

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE CIRCULACIÓN DE LA  
INTERSECCIÓN UBICADA EN AVENIDA LA MARINA Y LAS  
CALLES JUAN VALER SANDOVAL Y MIGUEL DE UNAMUNO**

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

**AUTOR:**

Alex Eloy Vargas Esparza

**ASESOR:**

Félix Israel Cabrera Vega

Lima, diciembre, 2019

## RESUMEN

El uso de los vehículos privados ha aumentado en las últimas décadas, y además viene siendo incentivado por las actuales políticas de transporte urbano, esto genera que se requiera de más infraestructura vial. Asimismo, el precario sistema de transporte público, la falta de gestión del transporte, inseguridad en peatones, la inexistente o inadecuada semaforización, la contaminación ambiental, la exclusión social y el consumo e grandes espacios por parte del sistema vial, generan la reducción de calidad de vida de los ciudadanos. Esto aunado a decisiones inadecuadas de los gobiernos, incrementan la problemática.

El presente trabajo consistió en plantear una propuesta de mejora sostenible en cuanto a movilidad peatonal y vehicular, para la intersección ubicada entre la avenida La Marina y las calles Juan Valer Sandoval y Miguel de Unamuno. Primero se realizó una inspección visual de la intersección para identificar los principales problemas que afectan la circulación. A continuación, se revisó manuales de diseño de intersecciones, para finalmente pasar a plantear posibles soluciones a los problemas identificados. La siguiente etapa corresponde a la micro-simulación, como primer paso se realizó la construcción del modelo, haciendo uso del software de micro-simulación, VISSIM, y el ingreso de los datos de entrada extraídos de campo. A continuación, se lo calibró y validó con el fin de ajustarlo a las condiciones reales y garantizar que sea válido ante unos nuevos datos de entrada. Luego se procedió a la evaluación y análisis de las actuales condiciones de circulación de la intersección en estudio, para finalmente pasar a plantear la propuesta de mejora.

Dentro de los planteamientos más importantes, resaltan, en cuanto a transitabilidad, una redistribución de los tiempos del semáforo y la reubicación de los cruceros peatonales. A partir del modelo creado en VISSIM, se encontró que esto reduciría en 20% la demora promedio y aumentaría en 20% la velocidad promedio actual. En cuanto a seguridad, para los peatones, la protección de su integridad mediante porciones de mediana comúnmente llamadas “narices”, y la prohibición de los giros en U en ambos sentidos de la avenida La Marina; y, para los vehículos, la eliminación de las áreas de conflicto entre los que desean girar a la izquierda, desde la avenida La Marina, y los que no.

## DEDICATORIA



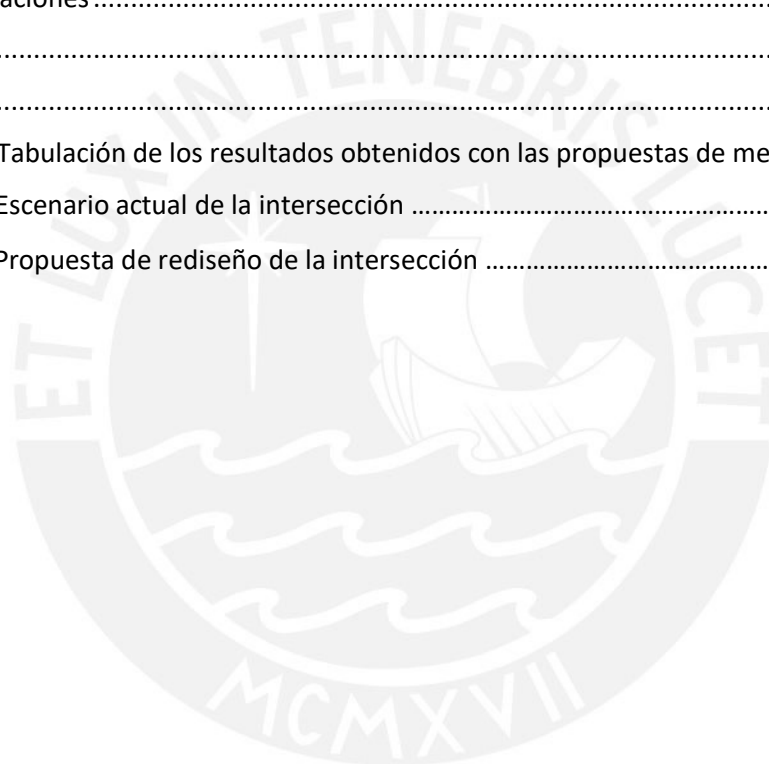
*A mis padres, que hicieron lo más difícil de este gran proyecto,  
darme la posibilidad de llevarlo a cabo.*

# TABLA DE CONTENIDO

1	Capítulo 1: Introducción.....	1
1.1.	Objetivos .....	1
1.1.1.	Objetivo general.....	1
1.1.2.	Objetivos específicos.....	1
1.2.	Alcance y limitaciones .....	1
2	Capítulo 2: Antecedentes.....	3
2.1.	Problemática generada por el actual enfoque de transporte urbano .....	3
2.1.1.	Consumo de energía .....	3
2.1.2.	Contaminación atmosférica .....	4
2.1.3.	Siniestralidad Vial.....	5
2.1.4.	Congestión .....	7
2.1.5.	Consumo de espacio en circulación .....	8
2.1.6.	Efecto Barrera: Modificación de las relaciones sociales .....	9
2.1.7.	Exclusión social .....	10
2.2.	Movilidad Urbana Sostenible – Visión General .....	10
2.3.	Criterios de diseño en una intersección .....	12
2.3.1.	Minimizar la exposición de peatones al tráfico vehicular .....	12
2.3.2.	Mejorar la geometría de las esquinas .....	15
2.3.3.	Proporcionar o mejorar la canalización a la izquierda.....	17
2.3.4.	Anchos adecuados de veredas y cruceros.....	20
2.3.5.	Semaforización.....	21
2.4.	Bike Lanes y Cycle Track (Ciclo vías) .....	22
2.4.1.	Bike Lanes .....	22
2.4.2.	Cycle Track .....	22
2.5.	Micro-Simulación .....	23
2.5.1.	Fundamentos de la micro-simulación - VISSIM .....	23
3	Capítulo 3: Metodología .....	27
3.1.	Inspección visual de la intersección .....	30
3.2.	Identificación de problemas de circulación.....	30
3.3.	Revisión de manuales de diseño de intersección.....	30
3.4.	Planteamiento de posibles soluciones .....	30
3.5.	Recolección y procesamiento de datos de campo .....	31
3.5.1.	Equipo necesario para la toma de datos .....	31
3.5.2.	Datos fundamentales para la creación y calibración del modelo .....	31

3.5.3. Tiempos de viaje vehicular para la Calibración .....	35
3.5.4. Datos fundamentales para la validación del modelo .....	36
4 Capítulo 4: Modelo de micro-simulación de la intersección .....	37
4.1. Desarrollo del modelo base .....	37
4.1.1. Importación y escala de imagen.....	37
4.1.2. Creación de las vías de la intersección .....	38
4.1.3. Composición vehicular .....	38
4.1.4. Composición peatonal.....	39
4.1.5. Flujo total de vehículos .....	39
4.1.6. Rutas vehiculares .....	40
4.1.7. Fases, ciclo y colocación de semáforos .....	40
4.1.8. Velocidades en giros .....	41
4.1.9. Reglas de prioridad en la red.....	42
4.2. Verificación de errores.....	43
4.2.1. Revisión de los datos de entrada .....	43
4.3. Calibración del modelo vehicular .....	43
4.3.1. Parámetros de eficiencia vehicular .....	43
4.3.2. Parámetros de simulación vehicular .....	43
4.3.3. Parámetros de comportamiento del conductor.....	44
4.3.4. Evaluación del número de corridas del modelo .....	44
4.3.5. Prueba de hipótesis nula de igualdad de medias para vehículos .....	45
4.4. Validación del modelo.....	46
4.4.1. Evaluación del número de corridas del modelo .....	46
4.4.2. Prueba de hipótesis nula de igualdad de medias para vehículos .....	47
5 Capítulo 5: Resultados y propuesta de rediseño.....	49
5.1. Resultados de la simulación del escenario actual .....	49
5.1.1. Avenida la Marina O-E.....	49
5.1.2. Avenida La Marina E-O.....	50
5.1.3. Bahía de almacenamiento.....	51
5.1.4. Calles Juan Valer Sandoval y Miguel de Unamuno .....	53
5.1.5. Cruceos peatonales .....	56
5.2. Propuestas de mejora .....	57
5.2.1. Ampliación de los anchos de las veredas .....	58
5.2.2. Reubicación de los cruceos peatonales .....	58
5.2.3. Rediseño de las rampas peatonales .....	61
5.2.4. Mejorar la distribución de tiempos en los semáforos .....	62

5.3. Análisis comparativo entre los resultados obtenidos de la simulación del escenario actual y del rediseño .....	66
5.3.1. Av. La Marina sentido O-E .....	66
5.3.2. Av. La Marina sentido E-O .....	68
5.3.3. Bahía de almacenamiento .....	68
5.3.4. Calles Juan Valer Sandoval y Miguel de Unamuno .....	69
5.3.5. Cruceos peatonales .....	69
5.3.6. Comparación del sistema en conjunto .....	70
6 Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones .....	71
6.1. Conclusiones .....	71
6.2. Recomendaciones .....	72
7 Bibliografía .....	73
ANEXOS.....	75
<b>Anexo A.</b> Tabulación de los resultados obtenidos con las propuestas de mejora .....	75
<b>Anexo B.</b> Escenario actual de la intersección .....	80
<b>Anexo C.</b> Propuesta de rediseño de la intersección .....	81



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Estructura del consumo final de energía por sectores económicos al 2016.....	3
Figura 2.2: Consumo de energía por modo de transporte (vehículos llenos). .....	4
Figura 2.3: Distribución modal de viajes (% de viajes por modo de transporte) en Lima y Callao. ....	4
Figura 2.4: Emisiones de CO2 por millón de pasajeros transportados en Lima.....	5
Figura 2.5: Principal modo de viaje para ir a estudiar o trabajar fuera de casa. ....	5
Figura 2.6: Causas de accidentes de tránsito no fatales en Lima Metropolitana el 2015.....	6
Figura 2.7: Fallecidos por modo de transporte en América Latina, con datos a diciembre del 2014....	7
Figura 2.8: Tasa de motorización al 2009 (N° de autos por 1000 habitantes).....	8
Figura 2.9: Espacio vial consumido por persona por modo de transporte.....	8
Figura 2.10: Bypass entre las avenidas Venezuela y Universitaria. ....	9
Figura 2.11: Tenencia de vehículos por hogar en Lima y Callao, 2012-2015.....	10
Figura 2.12: Pirámide de movilidad sostenible. ....	11
Figura 2.13: Los tres pilares sobre los cuales se apoya el desarrollo sostenible. ....	11
Figura 2.14: Bancos en la acera.....	12
Figura 2.15: Aparcamiento de bicicletas. ....	13
Figura 2.16: Uso de bolardos para canalizar el tránsito de peatones y vehículos. ....	13
Figura 2.17: Cafetería con asientos al aire libre .....	14
Figura 2.18: Bulb-outs en una intersección.....	14
Figura 2.19: Crucero peatonal y barra de parada.....	15
Figura 2.20: Esquina diseñada para acomodar giros de vehículos pesados.....	16
Figura 2.21: Ecuación para determinar ancho de rampa. ....	16
Figura 2.22: Dimensiones mínimas de una rampa peatonal. ....	17
Figura 2.23: Guía para determinar si la longitud de almacenamiento de la bahía es adecuada cuando no hay control de parada.....	18
Figura 2.24: Guía para determinar si la longitud de almacenamiento de la bahía es adecuada cuando hay control de parada.....	18
Figura 2.25: Offset para carriles opuestos de giro a la izquierda. ....	19
Figura 2.26: Delineación de trayectoria de giro a la izquierda. ....	19
Figura 2.27: Ancho efectivo en una calzada.....	20
Figura 2.28: Ancho recomendado para un peatón junto a una persona con discapacidad.....	20
Figura 2.29: Ancho necesario para transitar con coches para bebés en ambos sentidos. ....	21
Figura 2.30: Vista frontal de un semáforo típico.....	22

Figura 2.31: Bike Lane. ....	22
Figura 2.32: Cycle Track. ....	23
Figura 2.33: Representación estabilizada de un modelo.....	25
Figura 3.1: Esquema de la metodología a seguir.....	28
Figura 3.2: Primera parte del esquema de la metodología a seguir para la micro-simulación.....	28
Figura 3.3: Segunda parte del esquema de la metodología a seguir para la micro-simulación.....	29
Figura 3.4: Fotografía de la intersección. ....	31
Figura 3.5: Clasificación vehicular. ....	32
Figura 3.6: Flujograma de la Av. La Marina para ambos sentidos .....	32
Figura 3.7:Flujograma de la Av. Juan Valer para ambos sentidos .....	33
Figura 3.8: Dirección del tránsito peatonal. ....	34
Figura 3.9: Sección tomada en el 4to carril de la Av. La Marina.....	35
Figura 4.1: Herramienta Background Image. ....	37
Figura 4.2: Opción Set Scale.....	37
Figura 4.3: Herramienta Links. ....	38
Figura 4.4: Composición Vehicular.....	38
Figura 4.5: Composición Peatonal.....	39
Figura 4.6: Herramienta Vehicle Inputs. ....	39
Figura 4.7: Herramienta Vehicle Routes. ....	40
Figura 4.8: Herramienta Signal Controller.....	40
Figura 4.9: Fases del semáforo.....	41
Figura 4.10: Herramienta Signal Heads.....	41
Figura 4.11: Herramienta Reduced Speed. ....	42
Figura 4.12: Herramienta Priority Rules. ....	42
Figura 4.13: Parámetros de simulación vehicular. ....	44
Figura 4.14: Parámetros de comportamiento del conductor.....	44
Figura 4.15: Randomization Test - Calibración.....	46
Figura 4.16: Randomization Test - Validación.....	48
Figura 5.1: Boceto de la intersección en cuestión.....	49
Figura 5.2: Bahía de almacenamiento actual. ....	52
Figura 5.3: Intersecciones adyacentes en la Ca. Miguel de Unamuno. ....	54
Figura 5.4: Intersecciones adyacentes en la Ca. Juan Valer Sandoval.....	55

Figura 5.5: Contraste entre la geometría actual y la geometría de la propuesta de rediseño. ....	57
Figura 5.6: Mediana obstaculizando el tránsito peatonal en un crucero. ....	58
Figura 5.7: El crucero canaliza a los peatones hacia un árbol. ....	58
Figura 5.8: Vehículo realizando maniobra temeraria. ....	59
Figura 5.9: Captura de pantalla del rediseño propuesto. ....	59
Figura 5.10: Vehículo de diseño usado para analizar la trayectoria en giros. ....	60
Figura 5.11: Trayectoria de giro a la izquierda desde Av. La Marina hacia la Ca. Unamuno a 15km/hr. ....	60
Figura 5.12: Trayectoria de giro a la izquierda desde la Ca. Unamuno hacia la Av. La Marina a 15 y 20 km/hr. ....	60
Figura 5.13: Rampa actual. ....	61
Figura 5.14: Discontinuidad entre rampa y crucero. ....	61
Figura 5.15: Diagrama actual de fases para vehículos. ....	63
Figura 5.16: Diagrama actual de fases para peatones. ....	63
Figura 5.17: Vehículos que desean girar a la izquierda situados en el centro de la intersección. ....	64
Figura 5.18: Nuevo diagrama de fases para vehículos: fase 1 y fase 2. ....	64
Figura 5.19: Nuevo diagrama de fases para vehículos: fase 3. ....	65
Figura 5.20: Nuevo diagrama de fases para peatones: fase 1 y fase 2. ....	65
Figura 5.21: Nuevo diagrama de fases para peatones: fase 3. ....	66
Figura 5.22: Gráfico comparativo entre el escenario actual y el rediseño, para los parámetros de tiempo de viaje y longitud de cola. ....	66
Figura 5.23: <i>Randomization test</i> para los tiempos de viaje. ....	67
Figura 5.24: <i>Randomization test</i> para los tiempos de viaje. ....	67
Figura 5.25: Gráfico comparativo entre el escenario actual y el rediseño, para el parámetro tiempo de viaje. ....	68
Figura 5.26: Gráfico comparativo entre el escenario actual y el rediseño, para el parámetro longitud de cola. ....	68
Figura 5.27: Gráfico comparativo entre el escenario actual y el rediseño, para el parámetro longitud de cola. ....	69
Figura 5.28: Gráfico comparativo entre el escenario actual y el rediseño, para el parámetro tiempo de viaje. ....	70
Figura 5.29: Gráfico comparativo de parámetros generales entre el escenario actual y el rediseño. ....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Densidad de relaciones humanas según intensidad de tráfico .....	9
Tabla 2.2: Componentes de la bahía .....	18
Tabla 3.1: Velocidades deseadas consideradas en el modelo .....	33
Tabla 3.2: Aforo peatonal .....	34
Tabla 3.3: Velocidad de giros .....	35
Tabla 3.4: Tiempos de viaje para calibración .....	36
Tabla 3.5: Tiempos de viaje para validación .....	36
Tabla 4.1: Tiempos de viaje para calibrar obtenidos de la simulación .....	45
Tabla 4.2: Tiempos de viaje para validar obtenidos de la simulación .....	47
Tabla 5.1: Datos previos al análisis .....	49
Tabla 5.2: Resultados obtenidos de la simulación .....	50
Tabla 5.3: Datos previos al análisis .....	51
Tabla 5.4: Resultados obtenidos de la simulación .....	51
Tabla 5.5: Resultados obtenidos de la simulación .....	52
Tabla 5.6: Longitud de cola en las calles Sandoval y Unamuno.....	53
Tabla 5.7: Datos previos al análisis .....	56
Tabla 5.8: Datos previos al análisis .....	56
Tabla 5.9: Resumen del cálculo de ancho de rampas .....	62
Tabla 5.10: Características de las nuevas rampas peatonales.....	62
Tabla A.1: Resultados obtenidos de la simulación para la Av. La Marina O-E .....	75
Tabla A.2: Resultados obtenidos de la simulación para Av. La Marina E-O.....	76
Tabla A.3: Resultados obtenidos de la simulación para la bahía de almacenamiento .....	77
Tabla A.4: Resultados obtenidos de la simulación para las Calles Juan Valer Sandoval y Miguel de Unamuno .....	78
Tabla A.5: Resultados de tiempo de viaje obtenidos de la simulación para el tránsito peatonal .....	79

# 1 CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

---

El uso de vehículos privados no solo ha aumentado en las últimas décadas, sino que viene siendo incentivado por las actuales políticas de transporte urbano. Esto hace que se requiera de más infraestructura vial, y en caso esta no sea implementada, se genere congestión vehicular. Sumado a esto, el precario sistema de transporte público, la falta de gestión del transporte, la inseguridad de los peatones, la inexistente o inadecuada semaforización, la contaminación ambiental, la exclusión social y el consumo de grandes espacios por parte del sistema vial, generan una reducción en la calidad de vida de los ciudadanos, especialmente de los más vulnerables. Por otro lado, el estado, presionado por la población, toma decisiones simplistas e inadecuadas para tratar de satisfacerla, y así incrementar fácilmente su aceptación popular. Estas decisiones son: la construcción de un *Bypass*, la promulgación de leyes que obligan a construir más estacionamientos, la priorización de infraestructura vial antes que áreas verdes, la priorización del flujo vehicular antes que el bienestar de los peatones, la instalación de rompe-muelles sin el adecuado estudio de impacto vial, entre otros.

La problemática antes mencionada está presente en el Perú, especialmente en la capital, Lima. Ella se ha dado en diferentes ciudades del mundo, por lo que algunas han optado por cambiar la política de transporte por una de movilidad sostenible. El presente trabajo consiste en plantear una propuesta de mejora sostenible en cuanto a movilidad peatonal y vehicular, para la intersección ubicada entre la avenida La Marina y las calles Juan Valer Sandoval y Miguel de Unamuno. Se hará uso de un software de micro-simulación, para evaluar el escenario actual de ella y el de la propuesta de mejora presentada. El software a usar es VISSIM, este fue creado en Alemania durante la década del 90 y debido a su gran capacidad de representar la realidad, viene tomando más notoriedad estos últimos años; especialmente en América Latina.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Plantear una propuesta de mejora sostenible, en cuanto a movilidad peatonal y vehicular, para la intersección ubicada entre la avenida La Marina y las calles Juan Valer Sandoval y Miguel de Unamuno.

### 1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Analizar las condiciones de circulación en la intersección en estudio
- 2) Formular medidas de mejora para la seguridad de los vehículos y peatones

## 1.2. ALCANCE Y LIMITACIONES

El presente proyecto tiene como alcance el estudio de la intersección ubicada en la avenida La Marina y las calles Juan Valer Sandoval y Miguel de Unamuno, en el límite de los distritos San Miguel y Pueblo Libre en la ciudad de Lima. Primero se evaluarán las actuales condiciones de circulación, mediante la micro-simulación en VISSIM. A continuación, se planeará una propuesta de mejora sostenible.

La micro-simulación es válida cuando se la realiza en una pequeña zona en conflicto, como es el caso de una intersección o unas pocas. No es posible realizarla a un conjunto grande de intersecciones

dependientes o a una urbanización, pues los procedimientos de cálculo que se usan, y las teorías, no son válidos.

La precisión de los modelos creados en el software VISSIM está condicionada por la herramienta “Google Earth”, los planos disponibles de la intersección y el replanteo realizado con el fin de ajustar valores.

Las propuestas planteadas mejoran las condiciones de circulación para escenarios similares a los observados en las filmaciones realizadas. Sin embargo, es posible que, en otros periodos de tiempo, las condiciones varíen considerablemente.

Tanto para analizar el escenario actual como para el del rediseño, se consideró que, en casi todas las áreas de conflicto, la prioridad la tienen los peatones. Consideración que puede no verse reflejada en la realidad; sin embargo, sirve para tener una comparación más imparcial y objetiva de ambos escenarios.



## 2 CAPÍTULO 2: ANTECEDENTES

### 2.1. PROBLEMÁTICA GENERADA POR EL ACTUAL ENFOQUE DE TRANSPORTE URBANO

A continuación se hace un análisis de algunos de los grandes conflictos generados por las actuales políticas de transporte urbano, especialmente en el caso de Lima.

#### 2.1.1. CONSUMO DE ENERGÍA

Según el Balance Nacional de Energía, (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2016), el 45% de la energía fue consumida por el sector de transporte, siendo este el sector que más energía consume. Tal porcentaje representa casi el doble del consumo del siguiente, lo cual se puede apreciar en la figura 2.1. Cabe mencionar que su consumo creció, respecto al 2015, en un 6.9%.

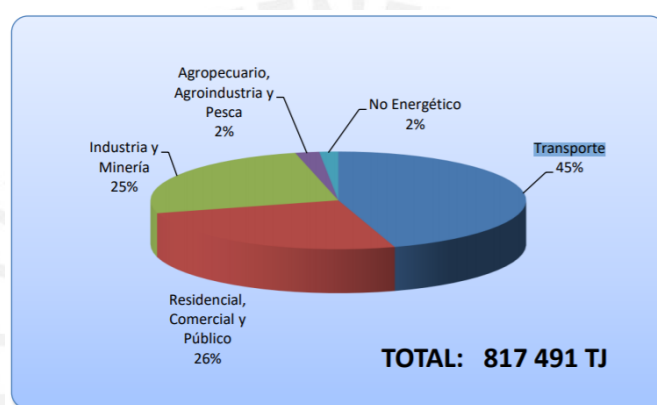
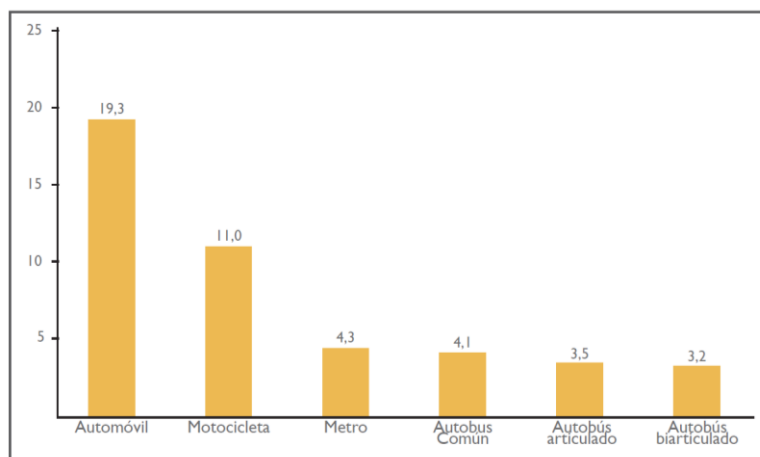


Figura 2.1: Estructura del consumo final de energía por sectores económicos al 2016.

