineado con la franja de circulación y perpendicular a la vereda

Fuente: Adaptado de NACTO (2012)

#### 2.3.2.4. Rampas

Las rampas son componentes del diseño urbano que permiten una transición suave entre la vereda y la calzada, lo cual permite un mejor desplazamiento tanto para las personas invidentes como para las personas en sillas de ruedas. Según el ITDP (2016), las rampas deben estar alineadas con los cruces peatonales, puesto que estos suelen reflejar la línea de deseo de los peatones. Sobre las especificaciones de las rampas, la norma peruana GH.020 señala que su ancho debe ser de 90cm como mínimo y su pendiente de 12% como máximo (RNE, 2011). Estos valores no garantizan la adecuada circulación de personas con movilidad reducida. En contraste, el manual de accesibilidad universal de Chile (CCA, 2010) señala que las rampas deben tener el mismo ancho que el cruce peatonal (véase Figura 6) y una pendiente máxima de 8% para garantizar la circulación de todas las personas.



Figura 6: Rampa del mismo ancho que la vereda

Fuente: CCA 2010

## 2.4. Vías para ciclistas

Las vías para ciclistas cumplen un rol muy importante en el diseño de una calle, puesto que esta permite y promueve la adecuada circulación de ciclistas en viajes de cortas distancias. A continuación, se detalla los principales tipos de vías para ciclistas que existen, luego se mencionan los requisitos básicos que debe cumplir una ciclovía para que funcione adecuadamente.

### 2.4.1. Tipos de vías para ciclistas

Según la guía de ciclo-infraestructura colombiana, existe una amplia gama de vías para ciclistas que se pueden colocar en las calles de acuerdo al espacio disponible, la velocidad y el volumen de autos (MT Colombia, 2016). Entre las comunes en nuestro medio se mencionan las siguientes tipologías.

- **Ciclocarril**

Esta vía se caracteriza por tener una segregación visual; es decir, está delimitada por una franja pintada sobre la calzada. Esta tipología se utiliza cuando la vía presenta bajo volumen de vehículos o cuando estos se desplazan a velocidades menores a 40 km/h (CROW, 2011). Por lo tanto, son usadas como vías alimentadoras de la red de principal de ciclovías. Este tipo de vías son unidireccionales, donde a lo largo del ciclocarril, se pinta una bicicleta y una flecha que indica el sentido de la circulación. En algunas ocasiones pueden estar totalmente pintadas para mejorar la visibilidad

de los ciclistas. La Municipalidad de Lima recomienda que un ciclocarril debe tener un ancho mínimo de 1.40m y una segregación visual de 60cm (ML Perú, 2017). En la Figura 7 se presenta un ciclocarril; sin embargo, este presenta tan solo un ancho de 1m y una banda de segregación de 10 cm, lo cual resulta poco atractivo para movilizarse en bicicleta por esta vía.

- **Cicloacera**

Esta tipología se distingue por ubicarse sobre la acera; por lo tanto, se debe tener en cuenta un ancho de vereda que permita la adecuada circulación de los peatones y ciclistas. Este tipo de vía puede ser unidireccional o bidireccional. En ambos casos se recomienda una segregación a través mobiliario urbano o jardines para proteger a los ciclistas del flujo motorizado. La Figura 8 muestra una cicloacera unidireccional, la cual permite un flujo adecuado de ciclista, puesto que el flujo peatonal es bajo.



Figura 7: Ciclocarril Mariano Cornejo -  
Lima

Fuente: Propia



Figura 8: Cicloacera Malecón Cisneros  
- Lima

Fuente: Propia

- **Ciclovía**

Esta tipología se construye cuando el volumen de vehículos motorizados es alto o si la velocidad de estos es mayor a 40 km/h (ML Perú, 2017). Por lo tanto, las ciclovías se caracterizan por tener una segregación física. Esta separación se puede lograr a través de elementos como topellantas y bolardos (véase Figura 9) o por medio de un área verde (véase Figura 10). Esta tipología forma la red principal de las vías para ciclistas; por ello, usualmente se ubican en las principales avenidas y son bidireccionales. Este tipo de vías brinda mayor seguridad a los ciclistas que un ciclocarril; sin embargo, no es posible su construcción en todas las calles, puesto que

requiere de mayor espacio que un ciclocarril. La guía de ciclo-infraestructura colombiana recomienda que una cicloavía bidireccional debe tener un ancho mínimo de 2.80m y una segregación física mínima de 60cm (MT Colombia, 2016).



Figura 9: Cicloavía Andrés Reyes – Lima

Fuente: Propia



Figura 10: Cicloavía Salaverry – Lima

Fuente: Propia

- **Carril compartido:**

Al igual que el ciclocarril, este tipo de vía se utiliza cuando la velocidad y el volumen del tráfico de automóviles son menor a 30km/h o menos de 10000veh/día (ML Perú, 2017). Por lo tanto, es usual optar por esta tipología en zonas residenciales o centros históricos. El carril compartido se caracteriza por estar acompañado por señales verticales y horizontales de prioridad al ciclista (véase Figura 11) y velocidad máxima de 30km/h (véase Figura 12). En algunas calles, se puede colocar elementos de tráfico calmado para forzar a reducir la velocidad de los automóviles.

#### 2.4.2. Principios básicos de una adecuada cicloavía

Según el Manual de Diseño para el Tráfico de Bicicletas de Holanda (CROW, 2011), una cicloavía debe ser atractiva, coherente, cómoda, directa y segura para promover que más usuarios utilicen la bicicleta como medio de transporte, sobre todo, en viajes de corta distancia. A continuación, se explican cómo se desarrollan estas características.



Figura 11: Señal de prioridad al ciclista

Fuente: Propia



Figura 12: Señal horizontal de 30km/h

Fuente: Propia

- **Atractividad:**

Una ciclovía es atractiva cuando está rodeada de recursos paisajísticos, tales como áreas verdes o espacio públicos bien mantenidos. Durante el día, reducir los niveles de contaminación atmosférica y acústica también incrementa la atractividad de la vía (MT Colombia, 2016). Durante la noche, la iluminación es un factor importante para atraer más ciclistas por estas vías, puesto que andar por una vía oscura aumenta la vulnerabilidad a sufrir un robo. Bajo esta premisa, cabe resaltar, que, si la ciclovía se encuentra en un barrio conocido como “peligroso”, primero se debe lograr que se cambie esta percepción para lograr que la vía sea atractiva.

- **Coherencia:**

Esta cualidad se logra cuando todas las tipologías están entrelazadas de tal forma que los ciclistas pueden utilizarlas para llegar a la mayor cantidad de destinos posibles (MT Colombia, 2016). Normalmente, no todos los usuarios de bicicleta andan por las ciclovías, muchos de ellos transitan por la acera o por la calzada de autos. Según la CROW (2011), si más del 70% de estos ciclistas, utiliza la ciclovía, quiere decir que las ciclovías son coherentes. Cabe destacar, que las ciclovías deben ser coherentes también con el sistema de transporte público para lograr la intermodalidad, y con las calles peatonales, puesto que también es posible desplazarse en estas áreas para lograr que el usuario se aproxime la más cerca posible a su destino final.

- **Comodidad:**

Una ciclovía es cómoda cuando los usuarios no requieren de mucho esfuerzo en las piernas para desplazarse a través de ella (Pettinga, 2009). Esto se logra cuando la vía presenta pendientes suaves que puedan ser superadas con facilidad. Por otro lado, es importante que exista una adecuada señalética que permita orientar al ciclista hacia donde tiene que ir para llegar a su destino (MT Colombia, 2016). El estado del pavimento presenta en la vía también influencia en la comodidad de la ciclovía.

- **Directividad:**

La directividad de las ciclovías se evalúa en términos de distancia y tiempo. El primero se enfoca en lograr que el recorrido desde el origen y el destino sea lo más directo posible. Desde este punto de vista, la diferencia entre el recorrido de un ciclista y un pájaro debe ser la mínima posible (Pettinga, 2009). La directividad con enfoque en el tiempo busca lograr que los ciclistas se desplacen con el menor número de interrupciones; es decir, con el menor número de intersecciones. En el caso de ciclovías principales, se busca que no haya ninguna interrupción (MT Colombia, 2016).

- **Seguridad:**

Una ciclovía es segura cuando se reduce el riesgo de que los ciclistas sean atropellados por vehículos motorizados (CROW, 2011). En este sentido, es necesario disminuir el número de intersecciones, puesto que en cada una de ellas se presenta peligro al encontrarse con los modos motorizados. Por otro lado, los ciclistas necesitan balancearse para pedalear y mantenerse en movimiento. En este sentido, es indispensable respetar un ancho mínimo de ciclovía para garantizar estos movimientos (Pettinga, 2009). Sobre esto, si la velocidad y el volumen de autos son alto, la segregación física cumple un rol importante para lograr el desplazamiento seguro de los ciclistas.

## **2.5. Modelos de tráfico vehicular**

Los modelos se construyen para experimentar con ellos una búsqueda de respuestas a una serie de preguntas sobre el sistema estudiado, por ejemplo, la geometría de la zona de estudio, vehículos, peatones y ciclistas, y de esta forma servir de sustento a un proceso de decisiones (Barceló, 2012). En el área de transporte los modelos han

sido utilizados para poder solucionar problemas como el tráfico vehicular. Los modelos tienen diversas formas de estudio, entre ellos se encuentran los modelos determinísticos y los modelos estocásticos.

### **2.5.1. Modelos determinísticos**

Un modelo determinístico es un modelo matemático, ya que genera invariablemente las mismas salidas con las mismas entradas, asimismo es un modelo que no considera el azar o la incertidumbre en el proceso (Barrera, 2016). En el área de transporte según la FHWA se asume que las características del vehículo y del conductor no tienen variabilidad alguna, por lo que brindan resultados idénticos (FHWA, 2004).

Este modelo puede ser diseñado para sistemas simples o no caóticos, ya que de lo contrario necesitaría mayor información del sistema porque este modelo no predice las características faltantes. Un ejemplo de modelo determinístico del tráfico es el modelo de acceso a una intersección, la cual todos los conductores tendrá el mismo tiempo de reacción de parada y no varía en el tiempo.

### **2.5.2. Modelos estocásticos**

Los modelos estocásticos también llamados modelos probabilísticos, son aquellos que toman por lo menos una variable o característica al azar y las relaciona con otras por medio de funciones probabilísticas (Barrera, 2016). En el área de transportes según la FHWA son modelos que asignan características del conductor y del vehículo a partir de distribuciones estadísticas usando números aleatorios, estos resultados varía según el número aleatorio ingresado (FHWA, 2004).

Los modelos estocásticos pueden ser desarrollados en software como VISSIM, el cual tiene como número aleatorio al número de semilla el cual es un dato de entrada y sirve para poder generar las diversas características de los conductores y vehículos. En otras palabras, los modelos probabilísticos son aquellos que con datos de entrada similares no generará los mismos resultados, ya que los modelos varían según el número aleatorio ingresado. Un ejemplo de modelo estocástico de tráfico vehicular es el modelamiento de seguimiento vehicular con distintos tiempos de reacción del conductor.

## 2.6. Modelos de simulación de tráfico

Los problemas de congestión vehicular de diversas ciudades han originado a desarrollar nuevos modelos para el análisis del tráfico vehicular mediante distintos enfoques a nivel de detalle, las cuales serán desarrolladas a continuación.

Uno de estos sistemas propuestos son los modelos macroscópicos, el cual desde este enfoque comúnmente se considera valores promedio de velocidad, tiempo de viaje y densidad. Este enfoque, no desarrolla modelos de vehículos individuales sino de un flujo de vehículos, por lo que este tipo de modelos se le puede comparar a modelos de dinámica de fluidos, la cual analiza fluidos sin interrupciones ni interacciones. Asimismo, estos modelos son en su mayoría no computarizados, ya que maneja poca información, a diferencia de otros enfoques como el mesoscópico o microscópico. Por ello se puede decir que este tipo de modelo desarrolla modelos a gran escala en un menor tiempo (CSMP, 2012).

Por otro lado, otro de los sistemas propuestos son los modelos mesoscópicos, la cual realizan modelos con mayor detalle que un modelo macroscópico (FHWA, 1994). Estos modelos simulan vehículos individuales; sin embargo, sus actividades e interacciones se desarrollan basándose en relaciones macroscópicas de flujo de tráfico para simplificar el modelo (CSMP, 2012). En otras palabras, este enfoque considera primordialmente el comportamiento de los conductores a lo largo del tiempo y del espacio, no se toma en consideración los demás vehículos, además se basa en distribuciones de probabilidad (Ávila, 2008).

Finalmente, otro de los sistemas propuestos son los modelos microscópicos realizan modelos con mayor detalle que los dos anteriores enfoques mencionados (macroscópico y mesoscópico), ya que simula modelos con movimientos de vehículos individuales sobre un base segundo a segundo o más refinada. Asimismo, las interacciones de los vehículos se basan en una regla de comportamientos que tiene como objetivo recrear el comportamiento del mundo real. Por ello, este enfoque en su mayoría son de naturaleza estocástica que permite que las características de varios objetos se determinen al azar con distribuciones de probabilidad, la cual comúnmente es una distribución normal (CSMP, 2012).

El enfoque microscópico es desarrollado para análisis donde la interacción detallada de los vehículos es importante para el modelo; por ejemplo, para modelos donde es

un foco importante la operación de señales de tráfico accionada y funciones de autopistas.

En el presente trabajo se utilizó este enfoque con la ayuda del software VISSIM para el modelamiento del flujo vehicular y VISWALK para el modelamiento del flujo peatonal.

## **2.7. Fundamentos de la micro simulación vehicular -VISSIM**

La simulación de tráfico es una herramienta en la actualidad para planificadores de transporte e ingenieros de tráfico, por ello se han desarrollado diversos softwares de modelado de simulación de tráfico desde distintos enfoques. VISSIM es un programa computacional de simulación de tráfico con enfoque microscópico con el fin de analizar y optimizar los flujos de tráfico (Fellendorf & Vortich, 2010).

El software en mención (VISSIM) es una herramienta con mayor difusión por las bondades que tiene dicho programa. Sin embargo, para poder tener un modelo de micro simulación que refleje la realidad se debe de usar herramientas idóneas como el software VISSIM, una correcta recolección de data, un buen análisis de calibrado del modelo, finalmente definir el alcance del proyecto a desarrollar (FHWA, 2004).

La base del análisis del desarrollo del trabajo son los fundamentos de la micro simulación. Se definirá los conceptos básicos, tales como de la aleatoriedad del modelo, el warm up, múltiples corridas de simulación, entre otros.

### **2.7.1. Naturaleza aleatoria y número semilla**

Los softwares de micro simulación presentan un nivel de aleatoriedad de forma determinística y estocástica. Es decir, en un flujo de tráfico los parámetros se relacionan con el nivel de aleatoriedad y estos son de forma determinística o estocástica. El primero en mención no tiene variación respecto a sus características de los conductores y vehículos; a diferencia de la forma estocástica que cada vehículo y conductor posee su propia característica.

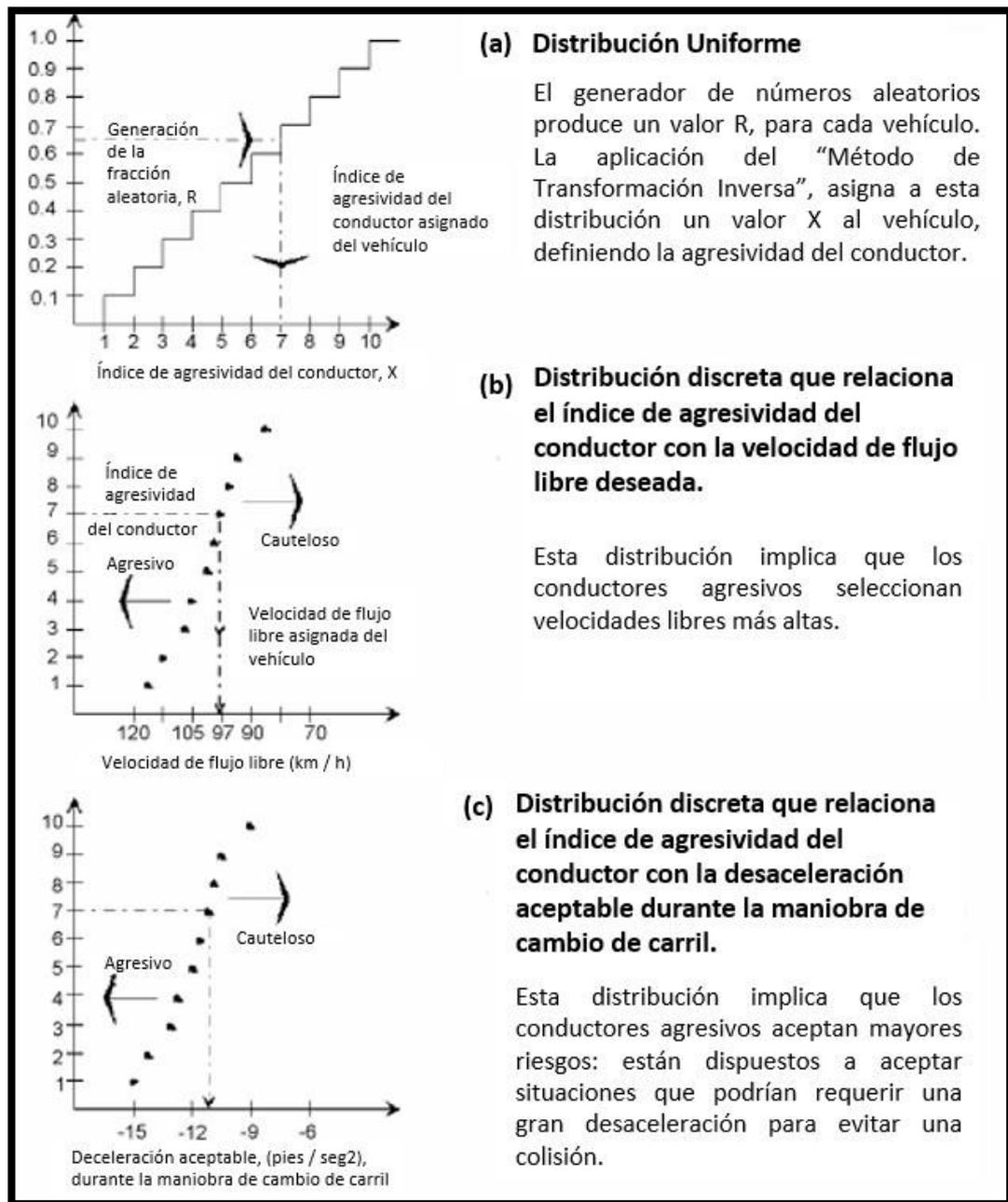


Figura 13: Generación de las características del conductor vehículo

Fuente: Adaptado de FHWA (2004)

En el programa VISSIM el nivel de aleatoriedad está representado por el número de semilla el cual como ya se mencionó es un parámetro que define las características de los conductores y vehículos. El número de semilla ingresado será para cada corrida y este se modificará en cada una de ellas. La data de cada corrida será la misma, ya que al modificar el número de semilla solo varían los resultados. La Figura 13 explica lo mencionado, con un número de semilla determinado el conductor recibe un valor del índice de agresividad y con este valor el vehículo recibe la velocidad de

flujo libre y las aceleraciones y desaceleraciones durante la maniobra de cambio de carril (FHWA, 2004).

### 2.7.2. Múltiples corridas de la simulación

En un modelo microscópico con aleatoriedad estocástica, el número de corridas es fundamental, ya que para poder obtener mayor precisión se debe de realizar mayor número de corridas y de esta manera se obtendrá mayor cantidad de resultados con los que el software podrá dar los resultados de forma estadística. Sin embargo, cada proyecto a realizar deberá tener un mínimo de corridas ya que la data de cada proyecto varía. Por lo tanto, se deberá analizar la cantidad mínima de corridas que debería de tener cada modelo microscópico (Fellendorf & Vortich, 2010).

Según la FHWA (2004), el número mínimo de corridas se determinará con un proceso iterativo. El primer paso de este proceso será correr el modelo un número aleatorio de veces (es recomendable correr inicialmente cuatro veces) y con los resultados obtenidos se determina la desviación estándar con la siguiente expresión:

$$S^2 = \frac{\Sigma(x - \underline{X})^2}{N - 1}$$

Ecuación 1

Donde:

S: desviación estándar

X: variable para la que se requiere la varianza de la muestra

$\underline{X}$ : media de los valores de X

N: número de corridas

Seguidamente de calcular la desviación estándar se determinará la cantidad mínima de corridas que permitirá obtener resultados confiables. La siguiente expresión buscará el valor de N (número de corridas) tal que sea mayor o igual al número de corridas inicialmente.