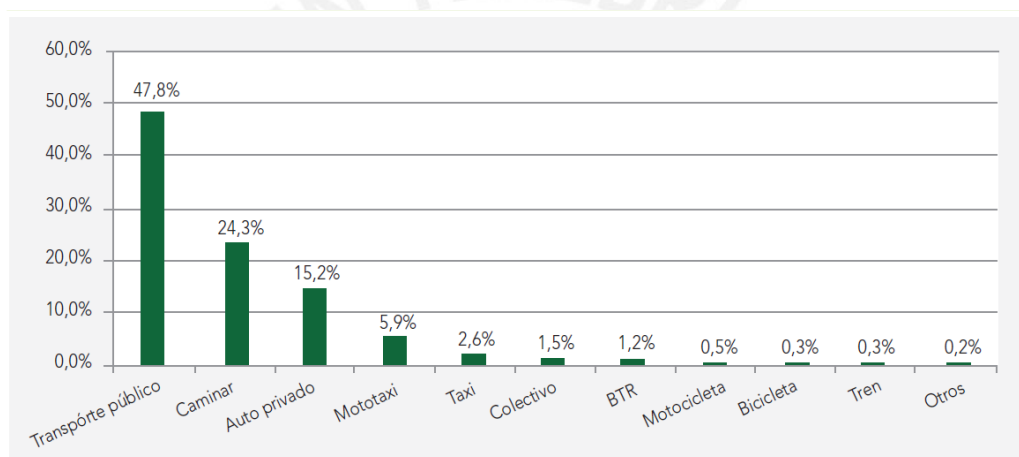
FUENTE: MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS DEL PERÚ (2016)

Si bien todos los modos de transporte motorizados consumen energía para desplazarse no todos son igual de eficientes. Tal como muestra en la figura 2.2, el consumo energético por pasajero de un automóvil es casi 4 veces más que el de un autobús común. Según una investigación realizada por CIES (Consortio de Investigación Económica y Social), en Lima casi el 25% de los viajes se hacen en transporte individual motorizado, mientras que el 48% corresponde a transporte público motorizado. Juntando esta información se obtiene que el consumo de energía en transporte individual es el 250% del consumo de transporte público.



**Figura 2.2: Consumo de energía por modo de transporte (vehículos llenos).**

FUENTE: DEXTRE & AVELLANEDA (2014)



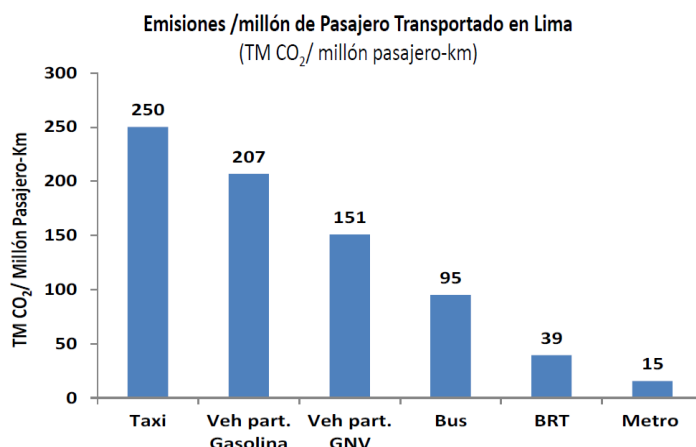
**Figura 2.3: Distribución modal de viajes (% de viajes por modo de transporte) en Lima y Callao.**

FUENTE: CIES (2016)

Adicionalmente es necesario considerar el consumo energético empleado antes de que el vehículo entre en uso. Para un vehículo medio se estima que, antes de haber sido vendido, ya se ha consumido 1.68 TEP (Tonelada Equivalente de Petróleo = 11630 kWh), durante su fabricación. (Dextre & Avellaneda, 2014)

### 2.1.2. CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

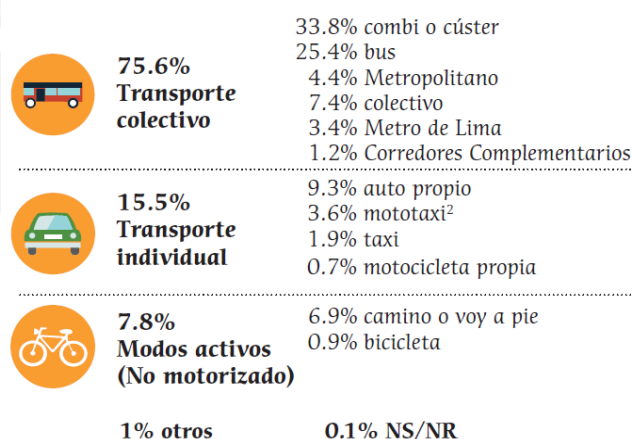
El sector de transporte es uno de los principales causantes de la contaminación atmosférica, el 85% del CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera es producto de los medios de transporte terrestre. Esta contaminación no solo afecta la salud de las personas que están en contacto con los vehículos motorizados, sino que, a escala global, contribuye al efecto invernadero y al cambio climático. Además, a escala regional, provoca la formación del ozono troposférico y lluvia ácida, la cual tiene efectos nocivos para la agricultura y los ecosistemas naturales. (Dextre & Avellaneda, 2014)



**Figura 2.4: Emisiones de CO2 por millón de pasajeros transportados en Lima.**

FUENTE: TAMAYO (2014)

El vehículo particular y taxi, son los principales protagonistas de la contaminación del aire en las ciudades (Obra Social Caja Madrid, 2010), llegando a contaminar más de 6 veces lo que contamina el BRT, y más de 16 en comparación al metro. En Lima, estos dos últimos son los menos usados por la población que requiere ir a estudiar o trabajar. Tal como se puede apreciar en la figura 2.5, apenas el 3.4% de estos viajes son en metro y el 4.4% en metropolitano.



Base: Total de entrevistados que estudia y/o trabaja fuera de casa.

**Figura 2.5: Principal modo de viaje para ir a estudiar o trabajar fuera de casa.**

FUENTE: LIMA CÓMO VAMOS (2015)

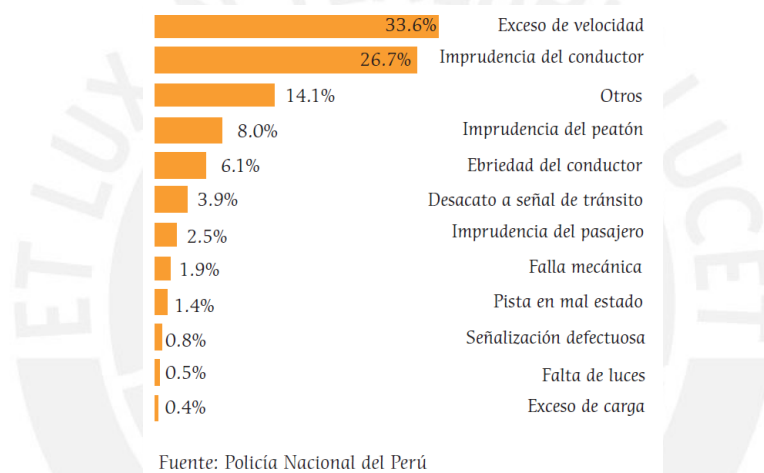
### 2.1.3. SINIESTRALIDAD VIAL

Según una nota descriptiva publicada por la Organización Mundial de la Salud OMS (2017), los traumatismos producto de accidentes de tránsito, se encuentran entre las 10 principales causas de muerte a nivel mundial. La mortalidad por estos accidentes es de 18.3 defunciones por cada 100 000 habitantes, esta cifra se agudiza para el caso de países con ingresos bajos, donde se registra 28.5 defunciones por cada 100 000 habitantes.

En el caso de Lima, según información brindada por la Policía Nacional del Perú al Observatorio Ciudadano Lima Cómo Vamos, a lo largo del 2015 se registraron 48 935 accidentes de tránsito en Lima Metropolitana y 3 554 en el Callao. Del total de accidentes en Lima Metropolitana 401 fueron fatales y 48 534 no fatales.

Con respecto a los accidentes fatales en Lima Metropolitana, la mayoría, el 34%, fueron causados por exceso de velocidad y en segundo lugar se encuentra la imprudencia del peatón con 21.7%. El distrito que presenta el mayor número de accidentes fatales es Comas, seguido de Lurín, Puente Piedra y Villa María del Triunfo. Muchas de estas muertes podrían ser evitadas con una disminución en la velocidad de las calles. (Lima Cómo Vamos, 2015)

En el caso de los accidentes no fatales, la mayoría, el 33.6% fueron causados por exceso de velocidad. En segundo lugar, se encuentra la imprudencia del conductor, con 26.7%. A diferencia de los accidentes fatales, el 66.7% de los accidentes corresponde a choques, y a continuación los atropellos con un 16.1%. (Lima Cómo Vamos, 2015)

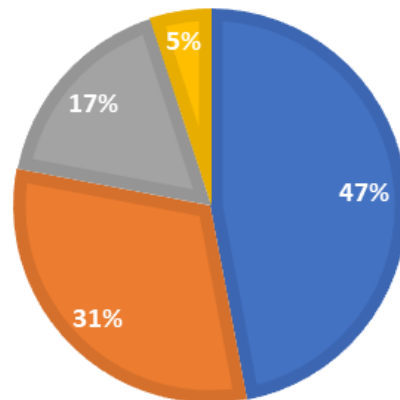


**Figura 2.6: Causas de accidentes de tránsito no fatales en Lima Metropolitana el 2015.**

FUENTE: LIMA CÓMO VAMOS (2015)

El riesgo al usar los diferentes modos de transporte no es el mismo. Esto puede ser confirmado en la siguiente figura, donde se observa que casi la mitad de fallecidos son peatones.

■ Peatones ■ Moto ■ Auto ■ Ciclistas



**Figura 2.7: Fallecidos por modo de transporte en América Latina, con datos a diciembre del 2014.**

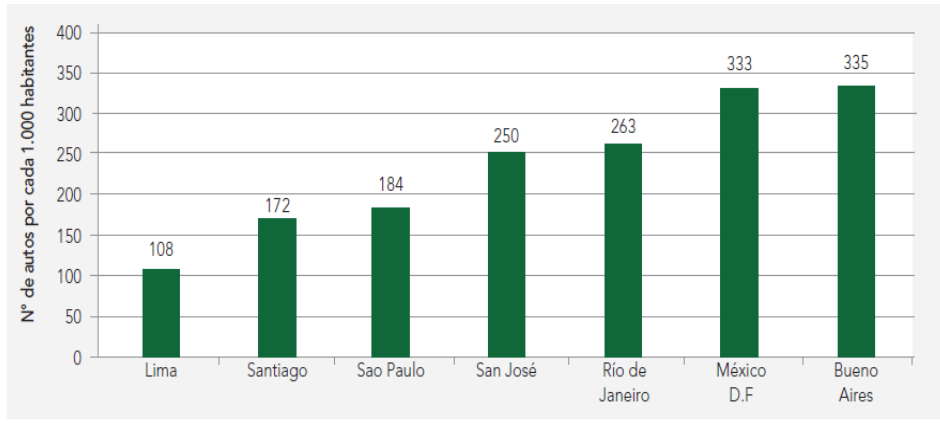
FUENTE: ADAPTADO DE VASCONCELLOS & MENDONÇA (2016)

#### 2.1.4. CONGESTIÓN

La congestión vehicular es un problema cotidiano que afecta a las sociedades modernas y conlleva importantes costes sociales, económicos y ambientales, y además merma la calidad de vida de los ciudadanos. La dispersión urbana juega un rol importante en este asunto, pues ha generado no solo que los residentes de los barrios en expansión tengan que hacer viajes cada vez más largos y frecuentes, sino también una demanda de movilidad más dispersa y difícil de satisfacer por el transporte público, lo que conlleva a la dependencia de vehículos privados. Esta dependencia y la propensión de sus propietarios a realizar la mayor parte de sus viajes en ellos, ha generado que la red vial no sea suficiente para abastecer la demanda. (Obra Social Caja Madrid, 2010)

Las demoras en el tiempo de viaje ocasionadas por la congestión generan un mayor consumo de hidrocarburos, con lo cual se incrementa las emisiones a la atmósfera y se genera un impacto económico adicional. A nivel colectivo las demoras provocan la reducción de la productividad por cansancio y estrés. (Obra Social Caja Madrid, 2010)

En la región de Lima, según La Cámara de Comercio de Lima, en el 2016 había 1.75 millones de vehículos, cifra que representa el 66% de los vehículos a nivel nacional. Si bien hay muchos vehículos, también hay muchos habitantes. La tasa de motorización, en Lima, es una de las más bajas de América Latina, por lo que los problemas de congestión que se vive diariamente, se deben, en mayor parte, a la deficiente gestión de tránsito. Mientras que, en Lima, en una vía mediana semaforizada transitan aproximadamente 400 vehículos por hora, en Santiago, en una vía similar, transitan entre 800 y 1000 vehículos. (CIES, 2016)

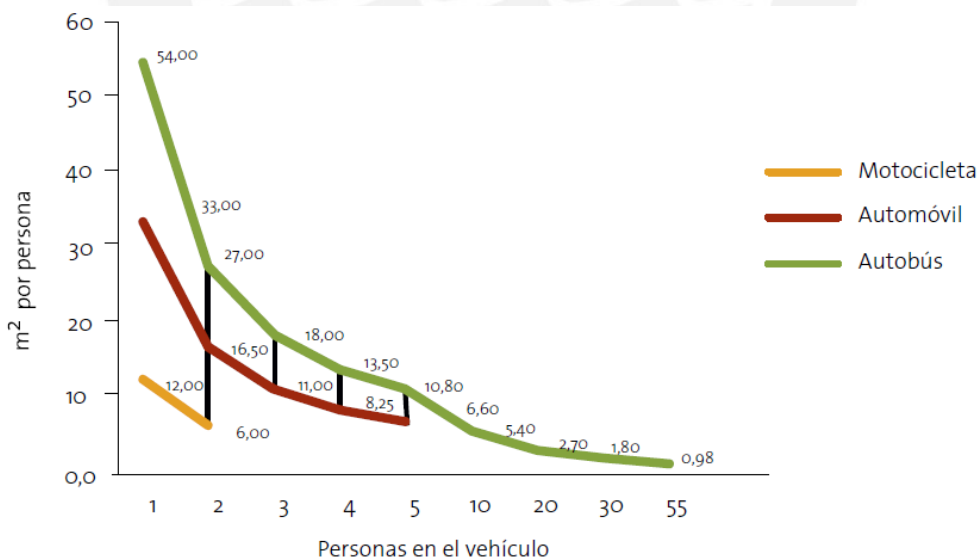


**Figura 2.8: Tasa de motorización al 2009 (N° de autos por 1000 habitantes).**

FUENTE: CIES (2016)

### 2.1.5. CONSUMO DE ESPACIO EN CIRCULACIÓN

El espacio vial que consume una persona está determinado por el tipo de vehículo utilizado. La figura 2.9 muestra el espacio consumido por persona por modo de transporte. Se observa que el espacio consumido en un automóvil, con capacidad para 5 personas, puede variar entre 33 m<sup>2</sup> y 6.6 m<sup>2</sup> por pasajero. En el caso de un autobús con capacidad para 54 pasajeros, el espacio por pasajero puede variar entre 54 m<sup>2</sup> y 1 m<sup>2</sup>. Además, una persona que viaja en un automóvil consume 32 veces más el espacio de una persona que viaja en un autobús lleno. (Alcántara Vasconcellos, 2010)



**Figura 2.9: Espacio vial consumido por persona por modo de transporte.**

FUENTE: ALCÂNTARA VASCONCELLOS (2010)

Por otro lado, los automóviles pasan estacionados entre el 80 y 90% del tiempo, llegando así a desaprovechar esa gran cantidad de espacio urbano en el hogar, oficinas o centros comerciales. Muchas empresas, donde la mayoría de sus empleados van a trabajar en vehículos privados, llegan

a destinar más espacio en estacionamiento que en espacio de trabajo. (Alcántara Vasconcellos, 2010)

### 2.1.6. EFECTO BARRERA: MODIFICACIÓN DE LAS RELACIONES SOCIALES

Se denomina “efecto barrera” al hecho de que el tránsito vehicular impida la interacción social y el desplazamiento en modos no motorizados, tales como la caminata o el uso de bicicletas (Alcántara Vasconcellos, 2010). Tal efecto es producido por la creación de infraestructura vial destinada para vehículos motorizados. Si bien, ella, beneficia a los usuarios que la transitan en estos, perjudica a las personas que viven, trabajan o estudian en la zona; generando, por ejemplo, que los accidentes sean más severos por el aumento de velocidad de los autos, que la circulación peatonal se vea reducida, que los niños pierdan autonomía, que la estética de la zona se vea afectada, entre otros (Dextre & Avellaneda, 2014).



**Figura 2.10: Bypass entre las avenidas Venezuela y Universitaria.**

FUENTE: GOOGLE IMÁGENES (2018)

Una medida para cuantificar el efecto barrera es la intensidad de las relaciones entre los residentes en una misma vía. A continuación, se muestra los resultados de un estudio realizado por Donald Appleyard, profesor de la Universidad de California en Berkeley, donde se puede ver cómo decrece la intensidad cuando se pasa de una vía con tráfico local, a una con tráfico alto. (Dextre & Avellaneda, 2014)

**Tabla 2.1: Densidad de relaciones humanas según intensidad de tráfico**

Nivel del tráfico	Vehículos/día	Índice de relaciones
Local	2000	9.3
Medio	8000	5.4
Alto	16000	4

FUENTE: ALCÁNTARA VASCONCELLOS (2010)

### 2.1.7. EXCLUSIÓN SOCIAL

Actualmente la sociedad está dividida entre quienes tienen acceso al automóvil y quienes no lo tienen. Los primeros son los beneficiados, ya que cuentan con espacios de calidad, la cual ha sido lograda a costa del deterioro de los servicios locales. (Alcántara Vasconcellos, 2010)

Las personas quieren vivir en zonas residenciales atractivas y, al mismo tiempo, tener acceso al trabajo, a servicios y a áreas verdes. Estas posibilidades les son negadas a las que no tienen automóviles, pues el dominio del tránsito por parte de estos representa la expropiación de espacios que antes eran agradables para andar a pie o en bicicleta. Espacios que hoy en día son desagradables y, además, amenazadores.

Servicios como la educación, la salud, el empleo y el ocio deberían ser accesibles a todos los ciudadanos, independientemente de si poseen vehículo privado o no. (Obra Social Caja Madrid, 2010)

En el siguiente cuadro comparativo se puede observar que, en Lima, solo la quinta parte de los hogares cuentan con un vehículo privado. Entonces, se puede inferir que el 80% de los hogares son perjudicados por el actual enfoque de transporte.

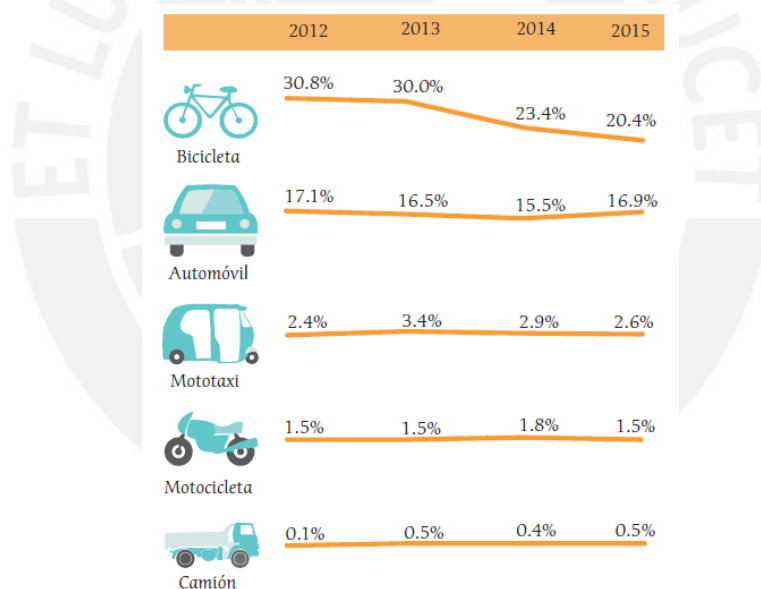


Figura 2.11: Tenencia de vehículos por hogar en Lima y Callao, 2012-2015.

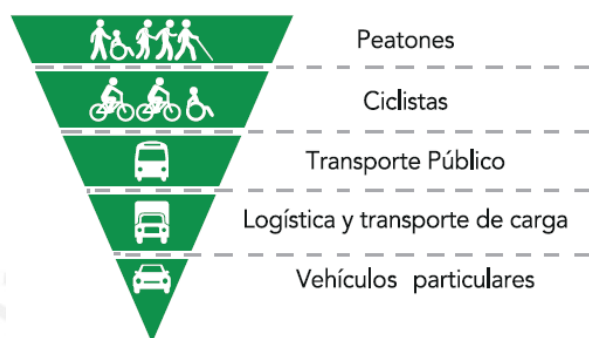
FUENTE: LIMA CÓMO VAMOS (2015)

### 2.2. MOVILIDAD URBANA SOSTENIBLE – VISIÓN GENERAL

Luego de analizar varios de los conflictos del actual enfoque de transporte urbano, está claro que es necesario un cambio. Las políticas de diseño deben centrarse en dar movilidad a los ciudadanos. Según el diccionario de la Real Academia Española, la palabra “movilidad” hace referencia a la cualidad o capacidad de moverse, entonces, Movilidad Urbana viene a ser la capacidad de moverse en la ciudad. Las personas necesitan movilizarse, incluso para poder satisfacer necesidades básicas como la educación y salud. Siguiendo este camino, la movilidad urbana se convierte en una necesidad básica para las personas y, por tanto, un derecho fundamental que debe ser garantizado

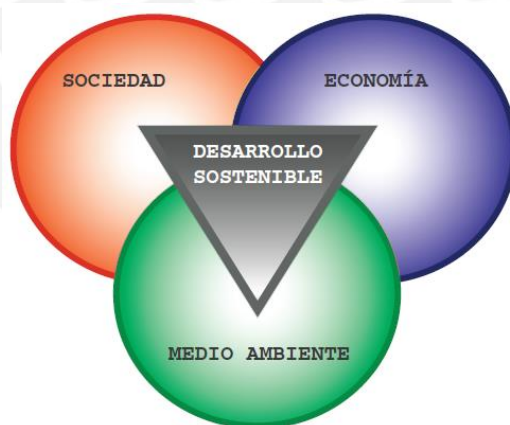
a todos los ciudadanos por igual, sin importar diferencias de condición económica, física o psíquica; género; edad; entre otras. (Obra Social Caja Madrid, 2010)

El enfoque en movilidad urbana sostenible es priorizar la proximidad y accesibilidad, antes que el transporte. Además, se busca que la ciudad sea compacta, así se podrán satisfacer las mismas necesidades, pero con desplazamientos más cortos y autónomos. Y por último, se busca invertir la pirámide y privilegiar la caminata, la bicicleta y el transporte público (CIES, 2016). El término sostenibilidad hace referencia a que la movilidad urbana debe asegurar la protección del medio ambiente, mantener la cohesión social y calidad de vida de los ciudadanos, y, por último, favorecer el desarrollo económico. (Obra Social Caja Madrid, 2010)



**Figura 2.12: Pirámide de movilidad sostenible.**

FUENTE: CIES (2016)



**Figura 2.13: Los tres pilares sobre los cuales se apoya el desarrollo sostenible.**

FUENTE: OBRA SOCIAL CAJA MADRID (2010)

Según (Gestión, 2018), para proporcionar a Lima Metropolitana las soluciones de movilidad segura y eficiente que requiere, se deben considerar los siguientes ejes:

- Desarrollo de una red de transporte público de calidad
- Impulso del transporte no motorizado
- Fomento de la multi-modalidad

- Fortalecimiento de las instituciones públicas
- Fomento de la seguridad y educación

## 2.3. CRITERIOS DE DISEÑO EN UNA INTERSECCIÓN

Dado que el objetivo de este trabajo es plantear una propuesta de mejora sostenible, en cuanto a movilidad peatonal y vehicular para la intersección en cuestión, es necesario saber qué criterios considerar al momento de diseñarla o rediseñarla.

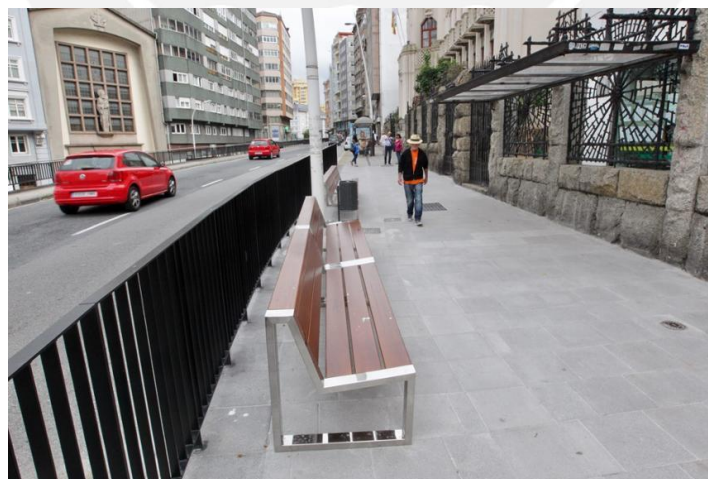
### 2.3.1. MINIMIZAR LA EXPOSICIÓN DE PEATONES AL TRÁFICO VEHICULAR

A continuación, se presenta un conjunto de recomendaciones para lograr minimizar la exposición de peatones al tráfico vehicular tomando como referencia a Better Market Street (2011).

Una estrategia para mejorar la seguridad de los peatones, y a la vez hacer de la caminata una acción cómoda y atractiva, es minimizar o reducir la exposición de estos al tráfico vehicular. Para esto se necesita crear un área amortiguada entre peatones y vehículos motorizados, minimizando así el tiempo que estos puedan pasar en la calzada. A continuación se muestran tres métodos diferentes para lograr este objetivo.

#### **Canalizar a los peatones**

La canalización de peatones se puede lograr con métodos sencillos y de bajo presupuesto como por ejemplo con bancos. Estos se deben colocar a lo largo de la calle, permitiendo que los peatones transiten entre ellos y las fachadas. También se puede colocar otro tipo de mobiliario urbano como fuentes de agua, aparcamiento de bicicletas, bolardos decorativos, contenedores de basura o reciclaje. Esto hace que la calle sea un lugar más animado y atractivo, donde es posible tomar pequeños descansos.



**Figura 2.14: Bancos en la acera.**

FUENTE: GOOGLE IMÁGENES (2018)



**Figura 2.15: Aparcamiento de bicicletas.**

FUENTE: GOOGLE IMÁGENES (2018)



**Figura 2.16: Uso de bolardos para canalizar el tránsito de peatones y vehículos.**

FUENTE: GOOGLE IMÁGENES (2018)

Otro método para canalizar el tránsito peatonal es a través del paisajismo. Esto consiste en plantar arbustos y árboles a lo largo del borde de la acera. Este método ayuda a reducir los cruces a mitad de cuadra. Es importante que estos elementos no obstaculicen el tránsito peatonal y se respete el ancho mínimo efectivo.

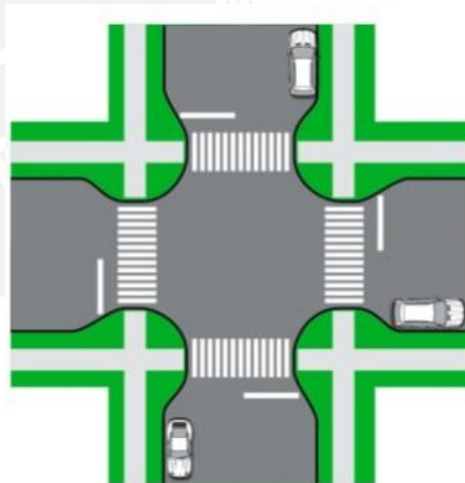


**Figura 2.17: Cafetería con asientos al aire libre**

FUENTE: GOOGLE IMÁGENES (2018)

### **Minimizar la distancia del cruce peatonal**

Reduciendo la distancia del cruce peatonal se logra disminuir la cantidad de tiempo que los peatones pasan en la calzada, por tanto, se reduce los posibles conflictos con los vehículos. Los “bulb-outs” son una alternativa para reducir el recorrido del cruce, con ellos se busca brindar un mayor espacio para que los peatones esperen antes de cruzar una intersección, y además se evita que los autos se estacionen cerca.



**Figura 2.18: Bulb-outs en una intersección.**

FUENTE: GOOGLE IMÁGENES (2018)

### **Desalentar la invasión de los cruceros peatonales por parte de los vehículos**

A menudo los vehículos tienen la tentación de detenerse en el borde de la intersección, invadiendo así el crucero peatonal. Esto, además de generar incomodidad en los peatones los pone en peligro. Una solución a esto es pintar una barra de parada antes del cruce. Con ello se busca que los autos paren y tengan una mayor visibilidad de los peatones.



**Figura 2.19: Cruce peatonal y barra de parada.**

FUENTE: GOOGLE IMÁGENES (2018)

### 2.3.2. MEJORAR LA GEOMETRÍA DE LAS ESQUINAS

A continuación se presentan dos recomendaciones en cuanto a la geometría que deben tener las esquinas en las intersecciones, estas fueron realizadas usando de referencia a (Ministerio de Vivienda y Urbanismo - Gobierno de Chile, 2009) y (ITDP, 2016)

#### **Radio de giro**

El diseño de las esquinas tiene un alto impacto en la funcionalidad de la intersección. Primero se debe entender la diferencia entre giro nominal y radio de giro real o efectivo. El primero es la curvatura real de la esquina, mientras que el radio de giro real está referido a la curvatura que siguen los vehículos al momento de doblar la esquina. Este último varía en función de los elementos físicos que hay en la esquina, tales como: vehículos estacionados, ciclovías, entre otros.

Los radios de giro pequeños tienen grandes ventajas para los peatones como aumentar el área de espera y almacenamiento peatonal antes de cruzar, proveer espacio y flexibilidad para la instalación de rampas, reducir la distancia de cruce entre las dos esquinas de la calle y obligar a los vehículos a que reduzcan su velocidad al momento de girar. Si bien estos radios de giro pueden resultar difíciles de ejecutar para vehículos motorizados grandes, la presencia de estacionamientos o ciclovías a lo largo del cordón y cuneta, aumentan su radio de giro efectivo, logrando que puedan girar.



**Figura 2.20: Esquina diseñada para acomodar giros de vehículos pesados.**

FUENTE: ITDP (2016)

Un radio de giro nominal de 1,5 a 3,0 m es recomendable donde sea posible, especialmente en intersecciones donde haya un alto volumen de peatones cruzando la calle, un bajo volumen de vehículos pesados o ciclovías. Por otro lado, es recomendable que el máximo radio de giro efectivo no supere los 10 m.

### **Rampas**

Las rampas proveen de una transición más suave entre la acera y la calzada, y es especialmente útil para personas que usan silla de ruedas o carritos. El diseño de ellas es muy importante para proveer accesibilidad y conectividad a las personas con discapacidades físicas.

La ubicación de las rampas debe seguir la línea de deseo de los peatones a través de la intersección. Para pasar de una vereda a la otra, la rampa debe estar ubicada al inicio y fin del cruce peatonal, es por esto que generalmente se necesita de dos rampas peatonales en cada esquina.

Con respecto a las características de las rampas, es ideal que estas tengan el ancho del cruce peatonal, para así facilitar el uso por parte de todos los usuarios; sin embargo, también se debe tener en cuenta el costo de instalación, por lo cual el ancho puede ser determinado por la fórmula presentada a continuación.

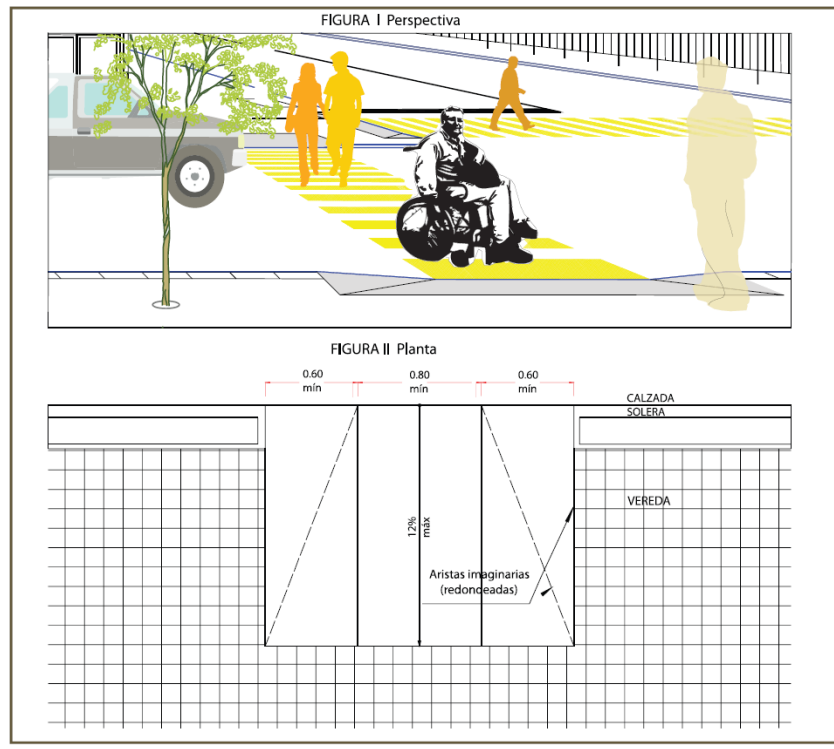
$l =$	$\frac{F \text{ (peatones / s)}}{d \text{ (peatones / m}^2\text{) } \times v \text{ (m/s) } \times (1 - i/100)}$	<p><math>l</math> = ancho de la banda  <math>F</math> = volumen del flujo peatonal  <math>i</math> = pendiente de la rampa  <math>d</math> = densidad del flujo  <math>v</math> = velocidad del flujo</p>
-------	--	---

**Figura 2.21: Ecuación para determinar ancho de rampa.**

FUENTE: MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO - GOBIERNO DE CHILE (2009)

Es recomendable considerar un ancho mínimo de rampa de 2m (ver figura 22).

La pendiente de las rampas debe ser menor al 12%, para facilitar la espera de personas en silla de ruedas y/o con carritos. Además, es importante pintar una franja de advertencia con un color y textura resaltante para advertir a las personas de la presencia de la rampa.



**Figura 2.22: Dimensiones mínimas de una rampa peatonal.**

FUENTE: MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO - GOBIERNO DE CHILE (2009)

### 2.3.3. PROPORCIONAR O MEJORAR LA CANALIZACIÓN A LA IZQUIERDA

A continuación, se muestra un conjunto de recomendaciones para lograr una adecuada canalización de los vehículos que requieren girar a la izquierda. Para esto se utilizó como referencia a (NCHRP, 2001) y (NCHRP, 2004)

El giro a la izquierda debe ser evitado o controlado en lo posible pues puede generar graves accidentes, una forma de controlarlo es mediante carriles exclusivos de giro a la izquierda. Estos permiten separar el trayecto recto del trayecto curvo de los vehículos, reduciendo así la probabilidad de ocurrencia de colisiones traseras y aligerando el tránsito.

Hay 3 parámetros importantes a tener en cuenta en estos carriles:

#### **Longitud de bahía**

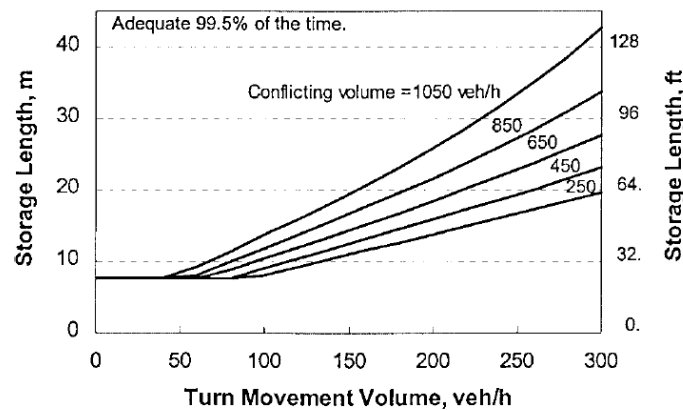
Esta debe ser tal que permita contener a todos los vehículos que requieran girar, si estos sobrepasan la capacidad de la bahía, la seguridad y operatividad de la intersección se verá afectada. Además, ella dependerá del control de parada en la intersección, esto se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 2.2: Componentes de la bahía**

Approach Control	Length Components	
	Left-Turn Bay	Right-Turn Bay
Unstopped	Storage Length + Deceleration Length	Deceleration Length
Stopped	Storage Length	Storage Length

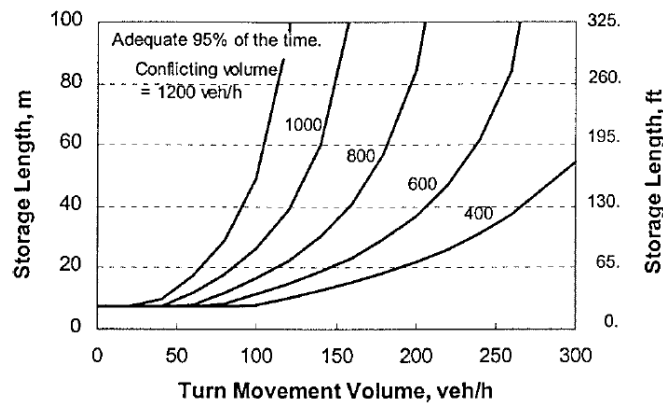
FUENTE: NCHRP (2001)

Cuando la aproximación vehicular es controlada por una parada es común usar una bahía con 95% de probabilidad de no ser desbordada. Por otro lado, cuando ella no es controlada, es recomendable usar una bahía que permita ser desbordada solo con un 0.5 por ciento de probabilidad. A continuación, se muestran los dos gráficos correspondientes, es interesante notar que en ambos la longitud mínima es aproximadamente 8m.



**Figura 2.23: Guía para determinar si la longitud de almacenamiento de la bahía es adecuada cuando no hay control de parada.**

FUENTE: NCHRP (2001)

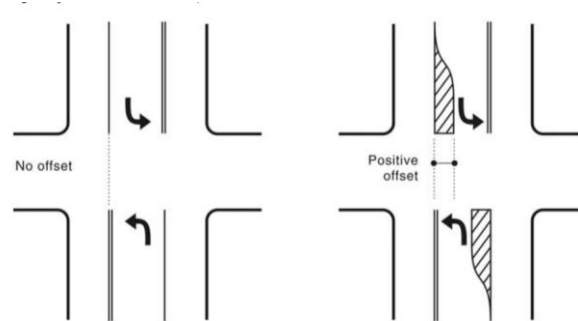


**Figura 2.24: Guía para determinar si la longitud de almacenamiento de la bahía es adecuada cuando hay control de parada.**

FUENTE: NCHRP (2001)

### **Proveer compensación positiva para carriles de giro a la izquierda**

Cuando hay dos carriles opuestos de giro a la izquierda en una avenida se puede generar conflictos por falta de visión o posibles colisiones. Para evitar esto se debe mover lateralmente estos carriles y así lograr mejorar la seguridad y las operaciones del movimiento del giro a la izquierda (Ver figura 2.25)



**Figura 2.25: Offset para carriles opuestos de giro a la izquierda.**

FUENTE: NCHRP (2004)

Un método para lograr este desplazamiento es pintando una franja más ancha en el lado derecho del carril de giro a la izquierda, logrando que los vehículos se posicionen más cerca a la mediana.

### **Delinear trayectoria de giro**

Inclusive en intersecciones semaforizadas, la confusión del conductor puede existir al momento de elegir el camino de giro adecuado. Este problema se agudiza cuando en la intersección hay múltiples carriles de giro a la izquierda, el área total del pavimento de la intersección es grande, hay presencia de elementos no familiares para los conductores, etc. La delineación de las trayectorias de giro es especialmente útil para el caso en que los conductores hacen giros a la izquierda simultáneos opuestos, ver figura 2.26.

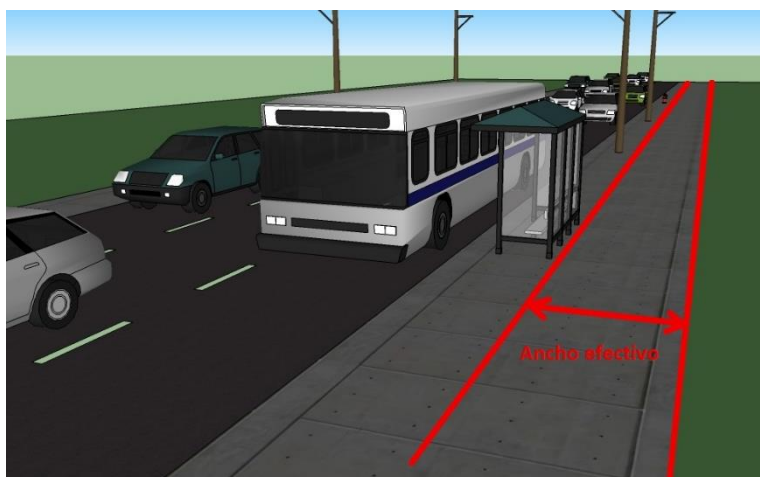


**Figura 2.26: Delineación de trayectoria de giro a la izquierda.**

FUENTE: NCHRP (2004)

#### 2.3.4. ANCHOS ADECUADOS DE VEREDAS Y CRUCEROS

Primero es necesario definir ancho efectivo. Este viene a ser el ancho en el que no hay obstáculos que impidan la libre circulación.



**Figura 2.27: Ancho efectivo en una calzada.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

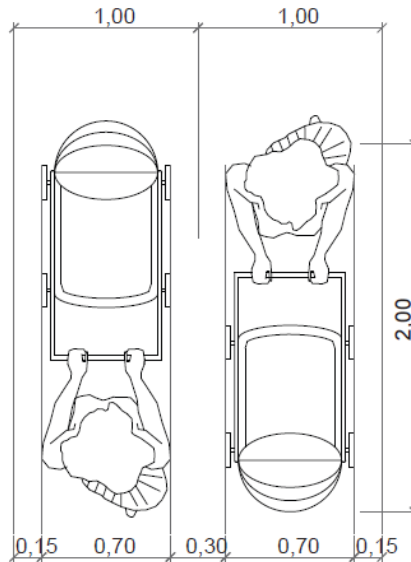
El ancho efectivo de las veredas y los cruces debe ser establecido en base al caudal de personas que por ahí transite. Sin embargo, se debe establecer un valor mínimo que tenga en cuenta a las personas con discapacidad, pues estas necesitan de un mayor espacio para circular (Cabrera, 2015). A continuación, se presentan unos valores típicos.



**Figura 2.28: Ancho recomendado para un peatón junto a una persona con discapacidad.**

FUENTE: A PIE (2004)

Se observa que el ancho necesario para que transite una persona con discapacidad y un acompañante es de 1.5 m. Por otro lado, el ancho necesario para que una persona en silla de ruedas gire es de 1.80 m.



**Figura 2.29: Ancho necesario para transitar con coches para bebés en ambos sentidos.**

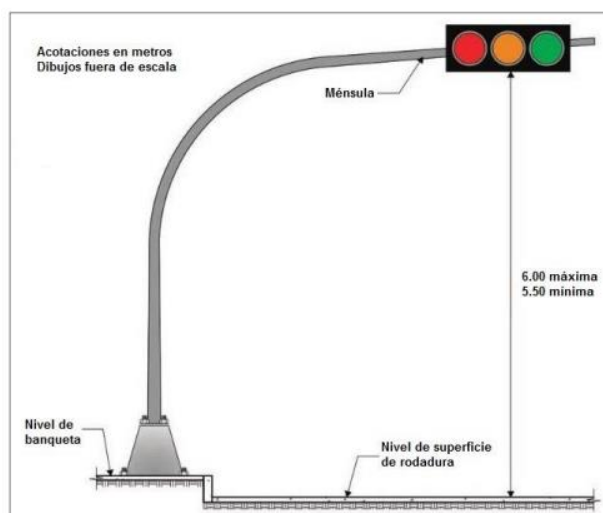
FUENTE: MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO - GOBIERNO DE CHILE (2009)

Con un ancho efectivo de **2 metros** la silla de ruedas se desplaza y gira con tranquilidad; y además dos personas con coches para bebés o carritos pueden circular en ambos sentidos. Por tanto, este es el ancho mínimo efectivo que se propone en el presente trabajo, tanto para veredas, como para cruces peatonales.

### 2.3.5. SEMAFORIZACIÓN

Un semáforo pre sincronizado es un dispositivo que sirve para controlar el tránsito y regular la circulación, de vehículos y peatones, haciendo que estos se detengan o avancen de acuerdo a una programación de tiempo determinado o a una serie de dichas programaciones establecidas (MTC, 2016). Casi el 100% de los semáforos son de este tipo en el Perú. Su uso ayuda a mejorar el tránsito de peatones y vehículos; así como también, aumenta su seguridad y tranquilidad.

La instalación de un semáforo se justifica siempre y cuando se cumpla una serie de requisitos planteados en el Manual de Dispositivos de Control de Tránsito, los cuales tienen que ver con el caudal de vehículos y peatones que transitan en la intersección, accidentes, características geométricas de la intersección, visibilidad, entre otros.



**Figura 2.30: Vista frontal de un semáforo típico.**

FUENTE: MTC (2016)

## 2.4. BIKE LANES Y CYCLE TRACK (CICLO VÍAS)

### 2.4.1. BIKE LANES

Una *Bike Lane* se define como una parte de la calle o avenida, que ha sido delimitada mediante pintura o señalización para el uso preferencial o exclusivo de ciclistas. Esta vía para bicicletas les permite transitar libremente sin la obstrucción del tránsito automovilístico. Su ubicación debe ser al costado derecho de la calle o avenida, para que automóviles y bicicletas transiten en el mismo sentido; con esto se busca reducir la cantidad e intensidad de los accidentes que se puedan presentar. (NACTO, 2018)



**Figura 2.31: Bike Lane.**

FUENTE: NACTO (2018)

### 2.4.2. CYCLE TRACK

Un *Cycle Track* es una instalación exclusiva para bicicletas, la cual, a diferencia de la *Bike Lane*, está físicamente separada de la vía para automóviles, vía de estacionamiento y acera. Esta instalación

puede ser de uno o dos carriles y puede estar al mismo nivel de la calle o más elevada. Debe estar correctamente delimitada mediante infraestructura, como por ejemplo medianas elevadas, bolardos, sardineles, entre otros. (NACTO, 2018)

La ventaja principal de las *Cycle Track* es que proporcionan un mayor nivel de seguridad que las *Bike Lanes*, y además son más atractivas, tanto para ciclistas como para peatones.



**Figura 2.32: Cycle Track.**

FUENTE: NACTO (2018)

## 2.5. MICRO-SIMULACIÓN

La gran complejidad de los flujos de tránsito y las dificultades de poder realizar pruebas o experimentos con el tráfico en el mundo real hacen que la simulación sea una herramienta de análisis importante en la Gestión del Tránsito. Con ella se busca representar, en un modelo virtual, el comportamiento vehicular y peatonal en pequeñas áreas no tan complejas, como es el caso de una intersección vehicular. Cuando la simulación intenta analizar el flujo de tránsito modelando las interacciones vehículo-vehículo, recibe el nombre de micro-simulación. Para lograr esto se sigue las teorías de seguimiento vehicular y cambio de carril desarrolladas entre 1950 y 1960. (Mathew, 2014)

Una característica importante de la micro-simulación es que los resultados obtenidos son probabilísticos, mas no determinísticos, es decir que no hay un único resultado, sino más bien, un intervalo con determinado nivel de confianza (Cabrera, 2015). Para este proyecto se usará 95%, pues es un nivel alto de confiabilidad muy usado en este tipo de proyectos.

### 2.5.1. FUNDAMENTOS DE LA MICRO-SIMULACIÓN - VISSIM

#### **Nivel de aleatoriedad en el flujo del tráfico**

Hay dos maneras en que se puede presentar el nivel de aleatoriedad en el flujo de tráfico dentro de los softwares, determinística y estocástica. En la primera no hay variación en las características de los agentes que participan en el modelo: la agresividad con la que manejan los conductores o la misma longitud con la que cuentan los vehículos. Por otro lado, en un nivel estocástico, a estos agentes se les asignan determinadas características en base a distribuciones estadísticas. (Alcalá, 2016)

### Número semilla

Es necesario usar números aleatorios generados a partir de un solo valor inicial (semilla), dentro de cada análisis, para así minimizar los errores en la simulación. Estos números representan un determinado comportamiento (pasivo, agresivo, etc) en los agentes involucrados en el modelo (motos, camiones, buses, etc). (Alvarez, 2017)

### Número de corridas

Dado que el modelo es de naturaleza estocástica, mientras más veces se ejecute la simulación, se obtendrá mejores resultados. Esto ya que en cada corrida el número semilla irá cambiando. (Flores, 2016)

Para determinar el número de corridas adecuado, la FHWA (2004) propone evaluar el modelo con al menos 4 corridas y obtener el valor de la media y la desviación estándar

$$S^2 = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1} \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

S = desviación estándar

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

$\bar{x}$  = promedio de los valores de x

N = número de corridas

A continuación, se debe asignar un porcentaje de confiabilidad y margen de error. Y con la ecuación 2 se podrá determinar el número de corridas apropiado. Para ello se iterará hasta que N satisfaga tal ecuación.