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

Ecuación 2

Donde:

e: margen de error

$t_{\alpha/2}$ : valor de la distribución "t" student

S: desviación estándar

N: número mínimo de corridas

El proceso iterativo se realiza en esta etapa, ya que, si el número de corridas realizadas inicialmente es mayor al número mínimo de corridas obtenido, entonces la iteración ha concluido. Sin embargo, si se obtiene lo contrario se volverá a correr con otro valor hasta obtener la condición mencionada ( $N_{\text{corridas}} > N_{\text{min}}$ ). Finalmente, al término del proceso iterativo se podrá correr el modelo en el software logrando un nivel de confianza del 95%.

### **2.7.3. Periodo de estabilización del sistema (warm up)**

El periodo de estabilización, conocido en el software VISSIM como "warm up", es el tiempo en que el modelo consigue un equilibrio, ya que el modelo inicia con cero vehículos en la red y en el transcurrir del tiempo alcanza el volumen de vehículos de la red real, es por ello que al iniciar los resultados de simulación no son similares al campo por lo que deben de ser excluidos de las estadísticas reportadas para el rendimiento del sistema (FHWA, 2014).

El tiempo de estabilización estimado según la FHWA es de 10 a 15 minutos, sin embargo, si la demanda es mayor a la capacidad del sistema este tiempo podría ser mayor, por ello se recomienda que el tiempo estimado sea al menos el doble de tiempo de viaje estimado en condiciones de flujo libre para recorrer toda la longitud de la red. Por ejemplo, si la red tiene una longitud de 10 km y el tiempo que tarda en atravesar la red es de 10 minutos, entonces el tiempo de estabilización será 20 minutos. En la [Figura 14](#) se aprecia un ejemplo de la FHWA, la cual define como el periodo de warm up de 20 minutos, ello quiere decir que a partir de ese minuto los resultados serán tomados en cuenta por el programa, asimismo se observa que en el minuto cero el número de vehículo es nulo y aumenta al transcurrir el tiempo.

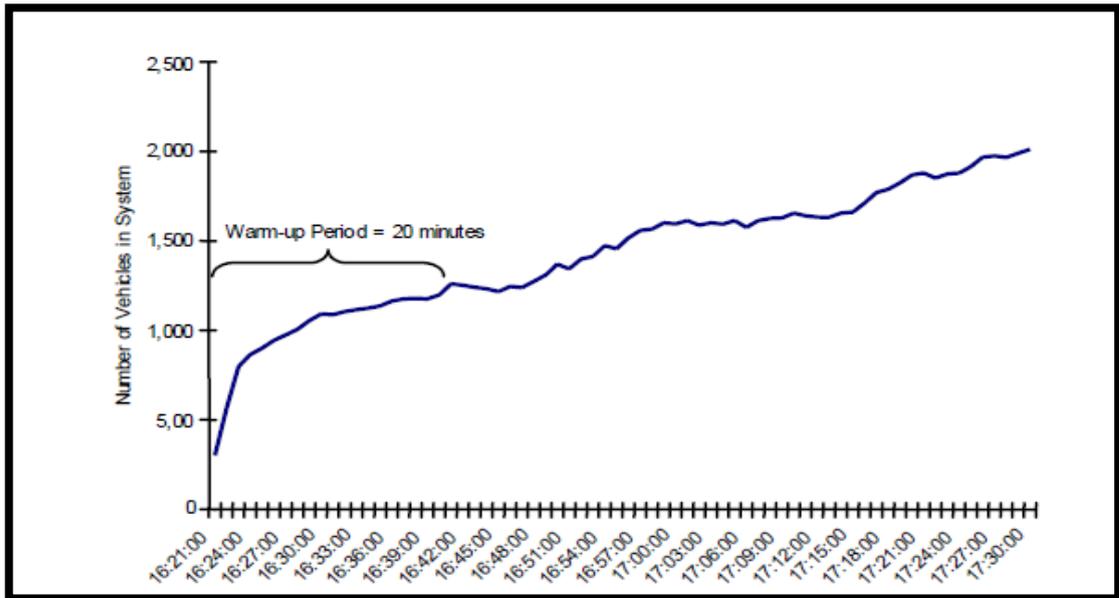


Figura 14: Periodo de warm-up

Fuente: FHWA (2004)

#### 2.7.4. Modelos de seguimiento vehicular (car following models)

La teoría del seguimiento vehicular se desarrolló desde las décadas del cincuenta por diversos autores con el fin de analizar el comportamiento de los vehículos con interacción de su entorno en una vía. Asimismo, autores de la época introdujeron diversos conceptos, tales como que un conductor reconocerá los cambios del aparente tamaño del vehículo líder según se acerca al vehículo con menor velocidad, los conductores reconocen los cambios mínimos a lo largo del tiempo, entre otros (Fellendorf & Vortich, 2010). La Figura 15 representa cómo reaccionan los vehículos a los cambios que realiza el vehículo líder.

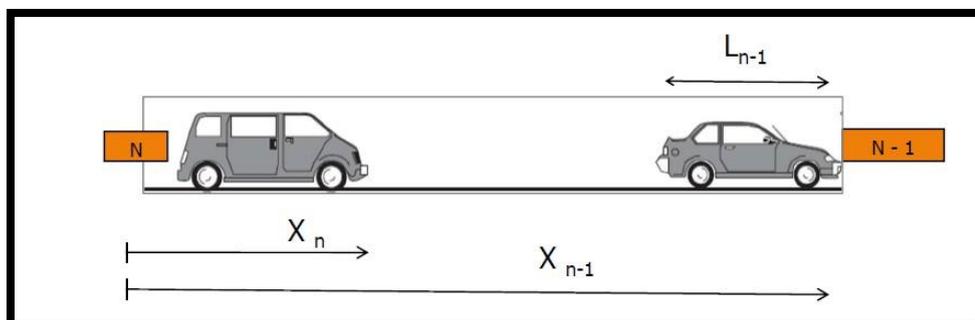


Figura 15: Notaciones del modelo de seguimiento vehicular

Fuente: Cabrera (2018)

Donde:

$X_n$ : posición del vehículo siguiente

$X_{n-1}$ : posición del vehículo precedente

$L_{n-1}(t)$ : longitud del vehículo precedente

En la actualidad, se han desarrollado diversos modelos de seguimiento vehicular. Entre ellos están modelos que se basan en el estímulo-respuesta que fue desarrollado por la General Motor, aquellos que se basan en la distancia seguro de dos vehículos que fue desarrollada por Gipps y los que se apoyan en el psico-físico que desarrolló Wiedemann el cual analiza el estado anímico, la edad del conductor, la condición física, entre otras características.

Cada modelo mencionado presenta ecuaciones con el fin de conocer las características del vehículo siguiente y el vehículo líder. La FHWA (2004) presenta la ecuación de la aceleración del vehículo siguiente, el cual tiene como variables las características del conductor siendo esta una variable involucrada en todos los modelos mencionados.

$$a_f = F(v_t, v_f, s, T, X_i)$$

Ecuación 3

Donde:

$a_f$ : aceleración del vehículo que sigue después de la reacción T

$v_t$  y  $v_f$ : velocidad del vehículo líder y del vehículo siguiente

$s$ : distancia entre vehículos

$T$ : tiempo de reacción para la respuesta del vehículo siguiente

$X_i$ : parámetro específico para cada modelo de seguimiento vehicular

Con la finalidad de desarrollar la teoría de seguimiento vehicular, se desarrollará el modelo de Wiedemann a continuación.

#### 2.7.4.1. Modelo de Wiedemann

El modelo de Wiedemann tuvo dos presentaciones, siendo la primera en 1974 y la segunda en 1999. Este modelo se basa en modelar la percepción humana y los

umbrales de reacción en un proceso de seguimiento de automóviles (vehículo líder y seguidor), siendo estas las características psico-físico del conductor.

El modelo de Wiedemann 1974 busca que el conductor de un vehículo en movimiento con mayor velocidad comience a desacelerarse a medida que alcanza su umbral de percepción individual a un vehículo en movimiento con menor velocidad. Ya que, el vehículo seguidor no logra determinar la velocidad del vehículo líder, su velocidad será menor hasta que aumente la aceleración y por ende la velocidad, Entonces, si se modifica la aceleración aumenta la velocidad y habrá alcanzado otro umbral de percepción, este proceso será iterativo, ya que los vehículos aceleran y desaceleran constantemente. Siendo este modelo de nivel aleatorio estocástico, los umbrales de velocidad y espaciamiento reproducen las características individuales del comportamiento del conductor (PVT, 2011).

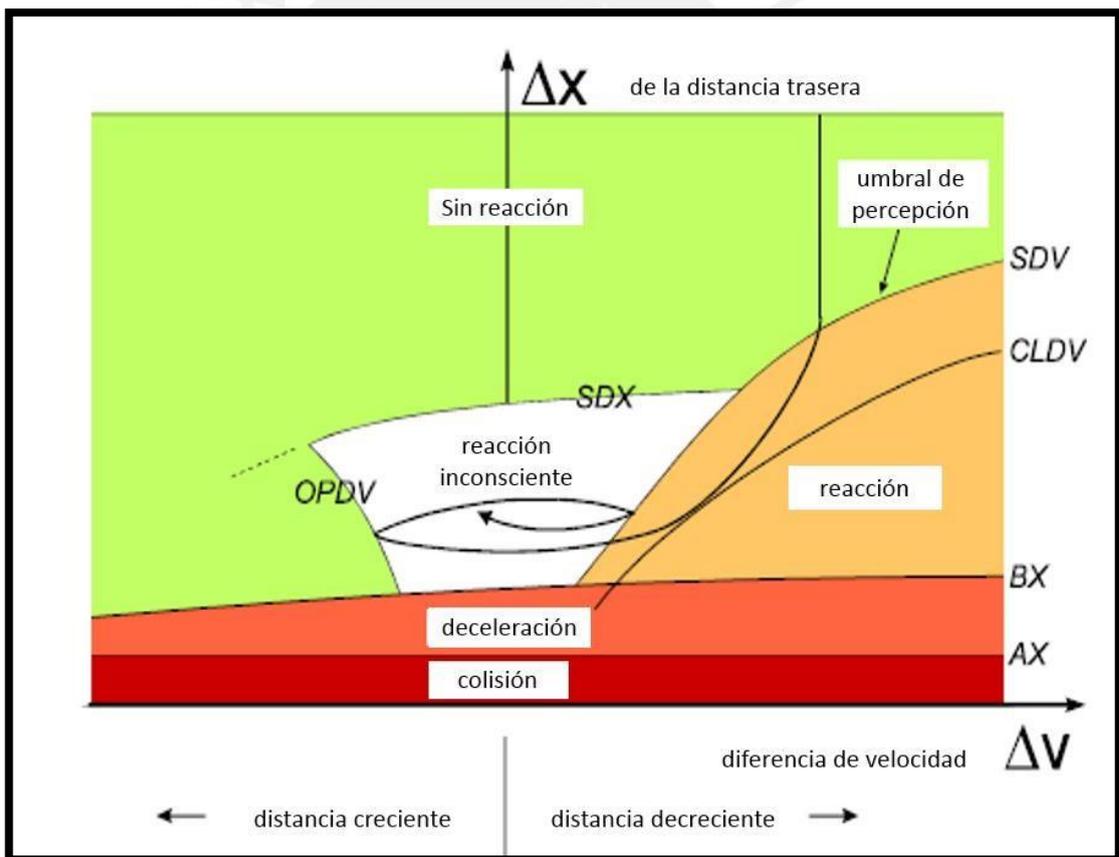


Figura 16: Lógica de seguimiento vehicular

Fuente: Adaptado de PTV (2015)

La Figura 16 presenta los cuatro modos de conducir que asume el modelo de Wiedemann para los conductores.

A continuación, se describirán los cuatro modos de conducir. Modos por los cuales los conductores atraviesan dentro del tráfico (Fellendorf & Vortisch, 2010).

- **Área de conducción libre:** Se presenta cuando el vehículo líder y el vehículo siguiente no tienen dependencia alguna, es decir el vehículo siguiente puede tener la velocidad que desee porque no existe interacción alguna entre ellos.
- **Área de aproximación:** Se presenta cuando la distancia entre ambos ha disminuido y se ha alcanzado otro umbral. Para ello el conductor del móvil siguiente trata de aumentar o disminuir su velocidad de tal forma para aproximarse a la velocidad del líder, entonces se realiza una aceleración o desaceleración por parte del seguidor hasta que haya una diferencia de velocidades igual a cero. Además, ambos vehículos deben estar a una distancia mínima segura.
- **Área de seguimiento:** Se presenta cuando el vehículo siguiente mantiene una velocidad igual a la del líder, de tal forma que se mantiene la distancia mínima segura.
- **Área de frenado o desaceleración:** Se presenta cuando el vehículo siguiente debe desacelerar por disminuir la distancia segura. Esto sucede cuando el móvil líder hace maniobras repentinas que modifican la distancia entre ambos vehículos.

El software VISIIM tiene como datos de entrada a las características del conductor, es decir el comportamiento de estos con la finalidad de tener mejores resultados. Seguidamente se desarrollarán dichas opciones que permiten el programa computacional (Cabrera, 2018):

- **Look ahead distance:** Parámetro que define la distancia que tiene el conductor del vehículo hacia adelante, la cual le ayudará a reaccionar a las maniobras del móvil del frente o de los costados.
- **Look back distance:** Parámetro que define la distancia que tiene el conductor del vehículo hacia atrás, la cual le ayudará a reaccionar a las maniobras del móvil de atrás o de los costados.
- **Temporary lack of attention:** Parámetro que define el tiempo en el cual el conductor no reacciona, este parámetro es conocido como el del sueño, ya que el conductor no reacciona por un determinado tiempo definido.

- **Car following model:** Parámetro que define el modelo a utilizar en el modelo. El software tiene como opciones a los modelos de Wiedemann 74 y 99, las cuales el primero es usado para modelos de tráfico urbano y el segundo para autopistas.
- **Model Parameters:** Este parámetro depende del modelo seleccionado. Para el modelo de Wiedemann 74 el que se utilizó en el presente trabajo se define estos parámetros de la siguiente manera:
  - Average standstill ( $ax$ ): Parámetro del programa que define la distancia entre vehículos detenidos. Este parámetro se puede relacionar con la agresividad del conductor.
  - Additive part of desired safety distance ( $bx\_add$ ): Término que define la distancia segura aditiva entre dos vehículos.
  - Multiplicative part of safety distance ( $bx\_mult$ ): Término que define la distancia segura multiplicativa entre dos vehículos.

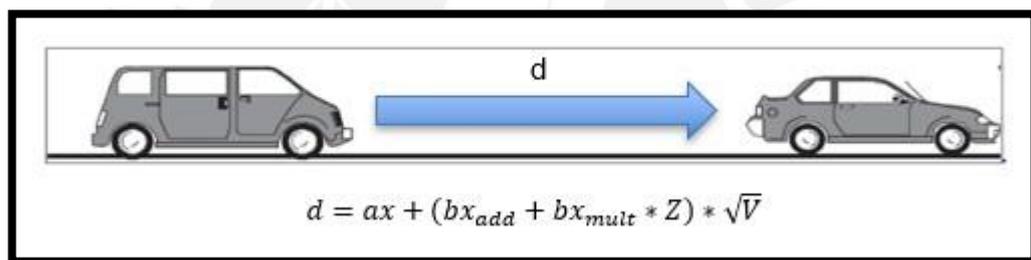


Figura 17: Ecuación de distancia entre vehículos de la versión modificado del modelo de Wiedemann y Reiter

Fuente: Cabrera (2018)

Los términos presentados serán parte de la siguiente expresión, la cual tiene con finalidad definir la distancia entre los vehículos.

Donde:

$ax$ : distancia promedio deseada entre vehículos detenidos (valor por defecto 2)

$bx\_add$ : additive part of safety distance, valor por defecto 2

$bx\_mult$ : multiplicative part of safety distance, valor por defecto 3

$Z$ : valor entre 0 y 1, obtenido de una distribución normal ( $x= 0.5$  y  $s = 0.15$ )

$V$ : velocidad (m/s)

### **2.7.5. Modelos de cambio de carril**

Los modelos de cambio de carril según la FHWA (2004) se basan en el proceso de aceptación de la brecha o espacio existente. Por ello, un vehículo puede cambiar de carril solo si el espacio del carril de destino tiene una brecha mayor a su espacio crítico. Existen tres tipos de modelos, los cuales son:

Modelos de cambio de carril de forma obligatoria, el cual es cuando el vehículo se le presenta un obstáculo o situaciones que ponen en peligro al mismo, por ejemplo, cuando el carril donde se ubica no es para ese tipo de vehículos, o se presenta un accidente. Modelos de cambio de carril de forma voluntaria, el cual es cuando se desea encontrar una velocidad deseada. Por último, los cambios de carril de dar de forma anticipada para poder prevenir algún accidente, ya que en el carril donde se encuentra el vehículo el flujo está desacelerando (FHWA, 2004).

Por otro lado, el software VISSIM utiliza dos modelos, las cuales se asemejan a los propuestos por la FHWA. Estos modelos son los siguientes:

Cambio de carril necesario y cambio de carril gratis. El primero se da cuando el vehículo debe de cambiar para poder ingresar a otra ruta, el segundo se presenta cuando los móviles desean aumentar su velocidad o cuando se presenta el carril destino libre (PTV, 2011).

### **2.7.6. Calibración del modelo**

La calibración del modelo de microsimulación tiene objetivo mejorar la capacidad del modelo con el fin de reproducir con mayor exactitud la densidad del tráfico (FHWA, 2004). Este proceso es iterativo en el cual se debe de modificar los parámetros del modelo con el fin de replicar el modelo de microsimulación a la realidad con cierto grado de aceptación (Cabrera, 2018). En el software VISSIM los parámetros a modificar son las del modelo de Wiedemann y Reiter las cuales ya se explicaron líneas arriba. Este proceso iterativo termina cuando se logra obtener un modelo similar a las condiciones reales, para ello se verifica con los parámetros de eficiencia.

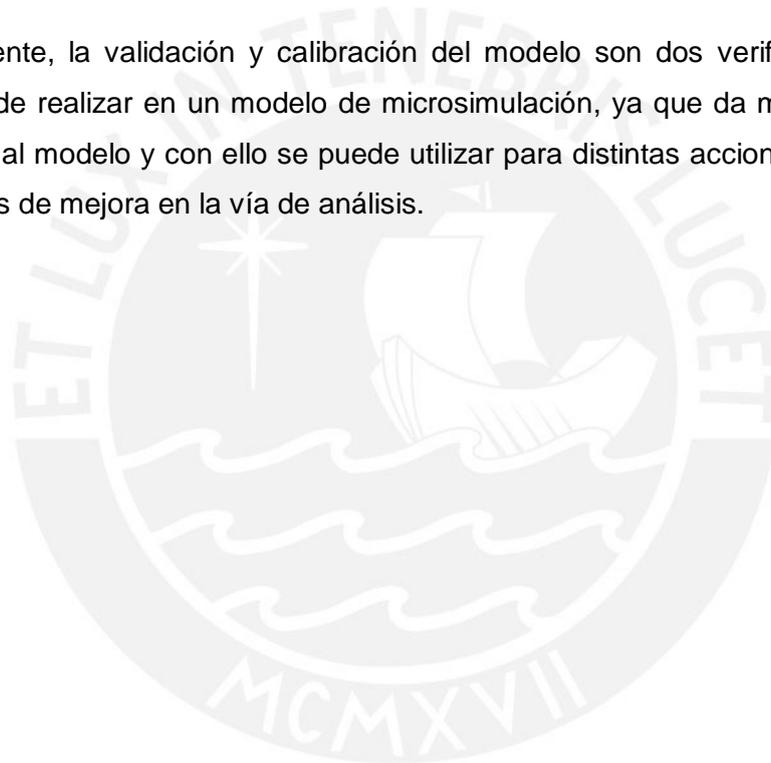
Los parámetros de eficiencia son aquellos datos de salida del programa VISSIM que se obtiene al realizar el modelo y permite verificar el estado del tráfico ya que brinda datos, tales como: tiempo de viaje que demora un vehículo en una determinada sección definida en el modelo, longitudes de cola en una intersección señalizada,

velocidades de viaje, entre otros que se puede definir en el programa como datos de salida.

### **2.7.7. Validación del modelo**

Según la FHWA, la validación del modelo verifica el rendimiento del tráfico definido en el modelo con los datos de campo. Es decir, se compara los resultados del modelo con los datos de campo, los datos a comparar son tiempos de viaje, velocidades promedio, volúmenes de tráfico y retrasos promedio (FHWA, 2004). Es importante mencionar que estos datos en mención no deben de ser los mismos que se utilizaron en la calibración del modelo.

Finalmente, la validación y calibración del modelo son dos verificaciones que se deben de realizar en un modelo de microsimulación, ya que da mayor veracidad y validez al modelo y con ello se puede utilizar para distintas acciones, como realizar cambios de mejora en la vía de análisis.



## CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

En este capítulo se detallará el procedimiento seguido para la elaboración de este proyecto de rediseño. En primer lugar, se realizará observaciones directas de las condiciones de circulación del lugar. Seguidamente, se procede a la recolección de datos, tales como la geometría de la zona, aforos peatonales y líneas de deseo de los peatones. Con los datos recopilados y procesados, se procederá a desarrollar las propuestas de mejora de la vía en análisis, la cual será plasmada en un plano de rediseño. Seguidamente, se procederá a desarrollar el modelo de microsimulación de la situación actual de la vía y del rediseño para luego comparar los resultados de ambos modelos, y verificar si los cambios propuestos mejoraron las condiciones de circulación de los peatones, ciclistas y autos.

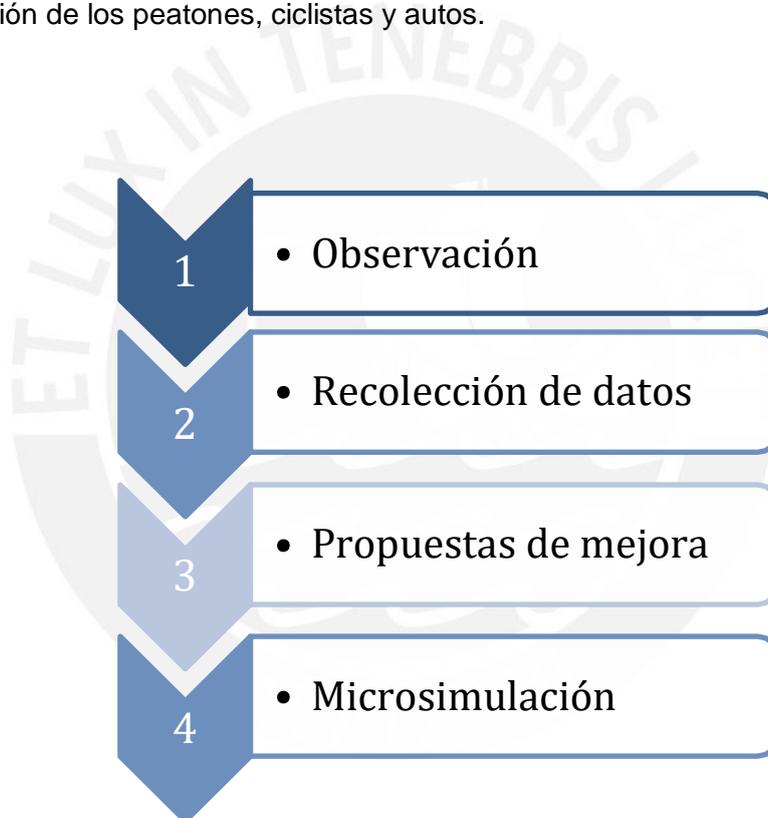


Figura 18: Metodología del proyecto de rediseño

Fuente: Adaptado de FHWA (2004)

### 3.1. Observación de la vía en análisis

En esta etapa del proyecto se visita la zona en estudio para reconocer los problemas de circulación de los peatones, ciclistas y autos. Estas visitas se realizan en la mañana, tarde y noche durante una semana, puesto que el flujo y el comportamiento

de los peatones y automóviles es diferente en estos tres horarios. Todos los problemas detectados en el área de estudio se anotan en una libreta de campo y se registran en una cámara fotográfica.

### **3.2. Recolección de datos de campo**

En esta etapa se recolecta información para el rediseño de la vía y su posterior modelamiento en el software VISSIM. Estos datos se obtienen de visitas a campo y de dos filmaciones que se tomaron desde el tercer piso de una edificación dos días distintos. Una de las filmaciones se utilizó para obtener los datos para calibrar el modelo, mientras la otra para validarlo. A continuación, se describe los datos que fueron tomados.

- **Obtención de la geometría**

La geometría del tramo analizado está definida por los anchos de carril, veredas y la mediana. También se midió los radios de giro de la intersección de la Avenida Habich con la calle Darío Valdizán. Estas medidas fueron tomadas con una cinta métrica.

- **Determinación de las fases de los semáforos**

En el tramo de estudio se encontró un semáforo en la intersección de la Av. Habich con la calle Darío Valdizán. Las fases del semáforo se determinaron tomando el promedio de cuatro mediciones con un cronómetro de la luz roja, ámbar y verde.

- **Aforo de automóviles y peatones**

Antes de realizar el aforo, se clasificó los tipos de vehículos que transitan por el tramo analizado. Una vez determinados los tipos de vehículos que transitan por la vía, se procedió a realizar el conteo de todos los vehículos considerando la dirección a la que se dirigen y el carril de donde parten. La Figura muestra la numeración de carriles utilizada para el conteo. Asimismo, la Figura presenta la plantilla utilizada para realizar el conteo de vehículos en cada uno de los carriles. Del mismo modo, para determinar el aforo de los peatones, se realizó el conteo tomando en cuenta de donde parten y a donde se dirigen en casa cruce de la intersección.



Figura 19: Distribución de carriles para el aforo vehicular

Fuente: Propia

Carril 4		Tipo de vehículo						Totales
Período	Sentido	Auto, camioneta y	Mototaxí	Moto lineal	Micro	Bus grande	Bicicleta	
5-6pm								0
								0
								0
								0
<b>Total</b>		0	0	0	0	0	0	0
<b>Porcentaje</b>								

Figura 20: Plantilla para el aforo de vehículos que parten del carril 4

Fuente: Propia

- **Velocidades de los vehículos y peatones**

Tanto para vehículos como para peatones, se midió el tiempo que un vehículo o un peatón demoraba en desplazarse una distancia conocida. Con estos datos se calcularon las velocidades a través de la siguiente expresión:

$$velocidad = distancia / tiempo$$

*Ecuación 4*

Es importante resaltar que, en el caso de los vehículos, se calculó la velocidad de cada uno de los tipos de vehículos presentes en la vía. Además, también se midió el

tiempo que los vehículos demoraban para girar con el fin de determinar las velocidades de giro.

Cabe destacar que los tiempos que se tomaron para obtener las velocidades de los vehículos se utilizaron también para calibrar y validar el modelo.

- **Líneas de deseo**

El trazado de líneas de deseo se realizó según las recomendaciones que indican Gehl y Svarre (2013). Este método consiste en rastrear por 10 o 30 minutos las rutas de todos los peatones posibles. La Figura 21 muestra las líneas de deseo de un proyecto elaborado por Gehl Architects, donde cada línea muestra el movimiento de una persona.

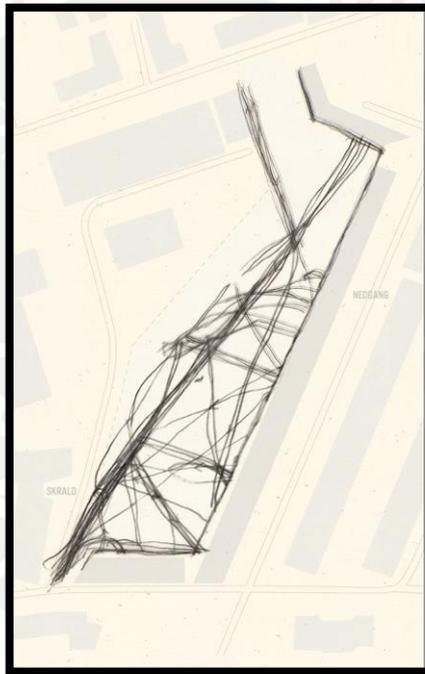


Figura 19: Líneas de deseo en el parque Emaljehaven – Copenhage

Fuente: Gehl y Svarre (2013)

### **3.3. Propuestas de rediseño**

El planteo de las propuestas se realiza en base al flujograma vehicular de la intersección y los problemas detectados para la circulación de peatones y ciclistas. Las dimensiones del nuevo diseño fueron formuladas utilizando guías y manuales de diseño urbano tanto nacionales como extranjeros. El rediseño semafórico se realiza a través de un proceso iterativo en el modelo de la intersección. Finalmente, se

elabora un plano con todas las propuestas de mejora para su posterior evaluación en el software VISSIM.

### **3.4. Microsimulación**

Esta etapa consta de tres fases: el desarrollo y verificación del modelo actual; la calibración y validación, y el desarrollo del modelo de rediseño y la comparación de resultados. A continuación, se describe cada una de ellas.

#### **3.4.1. Desarrollo y verificación del modelo actual**

El desarrollo del modelo comienza con la importación de una imagen satelital. Luego se procede a escalar dicha imagen para posteriormente trazar los anchos de las vías y el número de carriles en cada sentido.

Después de dibujar la geometría en el modelo, se define los tipos de vehículos que transitan por la zona para luego colocar los volúmenes de cada uno de ellos según su proporción respecto del total de vehículos. Luego se coloca el volumen de peatones y las velocidades promedio tanto de los vehículos como de los peatones

Colocadas las demandas de vehículos y peatones, se introducen las reglas de prioridad de paso entre las vías, las líneas de deseo de los peatones, los ciclos de semáforo, las zonas de pare, las zonas de estacionamiento y los paraderos de transporte público.

Por último, durante el desarrollo del modelo, se verifica que no exista incongruencias como, por ejemplo, no deben sobreponerse los vehículos, ni debe haber atropellos de peatones. Caso contrario, se utiliza las herramientas del software para levantar estas irregularidades.

#### **3.4.2. Calibración y validación del modelo actual**

Luego de desarrollar y verificar el modelo, se procede a la calibración de este para certificar que el modelo representa lo que acontece en la realidad. Este objetivo se logra cuando los tiempos de viaje obtenidos del programa VISSIM se aproximan a los tiempos obtenidos en campo. Para ello se modifica los parámetros  $ax$ ,  $bx\_add$  y  $bx\_mult$  hasta que la media de los tiempos en campo se aproxime al de la media de los tiempos obtenidos en VISSIM. Para corroborar que las medias se aproximan con un nivel de confianza del 95% se realiza pruebas no paramétricas y pruebas de

hipótesis nula con el programa Statkey-Randomization Test for a Difference in Means. El modelo se considera calibrado si la diferencia de medias se encuentra en la zona de no rechazo (Figura 22).

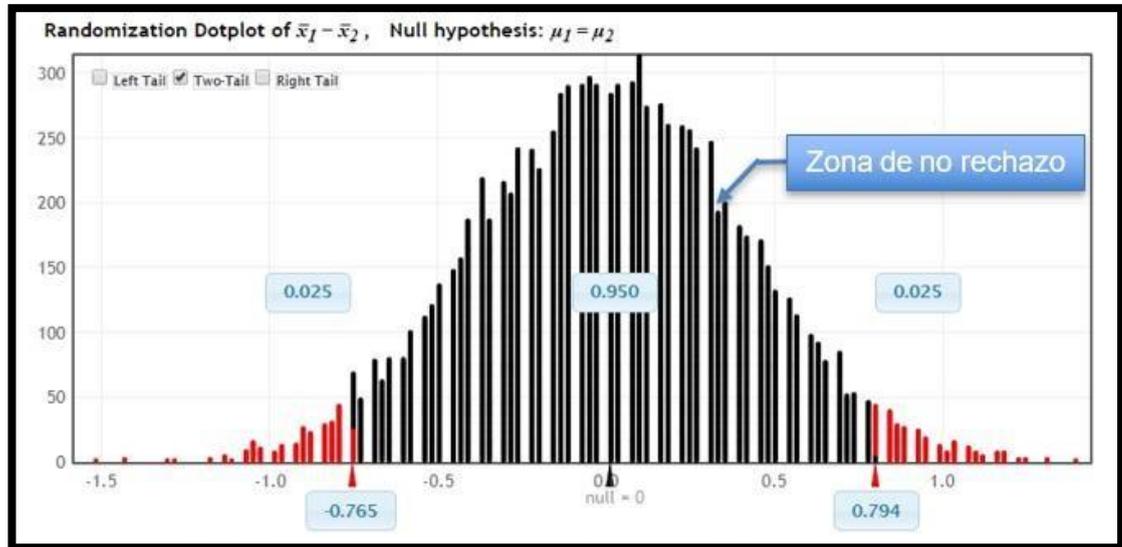


Figura 20: Prueba no paramétrica de hipótesis nula de diferencia de medias

Fuente: Propia

Una vez obtenidos los valores de  $a_x$ ,  $b_x\_add$  y  $b_x\_mult$  que permiten que el modelo se aproxime a la realidad se comienza con el proceso de validación. Para ello, se coloca flujos vehiculares que fueron tomados en un día y horario distinto. Luego se corre el modelo y se compara la media de los tiempos de viaje obtenidos por el modelo con la media de tiempos de viaje obtenidos en campo. Esta comparación se realiza con el mismo programa utilizado para la calibración. Por lo tanto, si la diferencia de medias se encuentra en la zona de no rechazo, se toma como terminado el proceso de validación. Sin embargo, si se encuentra fuera de la zona de no rechazo, se modifica los parámetros del modelo, se vuelve a calibrar y posteriormente a intentar validar nuevamente el modelo.

Es importante resaltar que para elegir el tamaño de muestra de tiempos de viaje en campo y el número corridas en VISSIM, se determinó el número mínimo de datos a través de la ecuación 2 descrita en el acápite 2.7.2.

### 3.4.3. Desarrollo del modelo de rediseño y comparación de resultados

En esta fase se elabora el modelo de rediseño utilizando los parámetros de comportamiento de vehicular y peatonales obtenidos en la calibración del modelo actual. Este nuevo modelo incluye los cambios realizados en la geometría de la vía, así como los cambios de las duraciones de las fases del semáforo. Una vez terminado el modelo, se procede a extraer resultados de tiempos de viaje vehicular y peatonal, longitudes de colar, y tiempos de espera vehicular y peatonal. Estos resultados se comparan con los resultados del modelo de la situación actual de la vía a través de pruebas no paramétricas de hipótesis alternativa *Right Tail* para verificar si los valores del rediseño aumentaron o disminuyeron respecto de la situación actual. A continuación, la figura 23 muestra la prueba no paramétrica de hipótesis alternativa *Right Tail*. En esta figura, si la diferencia de medias de los resultados de los modelos se encuentra en la zona de no rechazo, el valor del rediseño incremento, mientras que si se encuentra fuera de la zona de no rechazo, el valor comparado disminuyo.

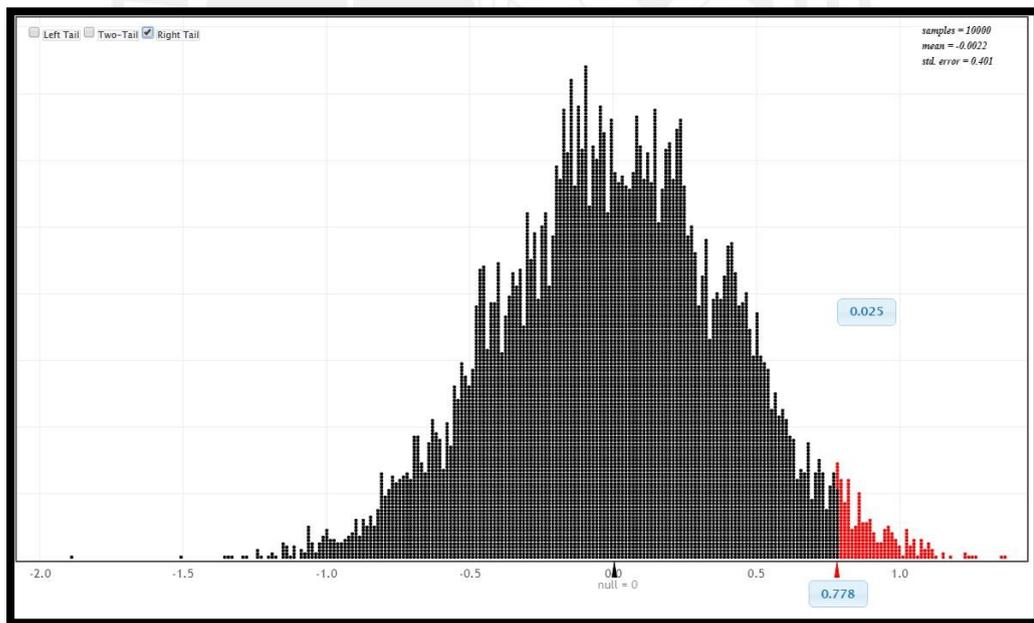


Figura 21: Prueba no paramétrica de hipótesis alternativa de diferencia de medias

Fuente: Propia

## CAPÍTULO 4: OBSERVACIÓN Y RECOLECCION DE DATOS

En el presente capítulo se describe la situación actual de la vía y se presentan los resultados obtenidos de las mediciones realizadas en el trabajo de campo.

### 4.1. Observación

La avenida Eduardo de Habich se encuentra ubicada en el distrito de San Martín de Porres en la ciudad de Lima. Esta avenida consta de 6 cuadras que empiezan en la Av. Túpac Amaru y terminan en la Av. José Granda. En la siguiente imagen se muestra la Avenida Eduardo de Habich y la delimitación de la zona de estudio.

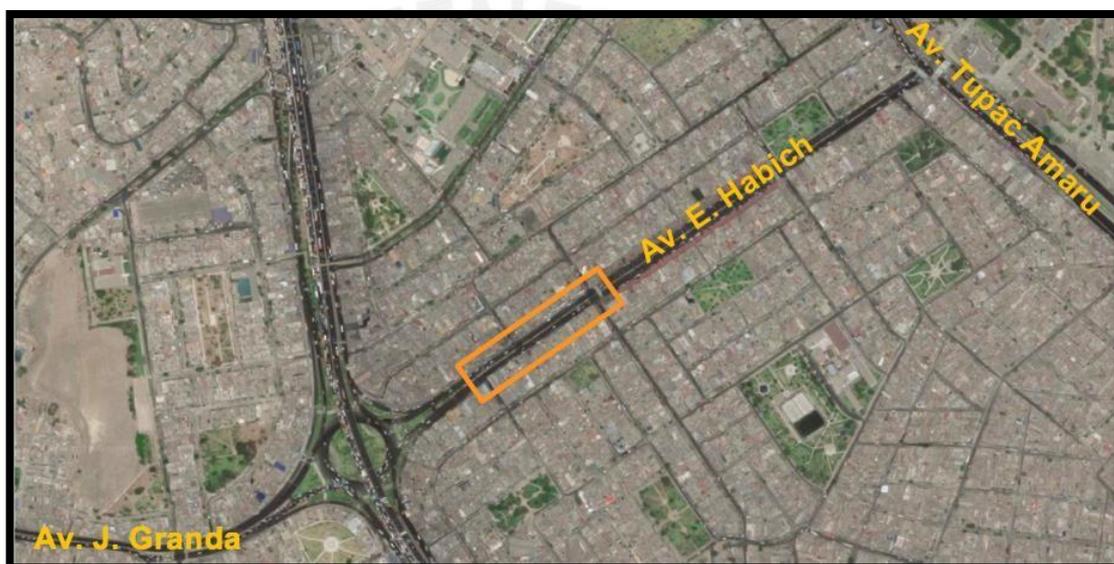


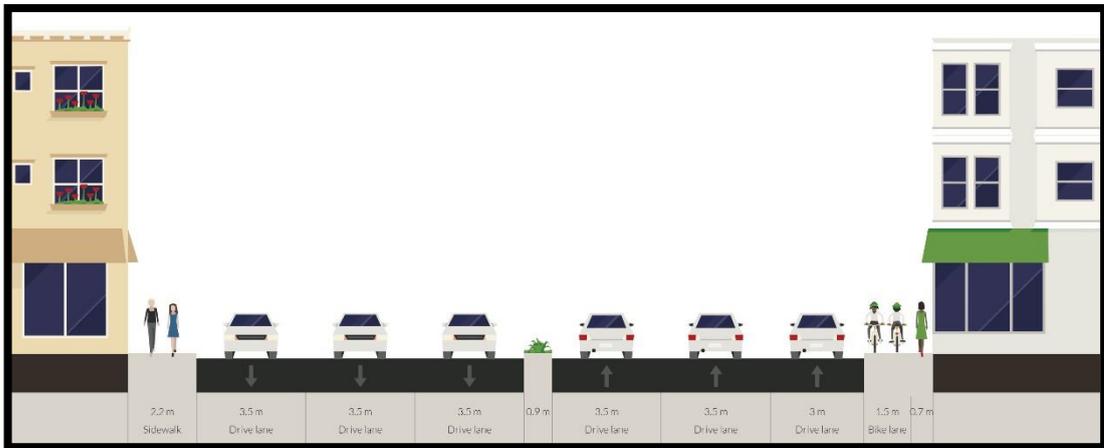
Figura 22: Zona de estudio

Fuente: Google Maps (visitado 05/09/18)

En el 2009 se construyó una ciclovía en esta avenida con el fin de conectar la ciclovía de la avenida Universitaria con la estación UNI del Metropolitano (Municipalidad de Lima, 2009). Sin embargo, hoy en día, solo son pocos los ciclistas que la utilizan, debido a que un tramo de cicloacera ha sido ocupado por los peatones. Este tramo es el que está encerrado en naranja en la Figura 24.