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

Donde:

e= margen de error

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

S = desviación estándar

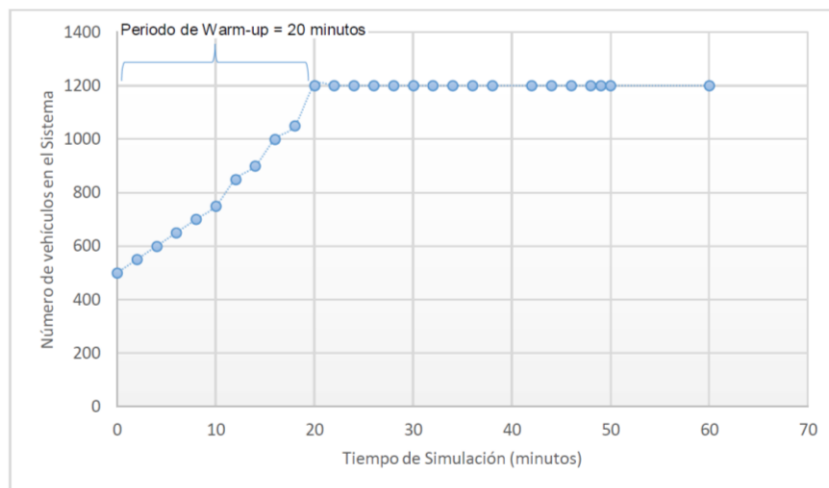
N= número de corridas obtenido

La PTV recomienda entre 5 a 20 corridas dependiendo de la aplicación utilizada.

### Periodo de estabilización del sistema (warm up)

El periodo de estabilización es el tiempo inicial necesario para que el tráfico se establezca, pues es importante tener en cuenta que al inicio de la simulación ( $t=0$ ) no hay vehículos ni peatones en el modelo. Los resultados de la evaluación deben obtenerse sin tomar en cuenta este periodo pues durante el mismo no se representa la realidad.

Según la FHWA se obtuvo que el periodo mínimo de estabilización del sistema es de 10 minutos de simulación. A continuación, se muestra un gráfico de “número de vehículos en el sistema” vs “tiempo de simulación” en el que el periodo de estabilización fue de 20 minutos.



**Figura 2.33: Representación estabilizada de un modelo.**

FUENTE: ALVAREZ (2017) A PARTIR DE FHWA (2004)

### Parámetros de eficiencia

Los parámetros de eficiencia son datos de salida que nos da el programa de micro-simulación, con estos se puede saber cuáles son las condiciones del tráfico en el lugar estudiado. A continuación, se presentan los parámetros más representativos (Flores, 2016)

- **Tiempo de viaje:** Tiempo que demora un vehículo o peatón, en pasar una sección establecida en el modelo, indicando el lugar de inicio y fin. Este parámetro es determinante al calibrar el modelo.
- **Demoras:** Se mide en s/veh y se refiere al tiempo que cada vehículo pasa estático. Este parámetro es evaluado en una sección establecida, o en todo el modelo
- **Longitudes de cola:** Mide la distancia que hay entre el primer vehículo estático y el último. En el software se deberá indicar el lugar que se desea analizar, siendo el más adecuado donde están las líneas de detención

### **Calibración del modelo**

La calibración es un proceso que busca que el modelo logre una representación adecuada de las condiciones reales, para esto se ajustan los parámetros de eficiencia, tales como: longitudes de cola, tiempo de viaje, velocidad, etc.

En el presente proyecto se realizará una prueba estadística no paramétrica para sustentar la calibración. Esta también es conocida como *Randomization Test*.

### **Validación del modelo**

La validación es un proceso en el que se busca verificar que los resultados obtenidos del modelo se ajustan a la realidad. Para esto se necesita una segunda sesión de trabajo de campo, en la cual se deben tomar nuevos datos de entrada, para luego evaluarlos en el modelo. Este proceso solo será satisfactorio si los resultados coinciden con la realidad, para esto se volverá a usar un *Randomization Test*.



### 3 CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

---

En el presente trabajo de investigación se busca mejorar las condiciones de circulación de vehículos y peatones en la intersección ubicada entre la avenida La Marina y las calles Juan Valer Sandoval y Miguel de Unamuno, para esto se planteará una propuesta de mejora.

Como primer paso se realizó una inspección visual de la intersección con el fin de identificar los principales problemas que afectan la circulación. Después se revisó manuales de diseño de intersecciones para pasar a plantear posibles soluciones a los problemas identificados.

La siguiente etapa corresponde a la micro-simulación, a la cual se le otorgó gran énfasis, pues con ella se busca analizar las condiciones actuales de circulación y cuantificar las mejoras planteadas en la propuesta de rediseño.

Primero se procede a recolectar los datos de campo necesarios para poder desarrollar el modelo en VISSIM. Es necesario definir una fecha y el equipo necesario para este paso. A continuación, se ordenan estos datos en tablas o gráficos para luego ser ingresados a VISSIM.

Después sigue el modelamiento usando VISSIM. Ello comprende la construcción del modelo y el ingreso de los datos de entrada. En el capítulo 4 se detalla el proceso.

Una vez obtenido un primer modelo se procede a verificar errores en la geometría, en los datos ingresados y en los parámetros de la simulación. Además, es necesario revisar las reglas de prioridad y los conectores presentes.

Luego se realiza la calibración del modelo. Esta se hace con el fin de ajustar las condiciones de circulación del modelo a las de la realidad, para ello se hace una prueba de hipótesis a alguno de los parámetros de eficiencia, con un determinado nivel de confiabilidad. En el presente trabajo la calibración se realizó mediante una prueba no paramétrica, *randomization test*, al tiempo de viaje, con una confiabilidad del 95%.

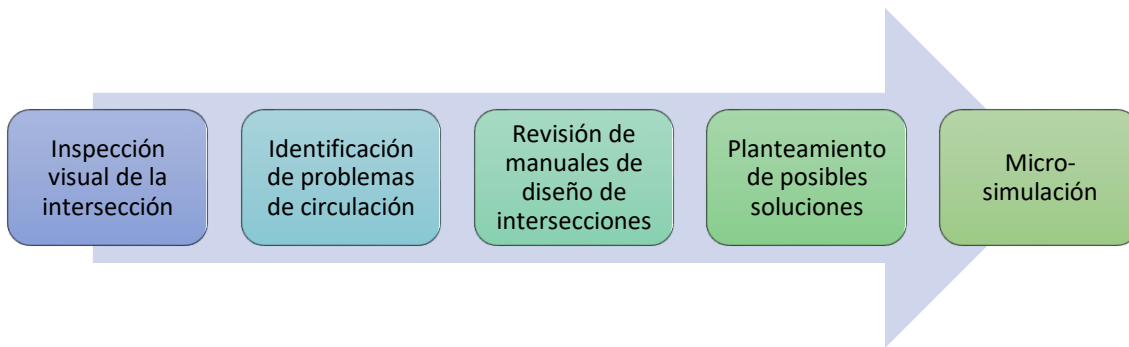
Después de calibrar el modelo es necesario hacer la validación del mismo con el fin de comprobar que sigue siendo válido ante una nueva situación. Para ello se deben tomar nuevos datos de campo que deben ser ingresados y evaluados en el modelo. Al igual que en la calibración, se hace una prueba de hipótesis a alguno de los parámetros de eficiencia, con un determinado nivel de confianza. En el presente trabajo la validación se realizó mediante una prueba no paramétrica, *randomization test*, al tiempo de viaje, con una confiabilidad del 95%.

Al tener al modelo calibrado y validado, se procede a la evaluación y el análisis de las actuales condiciones de circulación de la intersección en estudio.

Luego, con los resultados obtenidos, se plantea una nueva propuesta que cuenta con un conjunto de mejoras para solucionar o mejorar las actuales condiciones de circulación. Ella debe ser modelada en VISSIM a fin de poder cuantificar las mejoras obtenidas.

Finalmente, con la nueva propuesta se realiza la documentación del proyecto donde se presentan las mejoras y la evaluación de los parámetros de eficiencia de la nueva propuesta. Además, se detallan las conclusiones y recomendaciones finales.

A continuación, se presenta el esquema de la metodología a seguir.



**Figura 3.1: Esquema de la metodología a seguir.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



**Figura 3.2: Primera parte del esquema de la metodología a seguir para la micro-simulación.**

FUENTE: ADAPTADO DE ALCALÁ (2016) Y FLORES (2016)

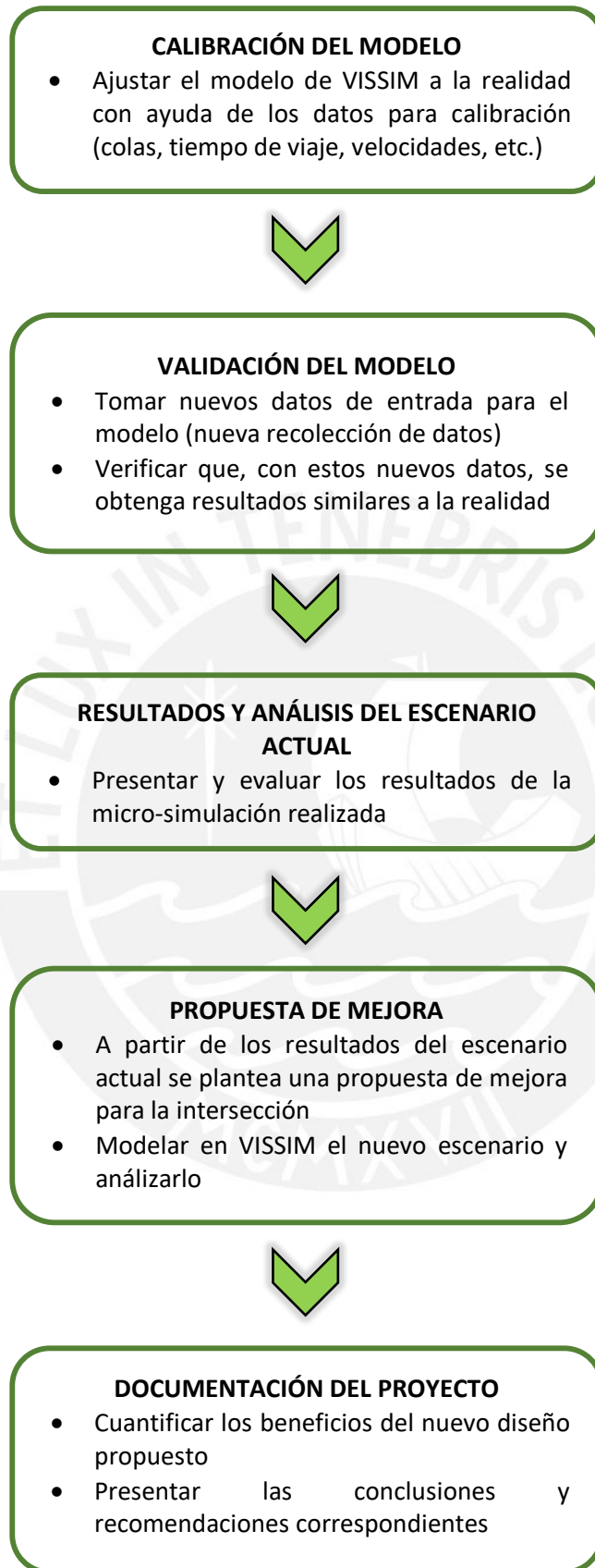


Figura 3.3: Segunda parte del esquema de la metodología a seguir para la micro-simulación.

FUENTE: ADAPTADO DE ALCALÁ (2016) Y FLORES (2016)

### 3.1. INSPECCIÓN VISUAL DE LA INTERSECCIÓN

Se recorrió la intersección en cuestión durante varios días, entre la mañana y la tarde. El objetivo principal fue observar las condiciones de circulación e identificar los principales problemas que enfrentan quienes la transitan. Además, se examinó la zona en su conjunto para determinar agentes externos que puedan incidir en su funcionamiento.

### 3.2. IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS DE CIRCULACIÓN

Con respecto al tránsito vehicular en la intersección se identificaron los siguientes potenciales problemas:

- La demanda de los vehículos que giran a la izquierda es alta y genera conflictos con los vehículos que transitan de frente.
- La longitud de la bahía de almacenamiento en el carril exclusivo de giro a la izquierda es insuficiente
- En las calles Juan Valer Sandoval y Miguel de Unamuno se forman largas colas de vehículos. Además, estos llegan a esperar 2 minutos con 17 segundos hasta que el semáforo se ponga en verde

Con respecto al tránsito peatonal se identificaron los siguientes:

- Se transita con dificultad por el reducido ancho de las aceras.
- Los cruces no tienen continuidad con las rampas y canalizan a los peatones hacia espacios inaccesibles
- Las rampas tienen un ancho insuficiente
- Los peatones llegan a esperar 2 minutos con 17 segundos hasta que el semáforo se ponga en verde

### 3.3. REVISIÓN DE MANUALES DE DISEÑO DE INTERSECCIÓN

Con el fin de ampliar el conocimiento en cuanto al diseño que debe tener una intersección se consultaron manuales internacionales de diseño de intersecciones, tales como: Ministerio de Vivienda y Urbanismo – Gobierno de Chile (2009), ITDP (2016), NCHRP (2004), NCHRP (2001) y NACTO (2018), Better Market Street (2011).

### 3.4. PLANTEAMIENTO DE POSIBLES SOLUCIONES

- Ampliar de los anchos de las veredas
- Rediseño de rampas
- Reubicar los cruces peatonales
- Cambiar la distribución de tiempos en los semáforos

### 3.5. RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS DE CAMPO

La toma de datos necesaria para la creación del modelo y su respectiva calibración se realizó el martes 11 de septiembre del 2018 a las 5:30pm. Para ello se filmó el lugar durante 1 hora. Además, fue necesario realizar la toma de datos para validación, esta se hizo el martes 9 de octubre del 2018 a las 5:30 pm.

#### 3.5.1. EQUIPO NECESARIO PARA LA TOMA DE DATOS

Para la toma de datos en campo se utilizó una cámara GoPro con la que se grabó la intersección durante 1 hora. De la filmación se extrajeron todos los datos necesarios, tales como: velocidades, aforos, tipo de vehículos, tiempos de viaje, entre otros.

#### 3.5.2. DATOS FUNDAMENTALES PARA LA CREACIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO

- **Geometría del área analizada**

Las características geométricas de la intersección se obtuvieron principalmente de Google Earth. Además, se usó como apoyo las filmaciones y las fotografías tomadas a la intersección.



**Figura 3.4: Fotografía de la intersección.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- **Aforo vehicular**

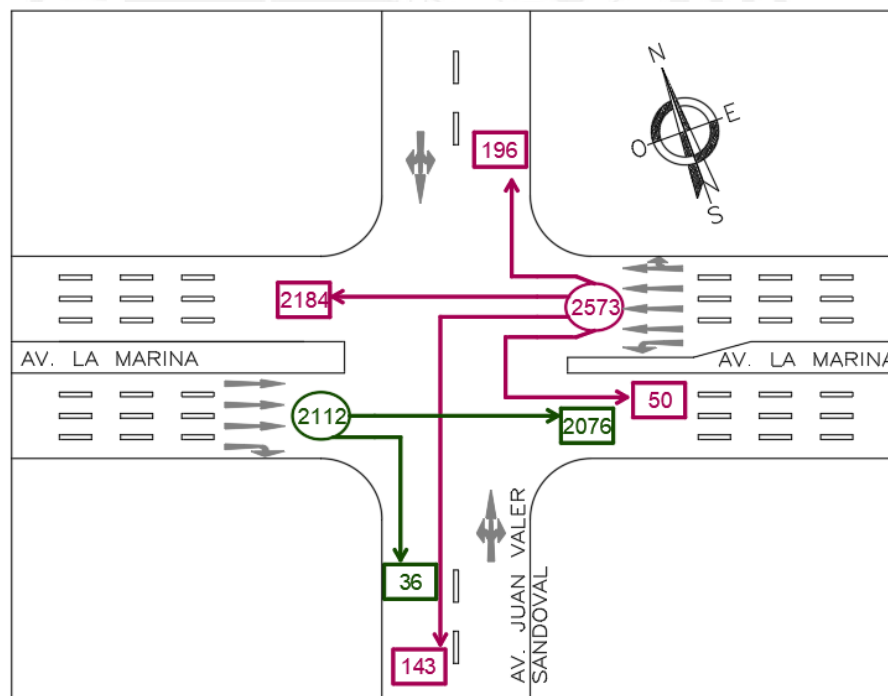
A continuación se muestra los diferentes vehículos que transitan en la intersección.



**Figura 3.5: Clasificación vehicular.**

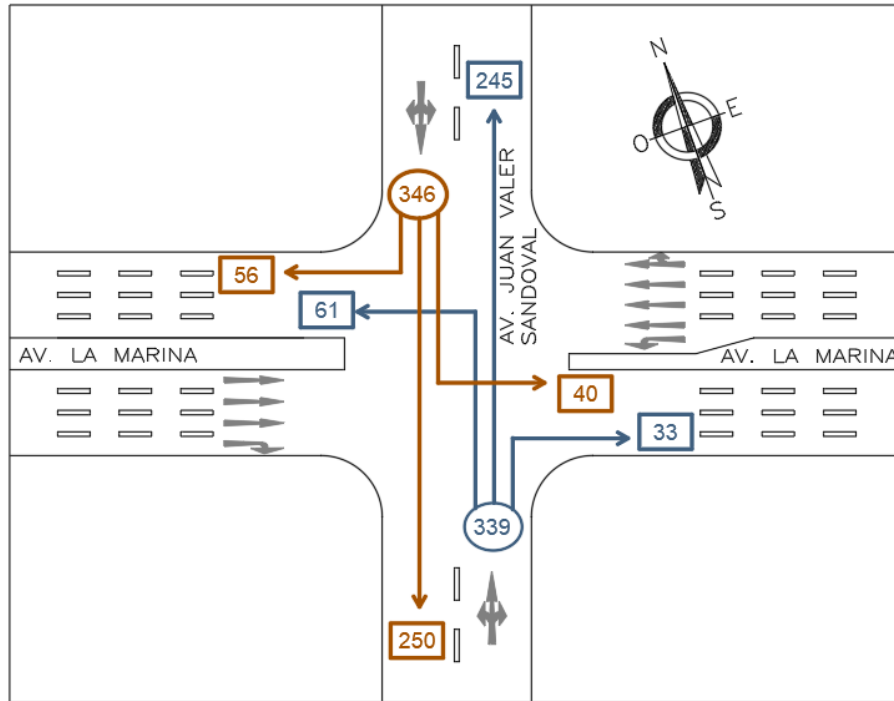
FUENTE: FLORES (2016)

A continuación se muestran los flujogramas del aforo de vehículos, de acuerdo a su recorrido.



**Figura 3.6: Flujograma de la Av. La Marina para ambos sentidos.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



**Figura 3.7:Flujograma de la Av. Juan Valer para ambos sentidos.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- **Velocidad deseada de vehículos**

En VISSIM se optó por considerar a los autos, combis y custers dentro del grupo “Car”. Los camiones, buses y motos se consideraron por separado.

Para la velocidad deseada de vehículos se consideró los siguientes valores estándar.

**Tabla 3.1: Velocidades deseadas consideradas en el modelo**

VehType	DesSpeedDistr
100: Car	50: 50 km/h
200: HGV	40: 40 km/h
300: Bus	40: 40 km/h
600: Bike	60: 60 km/h

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- **Aforo peatones**

Para obtener este aforo se contó cuantas personas transitan los cruces peatonales durante la grabación. A continuación, se muestra la tabla resumen de este conteo.

Tabla 3.2: Aforo peatonal

AFOROS PEATONALES		
No	Dirección	Volumen
1	Pueblo Libre - San Miguel 1	188
2	Pueblo Libre - San Miguel 2	105
3	San Miguel - Pueblo Libre 1	130
4	San Miguel - Pueblo Libre 2	120
5	Jesus María - Plaza SM 1	132
6	Jesus María - Plaza SM 2	192
7	Plaza SM - Jesus María 1	75
8	Plaza SM - Jesus María 2	68

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

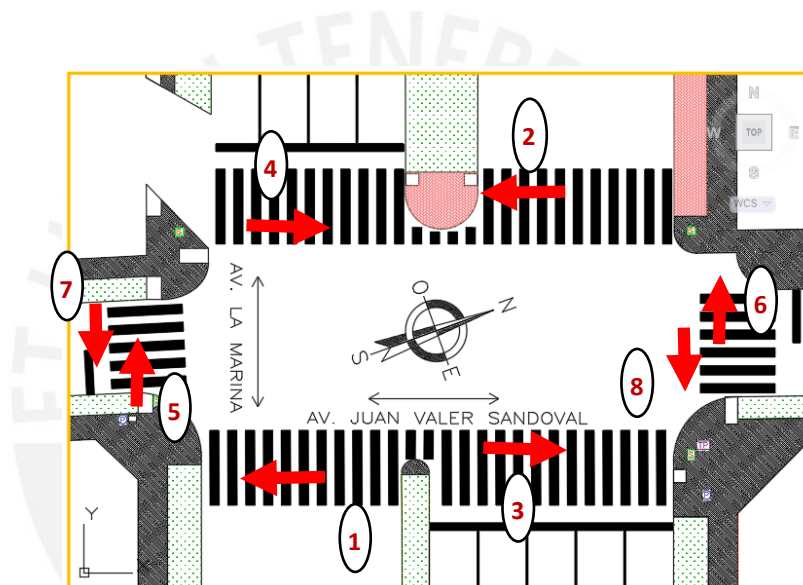


Figura 3.8: Dirección del tránsito peatonal.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

➤ **Velocidad deseada de peatones**

Se consideró una velocidad estándar promedio de 5 km/h.

➤ **Velocidad de giro deseada**

Para estimar la velocidad de giro deseada, se delimitó una sección en donde se midió el tiempo que les toma a los vehículos pasarla. A continuación, se obtuvo la velocidad asociada, y se sacó el promedio. Finalmente, tal como se puede apreciar en la siguiente tabla, la velocidad de giro a la izquierda es de aproximadamente 15 km/h y para giros en U, 12km/h.

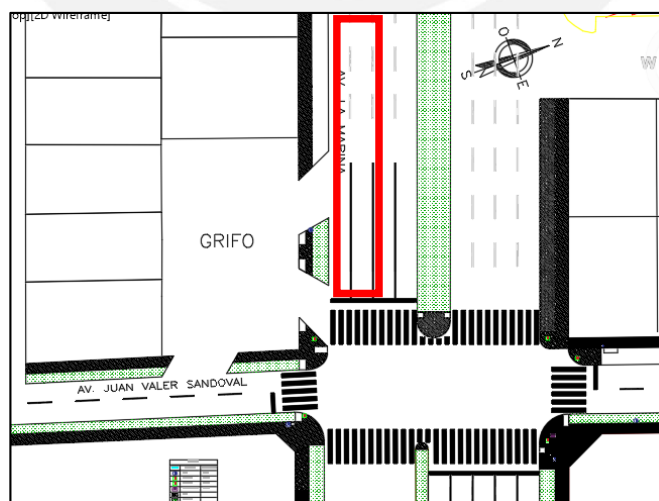
**Tabla 3.3: Velocidad de giros**

GIRO A LA IZQUIERDA			GIROS EN U			
Longitud		14.49 m	Longitud		9.98 m	
Autos	Tiempo	Vel (km/h)	Autos	Tiempo	Vel (km/h)	
	1	3.29	15.86	1	3.06	11.74
	2	4.35	11.99	2	3.42	10.51
	3	3.93	13.27	3	3	11.98
	4	3.2	16.30	4	3.05	11.78
	5	3.16	16.51	5	3.8	9.45
	6	4	13.04	6	2.9	12.39
	7	3.72	14.02	7	3.84	9.36
	8	3.29	15.86	8	2.6	13.82
	9	3.84	13.58	9	2.73	13.16
	10	3.15	16.56	10	3	11.98
	11	3.78	13.80	11	3.55	10.12
	12	3.14	16.61	12	3.19	11.26
	13	3.88	13.44	13	2.93	12.26
	14	3.2	16.30	14	2.9	12.39
	15	3.96	13.17	15	2.88	12.48
		<b>Vel_media=</b>	<b>14.69</b>	16	3.2	11.23
					<b>Vel_media=</b>	<b>11.62</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 3.5.3. TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR PARA LA CALIBRACIÓN

Se delimitó una sección en los carriles 3 y 4 de la Av. La Marina (Figura 3.9), donde se tomó el tiempo de viaje de 30 vehículos (Tabla 3.4). Se observa que la desviación estándar es muy alta, pues mientras algunos vehículos transitan la sección en flujo libre, otros llegan a esperar más de 80 segundos hasta que el semáforo cambie a verde.