El tramo analizado es una zona altamente comercial que destaca por la presencia de restaurantes, consultorios dentales, ópticas, tiendas, bancos, boticas y hospedajes. Por esta razón, existe un considerable número de peatones. A pesar de ello, el espacio destinado al peatón es apenas el 20% de la vía pública, mientras que el resto está destinado a vehículos motorizados, tales como Microbuses, autos, moto taxis y

camiones. A continuación, en la Figura 25, se muestra la sección actual de la vía, donde se presenta los anchos de los carriles y veredas.



*Figura 23: Sección actual de la vía*

Fuente: Adaptado de Streetmix (2018)

## 4.2. Mediciones

En esta sección se presenta la información recolectada de las filmaciones realizadas y de los días de observación directa en la zona de estudio.

### 4.2.1. Regulación de semáforos

El tramo analizado consta de dos semáforos SG1 y SG2. El semáforo SG1 controla el flujo de vehículos en la avenida Habich, mientras que el semáforo SG2 controla el flujo de vehículos en calle Darío Valdizán. El esquema de la Figura 26 muestra la ubicación de los semáforos mencionados.

El ciclo semafórico fue de 90 segundos. Las fases de este ciclo son las que se muestran en la Figura 27. Sin embargo, es importante resaltar que en la fase correspondiente a la avenida Habich, el tiempo en rojo oscuro representa el periodo en el cual los autos que desean girar a la calle Darío Valdizán pueden continuar desplazándose, mientras que, en el lapso de rojo claro, ningún auto se puede desplazar.



Figura 24: Ubicación de semáforos

Fuente: Google Earth (visitado 05/09/18)

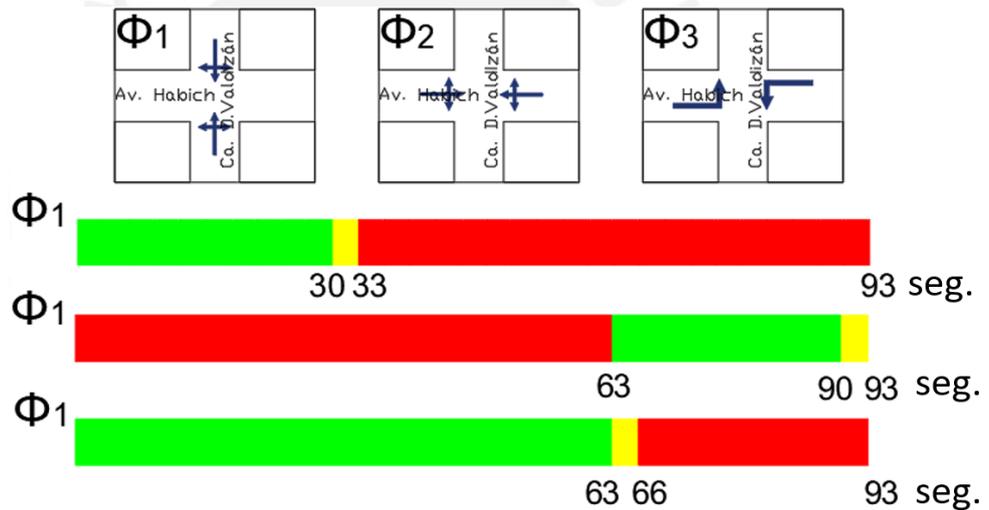


Figura 25: Fases del ciclo semafórico

Fuente: Propia

#### 4.2.2. Aforo vehicular

En esta sección se muestran los resultados del conteo de vehículos tanto para la calibración como para la validación del modelo. En la Figura 28 y en la Figura 29 se muestran los flujos totales utilizados para la calibración y validación del modelo respectivamente.

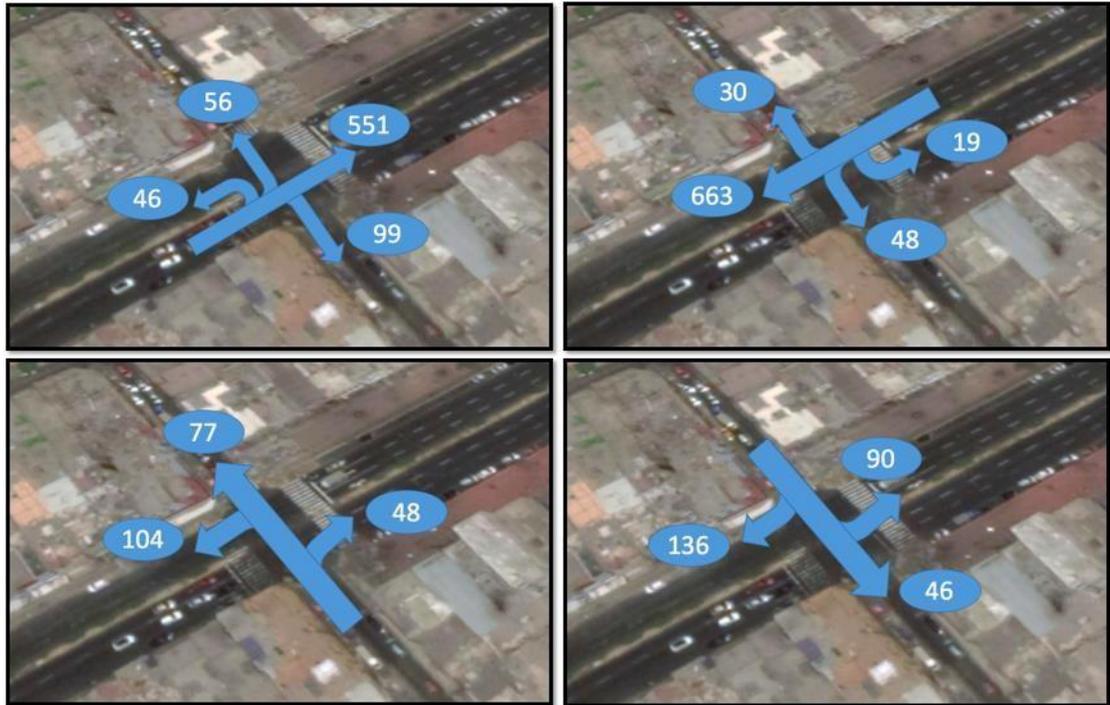


Figura 26: Flujos totales para la calibración (veh/h)

Fuente: Propia

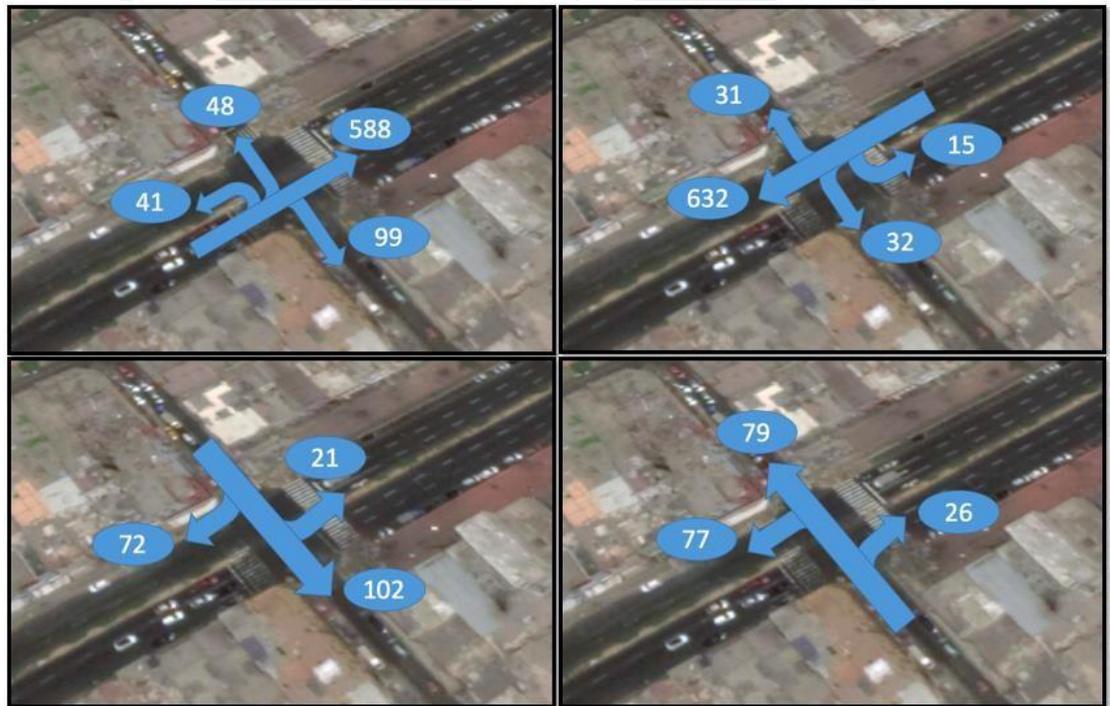


Figura 27: Flujos totales para la validación (veh/h)

Fuente: Propia

### 4.2.3. Aforo peatonal

En esta sección se muestran los resultados del conteo de peatones tanto para la calibración como para la validación del modelo. En Figura 30 y en la Figura 31 se muestran los flujos totales utilizados para la calibración y validación del modelo respectivamente.



Figura 28: Flujos peatonales para la calibración (peat/h)

Fuente: Propia



Figura 29: Flujos peatonales para la validación (peat/h)

Fuente: Propia

#### 4.2.4. Velocidades de peatones

Para representar la velocidad de los peatones, se construyó un gráfico de frecuencias acumuladas con las velocidades obtenidas de 25 personas por cada cruceo peatonal. El grafico obtenido se muestra en la Figura 32.

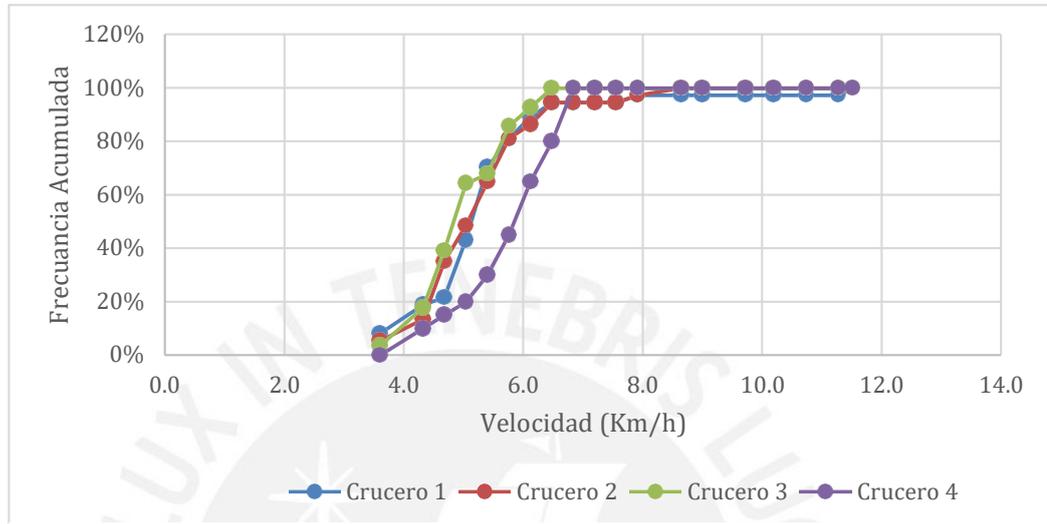


Figura 30: Frecuencias acumuladas de velocidades de peatones

Fuente: Propia

#### 4.2.5. Datos para la calibración y validación

- **Tiempo de viaje vehicular**

Tanto para la calibración como la validación se tomó los tiempos de viaje de los carriles 1, 2,5 y 6 indicados en la Figura 20. La distancia que se utilizó para tomar los tiempos fue de 34.1m. Las Tabla 1 y Tabla 2 se muestran el resumen de los tiempos de viaje para la calibración y validación respectivamente. Es importante resaltar que se tomó 30 tiempos por cada uno de los carriles.

Tabla 1: Tiempos de viaje para la calibración

Fuente: Propia

CALIBRACION				
<b>Promedio</b>	4.21	3.95	2.83	3.11
<b>Des. Estándar</b>	0.86	0.90	0.49	0.47
<b>Error</b>	0.42	0.39	0.28	0.31
<b># Mínimo</b>	17	22	12	10

Tabla 2: Tiempos de viaje para la validación

Fuente: Propia

VALIDACION				
<b>Promedio</b>	4.93	4.42	2.98	3.01
<b>Des. Estándar</b>	1.25	1.07	0.41	0.49
<b>Error</b>	0.49	0.44	0.30	0.30
<b># Mínimo</b>	27	24	8	11

#### 4.2.6. Líneas de deseo

Mediante la observación directa se pudo notar que los peatones no solo transitaban en una sola dirección, sino que también cruzaban la calle sin pasar necesariamente por los cruces peatonales. La Figura 33 muestra las líneas de deseo de peatones que atravesaron el tramo en estudio un viernes de 13h a 13:15h.

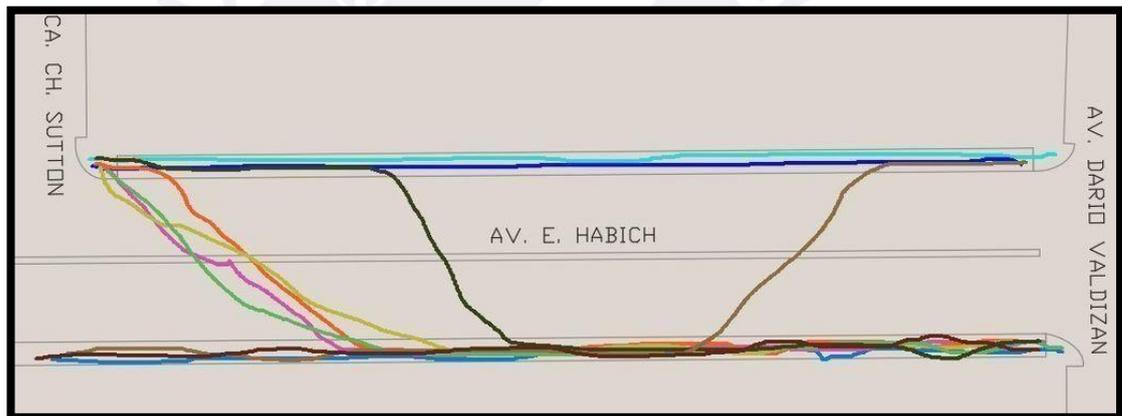


Figura 31: Líneas de deseo en la zona de estudio

Fuente: Propia

## CAPÍTULO 5: PROPUESTAS DE REDISEÑO

En este capítulo se desarrollarán las propuestas para el nuevo diseño de la vía, el cual tiene como objetivo priorizar al peatón y al ciclista que, a los automóviles. Esto debido a que el tramo analizado es una calle comercial con un alto potencial económico. Las propuestas de mejora de la calle se realizaron siguiendo las recomendaciones de manuales nacionales y extranjeros de infraestructura para ciclistas, diseño urbano y de accesibilidad universal. A continuación, la Figura 34 muestra un resumen de las propuestas de mejora.

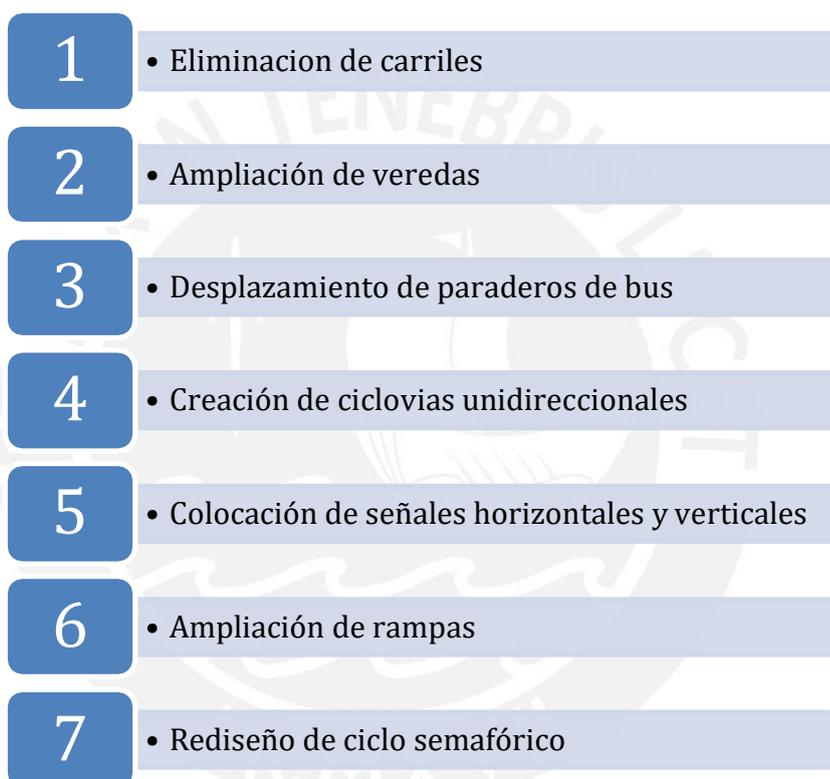
- 
- Figura 32 muestra una lista de siete propuestas de mejora, numeradas del 1 al 7, cada una con un ícono de número en un círculo azul y un texto descriptivo en un recuadro gris claro. Las propuestas son:
- 1 • Eliminación de carriles
  - 2 • Ampliación de veredas
  - 3 • Desplazamiento de paraderos de bus
  - 4 • Creación de ciclovías unidireccionales
  - 5 • Colocación de señales horizontales y verticales
  - 6 • Ampliación de rampas
  - 7 • Rediseño de ciclo semafórico

Figura 32 Lista de propuestas de mejora

Fuente: Propia

### 5.1. Eliminación de carriles

De acuerdo al aforo vehicular obtenido en el tramo analizado (Figura 28 y Figura 29), el volumen de vehículos es inferior a 800 veh/hora en cada sentido. Sin embargo, en la sección actual de la vía hay tres carriles de ida y tres carriles de vuelta, que tienen una capacidad muchísimo mayor que la demanda actual en hora punta. Esta sobreocupación del automóvil sobre el peatón muestra la subutilización de la calle como espacio público. Por esta razón, se propone reducir un carril en cada sentido

de la vía para disminuir el recorrido que realizan los peatones al cruzar esta avenida. La Figura 35 muestra la sección actual de la vía, la cual presenta 6 carriles, mientras que la Figura 36 muestra la propuesta de rediseño, la cual tiene 4 carriles.

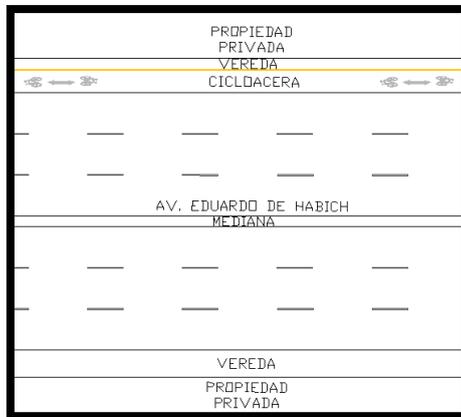


Figura 33: Distribución de carriles en el diseño actual

Fuente Propia

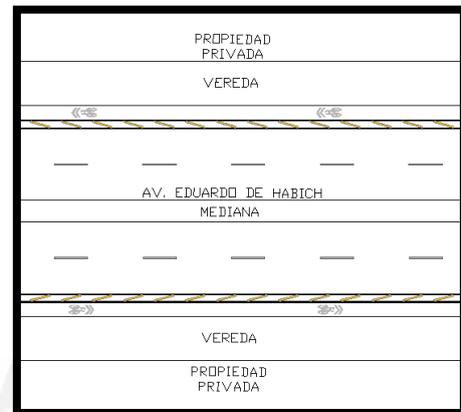


Figura 34: Distribución de carriles en el nuevo diseño

Fuente: Propia

## 5.2. Anchos de los carriles, mediana y veredas

En el tramo estudiado, el ancho de carril fue sobredimensionado, lo cual causa excesos de velocidad involuntarios en los autos e inseguridad en los peatones (NACTO, 2012). Por lo tanto, se propone reducir los anchos de carril de 3.5m a 3m, el cual es mínimo permitido por la norma peruana GH020 (RNE, 2011). Por otro lado, en el aforo de vehículos se registró un 13% de buses en cada sentido. Por lo tanto, se propone crear un carril exclusivo para este tipo de vehículos, el cual tendrá un ancho de 3.3m tal como lo sugiere la NACTO.

La berma central tiene la función de separar los carriles que van en sentidos opuestos. Según la guía de diseño de calles de Buenos Aires, la berma central reduce el riesgo de colisión entre vehículos, mejora la seguridad de los peatones al cruzar la calle y embellece el paisaje con la presencia de áreas verdes (ITDP, 2016). El diseño actual contempla un ancho de berma central de 0.9m, el cual aumenta la vulnerabilidad de los peatones al intentar cruzar esta avenida. Por lo tanto, el presente rediseño propone aumentar el ancho de 0.9m a 1.9m. Al mismo tiempo se propone utilizar un pavimento diferente al de la calzada para destacar su uso peatonal.