**Figura 3.9: Sección tomada en el 4to carril de la Av. La Marina.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**Tabla 3.4: Tiempos de viaje para calibración**

Vehículo	Tiempo de viaje (s)	Vehículo	Tiempo de viaje (s)
1	29	16	6.4
2	6.3	17	20
3	5.9	18	76
4	7	19	6.2
5	5.2	20	5.8
6	6.6	21	85
7	88	22	7.3
8	82	23	22
9	24	24	83
10	8.9	25	71
11	6.7	26	8.2
12	75	27	7
13	5.27	28	55
14	7.3	29	13
15	6.1	30	5.9
<b>Media=</b>			<b>27.8</b>
<b>Desv. Estand=</b>			<b>31.09</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

#### 3.5.4. DATOS FUNDAMENTALES PARA LA VALIDACIÓN DEL MODELO

Se tomó los tiempos de viaje para 30 vehículos que transitan la sección antes delimitada. Al igual que para la calibración, la desviación estándar de los datos es muy alta por lo ya explicado.

**Tabla 3.5: Tiempos de viaje para validación**

Vehículo	Tiempo de viaje (s)	Vehículo	Tiempo de viaje (s)
1	74	16	87
2	7.3	17	7.4
3	5.1	18	29.4
4	3.4	19	81
5	73	20	4.4
6	5.6	21	5.65
7	6.1	22	41
8	76	23	6.3
9	6.88	24	5.6
10	82	25	7.4
11	73	26	44
12	4.8	27	70
13	5.8	28	4.79
14	6.76	29	72
15	27.5	30	6.1
<b>Media=</b>			<b>31.0</b>
<b>Desv. Estand=</b>			<b>32.11</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

## 4 CAPÍTULO 4: MODELO DE MICRO-SIMULACIÓN DE LA INTERSECCIÓN

En este capítulo se desarrolla el modelo de la intersección haciendo uso de VISSIM y de los datos de entrada previamente procesados. Además, se detallan y explican las consideraciones asumidas.

### 4.1. DESARROLLO DEL MODELO BASE

#### 4.1.1. IMPORTACIÓN Y ESCALA DE IMAGEN

Para poder desarrollar un modelo de la intersección se requiere de la geometría de la intersección. VISSIM cuenta con una herramienta que permite insertar una imagen de fondo la cual servirá como guía para crear la red (Figura 4.1).

Una vez insertada la imagen es necesario escalarla mediante la opción *Set Scale* (Figura 4.2). Para esto se debe marcar un segmento conocido de la imagen y colocar su respectiva longitud en metros.

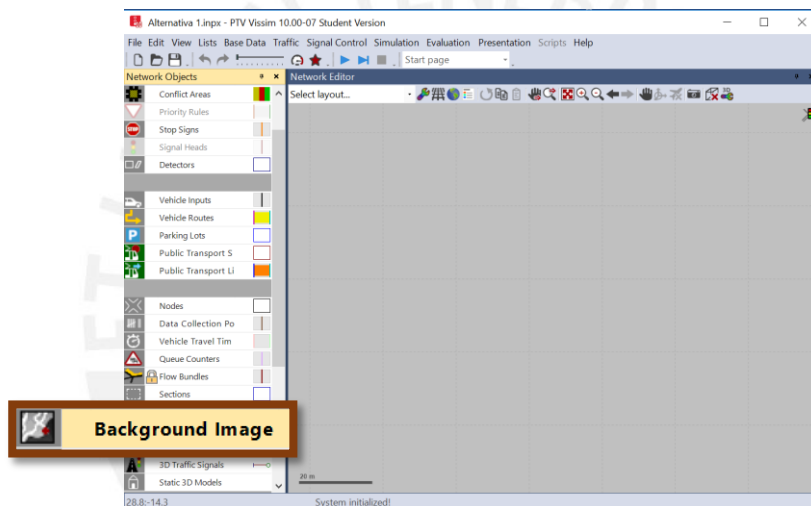


Figura 4.1: Herramienta Background Image.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

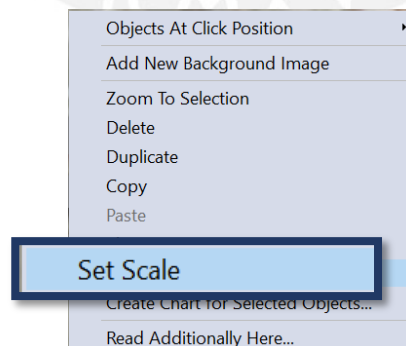


Figura 4.2: Opción Set Scale.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

#### 4.1.2. CREACIÓN DE LAS VÍAS DE LA INTERSECCIÓN

Una vez escalada la imagen de fondo, se procede a la creación de los carriles vehiculares y peatonales de la intersección. Para ello se usa la herramienta *Links*, y haciendo click derecho en la pantalla se los va dibujando. A continuación, en caso sea necesario, se debe conectar tales carriles mediante la misma herramienta

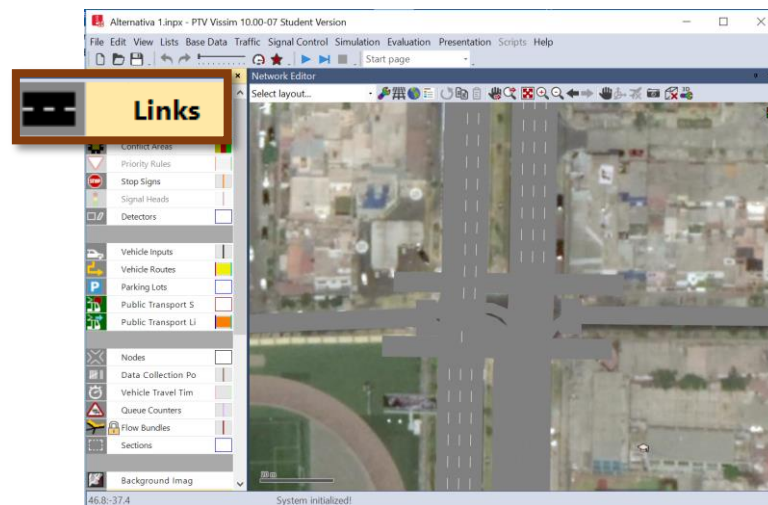


Figura 4.3: Herramienta Links.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

#### 4.1.3. COMPOSICIÓN VEHICULAR

Luego se debe establecer las composiciones vehiculares de los links creados. Para ello se usa la herramienta *Traffic / Vehicle Compositions*. Esta permite establecer qué porcentaje del total de vehículos que transitan la vía, son del tipo *Car* (Automóviles), *HGV* (Camiones), *Bus* o *Bike* (Motos); así como también, establecer la velocidad deseada para cada tipo.

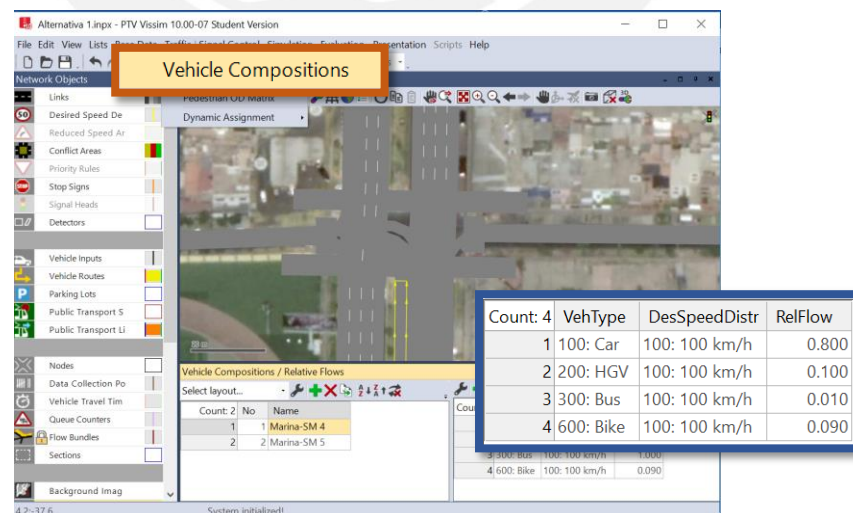


Figura 4.4: Composición Vehicular.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

#### 4.1.4. COMPOSICIÓN PEATONAL

También se debe establecer las composiciones peatonales de los links creados. Para ello se usa la herramienta *Traffic / Pedestrian Compositions*. Esta permite establecer qué porcentaje del total de peatones que transitan el cruce, son hombres, mujeres, mujeres con niños, entre otros; así como también, establecer la velocidad deseada para cada tipo.

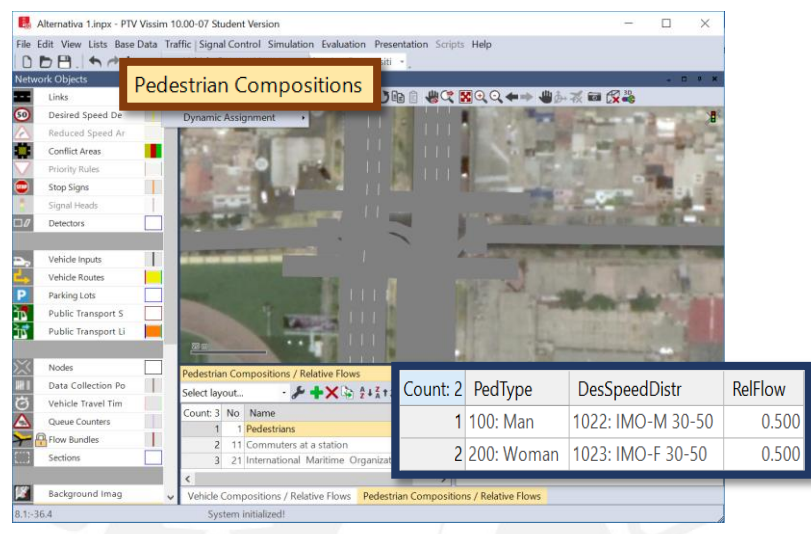


Figura 4.5: Composición Peatonal.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

#### 4.1.5. FLUJO TOTAL DE VEHÍCULOS

Mediante la herramienta *Vehicle Inputs* se puede ingresar la cantidad de vehículos que transitan las vías dibujadas y además asignar la composición vehicular previamente establecida (figura 4.5). Para acceder a la lista de *Vehicle Inputs* se hace click derecho en *Vehicle Inputs / Show List*.

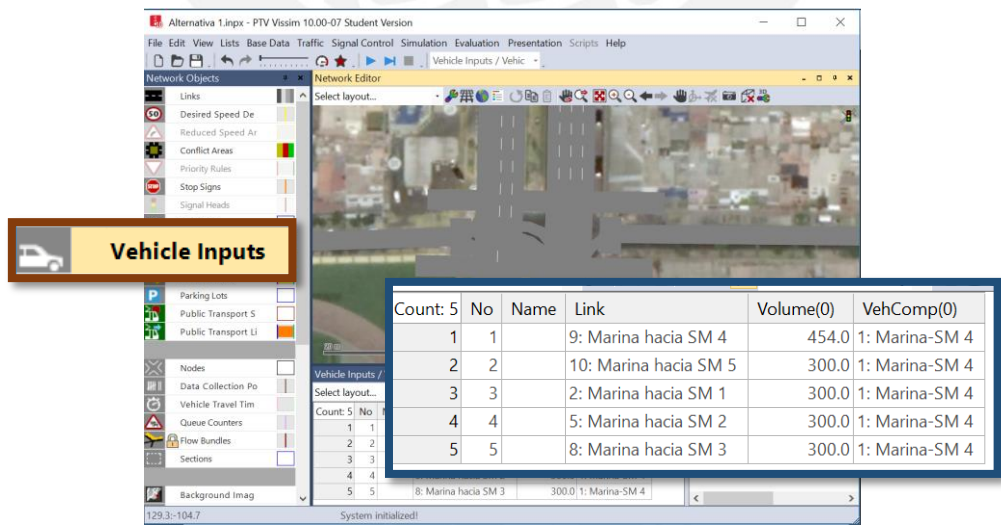


Figura 4.6: Herramienta Vehicle Inputs.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

#### 4.1.6. RUTAS VEHICULARES

Vissim necesita que se establezcan las rutas que siguen los vehículos, así como el porcentaje de estos que las transitan. Para ello se usa la herramienta Vehicle Routes, con la cual, al hacer click en una vía, se establece el punto de partida, seguidamente se debe marcar los puntos finales de cada una de las rutas.

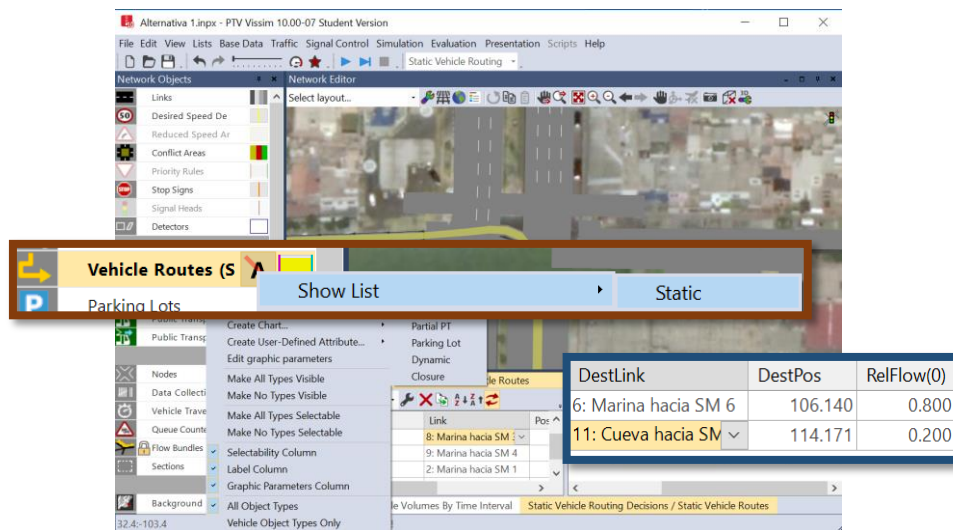


Figura 4.7: Herramienta Vehicle Routes.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

#### 4.1.7. FASES, CICLO Y COLOCACIÓN DE SEMÁFOROS

Para ingresar las fases del semáforo se debe ir a la opción *Signal Controls / Signal Controllers*. Luego se añade un *Signal controller* y aparecerá una ventana donde se va a la opción de *Edit Signal Control* (figura 4.8).

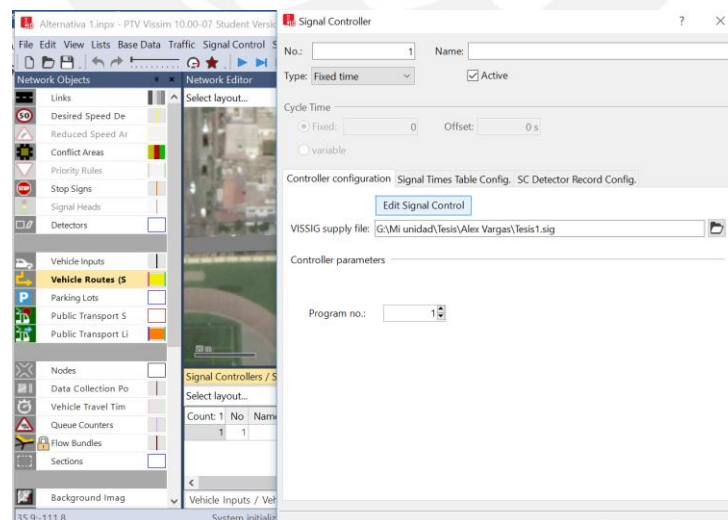
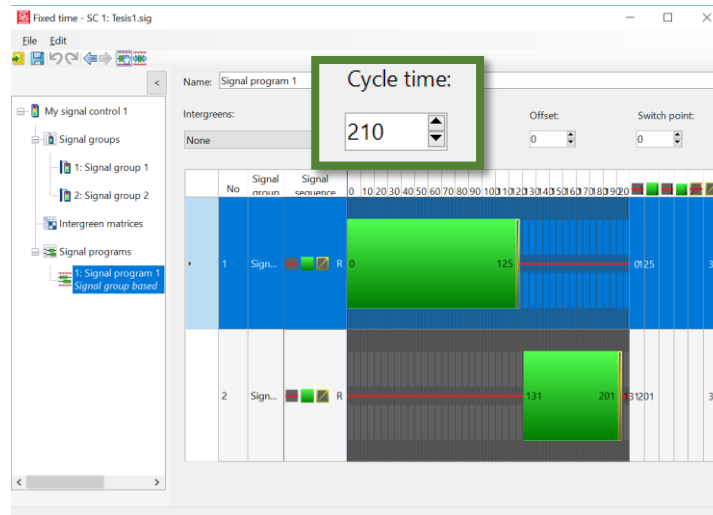


Figura 4.8: Herramienta Signal Controller.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

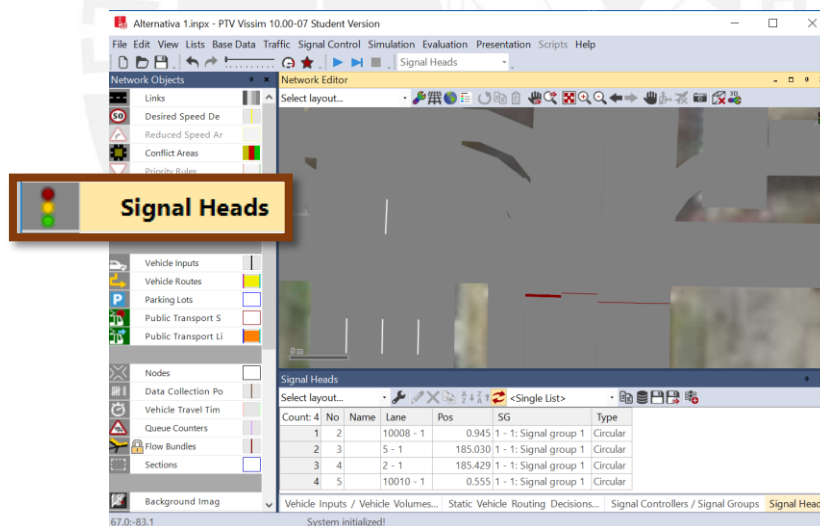
Después se debe crear los *signal groups* respectivos y ingresar los tiempos correspondientes a cada fase (figura 4.9).



**Figura 4.9: Fases del semáforo.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Finalmente se podrá colocar los semáforos correspondientes con la herramienta *Signal Heads* y click derecho (figura 4.10).



**Figura 4.10: Herramienta Signal Heads.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

#### 4.1.8. VELOCIDADES EN GIROS

Dado que en los giros los vehículos reducen su velocidad, es necesario que el modelo refleje este comportamiento. Vissim permite crear áreas de velocidad reducida según el tipo de vehículo que se especifique. Para ello se usa la herramienta *Reduced Speed Areas* y con click derecho se delimita el área.

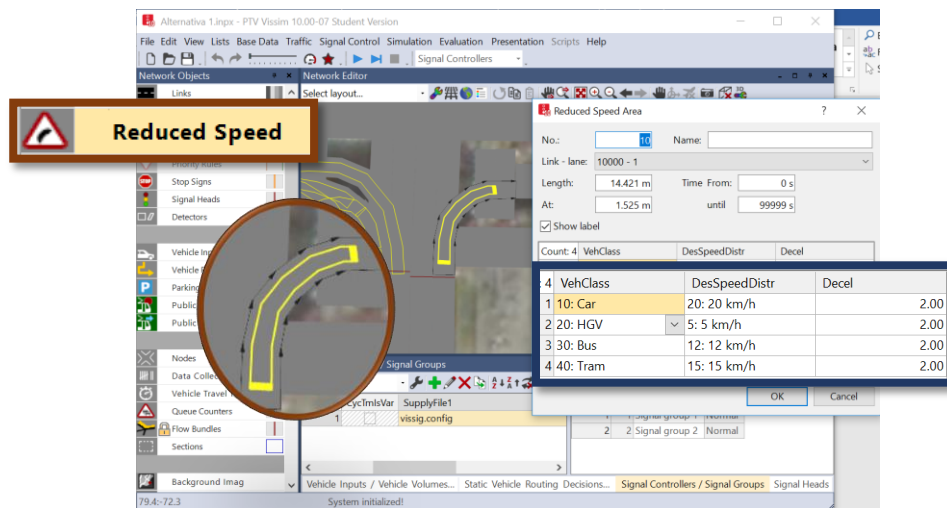


Figura 4.11: Herramienta Reduced Speed.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

#### 4.1.9. REGLAS DE PRIORIDAD EN LA RED

Vissim permite asignar prioridad de paso entre los agentes que transitan la intersección. Para ello se usa la herramienta *Priority Rules* con la que primero se marca la vía que debe ceder el paso y a continuación la que tiene prioridad (figura 4.12). En el presente modelo fue necesario colocar varias reglas de prioridad en la zona donde se intersecan los giros hacia la izquierda y los carriles de la avenida La Marina.

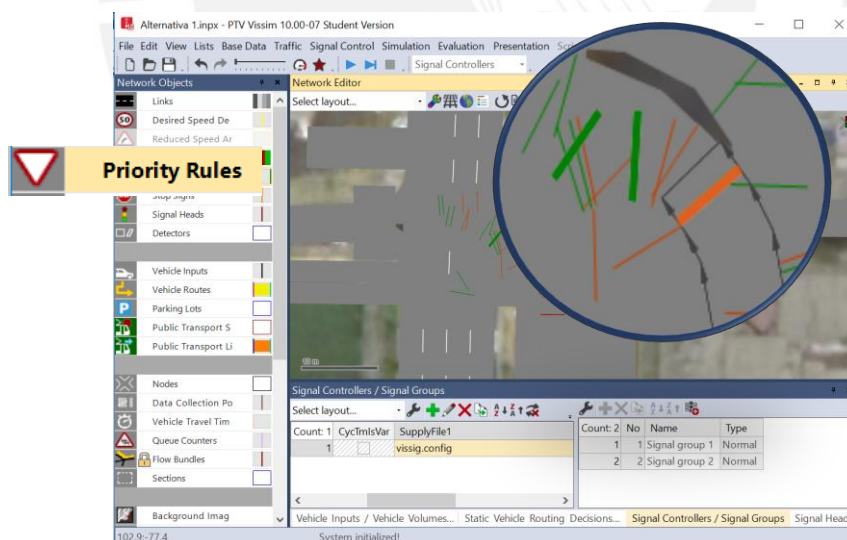


Figura 4.12: Herramienta Priority Rules.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

En algunas zonas es necesario establecer una doble, o incluso triple, regla de prioridad para poder reflejar las condiciones reales en el modelo.

## 4.2. VERIFICACIÓN DE ERRORES

Una vez terminado el modelo se pasa a la etapa de revisión de errores. Para ello se sigue las indicaciones del FHWA (2004), las que contemplan la revisión de dos aspectos, los datos de entrada y la animación.

### 4.2.1. REVISIÓN DE LOS DATOS DE ENTRADA

La FHWA (2004) recomienda revisar lo siguiente:

#### 1) Los links y los nodos en la red

- a. Revisar que toda la red esté conectada
- b. Revisar la geometría de los links (longitudes, número de carriles, velocidades, entre otros)
- c. Verificar que no haya giros prohibidos, cierres de carril y restricciones de carril

#### 2) Demanda

- a. Verificar las proporciones de mezcla de tipos de vehículos en cada nodo o zona de entrada
- b. Verificar que los volúmenes en el modelo correspondan a los procesados

#### 3) Comportamiento y características de los vehículos

Verificar que los vehículos cumplan con las dimensiones y rendimientos correspondientes

## 4.3. CALIBRACIÓN DEL MODELO VEHICULAR

Con la calibración se busca ajustar las condiciones reales al modelo, para esto primero se debe establecer con qué parámetro de eficiencia trabajar, y luego pasar a configurar los parámetros de simulación vehicular y de comportamiento de los conductores.