Las veredas tienen un rol importante en el tramo analizado, debido a que pueden activar la economía del lugar al promover la caminata. Actualmente las veredas tienen un ancho menor a 3m, el cual es mínimo permitido por la norma peruana GH020 (RNE, 2011). La NACTO (2012) recomienda un ancho de vereda entre 2.5m y 3.5m para zonas comerciales. Sin embargo, en el nuevo diseño de la vía se propone un ancho de 4m con el fin de aprovechar el valioso espacio público anteriormente subutilizado. A continuación, Figura 37 muestras las dimensiones de los anchos de la vereda, carriles, berma central y cicloacera de la nueva distribución de la vía.

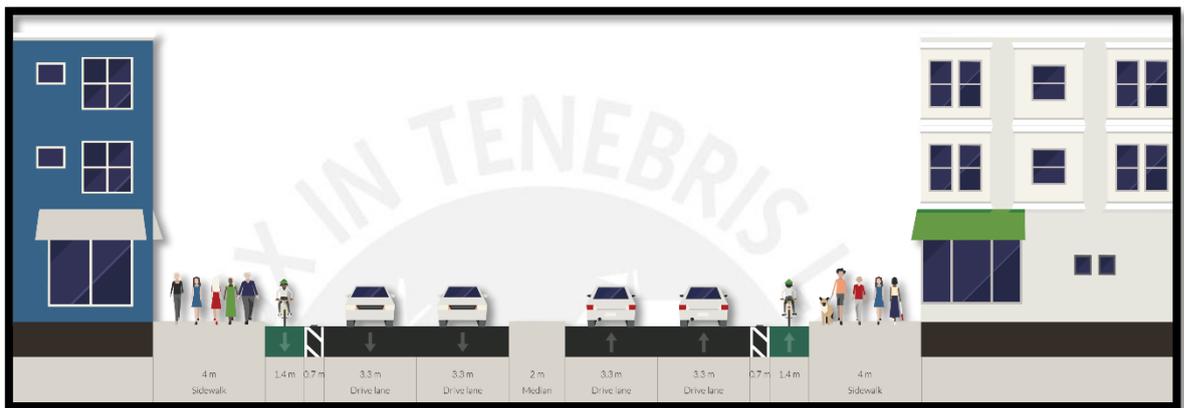


Figura 35: Anchos de la nueva sección de la vía

Fuente: Adaptado de Streetmix (2018)

### 5.3. Desplazamiento de paraderos de transporte publico

El diseño actual de la vía presenta un paradero que genera congestión vehicular debido a que está ubicado sobre un carril de la avenida (Figura 38). Esta ubicación ocurre a causa del reducido espacio de la sección de la cuadra en la que se encuentra dicho paradero. Por esta razón, se propone desplazar el paradero a la siguiente cuadra de la avenida, la cual presenta espacio suficiente para colocar un paradero sin perjudicar el tráfico de la zona. A continuación, la Figura 39 muestra la nueva ubicación del paradero de transporte público.

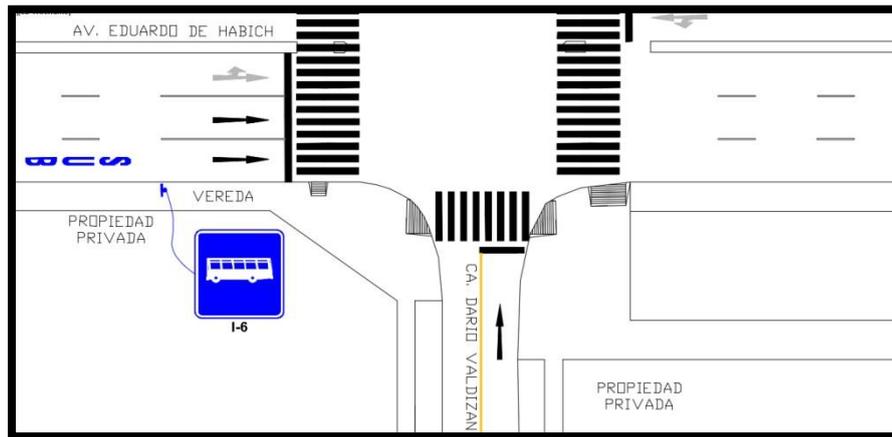


Figura 37: Ubicación del actual paradero de bus

Fuente: Propia

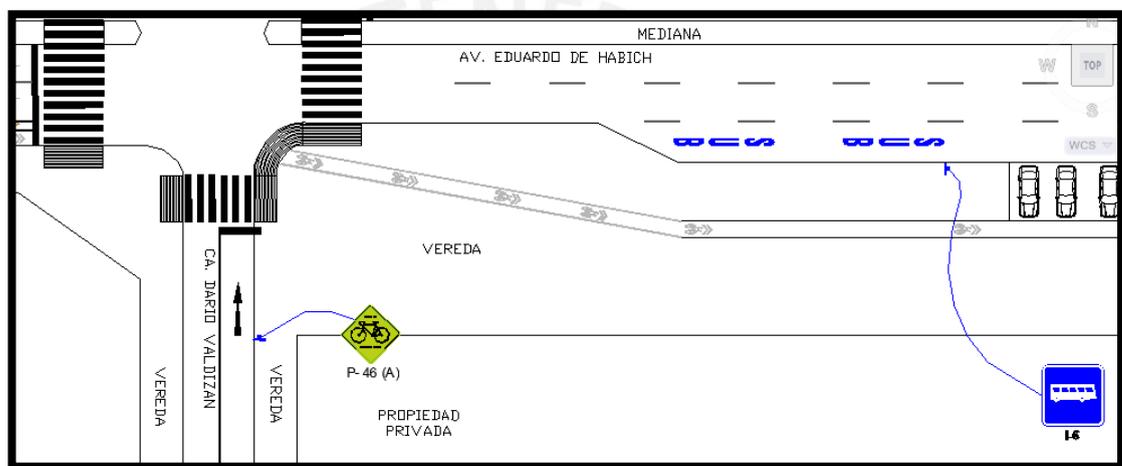


Figura 36: Reubicación del paradero de bus

Fuente: Propia

#### 5.4. Creación de ciclovías unidireccionales

En el acápite 2.4 se detalló todas las vías para ciclistas que se pueden implementar en zonas urbanas. De todas las opciones, se propone la creación de ciclovías unidireccionales en cada sentido de la avenida. Esta elección se realizó tomando en cuenta el volumen vehicular y la velocidad máxima, tal como lo sugiere el manual de diseño de tráfico de bicicletas de Holanda (CROW, 2011). Por otro lado, Esta vía ciclista debe permitir el tránsito seguro y cómodo de sus usuarios. Por esta razón, se propone un ancho libre de 1.40m, el cual es una recomendación del manual de ciclo infraestructura de Colombia (MT Colombia, 2016). Este ancho permite movimientos de balanceo de los ciclistas al pedaleo y otras maniobras. Además, se seguirá la indicación del manual peruano de diseño de ciclo infraestructura que recomienda una segregación física de los vehículos motorizados de 60cm (ML, 2017). El ancho libre y el ancho de segregación de esta nueva ciclovía se pueden apreciar en la Figura 37.

## 5.5. Señales horizontales y verticales

En este acápite se mencionará la señalización a colocar en el nuevo diseño de la vía. La señalética contribuye con la seguridad vial; por ello, es importante que se coloque señales reconocidas por la mayoría de usuarios. Por esta razón, todas las señales mostradas a continuación están reglamentadas por el Manual de Dispositivos de Control (MTC, 2016).

- **Cruceros peatonales**

Para el presente rediseño se colocará líneas paralelas de 50cm de grosor y espaciadas también 50cm. El ancho de los cruceros se aumentará a 5m para que las personas con movilidad reducida puedan cruzar la vía sin dificultades. Además, se colocará una línea de pare de 50cm de grosor a 1m del cruce y se mejorará la iluminación para hacer más visibles a los peatones durante la noche. A continuación, la Figura 40 muestra las dimensiones del cruce con los cambios realizados.

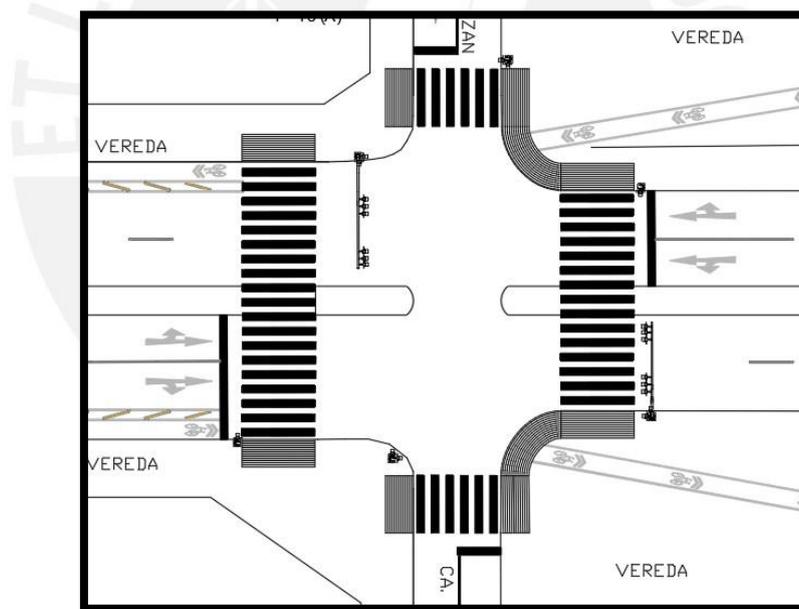


Figura 38: Propuesta de cruceo peatonal señalizado

Fuente: Propia

- **Señales para la ciclovía**

La ciclovía necesita estar señalizada tanto con marcas en la calzada como con señales verticales para su correcto funcionamiento. Para el presente rediseño se

utilizará separadores Zebra 13, los cuales serán colocados oblicuamente dentro de dos líneas blancas longitudinales de 10cm de espesor. También se colocará pictogramas de bicicleta indicando el sentido de circulación. En cuanto a la señalética vertical, se colocará la señal P46 para informar a los ciclistas de las calles Charles Sutton y Darío Valdizán, la presencia de una cicloavía en la avenida. En seguida, la Figura 41 muestra las señales horizontales y verticales destinadas a los ciclistas.

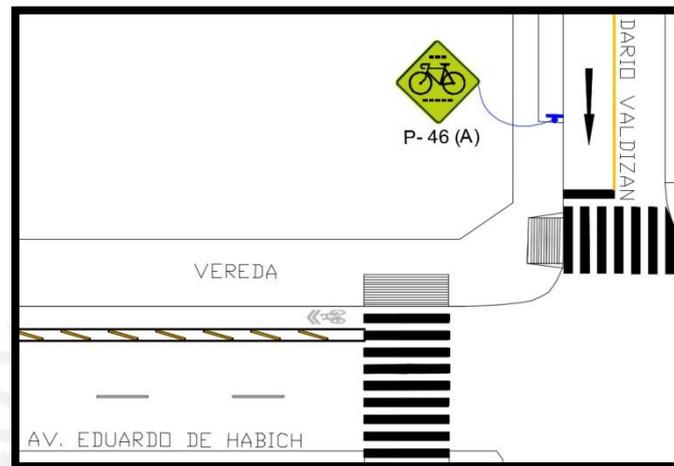


Figura 39: Señal de prevención P-46<sup>a</sup> y pictograma de bicicleta

Fuente: Propia

## 5.6. Ampliación de rampas

A lo largo del tramo estudiado se encontró rampas de 1m y de pendientes variables, las cuales dificultan la circulación de personas en silla de ruedas. Por esta razón, se propone colocar rampas del mismo ancho que el cruceo peatonal; es decir, de 5m. En cuanto a las pendientes se propone colocar 8% en todas rampas. Por lo tanto, dada la altura de la vereda se colocará en largo correspondiente para cada rampa. Las propuestas de este acápite se realizaron según el Manual de Accesibilidad Universal de Chile (CCA, 2010). A continuación, la Figura 42 muestra el estado actual de las rampas y la Figura 43 muestra las rampas del rediseño.

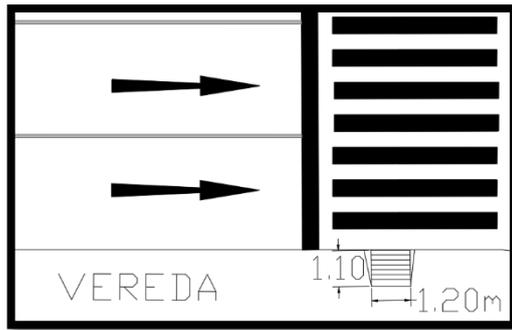


Figura 40: Dimensiones de las rampas del diseño actual

Fuente: Propia

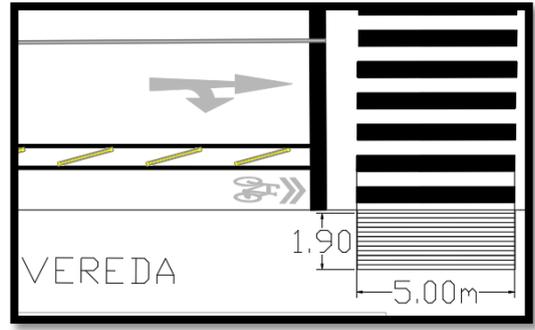


Figura 41: Dimensiones de las rampas del nuevo diseño

Fuente Propia

### 5.7. Rediseño de ciclo semafórico

El rediseño del ciclo semafórico busca obtener un ciclo óptimo con el cual puedan cruzar la vía sin dificultades todos los peatones de distintas edades y condiciones físicas. Por lo tanto, en la Figura 44, se propone un ciclo de 90 segundos de dos fases siendo la fase 1 para los vehículos del flujo vehicular de la calle Dario Valdizan y para los peatones del cruceo de la avenida Eduardo de Habich. Asimismo, la fase 2 corresponde a los flujos vehiculares de la avenida Eduardo de Habich y al cruceo peatonal de la calle Dario Valdizan.

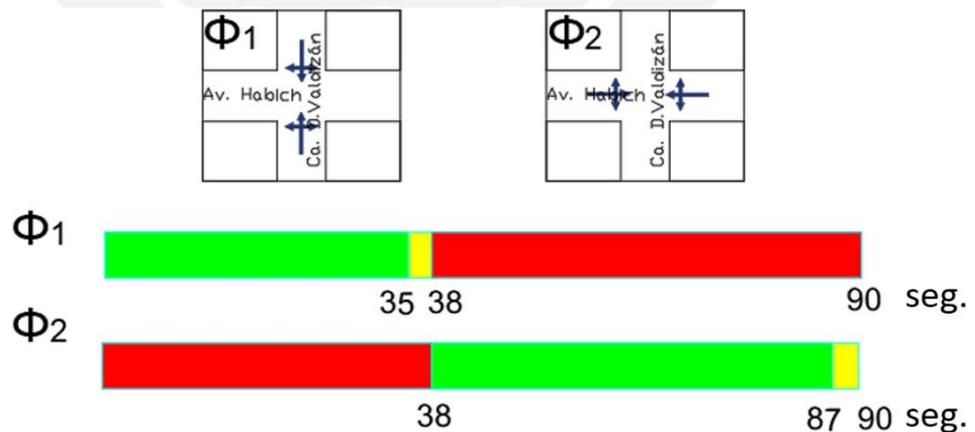


Figura 42: Fases del nuevo diseño

Fuente: Propia

## CAPÍTULO 6: MICROSIMULACIÓN

En el presente capítulo, se desarrolló el modelo de microsimulación en el software VISSIM. En la primera parte se detalla la creación de la red, el ingreso de los datos recolectados y la verificación de errores. Seguidamente, se desarrolla el proceso de calibración y, por último, la validación del modelo.

### 6.1. Desarrollo y verificación del modelo

En este acápite se explicará el procedimiento seguido y las herramientas del software VISSIM para el desarrollo del modelo a partir de los datos recolectados en campo.

#### 6.1.1. Importación de imagen y creación de vías

En primer lugar, se busca la zona de estudio en Google Earth. Luego, se captura una imagen de ella, se importa en el programa VISSIM con la herramienta *Background Image* y se escala con la opción *Set Scale*. Posteriormente, se procede a dibujar las vías y los conectores presentes con la herramienta *Links*. La [Figura 45](#) muestra las vías creadas sobre la imagen importada de la zona de estudio y las herramientas utilizadas.

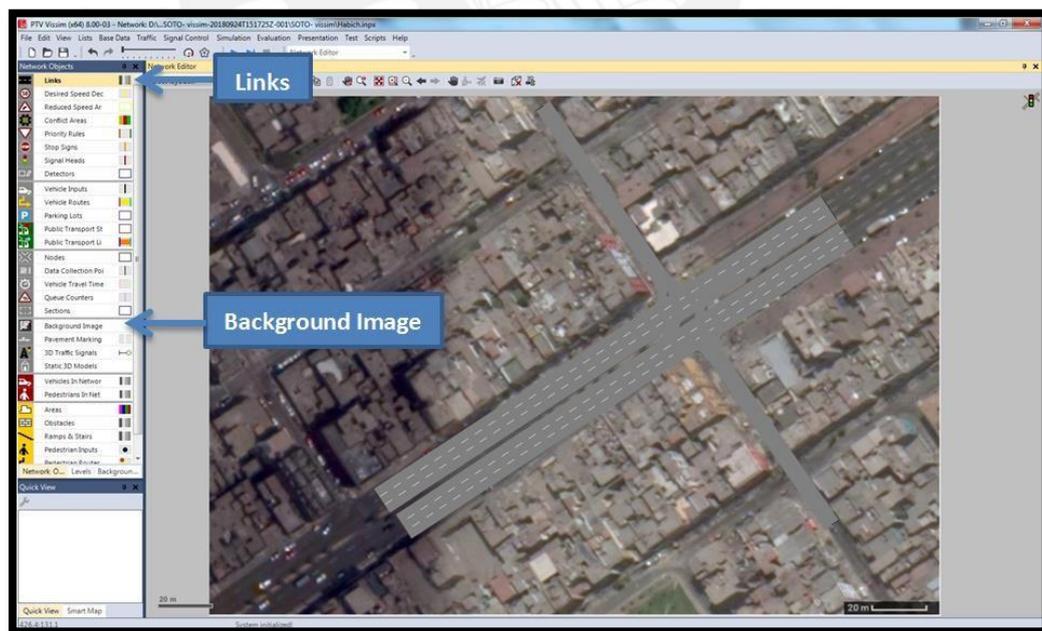


Figura 43: Creación de las vías vehiculares

Fuente: Propia

### 6.1.2. Flujo vehicular

Para insertar los volúmenes de los vehículos encontrados en campo primero se indica las proporciones de cada tipo de vehículo respecto del total con la herramienta *Vehicle Compositions*. Seguidamente, se coloca el total de vehículos presentes en cada una de las vías con la herramienta *Vehicle inputs*. Por último, se coloca las rutas que pueden realizar los vehículos con la herramienta *Vehicle Routes*. En la [Figura 46](#) se puede apreciar los vehículos en el modelo y las herramientas utilizadas.

### 6.1.3. Flujo peatonal

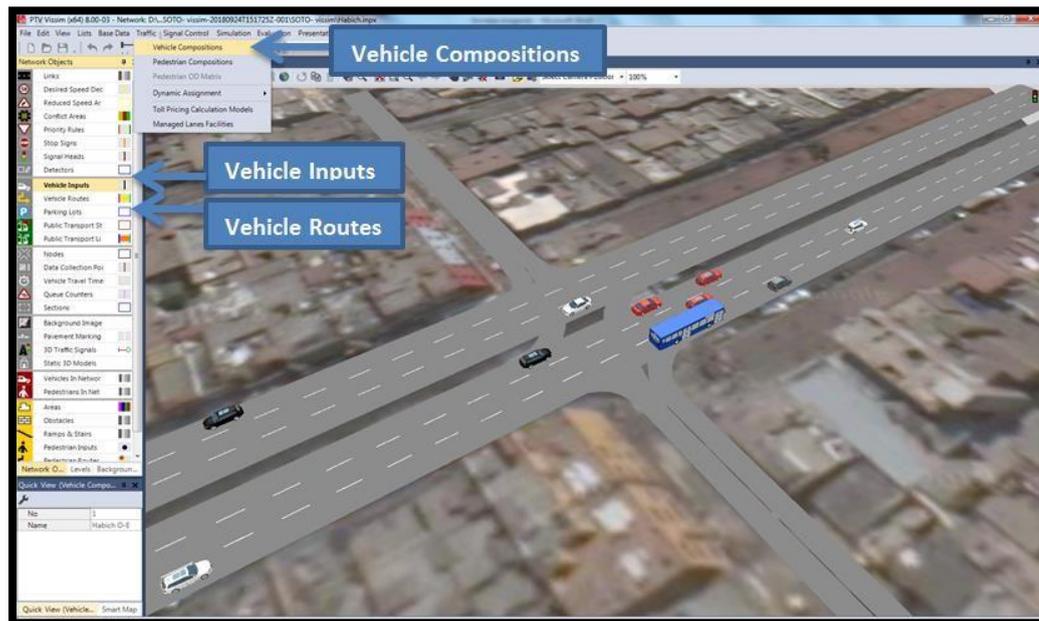


Figura 44: Inserción de vehículos en las vías

Fuente: Propia

Para colocar los peatones en la red primero se crea las áreas por las cuales saldrán las personas con la herramienta *Areas*. Posteriormente, se crea los cruces peatonales con la herramienta links con la opción *Pedestrian Area*. Luego, a partir del aforo peatonal, se coloca el total de personas en cada uno de los orígenes con la herramienta *Pedestrian Inputs*. Finalmente, se coloca las rutas tomadas por los peatones con la herramienta *Pedestrian Routes*. En la [Figura 47](#) se presenta los peatones presentes en la red y las herramientas utilizadas.



Figura 45: Inserción de peatones en el modelo

Fuente: Propia

#### 6.1.4. Colocación de semáforos

En la opción *Signal Controllers* se crea las 3 fases del semáforo presente en la zona de estudio. Además, se indica la duración del ciclo semafórico y los tiempos de verde, rojo y ámbar. Finalmente, se coloca en la red las fases creadas con la herramienta *Signal Heads*. En la *Figura 48* se presenta el semáforo de la intersección analizada y las herramientas utilizadas.

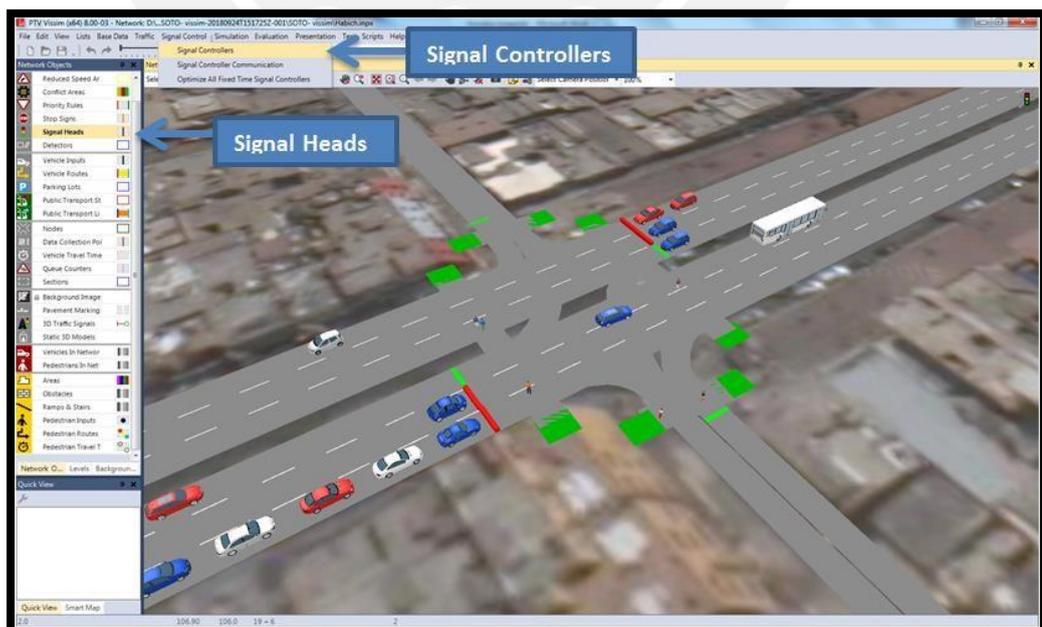


Figura 46: Inserción de semáforos en el modelo

Fuente: Propia

### 6.1.5. Reglas de prioridad

Una vez presentes los vehículos y peatones en la red, se define la prioridad de la vía. Esto quiere decir si el peatón tiene que esperar a los vehículos para cruzar la vía o si los vehículos tienen que esperar a los peatones para continuar con su camino. En la zona de estudio se evidencio que los vehículos tenían la prioridad de paso sobre los peatones. Para representar este comportamiento se utilizó la herramienta *Conflict Areas*. La **Figura 49** muestra las áreas de conflicto, donde el color verde muestra la vía con mayor prioridad y el color rojo señala la vía con menor prioridad.

### 6.1.6. Verificación de errores

En esta etapa se verifica que en el modelo no existan incongruencias (peatones cruzando el semáforo en rojo, choques entre vehículos o atropello de peatones), ya que de lo contrario afectaría a los resultados de la calibración. Por ello, se verifica que los datos entrada fueron ingresados correctamente, y luego se corre el programa para ver la animación del modelo, de esta forma poder detectar errores.

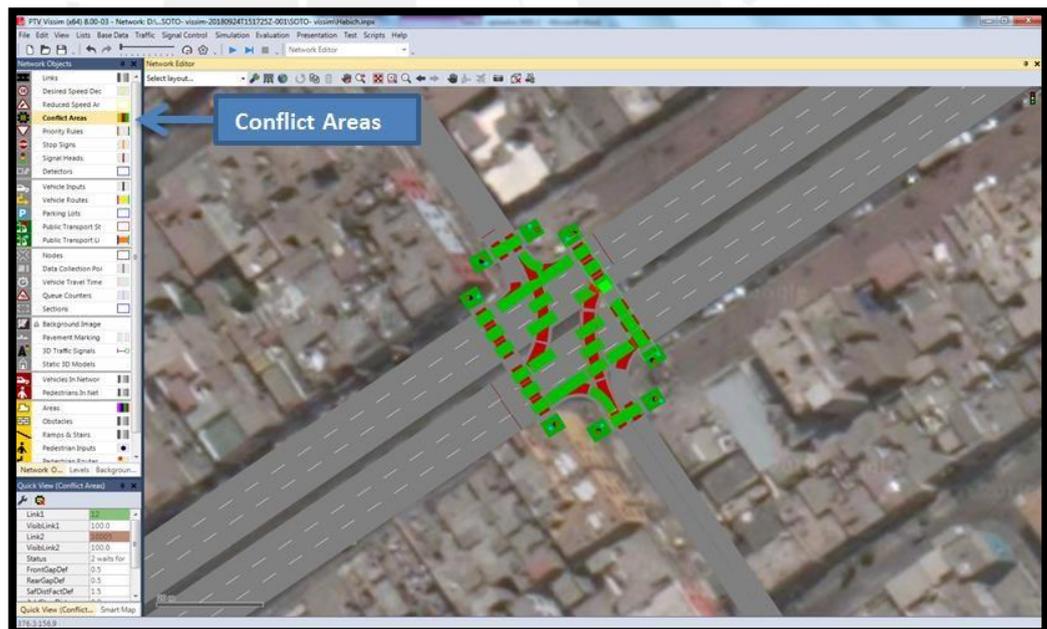


Figura 47: Áreas de conflicto en la zona de estudio

Fuente: Propia

## 6.2. Calibración y validación del modelo de la situación actual de la vía

El modelo de la red debe ser calibrado con el fin de representar un modelo semejante a la vía actual. Para ello, VISSIM utiliza parámetros de calibración. Este proceso es iterativo, ya que se debe modificar los parámetros de Wiedemann hasta lograr que los resultados del programa sean semejantes en un nivel de confianza del 95% con los datos obtenidos de campo.

### 6.2.1. Parámetros de eficiencia y simulación vehicular

Los parámetros se establecieron al concluir la verificación del modelo. En el presente trabajo se estableció como parámetro de eficiencia a los tiempos de viaje vehicular en una determinada distancia, la cual es de 31.4 metros. La medida en mención fue obtenida de campo, siendo esta la distancia en la cual se tomó los tiempos de viaje vehicular. Se recopilaron los tiempos de viaje aleatoriamente de cada carril de los dos sentidos de la vía. Esta distancia se ingresó al programa mediante la herramienta *Vehicle Travel Time*.

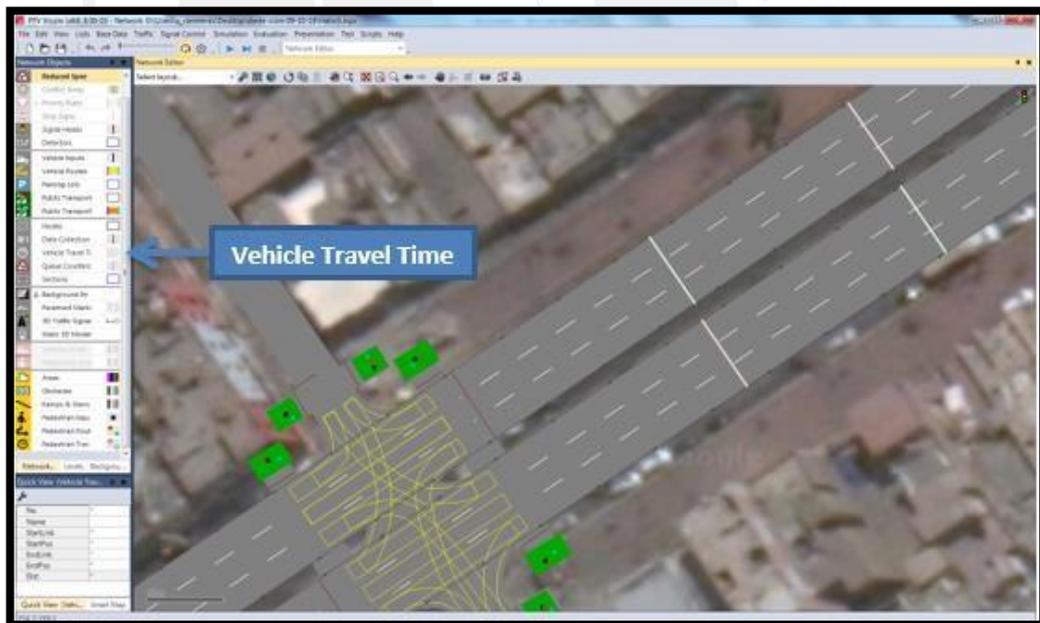


Figura 48: Parámetros de Eficiencia- Tiempo de viaje

Fuente: Propia

Los resultados obtenidos en el programa fueron configurados, ya que se debe de considerar el warm up de 600 segundos y un tiempo de microsimulación de 3600 segundos. Por ello, se modificó la evolución del modelo iniciando a los 600 segundos y terminando a los 4200 segundos.

Finalmente, como parámetros de simulación se definió el número de semilla (15), el número de corridas (30), el incremento del número de semilla (1) y la velocidad de simulación (velocidad máxima). Estos valores fueron ingresados al programa antes de iniciar a correr el modelo, ya que estos definen los resultados del modelo. Asimismo, es importante mencionar que el número de corridas será verificado al concluir la calibración ya que este debe ser mayor al número mínimo de corridas, el cual será detallado líneas abajo.

### 6.2.2. Parámetros de Wiedemann

En el presente proyecto se utilizaron los parámetros de Wiedemann 74, el cual es utilizado para zonas urbanas. Estos parámetros definen el comportamiento del vehículo y los conductores de los mismos, por ello se deben calibrar iterativamente hasta lograr el comportamiento de los usuarios de la vía en análisis.

Este proceso se inició al correr el modelo con valores establecidos por default y seguidamente se verifico el modelo mediante un análisis estadístico. Dicho análisis fue mediante una prueba de hipótesis nula de diferencia de medias con un nivel de confianza del 95% de los datos obtenidos del programa VISSIM y de los recopilados de campo. Este proceso se repitió varias veces hasta lograr el nivel de confianza establecido. En la siguiente tabla se muestra los datos utilizados más relevantes que definieron la obtención final para la calibración.

Tabla 3: Parámetros usados para la calibración

Fuente: Propia

ax	bx_add	bx_mult	Contador 1			Contador 2		
			Media Campo	Media Vissim	Diferencia	Media Campo	Media Vissim	Diferencia
1	1	2	2.63	2.44	0.19	3.18	2.85	0.33
0.5	1.5	2	2.63	2.44	0.19	3.18	2.81	0.37
2	1	0.5	2.63	2.69	-0.06	3.18	2.94	0.24
2	3	4	2.63	2.69	-0.06	3.18	3.12	0.06
1	3	4	2.63	2.69	-0.06	3.18	2.93	0.25
2	3	3.5	2.63	2.69	-0.06	3.18	3.11	0.07
1.5	3	3.5	2.63	2.69	-0.06	3.18	2.96	0.22
1.5	3	4	2.63	2.69	-0.06	3.18	3.03	0.15
1.5	3	5	2.63	2.69	-0.06	3.18	3.05	0.13
1.5	4	5	2.63	2.69	-0.06	3.18	3.16	0.02

### 6.2.3. Verificación del número mínimo de corridas

Primeramente, se inició la calibración con un número de corridas de 15, la cual será verificada si es suficiente dicha cantidad de corridas mediante el número mínimo de corridas. Dicho valor será calculado mediante las ecuaciones mencionadas en el capítulo 2. Por ello, se calculó la desviación estándar, el promedio y el número de la muestra de los resultados obtenidos del programa VISSIM y de los datos obtenidos en campo. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos de cada carril, siendo 1 los carriles en dirección hacia la Av. Túpac Amaru, y 2 los carriles en dirección hacia la Panamericana Norte.

Tabla 4: Verificación del número mínimo de corridas de la calibración

Fuente Propia

Carriles	VISSIM		CAMPO	
	1	2	1	2
Cantidad de la muestra	15	15	15	15
GDL	14	14	14	14
Promedio	2.69	3.18	2.63	3.18
Desviación estándar	0.03	0.22	0.35	0.15
Margen de error	0.27	0.32	0.26	0.32
$t_{\alpha/2}$ (95% de confianza)	2.1448	2.1448	2.1448	2.1448
Número mínimo de corridas	0	2	8	1

### 6.2.4. Verificación del nivel de confianza

El proceso de verificación del nivel de confianza inicia al tener los resultados del modelo de la red de los parámetros establecidos en el mismo. En el presente trabajo se obtuvo los resultados del tiempo de viaje de cada sentido de la vía, como ya se mencionó ese parámetro fue definido previamente al iniciar a correr el modelo.

Los datos obtenidos en campo serán analizados conjuntamente con los datos obtenidos del programa VISSIM. Para ello se utilizó el programa Randomization Test para una prueba no paramétrica, en el cual realiza pruebas de la hipótesis nula de diferencia de medias con un nivel de confianza del 95%.

Líneas arriba se mencionó este proceso iterativo, el cual es desarrollado mediante tabulaciones de los parámetros de Wiedemann. Seguidamente, las Figura 51 y Figura

52 muestran los resultados de comparar los promedios de tiempos de viaje obtenidos en VISSIM con los promedios de los datos de campo.

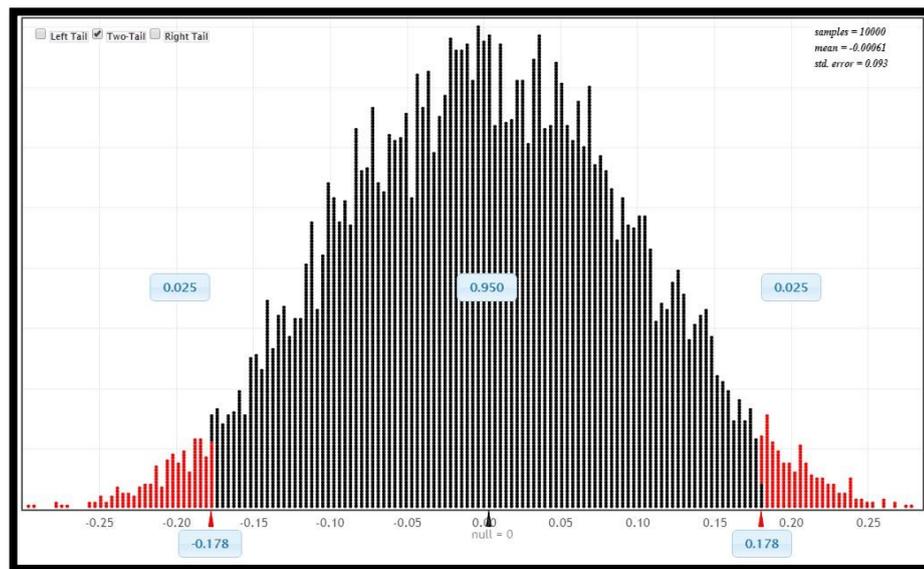


Figura 49: Prueba de Hipótesis Nula para el carril en dirección a la Av. Túpac Amaru - Calibración

Fuente: Propia

Los resultados de los carriles en dirección hacia la Avenida Túpac Amaru tuvieron un promedio de 2.69 y un promedio de los datos de campo de 2.63, con una diferencia absoluta de -0.06. Esta diferencia debería de estar dentro del rango el cual es de  $[-0.178; 0.178]$ , de esta forma se verifica la calibración de estos carriles ya que esta diferencia se encuentra en dicho rango.

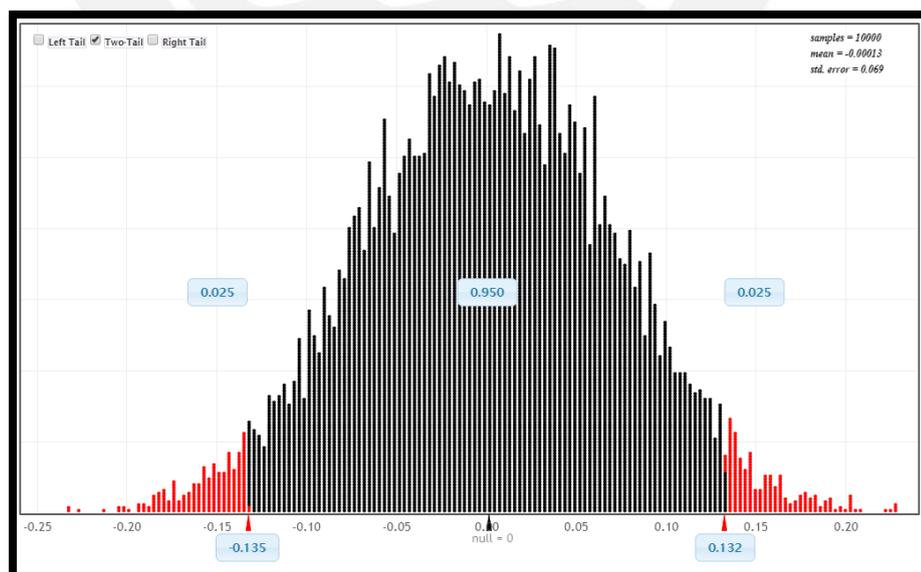


Figura 50: Prueba de Hipótesis Nula para los carriles en dirección a la Panamericana Norte - Calibración

Fuente: Propia

Del mismo modo, los resultados de los carriles en dirección hacia la Panamericana Norte tuvieron un promedio de 3.16 y un promedio de los datos de campo de 3.18, con una diferencia absoluta de 0.02. Esta diferencia debería de estar dentro del rango el cual es de [-0.135; 0.132], de esta forma se verifica la calibración de estos carriles ya que esta diferencia se encuentra en dicho rango.

### 6.2.5. Validación del modelo

Este proceso inicia al concluir la calibración del modelo de la red. Con los parámetros de Wiedemann obtenidos en la calibración se deberá validar ingresando los datos recopilados de otro día distinto al primer día de toma de datos. Por ello se deberá verificar nuevamente el número mínimo de corridas.

El proceso de validación tiene un procedimiento similar a la calibración, con la diferencia de utilizar los mismos parámetros utilizados en el proceso anterior. Por lo expuesto, se deberá ingresar los resultados a una prueba no paramétrica al programa Randomization Test para ambos carriles. Las Figura 53 y Figura 54 muestran los resultados de comparar los promedios de tiempos de viaje obtenidos en VISSIM con los promedios de los datos de campo.

Tabla 5: Verificación del número mínimo de corridas de la variación

Fuente Propia

VALIDACIÓN				
CARRILES	CAMPO		VISSIM	
CARRIL	1	2	1	2
Cantidad de la muestra	15	15	15	15
GDL	14	14	14	14
Promedio	2.76	3.36	2.84	3.26
Desviación estándar	0.28	0.34	0.02	0.16
Margen de error	0.28	0.34	0.28	0.33
$t_{\alpha/2}$ (95% de confianza)	2.1448	2.1448	2.1448	2.1448
Número mínimo de corridas	5	5	0	1

La diferencia de medias obtenido de los resultados del modelo son 2.84 y de los datos de campo es de 2.76, con una diferencia de medias de 0.08. Verificando de este modo que dicha diferencia de medias se encuentra dentro del rango [-0.142; 0.139], de esta forma se verifica la validación de estos carriles ya que esta diferencia se encuentra en dicho rango.