### 4.3.1. PARÁMETROS DE EFICIENCIA VEHICULAR

Para este trabajo se decidió calibrar el modelo usando el parámetro de eficiencia "Tiempo de viaje". Para obtener el tiempo de viaje primero se delimitó en el modelo la misma sección que en el apartado 3.5.3 y a continuación se activó la opción *Collect data*

### 4.3.2. PARÁMETROS DE SIMULACIÓN VEHICULAR

Los parámetros usados en la simulación se presentan en la figura 4.13. Primero se definió el periodo de simulación de 4200 segundos, con un *warm up* de 600s. Se optó arbitrariamente por usar un número semilla inicial de 50 y un incremento de 1 por corrida. En cuanto al número de corridas se estableció 18, ya que la PTV recomienda entre 5 a 20; este valor además se justifica en el apartado 4.3.4. Por último, se optó por usar una velocidad de simulación máxima.

Period:	<input type="text" value="4200"/>	Simulation seconds
Start time:	<input type="text" value="00:00:00"/>	[hh:mm:ss]
Start date:	<input type="text"/>	[DD.MM.YYYY]
Simulation resolution:	<input type="text" value="10"/>	Time step(s) / Sim. sec.
Random Seed:	<input type="text" value="51"/>	
Number of runs:	<input type="text" value="18"/>	
Random seed increment:	<input type="text" value="1"/>	
Dynamic assignment volume increment:	<input type="text" value="0.00"/>	%
Simulation speed:	<input type="radio"/> <input type="text" value="3.9"/>	Sim. sec. / s
	<input checked="" type="radio"/> Maximum	

**Figura 4.13: Parámetros de simulación vehicular.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

#### 4.3.3. PARÁMETROS DE COMPORTAMIENTO DEL CONDUCTOR

Los parámetros de comportamiento del conductor no fueron determinantes al momento de calibrar o validar el modelo, ya que el rango de diferencia de medias aceptable es de +- 15 segundos (ver apartado 4.3.5 o 4.4.2). A continuación se muestra los parámetros establecidos en el modelo.

Average standstill distance:	<input type="text" value="1.50"/>	m
Additive part of safety distance:	<input type="text" value="2.50"/>	
Multiplic. part of safety distance:	<input type="text" value="3.00"/>	

**Figura 4.14: Parámetros de comportamiento del conductor.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se asignó una distancia promedio de parada de 1.50 m, valor que se obtuvo de campo. Los otros dos parámetros fueron establecidos tratando de que la diferencia de medias en la calibración y validación sea la menor posible.

#### 4.3.4. EVALUACIÓN DEL NÚMERO DE CORRIDAS DEL MODELO

Para determinar el número de corridas a ejecutar se emplea los conceptos mencionados en la sección 2.5.1.

Primero se ejecutó el programa 18 veces, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 4.1: Tiempos de viaje para calibrar, obtenidos de la simulación**

N°	Tiempo de viaje (s)
1	27.57
2	25.89
3	26.49
4	25.96
5	27.94
6	25.61
7	27.02
8	27.99
9	25.86
10	27.40
11	25.65
12	25.79
13	26.35
14	26.71
15	27.42
16	27.72
17	27.16
18	25.42
n=	18
$\bar{x}$ =	26.66
s=	0.879

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

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

$$ngdl = 17, \quad \alpha = 0.05 \quad \rightarrow \quad t_{\alpha/2} = 2.11$$

Aceptando un margen de error de 1 segundo.

$$N \geq 3.44$$

El número de corridas realizadas es mayor que 3.44 por lo que correr el modelo 18 veces es suficiente.

#### 4.3.5. PRUEBA DE HIPÓTESIS NULA DE IGUALDAD DE MEDIAS PARA VEHÍCULOS

Para realizar esta prueba se usó los tiempos de viaje tomados de campo para la calibración (tabla 3.4) y los tiempos de viaje obtenidos mediante la simulación (tabla 4.1). A continuación se muestra el *Randomization Test*.

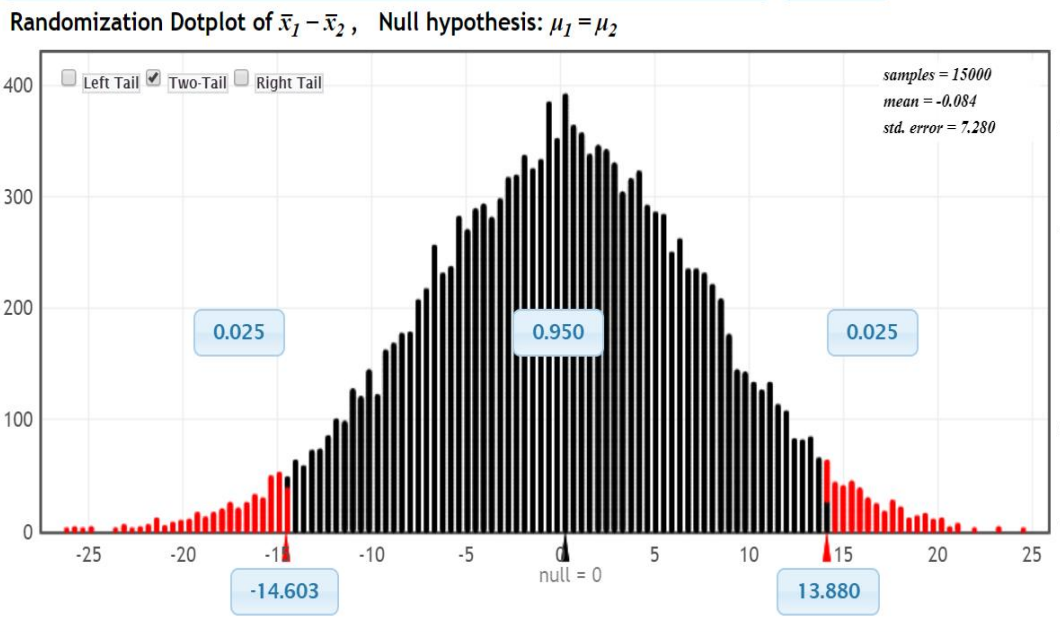


Figura 4.15: Randomization Test - Calibración.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se observa que se obtuvo un rango de aceptación de aproximadamente  $\pm 14$ . Dado que la diferencia de medias entre los datos de campo y los obtenidos mediante la simulación es de 1.14 se puede afirmar que, con un 95% de confiabilidad y aceptando 1 segundo de error, **las medias de los tiempos de viaje serían iguales**. Por lo tanto, el modelo está calibrado

Es importante mencionar que el rango de aceptación es muy amplio ya que la desviación estándar de los datos de entrada es muy alta (ver tabla 3.4).

#### 4.4. VALIDACIÓN DEL MODELO

##### 4.4.1. EVALUACIÓN DEL NÚMERO DE CORRIDAS DEL MODELO

Para evaluar el número de corridas necesarias para validar el modelo se sigue el mismo procedimiento que en la calibración.

Primero se ejecutó el programa 18 veces, obteniendo los siguientes resultados.

**Tabla 4.2: Tiempos de viaje para validar obtenidos de la simulación**

N°	Tiempo de viaje (s)
1	27.64
2	32.73
3	28.65
4	29.99
5	31.17
6	32.19
7	31.63
8	30.51
9	30.89
10	30.79
11	29.85
12	29.02
13	31.73
14	31.11
15	33.11
16	30.25
17	31.47
18	31.16
n=	18
$\bar{x}$ =	30.77
s=	1.39

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

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

$$ngdl = 17, \quad \alpha = 0.05 \quad \rightarrow \quad t_{\alpha/2} = 2.11$$

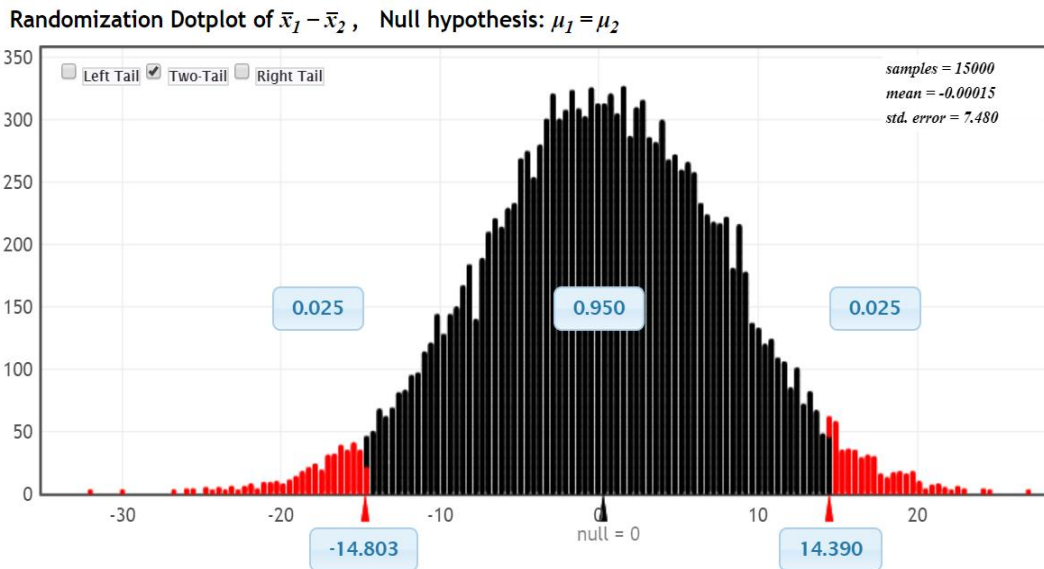
Aceptando un margen de error de 1 segundo.

$$N \geq 8.66$$

El número de corridas realizadas es mayor que 8.66 por lo que correr el modelo 18 veces es suficiente.

#### 4.4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS NULA DE IGUALDAD DE MEDIAS PARA VEHÍCULOS

Para realizar esta prueba se usó los tiempos de viaje tomados de campo para la validación (tabla 3.5) y los tiempos de viaje obtenidos mediante la simulación (tabla 4.2). A continuación se muestra el *Randomization Test*.



**Figura 4.16: Randomization Test - Validación.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se observa que, al igual que en la calibración, se obtuvo un rango de aceptación de aproximadamente  $\pm 14.5$ . Dado que la diferencia de medias entre los datos de campo y los obtenidos mediante la simulación es de 0.23 se puede afirmar que, con un 95% de confiabilidad y 1 segundo de error, **las medias de los tiempos de viaje serían iguales**. Por lo tanto, el modelo está validado.

Es importante mencionar que el rango de aceptación es muy amplio ya que la desviación estándar de los datos de entrada es muy alta (ver tabla 3.5).

## 5 CAPÍTULO 5: RESULTADOS, ANÁLISIS Y PROPUESTA DE REDISEÑO

### 5.1. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA SIMULACIÓN DEL ESCENARIO ACTUAL

En los siguientes apartados se muestran los resultados obtenidos de la simulación en VISSIM para el escenario actual. Los datos de entrada, a partir de los que se realizó el análisis, son los mismos que en la etapa de la calibración (ver apartado 3.5.2).

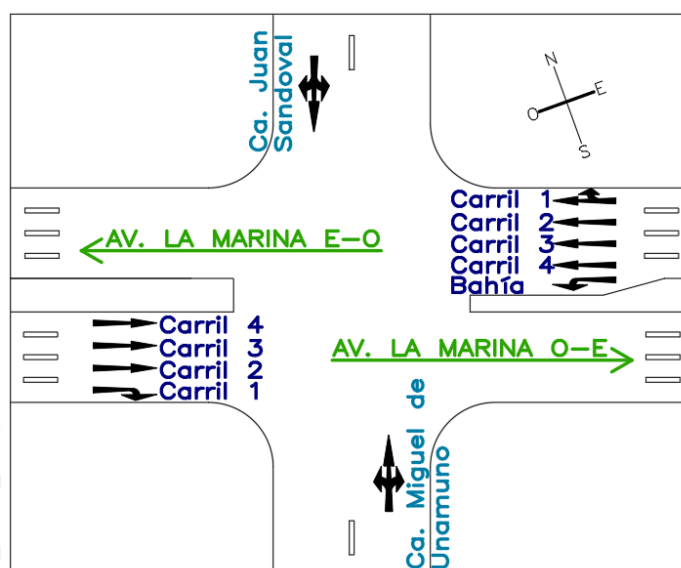


Figura 5.1: Boceto de la intersección en cuestión.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

#### 5.1.1. AVENIDA LA MARINA O-E

Para cuantificar las condiciones de tráfico en el sentido de esta avenida, se analizaron los parámetros de eficiencia tiempo de viaje y longitud de cola, en los carriles 3 y 4.

Tabla 5.1: Datos previos al análisis

Distancia analizada (m)	84.7
Vel. En flujo libre (km/hr)	50
Tiempo de viaje en flujo libre (s)	6.1
Tiempo de viaje máximo con semáforo en rojo (s)	88.1

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**Tabla 5.2: Resultados obtenidos de la simulación**

N° de corrida	Intervalo de tiempo	Tiempo de viaje (s)	Longitud de colas (m)
1	600-4200	26.68	33.26
2	600-4200	25.53	34.75
3	600-4200	25.76	31.95
4	600-4200	25.48	30.66
5	600-4200	27.42	30.71
6	600-4200	25.38	32.62
7	600-4200	26.29	32.70
8	600-4200	27.52	34.74
9	600-4200	25.19	29.68
10	600-4200	26.98	34.77
11	600-4200	25.30	32.40
12	600-4200	25.53	31.51
13	600-4200	25.69	35.06
14	600-4200	26.44	31.08
15	600-4200	27.24	38.10
16	600-4200	27.28	34.56
17	600-4200	26.75	34.97
18	600-4200	24.90	31.21
$\bar{x}$	600-4200	26.19	33.04
s	600-4200	0.87	2.15
Mín.	600-4200	24.90	29.68
Máx.	600-4200	27.52	38.10

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

De la simulación se obtuvo una media de tiempos de viaje igual a **26.19 s**, valor que no se encuentra muy alejado del tiempo en flujo libre, pero sí del tiempo máximo con semáforo en rojo. Por otro lado, el valor promedio de la cola es de **33.04 m**, este corresponde, aproximadamente, a 6 vehículos detenidos.

Con estos valores obtenidos, se puede afirmar que las condiciones de servicio en esta avenida son relativamente buenas.

### 5.1.2. AVENIDA LA MARINA E-O

Para cuantificar las condiciones de tráfico en el sentido de esta avenida, se analizó el parámetro de eficiencia, tiempo de viaje, en los carriles 3 y 4.

**Tabla 5.3: Datos previos al análisis**

Distancia analizada (m)	80
Vel. En flujo libre (km/hr)	50
Tiempo de viaje en flujo libre (s)	5.8
Tiempo de viaje máximo con semáforo en rojo (s)	87.8

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**Tabla 5.4: Resultados obtenidos de la simulación**

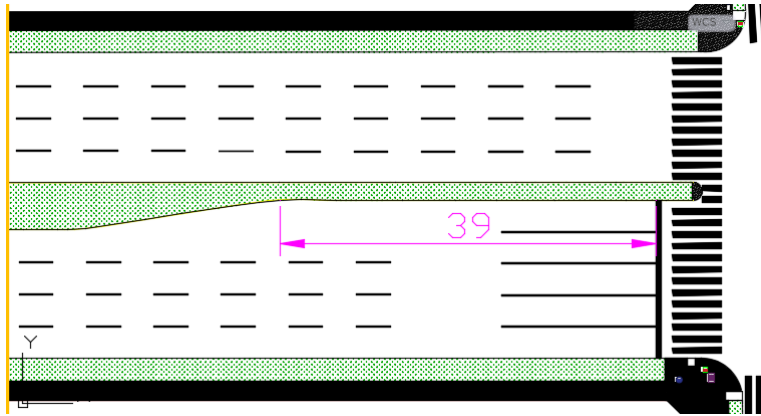
N° de corrida	Intervalo de tiempo	Tiempo de viaje (s)
1	600-4200	27.01
2	600-4200	27.81
3	600-4200	25.75
4	600-4200	27.41
5	600-4200	27.71
6	600-4200	28.15
7	600-4200	27.94
8	600-4200	25.19
9	600-4200	27.98
10	600-4200	27.23
11	600-4200	29.16
12	600-4200	27.43
13	600-4200	27.29
14	600-4200	28.25
15	600-4200	30.44
16	600-4200	29.32
17	600-4200	28.43
18	600-4200	24.88
$\bar{X}$	600-4200	27.63
S	600-4200	1.38
Mín.	600-4200	24.88
Máx.	600-4200	30.44

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

De la simulación se obtuvo una media de tiempos de viaje igual a **27.63 s**, valor que no se encuentra muy alejado del tiempo en flujo libre, pero sí del tiempo máximo con semáforo en rojo. Cabe mencionar que este valor obtenido es similar al del sentido contrario de la avenida (ver apartado 5.5.1), lo cual se esperaba, pues el aforo de vehículos es casi el mismo.

### 5.1.3. BAHÍA DE ALMACENAMIENTO

Para cuantificar las condiciones de tráfico en la bahía, se usó el parámetro de eficiencia más representativo en esta, la longitud de cola.



**Figura 5.2: Bahía de almacenamiento actual.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**Tabla 5.5: Resultados obtenidos de la simulación**

N° de corrida	Intervalo de tiempo (s)	Longitud de cola (m)	Longitud máxima de cola (m)
1	600-4200	19.18	77.95
2	600-4200	9.34	35.07
3	600-4200	6.69	35.73
4	600-4200	11.11	53.71
5	600-4200	7.70	52.21
6	600-4200	18.01	60.39
7	600-4200	8.47	51.01
8	600-4200	3.22	29.49
9	600-4200	10.01	43.98
10	600-4200	9.47	54.17
11	600-4200	6.54	48.35
12	600-4200	10.69	47.96
13	600-4200	13.21	48.46
14	600-4200	11.36	51.58
15	600-4200	8.97	58.96
16	600-4200	13.12	66.95
17	600-4200	6.48	40.81
18	600-4200	6.67	37.44
$\bar{X}$	600-4200	10.01	49.68
S	600-4200	4.01	11.95
Mín.	600-4200	3.22	29.49
Máx.	600-4200	19.18	77.95

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

De la simulación se obtuvo una cola promedio de 10.01 m, valor que corresponde a 2 vehículos detenidos. Además, se obtuvo una longitud máxima de cola de 77.95 m, sin embargo, la bahía solo tiene 39 m. Este resultado incongruente se debe a que en el modelo no se consideró una longitud establecida, sino un carril en el que el promedio de las longitudes máximas de cola, 49.68 m, no exceda los 4/3 de la longitud real de la bahía, 52 m.

Con los valores obtenidos, se puede afirmar que la capacidad de almacenamiento de la bahía es insuficiente. Esto genera que los demás vehículos que desean girar a la izquierda, usen los carriles adyacentes, interrumpiendo así a los que van de frente.

#### 5.1.4. CALLES JUAN VALER SANDOVAL Y MIGUEL DE UNAMUNO

Para cuantificar las condiciones de tráfico en ambos sentidos de estas calles, se usó el parámetro de eficiencia, longitud de cola.

**Tabla 5.6: Longitud de cola en las calles Sandoval y Unamuno**

N° de corrida	Intervalo de tiempo (s)	Longitud de cola en Juan Valer (m)	Longitud máxima de cola en Juan Valer (m)	Longitud de cola en Unamuno (m)	Longitud máxima de cola en Unamuno (m)
1	600-4200	30.72	125.81	35.50	125.36
2	600-4200	37.06	124.30	36.14	150.91
3	600-4200	33.42	127.69	54.53	188.19
4	600-4200	48.42	166.85	30.30	113.20
5	600-4200	35.87	160.77	36.49	160.29
6	600-4200	32.84	165.80	36.64	133.91
7	600-4200	35.31	129.49	31.82	109.70
8	600-4200	42.14	142.49	47.90	170.91
9	600-4200	36.18	160.79	32.29	112.63
10	600-4200	39.69	138.22	35.83	157.45
11	600-4200	33.94	166.44	31.92	156.73
12	600-4200	32.93	123.75	44.31	139.53
13	600-4200	29.54	137.13	38.32	150.37
14	600-4200	37.83	140.57	41.48	127.60
15	600-4200	34.31	129.96	35.11	134.98
16	600-4200	47.77	166.68	37.34	156.25
17	600-4200	39.25	166.29	37.07	145.59
18	600-4200	44.22	166.71	38.29	160.54
$\bar{x}$	600-4200	37.30	146.65	37.85	144.12
s	600-4200	5.42	17.76	6.03	21.32
Mín.	600-4200	29.54	123.75	30.30	109.70
Máx.	600-4200	48.42	166.85	54.53	188.19

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

De la simulación se obtuvo una longitud de cola promedio de 37.30 m para la calle Sandoval. Para la calle Unamuno se obtuvo un valor muy parecido. En ambos casos tal valor correspondería a la longitud de 8 vehículos detenidos, lo cual es mucho teniendo en cuenta que estas calles recorren zonas residenciales y que la distancia de la calzada a las residencias es de menos de 4 metros. Luego de observar estos resultados se puede afirmar que algunos residentes prácticamente conviven con una fila de 8 vehículos detenidos.