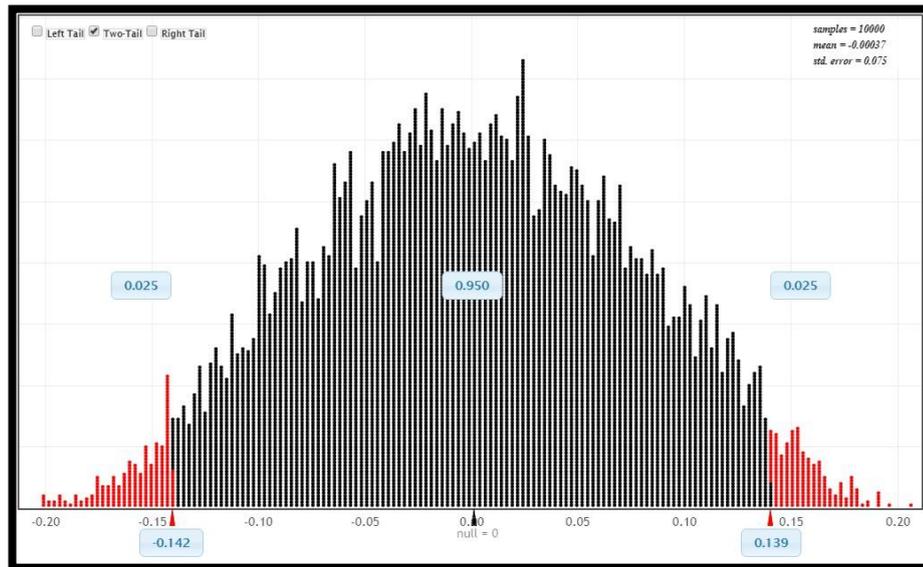


Figura 51: Prueba de Hipótesis Nula para los carriles en dirección a la Av. Túpac Amaru - Validación

Fuente: Propia

La diferencia de medias obtenido de los resultados del modelo son 3.26 y de los datos de campo es de 3.36, con una diferencia de medias de 0.1. Verificando de este modo que dicha diferencia de medias se encuentra dentro del rango  $[-0.197; 0.195]$ , de esta forma se verifica la validación de estos carriles ya que esta diferencia se encuentra en dicho rango.

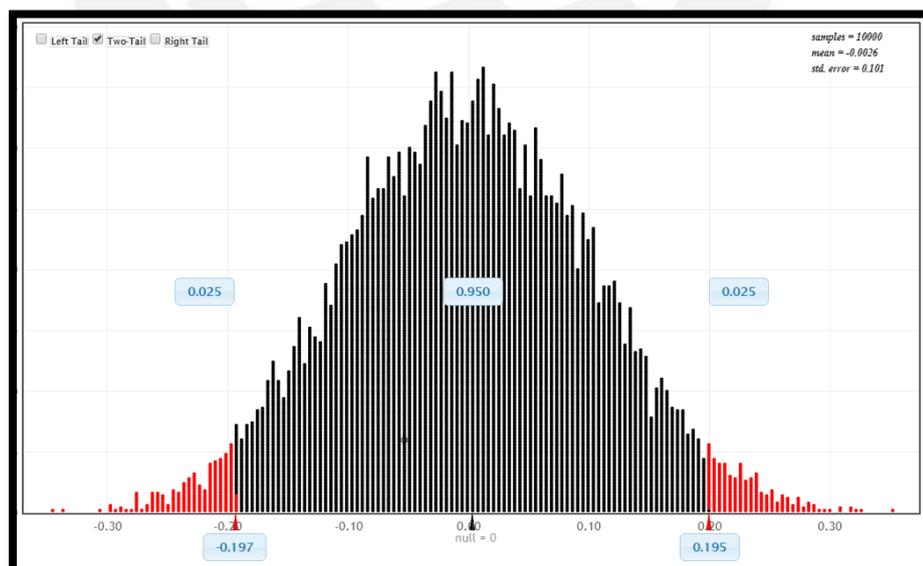


Figura 52: Prueba de Hipótesis Nula para los carriles en dirección a la Panamericana Norte - Validación

Fuente: Propia

### 6.3. Análisis y comparación de resultados de la microsimulación de la nueva sección

En este acápite se muestra los resultados obtenidos del modelo de la situación actual de la vía y del modelo con los cambios realizados. Asimismo, se comparan estos resultados con el fin de apreciar las mejoras tanto para los peatones como para los vehículos. Estas comparaciones se realizan a través de pruebas de hipótesis alternativa de diferencia de medias. A continuación, se muestra las comparaciones de los tiempos de viaje vehicular, longitud actual y tiempo de viaje peatonal respectivamente.

#### 6.3.1. Tiempo de viaje vehicular

Este parámetro de eficiencia indica el tiempo que demora un vehículo en recorrer una determinada distancia. Para el caso de estudio, estos tramos se encuentran indicados en la Figura 55. Se consideraron dichos tramos, puesto que se desea comparar el tiempo de viaje vehicular de la Av. Habich entre las calles Charles Sutton y Michael Fort antes y después de los cambios realizados.

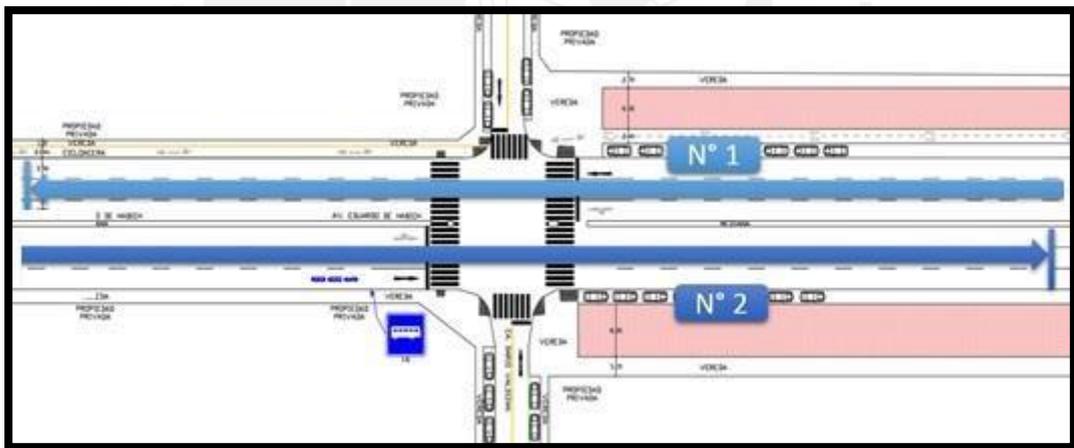


Figura 53: Tramos para la evaluación del tiempo de viaje vehicular

Fuente: Propia

A continuación, la Figura 56 muestra los tiempos de viaje vehicular en el sentido N°1 y N°2 antes y después de las mejoras.

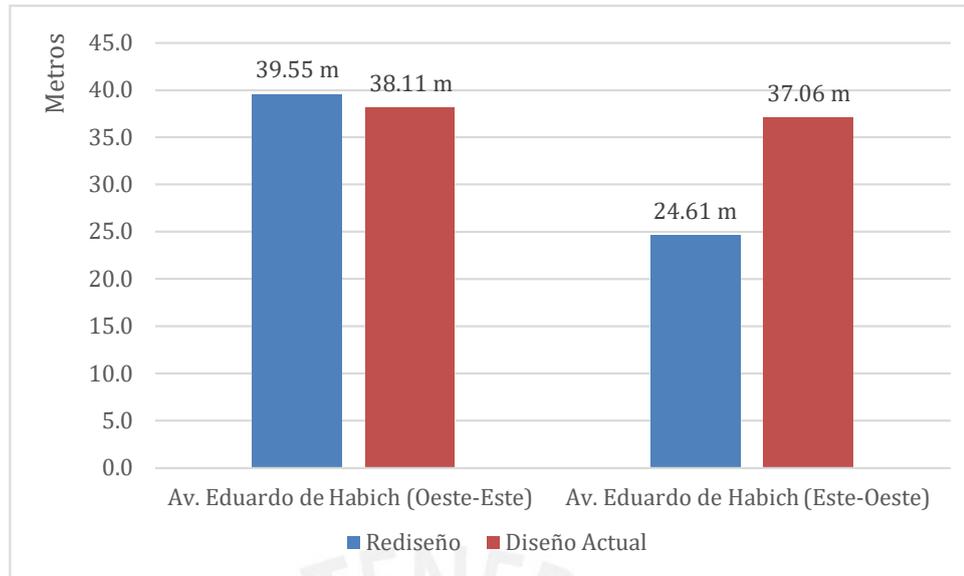


Figura 54: Tiempos de viajes del rediseño y diseño actual

Fuente: Propia

Para determinar si los tiempos de viaje de los vehículos aumentaron o disminuyeron se realizó la prueba de hipótesis alternativa Right Tail. La Figura 57 muestra de color negro el rango en cual debe estar la diferencia de medias con el fin de afirmar que los tiempos de viaje vehicular en el sentido N°2 disminuyeron después de realizar el rediseño. Por lo tanto, como la diferencia es igual a 2.57s se puede concluir que los tiempos de viaje no se redujeron.

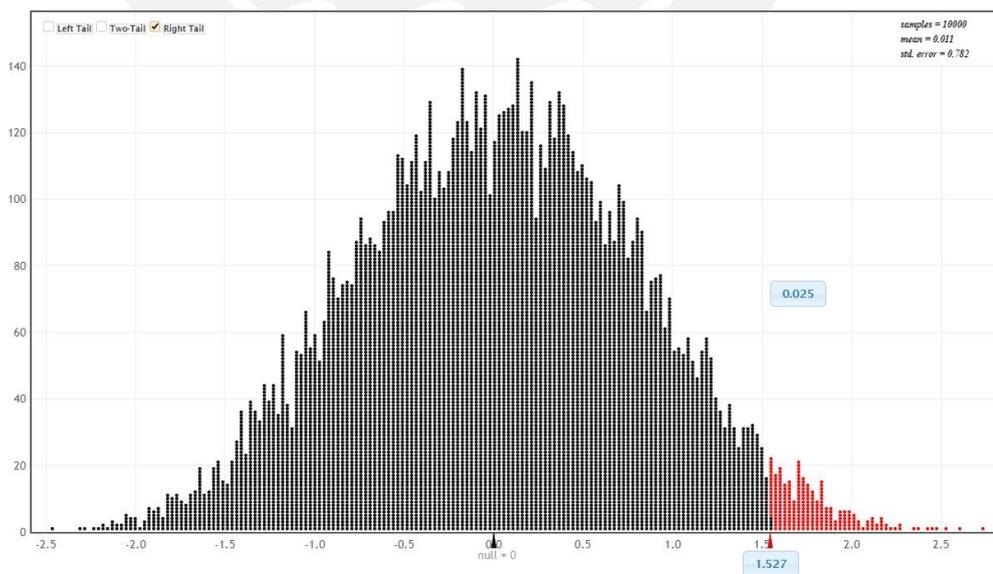


Figura 55: Prueba de hipótesis alternativa para los tiempos de viaje vehicular del sentido N° 1

Fuente: Propia

Por otro lado, en el sentido N°2 se presenta una diferencia de -13.54s; por lo tanto, según la Figura 58 se puede concluir que los tiempos de viaje se redujeron; ya que, la diferencia de medias se encuentra en la zona de color negro la cual indica que disminuye el tiempo después del rediseño.

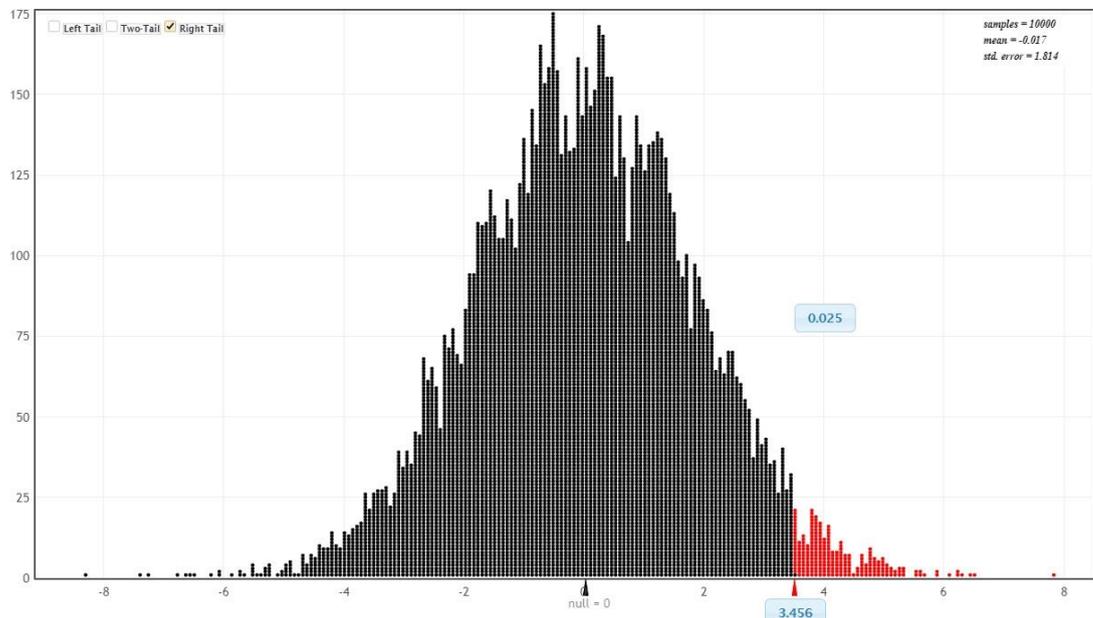


Figura 56: Resultados de la prueba de hipótesis alternativa para demoras vehiculares del sentido N° 2

Fuente: Propio

### 6.3.2. Longitud de cola

Mediante este parámetro de eficiencia se obtiene las longitudes de las colas que generan los vehículos en las calles o avenidas que cruzan la intersección. Por lo tanto, en el presente trabajo se analizará las colas formadas en las 4 piernas de la intersección analizada. En la figura 59 se muestra las longitudes de las colas en las 4 piernas antes y después del rediseño.

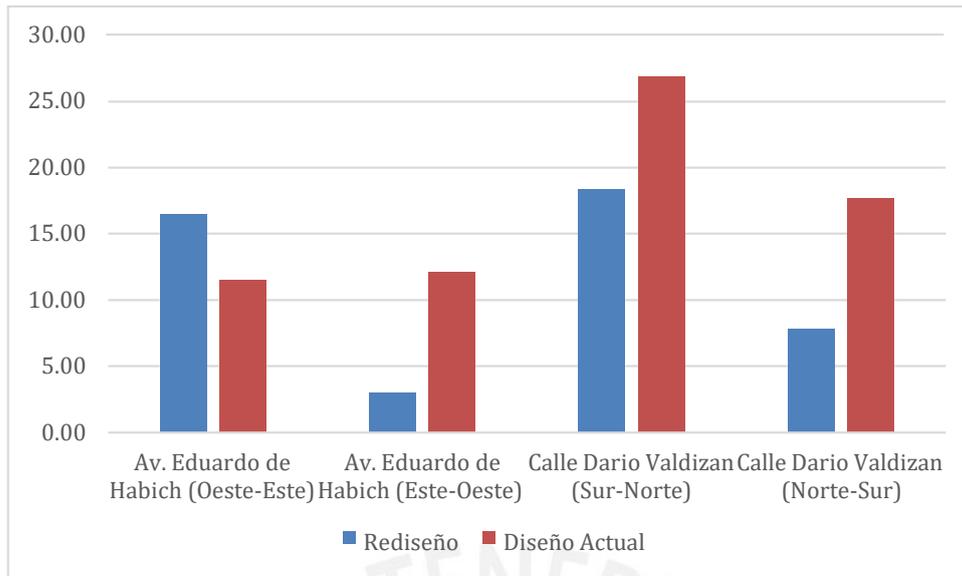


Figura 57: Longitudes de colas del diseño actual y rediseño

Fuente: Propia

### 6.3.3. Tiempo de viaje peatonal

Este parámetro de eficiencia indica el tiempo que demora un peatón en recorrer una determinada distancia. Para el caso de estudio, se eligió el cruceo N°1 y N°2, los cuales se muestran en la Figura 60. Esta elección se basa en que solo realizaron cambios en dichos cruceos.

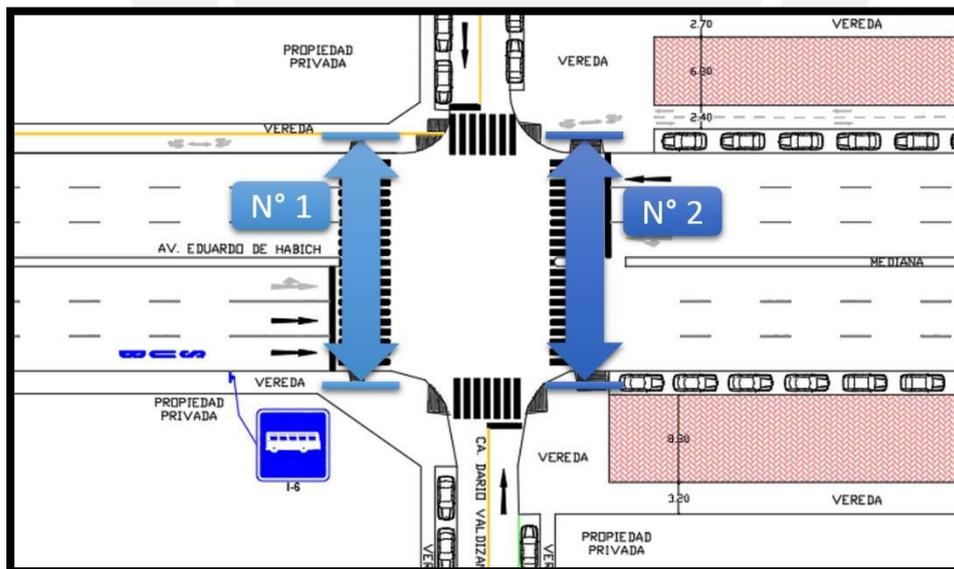


Figura 58: Tramos para la evaluación del tiempo de viaje peatonal

Fuente: Propia

A continuación, la Figura 61 muestra los tiempos de viaje peatonal en el cruceo N°1 y N°2 antes y después del rediseño. En esta figura, se aprecia que los tiempos de viaje disminuyeron un 8% en cruceo N°1 y 30% en cruceo N°2.

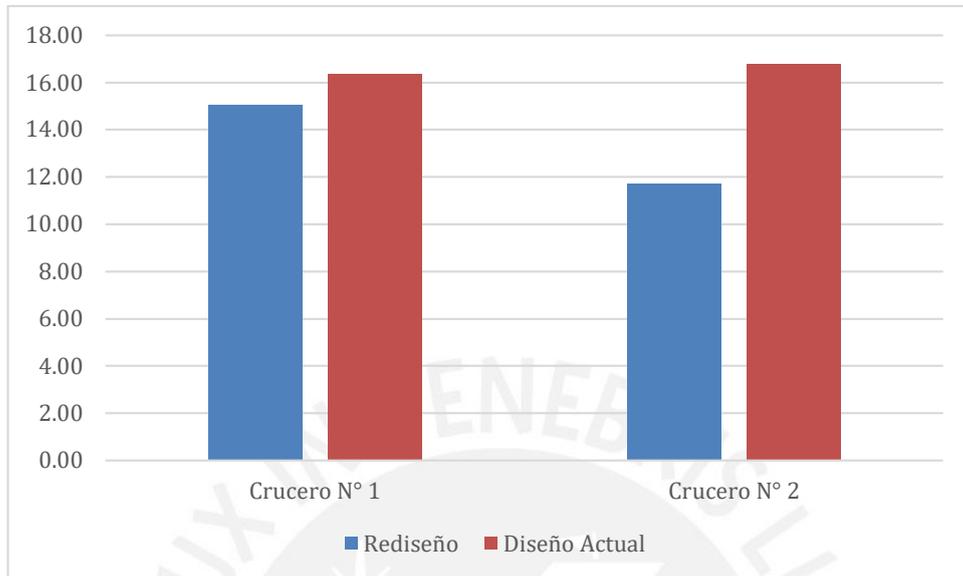


Figura 59: Tiempos de viaje peatonal del diseño actual y rediseño

Fuente: Propia

Para comprobar corroborar la disminución del tiempo de viaje vehicular se realiza la prueba de hipótesis alternativa "Right Tail". Para el cruceo N°1 la Figura 62 muestra de color negro el rango en cual debe estar la diferencia de medias con el fin de afirmar que los tiempos de viaje se redujeron después de realizar el rediseño. Por lo tanto, como la diferencia es igual a 0.79s se puede concluir que el tiempo de viaje de peatonal disminuyó con las propuestas planteadas.

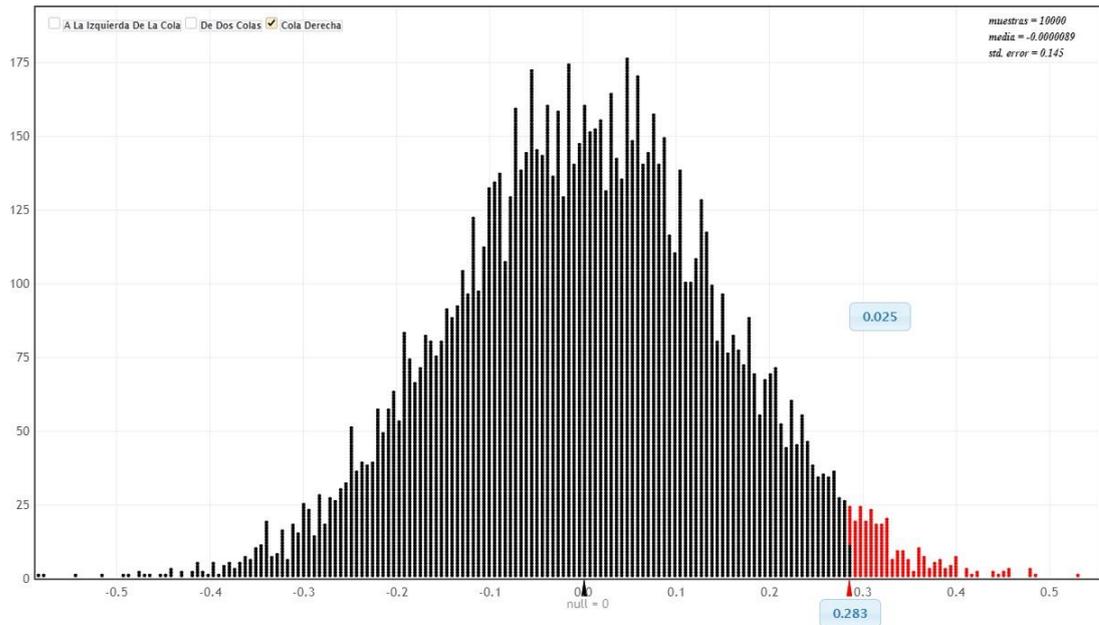


Figura 60: Resultados de la prueba de hipótesis alternativa para tiempo de viaje peatonal en el crucero N°1

Fuente: Propia

Por otro lado, para el crucero N°2, la diferencia de medias es igual a -0.11s; por lo tanto, según la Figura 63 se puede afirmar que el tiempo de viaje de peatonal disminuyo con las propuestas planteadas.

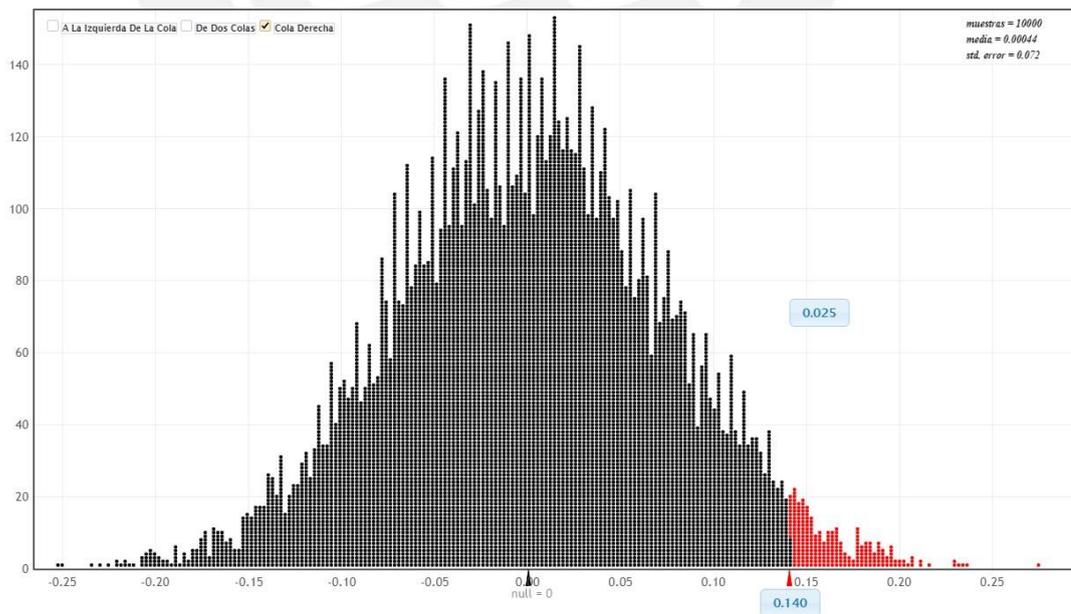


Figura 61: Resultados de la prueba de hipótesis alternativa para tiempo de viaje peatonal en el crucero N°2

Fuente: Propia

## CAPITULO 7: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente capítulo se expone las conclusiones relacionadas al proyecto de rediseño desarrollado líneas arriba. Asimismo, se presentan las recomendaciones para futuros proyectos similares.

### 7.1. Conclusiones

La avenida Eduardo de Habich es una zona comercial que presenta una inadecuada distribución de la vía. Por ello, en el presente proyecto se concluiría que en el actual espacio público se puede mejorar la distribución en este mismo espacio para favorecer a los peatones y ciclistas sin perjudicar a los vehículos. Entre las principales conclusiones se pueden mencionar las siguientes.

Se concluye que el espacio designado a los vehículos no está acorde al flujo vehicular que utiliza la vía, puesto que la reducción de carriles no generó congestión vehicular en el modelo de microsimulación. Esto se corroboró mediante los tiempos de viaje y longitudes de colas. Entre la reducción de colas se redujo el tiempo de viaje de 17.43m a 8.31m en la calle Dario Valdizan (Norte-Sur), asimismo se mantuvo similares antes y después del rediseño en la misma calle en sentido contrario de 12.04m a 12.43m. En cuanto a los tiempos de viaje se han mantenido los tiempos en la avenida Eduardo de Habich (Este-Oeste) de 37.44s a 37.9s.

El ciclo semafórico actual de la intersección analizada evidencia que la fase destinada a giros a la izquierda genera un tiempo de espera vehicular y peatonal 13% mayor al ciclo de dos fases propuesto. Además, se confirma que la cantidad de vehículos que giran a la izquierda (56 veh/ h) no requieren de una fase destinada para ellos. Por lo que se ha modificado el ciclo semafórico de 93s a 90s reduciendo una fase del ciclo.

La reducción de carriles permitió aumentar el ancho de las veredas generando mayor espacio para los peatones de 0.7m a 4m. Asimismo, este ensanchamiento de veredas permitió reducir los tiempos de viaje peatonal para cruzar la vía en 6% generando mayor seguridad a los transeúntes.

La mediana actual presenta una dimensión inferior al mínimo recomendado por los manuales de diseño urbano, por lo que se ha aumentado de 0.9m a 2m. La dimensión actual es insuficiente para la espera de forma segura al cambio de fase del semáforo. El problema se complica para las personas con movilidad reducida y ciclistas, puesto que el ancho actual es inferior al ancho de una silla de ruedas o bicicleta.

La accesibilidad en la intersección analizada es deficiente, puesto que el ancho y las pendientes de las rampas no permiten el desplazamiento en silla de ruedas, por lo que se propone cambiar de 1m a 5m de rampa con 8% de pendiente. Además el material utilizado (adoquinado) en una zona de la acera dificulta el movimiento de las personas invidentes, personas de tercera edad y movilidad reducida.

La demanda peatonal en los cruces de la calle Darío Valdizán (760 peat/h) solicita que el ancho de estos sea mayor que el actual (4m). Además, se espera que esta demanda se incremente debido a que se aumentó el ancho de las veredas.

Finalmente, se concluye que una cicloacera en una zona comercial de vereda angosta dificulta el tránsito de ciclistas generando poco flujo de ciclistas en la zona, por lo que se ha ampliado de 0.8m a 1.4m. Por otro lado, la presencia de una cicloavía bidireccional en un solo sentido de la vía genera un carente uso de la infraestructura para ciclistas.

## **7.2. Recomendaciones**

La extensión de la avenida Habich presenta secciones similares a la del proyecto desarrollado. Por esta razón se recomienda extender la sección planteada, como guía, a todo el largo de la avenida.

Por otro lado, la calle Darío Valdizán cuenta con estacionamientos que reducen el ancho de la acera. Por lo tanto, se recomienda eliminar dichos estacionamientos y extender el ancho de la vereda en beneficio de los peatones. Además, se aconseja trasladar los estacionamientos a la avenida Habich, ya que esta presenta espacio disponible para estos.

Se recomienda que las cicloavía en una avenida deberían ser colocada en ambos sentidos de la vía. También se sugiere separar el flujo de ciclistas de los automóviles mediante elementos físicos como topellantas y áreas verdes. Del mismo modo, se recomienda separar los ciclistas de los peatones. En este sentido, se sugiere restringir el uso de ciclobanda en zonas comerciales y de poco ancho de vereda. Por otro lado, se aconseja la implementación de un estacionamiento de bicicletas al final de la avenida Habich para facilitar la intermodalidad con el Metropolitano.

Por último, se recomienda utilizar un programa de microsimulación vehicular y peatonal antes de realizar intervenciones en la geometría de las calles, ya que estos

modelos de microsimulación ayudan a corroborar las ideas planteadas para un nuevo diseño urbano.



## REFERENCIAS

**Ávila, A.** (2008). Elección de Rutas Alternas en un Escenario de Tráfico, por medio de la Simulación con Autómatas Celulares. Tesis Maestría en Ciencias de la Computación. Universidad Autónoma Metropolitana. Azcapotzalco. México.

**Ahmed, K.** (1999). Modeling Drivers' Acceleration and Lane Changing Behaviour. Massachusetts: Institute of Technology.

**Barrera, D.** (2016). Modelos Determinísticos y Probabilísticos. Universidad José María Vargas, Caracas. Recuperado de <http://proyectoeypii.blogspot.pe/>

**Barceló, J.** (2012). Modelos, Modelos de Tráfico, Simulación, Simulación de Tráfico. En Primera Reunión de Modelos Matemáticos para Transporte, Instituto de Ingeniería de la UNAM, México.

**Borja, J., & Drnda, M.** (2003). La ciudad conquistada. Alianza.

**Carrión, F.** (2007). Espacio público: punto de partida para la alteridad. En Segovia, Olga. *Espacios públicos y construcción social*. Santiago de Chile : Sur

**Cabrera, F.** (2018) Curso de Gestión del Tránsito. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.

**CCA** (2010). Manual de Accesibilidad Universal. Santiago de Chile: U. Diego Portales

**CROW** (2011). Manual de Diseño para el tráfico de bicicletas. Utrecht.

**Dascal, G.** (2013). Reflexiones acerca de la relación entre los espacios públicos y el capital social. *Espacios públicos y construcción social: Aproximaciones conceptuales*.

**Dextre, J. y Avellaneda, P.** (2014). Movilidad en zonas urbanas (1a Edición). Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

**Dion F., Sivakumaran K. y Ban J.** (2012). Evaluation of Traffic Simulation Model Use in the Development of Corridor System Management Plan (CSMPs), Partners for Advanced Transportation Technologies – UC Berkeley.

**FHWA - Federal Highway Administration** (2004). Traffic Analysis Toolbox Volumen III; Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software.

**FHWA - Federal Highway Administration** (1994). Revised Monograph on Traffic Flow Theory, N.H. Gartner, C.J. Messer, and A. Ruthi ([www.tfhrc.gov/its/tft](http://www.tfhrc.gov/its/tft)).

- Flores, Y.** (2016). Micro-simulación de la intersección de la Avenida Universitaria con la Avenida Bolívar utilizando el software VISSIM y VISWALK 8 (Tesis Inédita de Titulación). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- Fellendorf, M. & Vortisch, P.** (2010). Microscopic traffic flow simulator Vissim. Alemania: International Series in Operation Research and Management Science.
- Friis, C. & Svenssoon, L.** (2013). A comparative study between the software programs Vissim and Viswalk. Gotemburgo.
- Gehl, J.** (2014). Ciudades para la gente. Infinito.
- Gehl, J y Svarre, B.** (2013). How to study public life. (1a Edición). Washington DC: Island Press
- González, J.** (2011). Estudio de modelos para tráfico peatonal y su aplicación a pasillos en diferentes escenarios. México, D.F.
- Helbing, D., & Molnár, P.** (1998). Social force model for pedestrian dynamics. Stuttgart: University of Stuttgart.
- Herce, M.** (2009) Sobre la movilidad en la ciudad (1a Edición). Barcelona: Reverte
- ITDP** (2016). Guía de diseño de calles e intersecciones para Buenos Aires.
- Jacobs, A.** (1985). Looking at cities.
- Jacobs, J.** (1961). The Death and Life of Great American Cities. Vintage.
- Kretz.** (2017). Some Indications on how to Calibrate the Social Force Model of Pedestrian Dynamics. Karlsruhe. : PTV group.
- LCV - Lima Cómo Vamos** (2017) Encuesta Lima cómo vamos 2016: VII Informe de percepción sobre calidad de vida. Lima. Lima cómo vamos: Observatorio ciudadano
- Ministerio de Transporte de Colombia** (2016) Guía de ciclo-infraestructura para ciudades colombianas. Bogotá: Editores Despacio y Gea21.
- Morales, N.; Alfato, D.; Gálvez, W.** (2010). Aspectos psicosociales y accidentes en el transporte terrestre. Simposio: Accidentes de tránsito.
- Municipalidad de Lima** (2017) Manual de Criterios de Diseño de Infraestructura Ciclo-inclusiva y Guía de Circulación del Ciclista. Lima: Editores P. Calderón, C. Pardo, & J. J. Arrué, Eds.

**Municipalidad de Lima** (2009) Nueva Ciclovía Habich-Granda: Una buena alternativa de transporte para vecinos de la zona norte de Lima. Recuperado de: <http://ciclolima.blogspot.com/>

**Matthew, T & Rao, K.** (2006). Introduction to transportation engineering. Microscopic traffic modeling. Recuperado de: <http://nptel.ac.in/courses/105101087>

**NACTO** (2012). Urban Street Design Guide. National Association of City Transportation Officials. New York.

**Nerem, S.** (2013). Vehicle weight in Gipps' car –following model. Noruega: Norwegian University of Science of Technology.

**Pettinga, A.** (2009) Cycling Inclusive Policy Development: a Handbook. Recuperado de [www.i-ce.nl](http://www.i-ce.nl)

**Prócer, C.** (2015) Sistemas de Transporte Inteligente 09 | Necesidad de los ITS | Modelos de la General Motors [Fecha de consulta: 17 de mayo]. Recuperado de: <http://www.tresingenieros.com/sistemas-de-transporte-inteligente-09-necesidad-de-los-its-modelos-de-la-general-motors/>

**PTV- Planung Transport Verkehr** (2011). VISSIM 5.30-05 User Manual. Karlsruhe, Germany.

**Reglamento Nacional de Edificaciones** (2011) Norma GH.020: Componentes de diseño urbano. Lima, Perú

**Tonucci, F.** (2004). La ciudad de los niños. Un nuevo modo de pensar la ciudad. (Tercera Edición). Buenos Aires: Losada

**Takano, G. y Tokeshi, J** (2007) El espacio público en la ciudad popular: Reflexiones y experiencias desde el sur. Lima: DESCO

**Tom, M.** (2014). Transportation Systems Engineering. Recuperado el 16 de junio del 2018 de sitio web: [http://nptel.ac.in/courses/105101008/downloads/cete\\_14.pdf](http://nptel.ac.in/courses/105101008/downloads/cete_14.pdf)

**WRI** (2016). Ciudades más seguras mediante el diseño Lineamientos y ejemplos para promover la seguridad vial mediante el diseño urbano y vial. (Primera Edición). Washington DC



PROPIEDAD PRIVADA

PROPIEDAD PRIVADA

VEREDA  
CICLOACERA

VEREDA

VEREDA

VEREDA

AV. EDUARDO DE HABICH  
MEDIANA

AV. EDUARDO DE HABICH  
MEDIANA

VEREDA

VEREDA

VEREDA

VEREDA



I-6

PROPIEDAD PRIVADA

CA. DARIO VALDIZAN

VEREDA

VEREDA

PROPIEDAD PRIVADA

### LEYENDA

-  Poste de alumbrado publico
-  Semáforo
-  Rampas
-  Separador entre vereda y cicloacera
-  Piso adoquinado

### FASES DEL SEMÁFORO

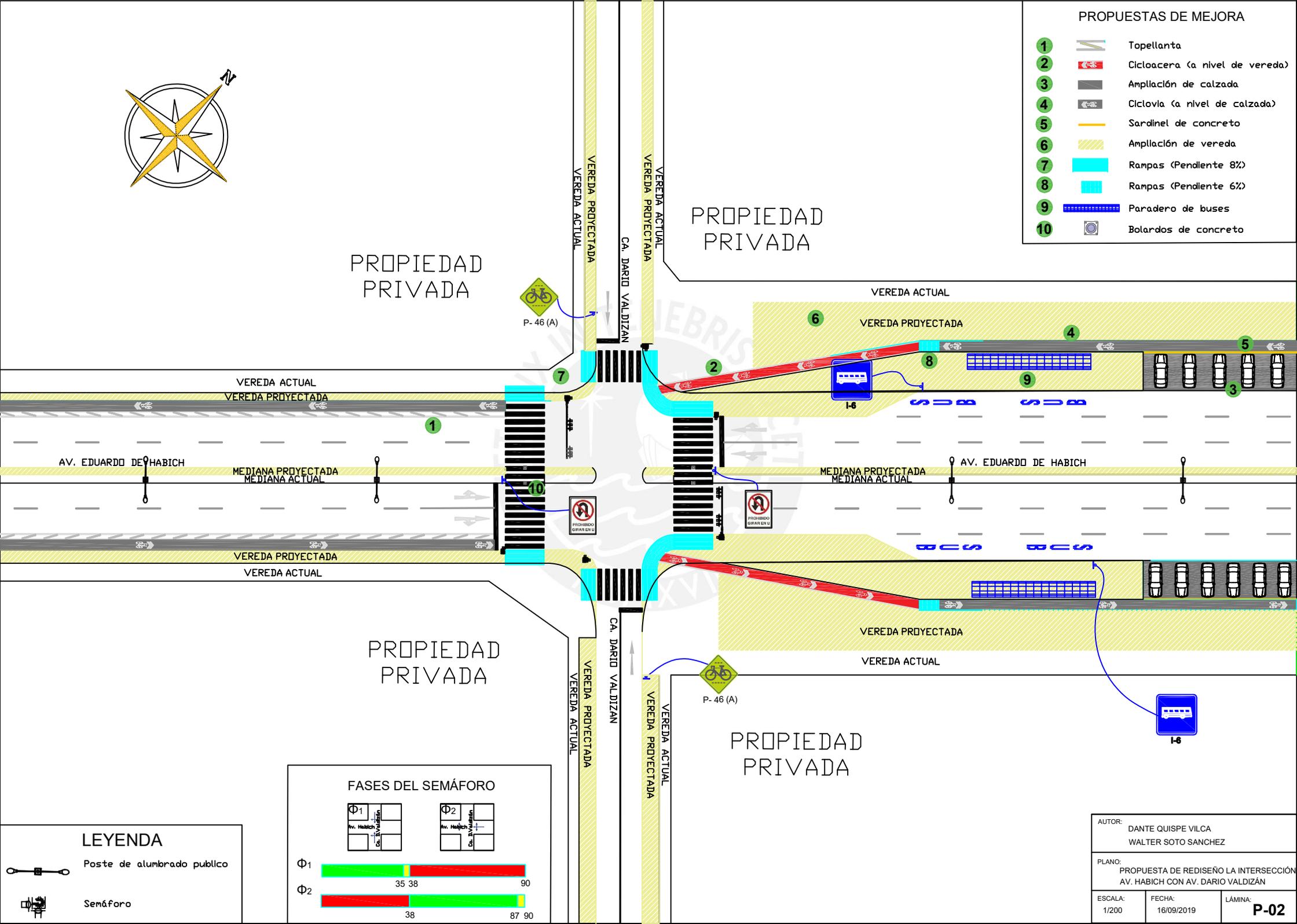


AUTOR: DANTE QUISPE VILCA WALTER SOTO SANCHEZ		
PLANO: DISEÑO ACTUAL DE LA INTERSECCIÓN AV. HABICH CON AV. DARIO VALDIZÁN		
ESCALA: 1/200	FECHA: 16/09/2019	LÁMINA: <b>P-01</b>



PROPUESTAS DE MEJORA

- 1 Topellanta
- 2 Cicloacera (a nivel de vereda)
- 3 Ampliación de calzada
- 4 Ciclovia (a nivel de calzada)
- 5 Sardinel de concreto
- 6 Ampliación de vereda
- 7 Rampas (Pendiente 8%)
- 8 Rampas (Pendiente 6%)
- 9 Paradero de buses
- 10 Bolardos de concreto



PROPIEDAD PRIVADA

PROPIEDAD PRIVADA

PROPIEDAD PRIVADA

PROPIEDAD PRIVADA



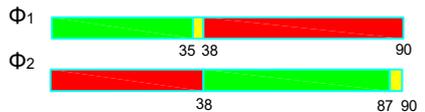
P-46 (A)



P-46 (A)



FASES DEL SEMÁFORO



LEYENDA

Poste de alumbrado publico

Semáforo

AUTOR: DANTE QUISPE VILCA  
WALTER SOTO SANCHEZ

PLANO: PROPUESTA DE REDISEÑO LA INTERSECCIÓN  
AV. HABICH CON AV. DARIO VALDIZÁN

ESCALA: 1/200

FECHA: 16/09/2019

LÁMINA: P-02