Es importante notar que el promedio de la longitud máxima de cola es de 146.65 y 144.12 para las calles en cuestión. En ambos casos esta longitud interseca a 2 intersecciones adyacentes, cuya funcionalidad se ve comprometida, ver figuras 5.3 y 5.4. El caso es más grave para la calle Unamuno, pues la cola media termina cerca de la calle Copérnico

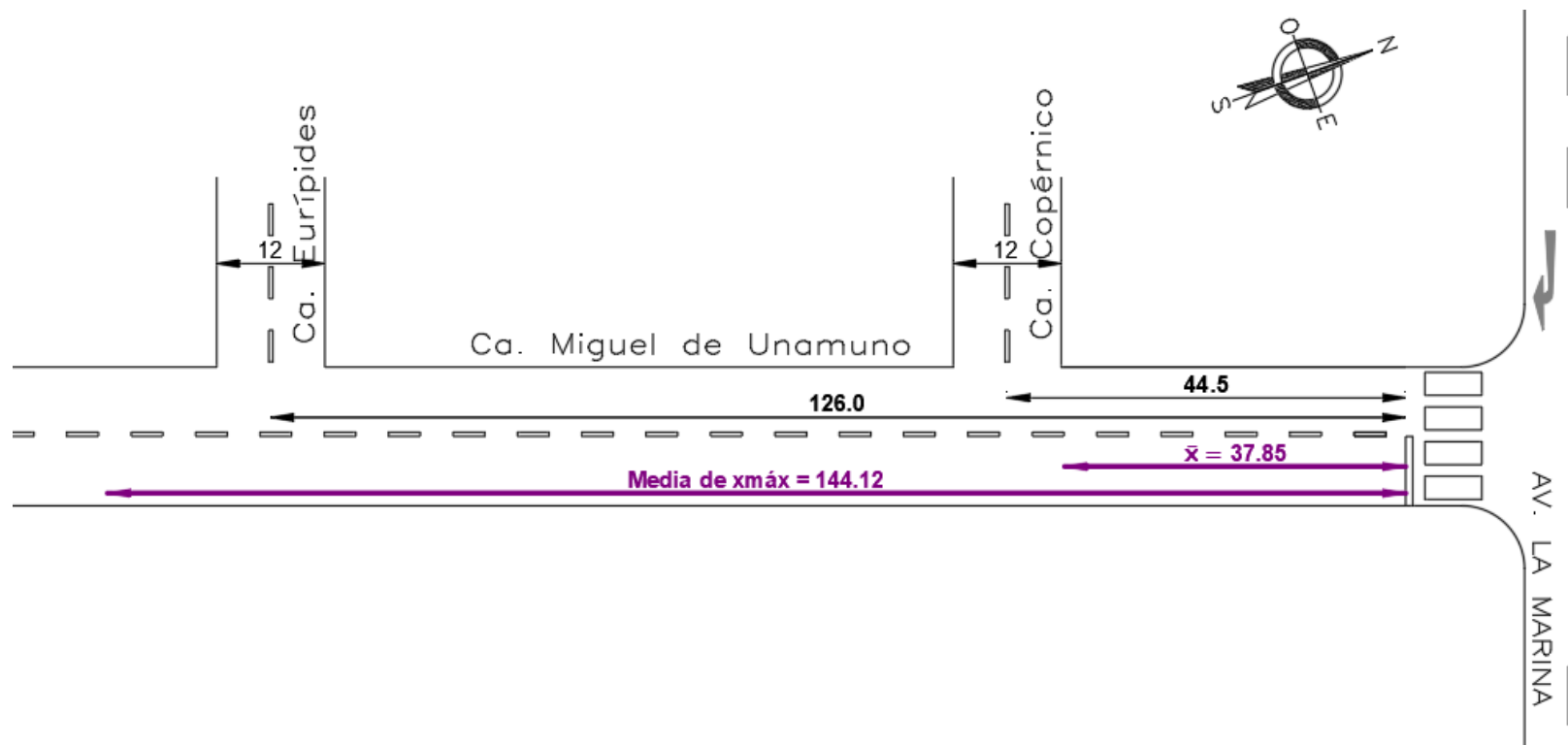


Figura 5.3: Intersecciones adyacentes en la Ca. Miguel de Unamuno.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

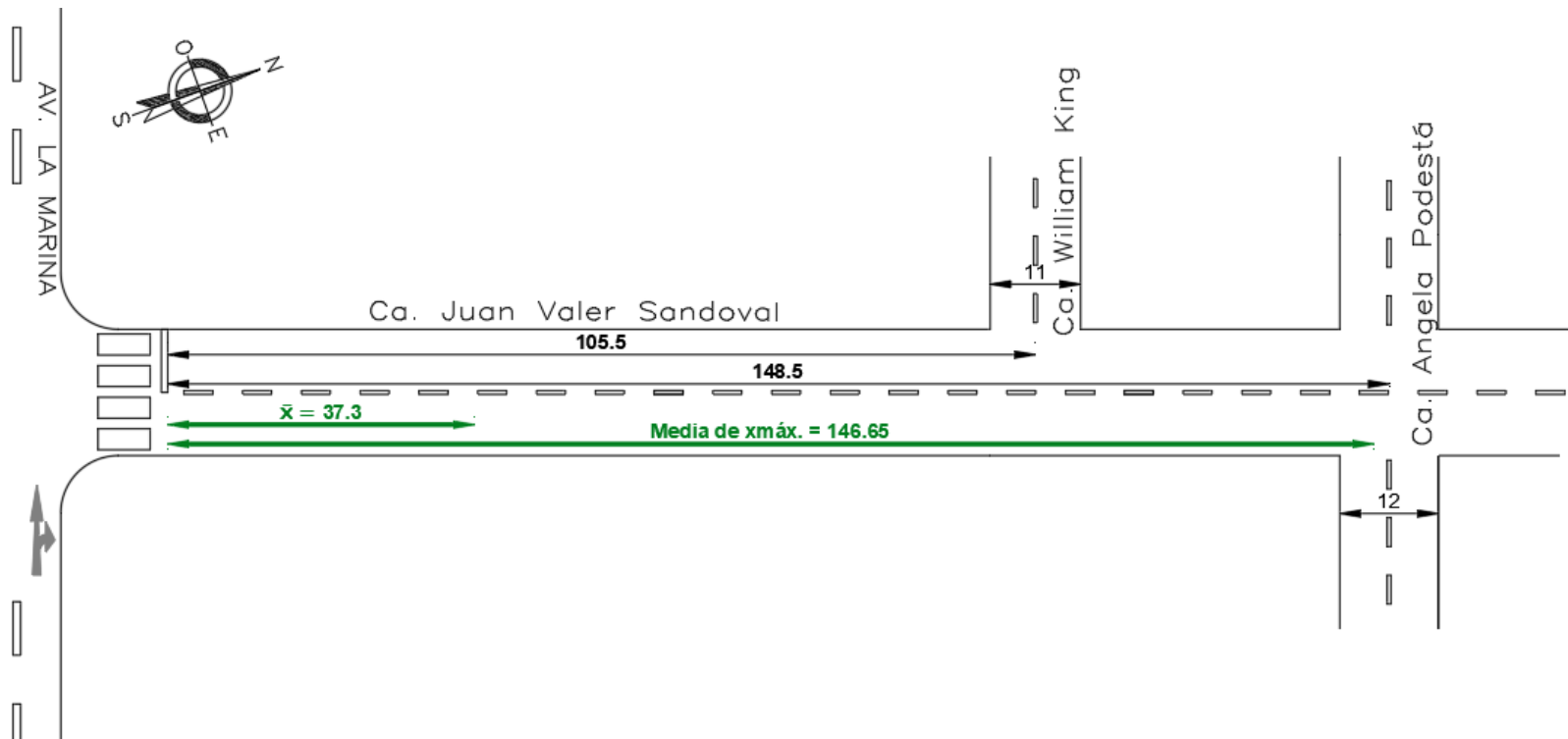


Figura 5.4: Intersecciones adyacentes en la Ca. Juan Valer Sandoval.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 5.1.5. CRUCEROS PEATONALES

Se evaluó la funcionalidad de los 2 cruces de la Av. La Marina. Los 4 flujos presentes se aprecian en la figura 3.8.

**Tabla 5.7: Datos previos al análisis**

Distancia analizada	32.8 m
Vel. En flujo libre	5 km/hr
Tiempo de viaje en flujo libre	23.6 s
Tiempo de viaje máximo con semáforo en rojo	105.6 s

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**Tabla 5.8: Datos previos al análisis**

N° de corrida	Intervalo de tiempo (s)	Flujo 3 (s)	Flujo 2 (s)	Flujo 4 (s)	Flujo 1 (s)
1	600-4200	42.78	35.75	37.19	35.58
2	600-4200	40.98	31.42	32.17	31.27
3	600-4200	43.69	41.33	34.18	40.81
4	600-4200	43.87	35.62	28.14	36.96
5	600-4200	44.68	32.20	38.07	41.82
6	600-4200	42.45	40.94	37.68	39.74
7	600-4200	52.08	35.13	34.76	35.75
8	600-4200	42.48	35.10	32.98	32.59
9	600-4200	52.72	39.71	36.20	33.76
10	600-4200	49.42	34.98	31.15	37.57
11	600-4200	47.25	34.26	32.73	37.34
12	600-4200	39.91	34.31	28.73	40.23
13	600-4200	40.44	35.43	35.92	33.33
14	600-4200	42.83	38.97	33.31	37.42
15	600-4200	41.90	40.19	31.17	42.31
16	600-4200	44.91	36.81	29.19	32.04
17	600-4200	47.18	35.25	36.14	36.71
18	600-4200	43.98	37.44	34.89	31.12
$\bar{X}$	600-4200	44.64	36.38	33.59	36.46
S	600-4200	3.72	2.85	3.06	3.59
Mín.	600-4200	39.91	31.42	28.14	31.12
Máx.	600-4200	52.72	41.33	38.07	42.31

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

De la simulación se obtuvo un tiempo de viaje promedio 44.64 segundos para el flujo 3, siendo este considerablemente mayor a los demás. Ello se debe a que el giro de los vehículos a la izquierda o en U, no está debidamente controlado, por lo que algunos peatones permanecen a la espera, a pesar de que el semáforo peatonal está en verde.

## 5.2. PROPUESTAS DE MEJORA

El diseño actual de la intersección presenta varios problemas que afectan la seguridad y transitabilidad de los peatones. La situación es aún más grave teniendo en cuenta que cerca está el Colegio Nacional Bartolomé Herrera y el Instituto Superior Tecnológico Público Naciones Unidas, centros educativos de los cuales salen e ingresan grandes flujos peatonales.

Sin embargo, los peatones no son los únicos afectados, sino que también lo son los vehículos. Es por estos motivos que se decide plantear un conjunto de propuestas sostenibles que pretenden solucionar o mejorar las deficiencias del escenario actual de la intersección. Estas fueron realizadas teniendo en cuenta los criterios de diseño descritos en el apartado 2.3.

A continuación se presenta una imagen referencial donde se muestra la geometría actual de la intersección y la geometría de la propuesta de rediseño.

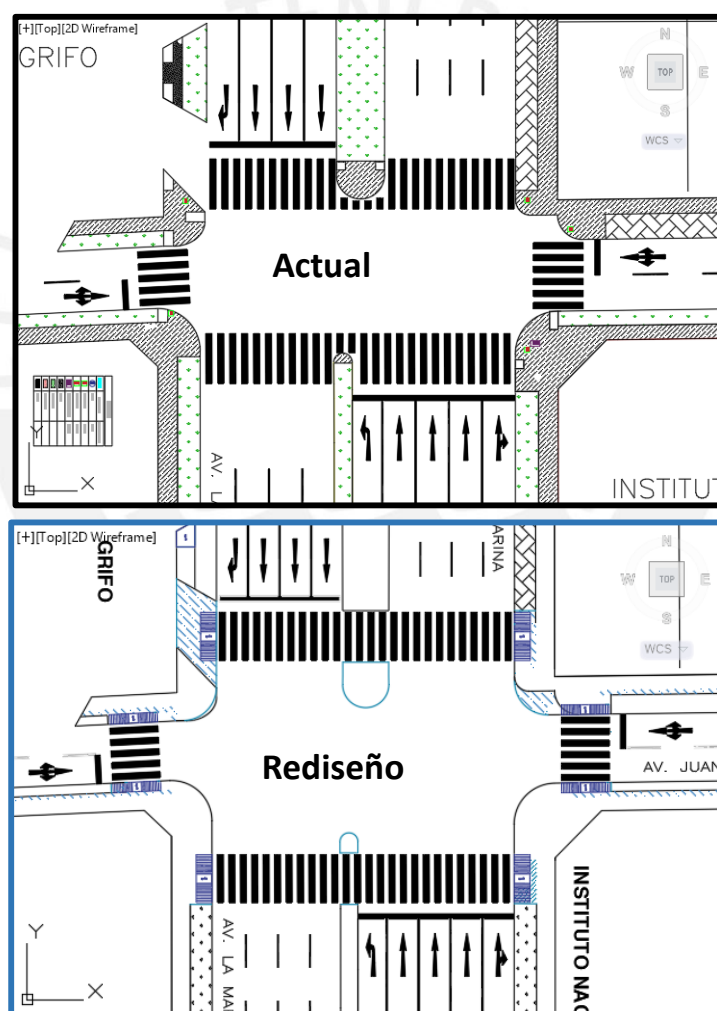


Figura 5.5: Contraste entre la geometría actual y la geometría de la propuesta de rediseño.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 5.2.1. AMPLIACIÓN DE LOS ANCHOS DE LAS VEREDAS

En el escenario actual el ancho de las veredas en la Av. Juan Valer llega a ser apenas 1.4 m, lo cual está por debajo del ancho mínimo planteado en la sección 2.3.4. Además, la presencia de postes de luz agrava la situación haciendo que el ancho efectivo llegue a ser incluso menor. Estas dimensiones de vereda no son inclusivas pues una persona con silla de ruedas no podría transitarlas. Por estos motivos se decidió aumentar el ancho a 2m y reubicar los elementos que reduzcan el ancho efectivo.

### 5.2.2. REUBICACIÓN DE LOS CRUCEROS PEATONALES

Actualmente los cruces presentan serias deficiencias, las cuales se listan a continuación.

- Las medianas los intersecan reduciendo el ancho efectivo a menos de 1,5 metros



**Figura 5.6: Mediana obstaculizando el tránsito peatonal en un cruce.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- Los cruces llegan hacia espacios inaccesibles



**Figura 5.7: El cruce canaliza a los peatones hacia un árbol.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

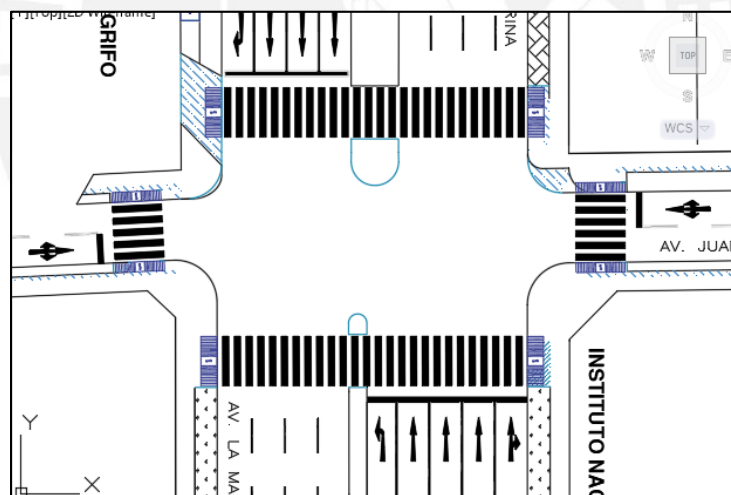
- Los cruces de la Av. La Marina no proveen de suficiente seguridad a los peatones, pues estos quedan expuestos a los giros a la izquierda o en U.



**Figura 5.8: Vehículo realizando maniobra temeraria.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

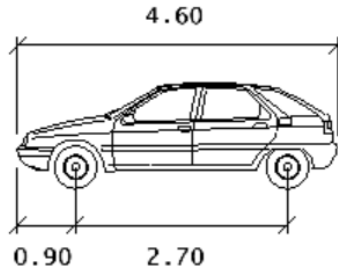
Para solucionar estas deficiencias se planteó reubicar los cruces peatonales, incluir rampas al inicio y fin, y además alargar la mediana más grande para evitar los giros en U que se producen en esta. El rediseño se muestra a continuación.



**Figura 5.9: Captura de pantalla del rediseño propuesto.**

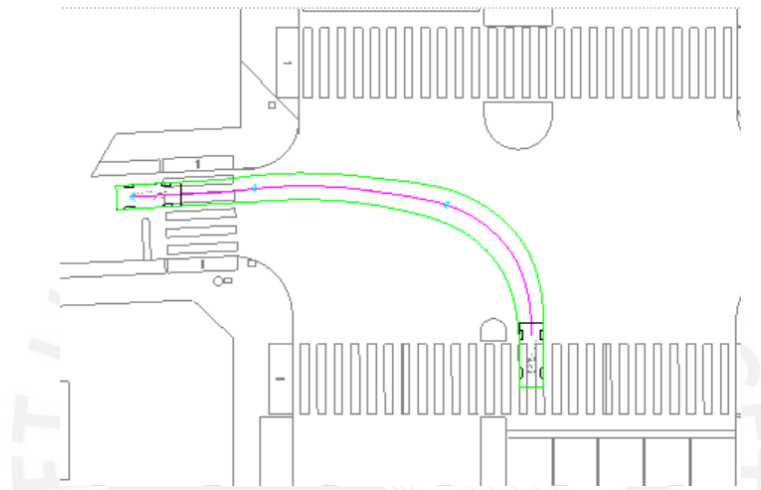
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Dado el nuevo diseño se vio conveniente verificar la nueva trayectoria del giro a la izquierda de los vehículos. Con ayuda del software AUTOTURN, se obtuvo que la velocidad máxima de giro desde la Av. La Marina hacia la Av. Juan Valer Sandoval es de aproximadamente 15 km/hr, la cual es aceptable. Por otro lado, en el caso del giro desde la Av. Juan Valer Sandoval hacia la Av. La Marina se pueden alcanzar velocidades mayores a 15 km/hr por el espacio holgado.



**Figura 5.10: Vehículo de diseño usado para analizar la trayectoria en giros.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



**Figura 5.11: Trayectoria de giro a la izquierda desde Av. La Marina hacia la Ca. Unamuno a 15km/hr.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



**Figura 5.12: Trayectoria de giro a la izquierda desde la Ca. Unamuno hacia la Av. La Marina a 15 y 20 km/hr.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 5.2.3. REDISEÑO DE LAS RAMPAS PEATONALES

En el escenario actual las rampas están lejos de cumplir con el ancho mínimo de 2m propuesto en la sección 2.3.2 (ver figura 5.13). Además, algunas de ellas no guardan continuidad con el cruceo peatonal que la precede (figura 5.14). Dado que estos problemas imposibilitan el tránsito de personas en silla de ruedas y también dificultan el paso de los peatones en general, se realizó el rediseño correspondiente.



**Figura 5.13: Rampa actual.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



**Figura 5.14: Discontinuidad entre rampa y cruceo.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

El flujo de peatones que transitó cada uno de los cruceos durante las filmaciones es muy bajo. A lo largo de la hora filmada para la calibración, el flujo máximo se dio en Jesús María – Plaza San Miguel 2 (ver tabla 3.2) y fue de **3 peatones por minuto**. Y el flujo máximo en el periodo de 1 minuto fue de **35 peatones por minuto**. A continuación, se muestra los cálculos para determinar el ancho de las rampas usando la ecuación planteada en la sección 2.3.2.

**Tabla 5.9: Resumen del cálculo de ancho de rampas**

F (peat/s) =	0.58
i (%)=	12
d (peat/m2) =	0.50
v (m/s) =	1.5
<b>l (m) =</b>	<b>0.88</b>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

A pesar de haber usado el flujo máximo observado, y haber considerado una densidad relativamente baja, el ancho de rampa que se obtiene es muy pequeño, por lo que en un inicio se pensó usar el ancho mínimo de 2m. Sin embargo, dado que cerca hay un colegio y un instituto de educación superior, el flujo debe aumentar drásticamente a cierta hora. Al no contar con la información suficiente sobre este flujo, se decidió usar el ancho del crucero, 5m.

**Tabla 5.10: Características de las nuevas rampas peatonales**

Rampa 1		Rampa 2	
Desnivel (m) =	0.1	Desnivel (m) =	0.1
Pendiente =	10%	Pendiente =	6.06%
Longitud (m)=	1	Longitud (m)=	1.65
Ancho (m)=	5	Ancho (m)=	5

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La Rampa 1 se usó en la Ca. Juan Valer Sandoval, pues no se cuenta con el espacio suficiente para reducir más la pendiente. La Rampa 2 se usó en la Av. La Marina, pues hay amplio espacio para lograr una pendiente baja.

#### 5.2.4. MEJORAR LA DISTRIBUCIÓN DE TIEMPOS EN LOS SEMÁFOROS

Actualmente los semáforos cuentan con 2 fases distribuidas en un ciclo de 210 segundos (figuras 5.15 y 5.16). Este periodo es exageradamente grande. Los vehículos de las calles Juan Valer Sandoval y Miguel de Unamuno tienen que esperar 2 minutos con 17 segundos para que el semáforo se ponga en verde. Esta es la razón principal por la que se llegan a formar colas de más de 140 metros en estas calles, ver apartado 5.1.4.

Por otro lado, los peatones que desean cruzar la Av. La Marina, los cuales son la mayoría (ver tabla 3.4), también se ven obligados a esperar 2 minutos con 17 segundos. Es importante mencionar que varios de ellos, cansados de esperar, cruzan el semáforo en rojo y ponen en riesgo su integridad.

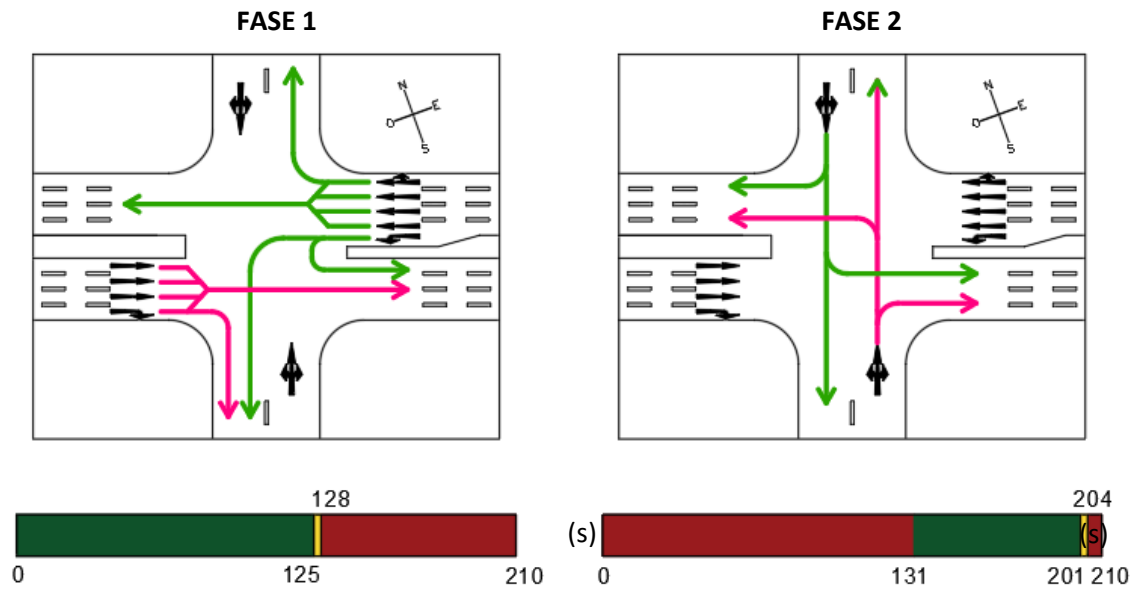


Figura 5.15: Diagrama actual de fases para vehículos.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

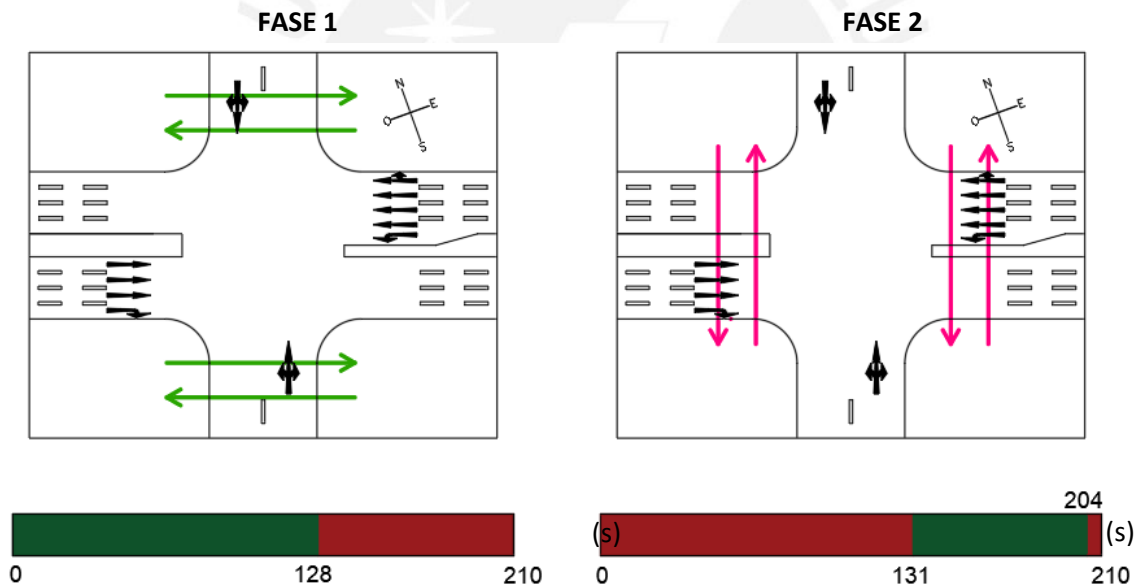


Figura 5.16: Diagrama actual de fases para peatones.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

En la Av. La Marina en el sentido de este a oeste, hay una demanda considerable de vehículos que giran a la izquierda. Dado que el actual semáforo cuenta solo con dos fases, cuando estos desean hacerlo, solo lo logran cuando el tránsito en conflicto es muy bajo, o cuando termina la fase 1 del semáforo (figura 5.16). Esta es una de las razones por la que no usan el carril exclusivo de giro a la izquierda, sino que prefieren situarse en el centro de la intersección, ver figura 5.17. Este accionar no solo genera conflicto con los vehículos que desean transitar de frente, sino que pone en peligro la seguridad de los peatones y de los conductores mismos. Sin embargo, la situación se agrava aún más cuando estos giran en U (ver figura 5.8).



Figura 5.17: Vehículos que desean girar a la izquierda situados en el centro de la intersección.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Por todos los problemas presentados en cuanto a los semáforos actuales, se propone distribuir mejor los tiempos en el semáforo. Para empezar el ciclo no debería superar los 120 segundos y debería haber una fase exclusiva para los giros a la izquierda. A continuación se presenta la nueva propuesta, cuyos valores fueron obtenidos mediante iteraciones en VISSIM.

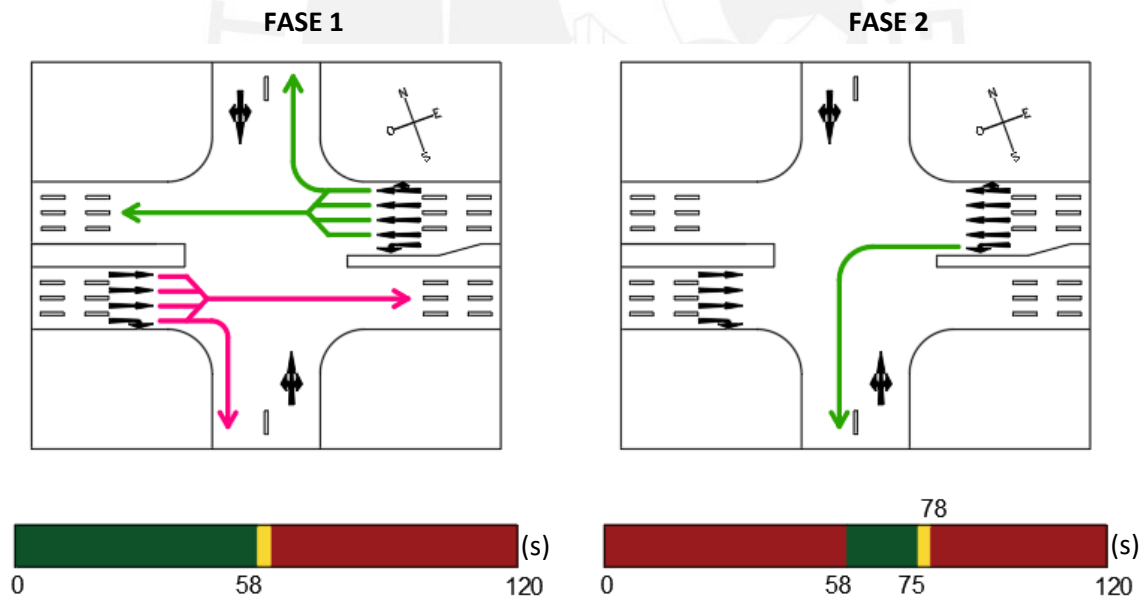


Figura 5.18: Nuevo diagrama de fases para vehículos: fase 1 y fase 2.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FASE 3

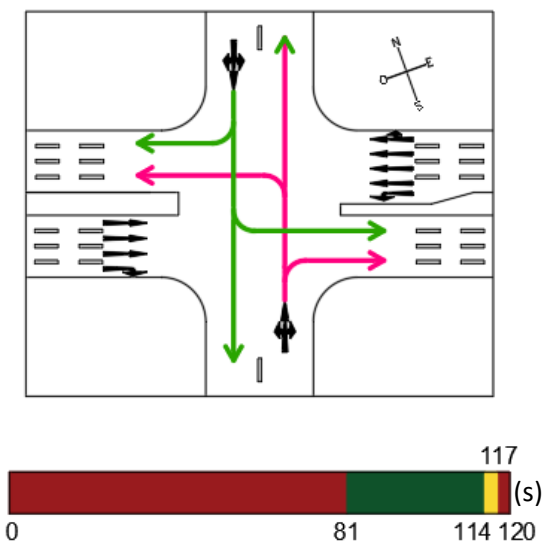


Figura 5.19: Nuevo diagrama de fases para vehículos: fase 3.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

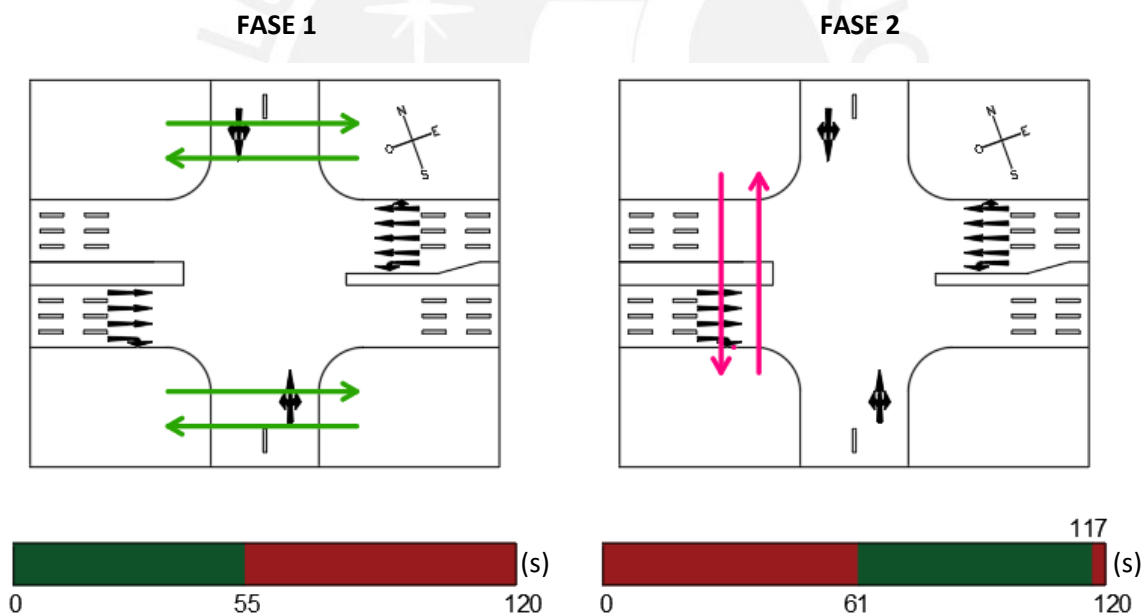


Figura 5.20: Nuevo diagrama de fases para peatones: fase 1 y fase 2.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FASE 3

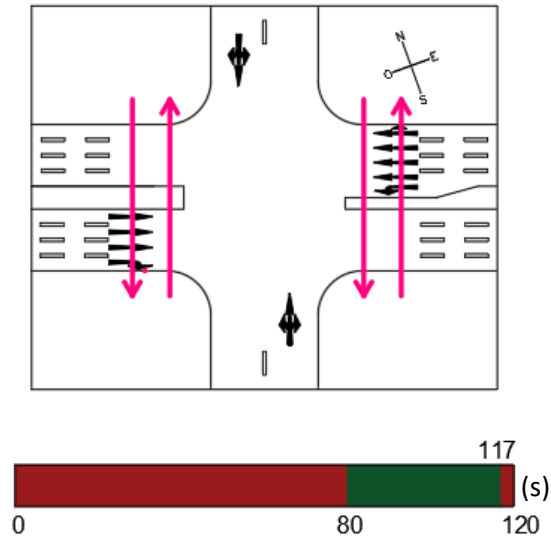


Figura 5.21: Nuevo diagrama de fases para peatones: fase 3.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 5.3. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN DEL ESCENARIO ACTUAL Y DEL REDISEÑO

Los resultados obtenidos de la simulación se presentan en el Anexo I.

En los siguientes apartados se hará el análisis comparativo haciendo uso de gráficos para una mayor comprensión.

#### 5.3.1. AV. LA MARINA SENTIDO O-E

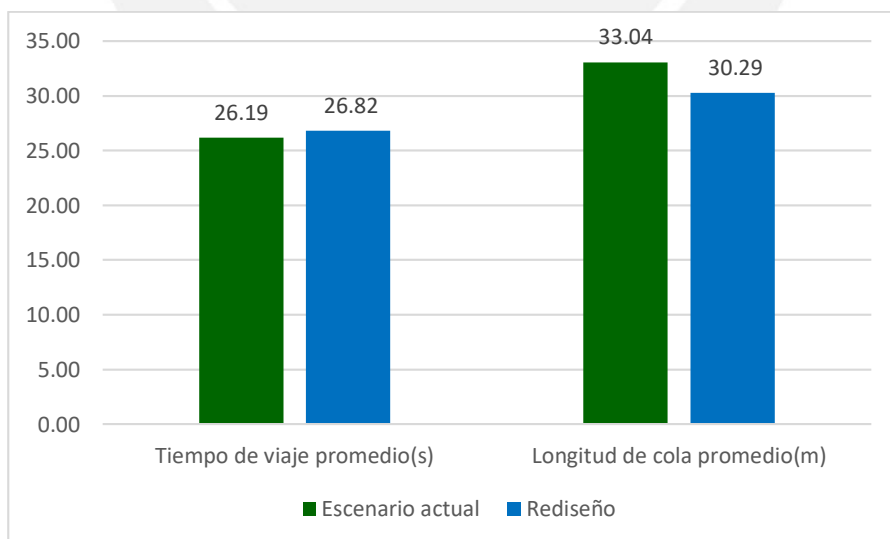


Figura 5.22: Gráfico comparativo entre el escenario actual y el rediseño, para los parámetros de tiempo de viaje y longitud de cola.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



### 5.3.2. AV. LA MARINA SENTIDO E-O

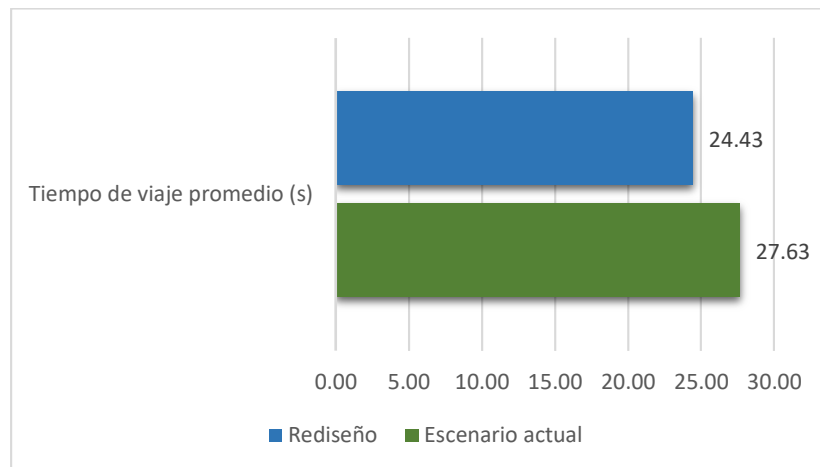


Figura 5.25: Gráfico comparativo entre el escenario actual y el rediseño, para el parámetro tiempo de viaje.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se observa una reducción del 11.58% en el tiempo de viaje. Esta se debe, principalmente, a que los vehículos que giran a la izquierda ya no usan el carril 4 y, por consiguiente, no entran en conflicto con los vehículos que transitan de frente.

Dado que la diferencia de valores entre estos dos escenarios es alta, y además, las desviaciones estándar respectivas son suficientemente bajas, no es necesario realizar un *Randomization test*.

### 5.3.3. BAHÍA DE ALMACENAMIENTO

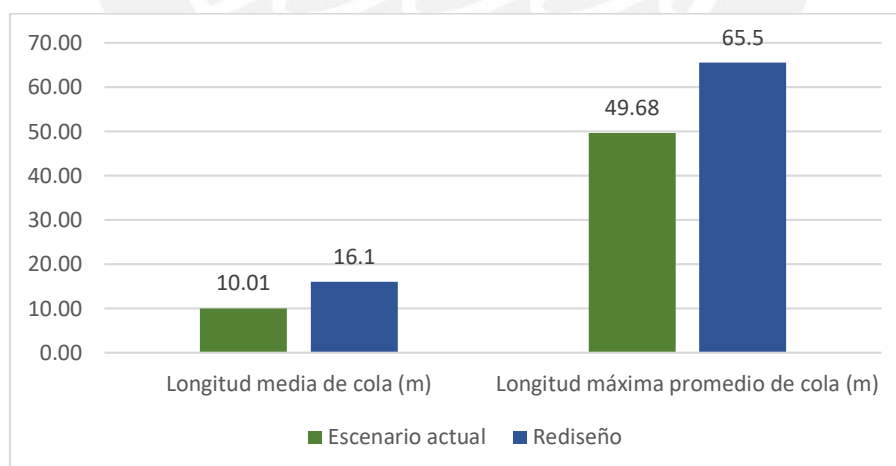


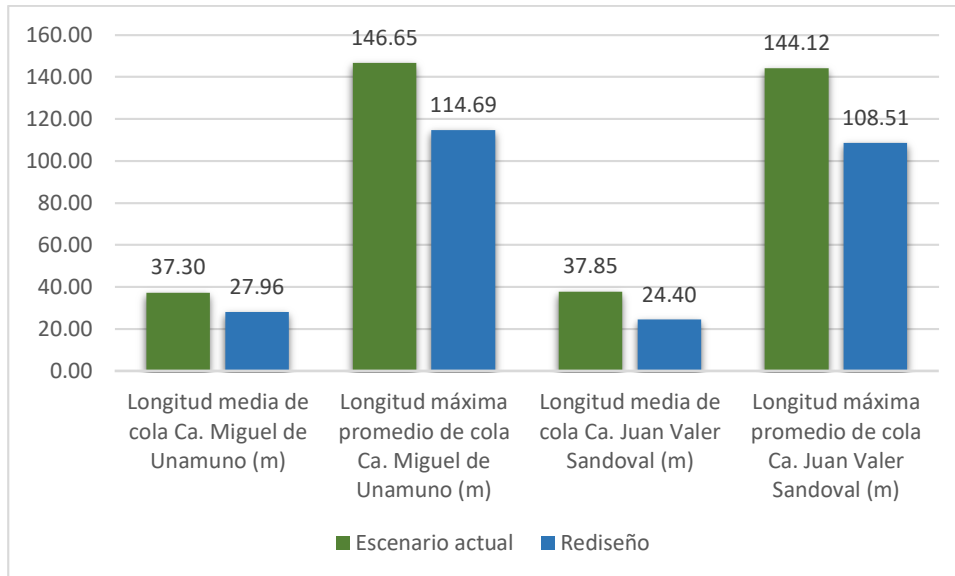
Figura 5.26: Gráfico comparativo entre el escenario actual y el rediseño, para el parámetro longitud de cola.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Dado que en el rediseño todos los vehículos usan el carril exclusivo de giro a la izquierda, el aforo en este aumentó 48% por lo que se esperaba que los valores de longitud de cola aumenten. En el gráfico

superior se observa un aumento de longitud media de cola de 61%, además, la longitud máxima promedio aumentó 32%.

### 5.3.4. CALLES JUAN VALER SANDOVAL Y MIGUEL DE UNAMUNO

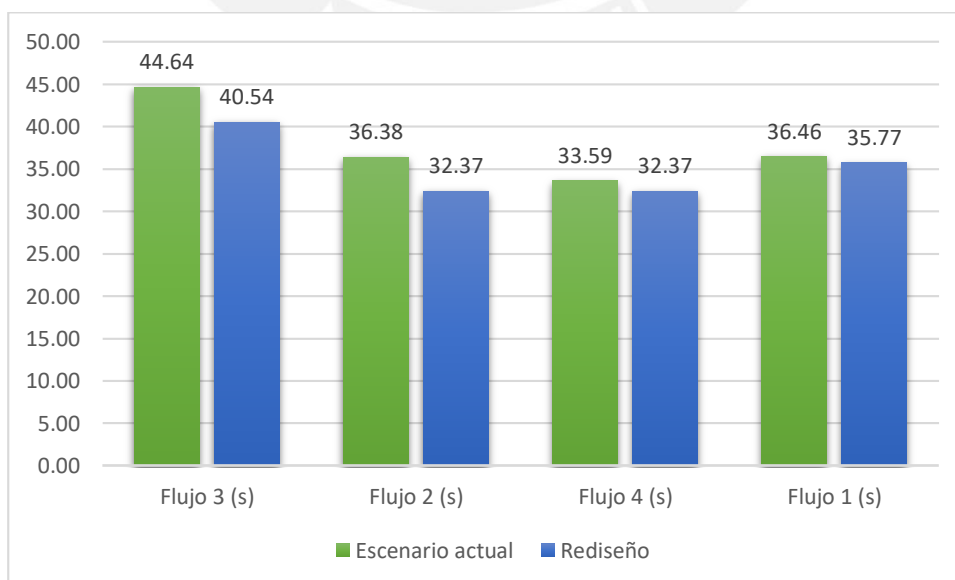


**Figura 5.27: Gráfico comparativo entre el escenario actual y el rediseño, para el parámetro longitud de cola.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se observa grandes mejoras para las longitudes de cola en las calles Miguel de Unamuno y Juan Valer Sandoval. En el caso de la longitud media de cola se obtuvo una reducción de 25% y 36% respectivamente. Para la longitud máxima promedio, una reducción de 22% y 25% del mismo modo.

### 5.3.5. CRUCEROS PEATONALES



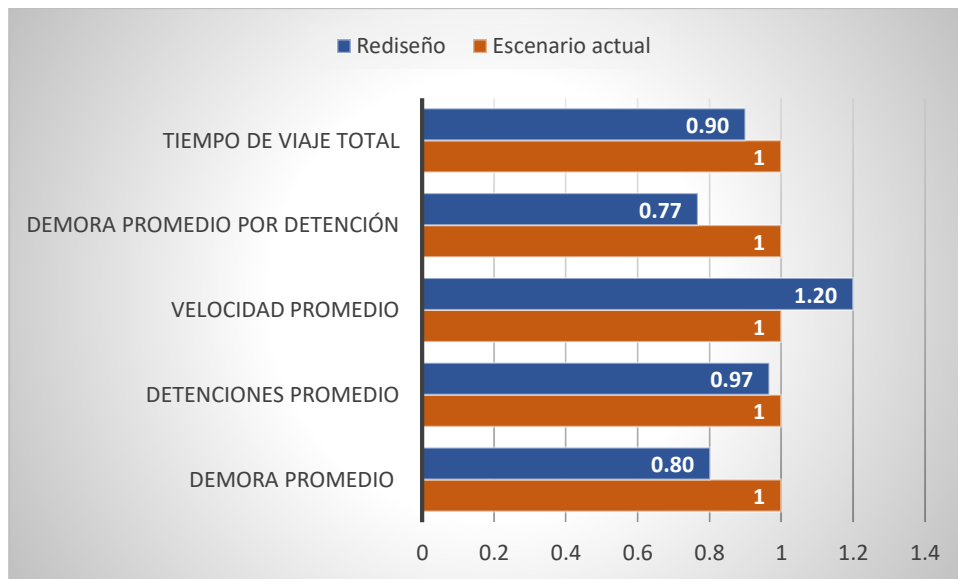
**Figura 5.28: Gráfico comparativo entre el escenario actual y el rediseño, para el parámetro tiempo de viaje.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Se observa mejoras no muy considerables en cuanto al tiempo de viaje de los peatones. Lo rescatable es que este no ha sido afectado.

### 5.3.6. COMPARACIÓN DEL SISTEMA EN CONJUNTO

Por último, se presenta un gráfico comparativo entre los dos escenarios, cuyos valores fueron obtenidos analizando a todos los agentes que intervienen en la intersección. Los valores para el escenario actual se presentan escalados a la unidad para facilitar la comprensión.



**Figura 5.29: Gráfico comparativo de parámetros generales entre el escenario actual y el rediseño.**

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Salvo en las detenciones promedio, en todos los parámetros analizados se observa una mejora considerable.

## 6 CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

### 6.1. CONCLUSIONES

Se cumplió con los objetivos planteados. Con la propuesta de rediseño se logran mejoras significativas en cuanto a transitabilidad y seguridad de los vehículos y peatones que hacen uso de la intersección. Además, las personas que residen cerca, también se ven favorecidas; por ejemplo, la reducción de la longitud de cola en las Calles Miguel de Unamuno y Juan Valer Sandoval embellece la zona y genera un efecto positivo en el bienestar de las personas, además de alentarlas a disfrutar de la caminata.

En cuanto a transitabilidad de vehículos y peatones, esta fue mejorada, principalmente, por la nueva distribución de los tiempos del semáforo y por la reubicación de los cruceros peatonales. Dentro de las mejoras más importantes resalta la reducción del 20% de la demora promedio, así como también el aumento del 20% de la velocidad promedio actual. Cabe mencionar que hay mejoras, en cuanto a transitabilidad, que no fueron cuantificadas por la simulación, tales como: rediseño de rampas, rediseño de radio de esquinas e incremento de ancho de acera.

En cuanto a seguridad, se logró 2 mejoras resaltantes para los peatones. La primera, proteger a los que quedan en las medianas al cruzar la Av. La Marina mediante porciones de mediana comúnmente llamadas “narices”. Y la segunda, prohibir los giros en U en ambos sentidos de la Av. La Marina, pues estos generan inseguridad y miedo en los peatones que usan los cruceros respectivos. En el caso de los vehículos también se logró 2 mejoras resaltantes. La primera, eliminar las áreas de conflicto entre los vehículos que desean girar a la izquierda y los que desean ir de frente. La segunda, eliminar las áreas de conflicto entre los primeros y los que transitan en el sentido oeste - este en la Av. La Marina. Es importante mencionar que estos dos tipos de conflicto pueden producir graves accidentes por la alta velocidad a la que transitan los vehículos que van de frente, a esto se suma el reducido espacio que separa a estos últimos con los que giran.

Adicionalmente se lograron mejoras en cuanto a accesibilidad, pues se plantea rediseñar la intersección de una manera inclusiva que permita que los usuarios más vulnerables también puedan transitarla con facilidad. Para esto se proponen rampas de 5 metros de ancho, con una pendiente máxima de 10%, al inicio y fin de cada uno de los cruceros. También se propone un ancho mínimo efectivo de 2 metros en las aceras, el cual permite el tránsito de cualquier peatón, el tránsito de hasta 3 peatones sin discapacidad, y además genera que éstas sean un lugar más agradable para transitar.

A partir de los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación; del análisis de las condiciones de circulación; queda en evidencia la deficiente gestión del tránsito vehicular por parte de las autoridades competentes y la nula gestión del tránsito peatonal. El conflicto que generan los vehículos que giran a la izquierda desde la Av La Marina y la mala distribución de los tiempos en el semáforo son los factores principales que afectan las condiciones de servicio de la intersección. Por lo que se concluye que los problemas de circulación identificados en esta, se deben principalmente a deficiencias en la gestión del tránsito.

Así mismo se concluye que el ciclo del semáforo no necesariamente mejora las condiciones de circulación en la intersección; y, tampoco favorece, necesariamente, al flujo cuyo tiempo en verde represente el mayor porcentaje del ciclo. En el escenario actual el tiempo en verde para el flujo de la Av. La Marina es de 125 segundos para un ciclo de 210, dicho de otro modo, el tiempo en verde representa el 60% del ciclo. Por otro lado, en la propuesta de rediseño se consideró un tiempo en verde de 58 segundos para un ciclo de 120, equivale decir que el tiempo en verde en este escenario representa solo el 48% del ciclo. Sin embargo, en este último, se obtuvo solo un incremento de 1 segundo en el tiempo de viaje promedio, pero al mismo tiempo, una disminución de 3 metros en la longitud de cola promedio.

## 6.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda a las autoridades competentes realizar un estudio vial a las principales intersecciones de la capital para poder cuantificar la funcionalidad de estas y proponer un conjunto de mejoras sostenibles tanto para peatones como para conductores. Tal como se afirma en (CIES, 2016) los problemas de tráfico en Lima se deben, principalmente, a una deficiente gestión del tránsito.

Es importante que las autoridades competentes cuenten con los planos viales actualizados y los pongan a disposición del público para mejorar la precisión con la que se realizan proyectos como el presente. Además, así se lograría contar con una amplia variedad de propuestas de mejora a beneficio de los ciudadanos.

Para mejorar la representatividad de la realidad en el modelo de micro-simulación, se recomienda realizar la filmación, en caso se haga, desde un ángulo que permita calibrar y validar usando parámetros de eficiencia de al menos 2 avenidas o calles que componen la intersección.

Para lograr una adecuada comparación entre la propuesta de mejora y el escenario actual, es muy importante que en ambos modelos se tengan las mismas consideraciones, tales como, prioridades de paso, áreas de reducción de velocidad, velocidades deseadas, entre otros; a no ser que las mejoras planteadas modifiquen necesariamente alguna de ellas.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

---

- A pie. (2004). CUADERNO DE INTERVENCIÓN PEATONAL. *Pequeña guía para pensar tus calles desde el punto de vista del peatón*. Madrid, España.
- Alcalá, M. (2016). MICRO SIMULACIÓN DEL TRÁFICO DE LA INTERSECCIÓN DE LAS AVENIDAS BOLIVAR, CÓRDOVA Y CALLE ANDALUCÍA EMPLEANDO EL SOFTWARE VISSIM 6. Lima, Perú: PUCP.
- Alcântara Vasconcellos, E. (2010). Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad. Bogotá: CAF. Obtenido de <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/414>
- Alvarez, J. (abril de 2017). Micro-simulación intermodal en la ciudad del Cusco empleando los softwares VISSIM 8 y VISWALK 8. Lima, Perú: PUCP.
- Better Market Street. (diciembre de 2011). Existing Conditions & Best Practices. Recuperado el agosto de 2018, de <http://www.bettermarketstreetsf.org/about-reports-existing-conditions.html>
- Cabrera, F. (2015). Curso de Gestión de Tránsito. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- CAF. (2011). Desarrollo urbano y movilidad en América Latina. Caracas. Obtenido de <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/419>
- Cámara de Comercio de Lima. (26 de febrero de 2018). Aumento continuo del parque automotor, un problema que urge solucionar. Lima, Perú. Recuperado el noviembre de 2018, de [https://www.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/posada\\_816/posada%20816\\_final\\_aumento%20continuo%20del%20parque%20automotor.pdf](https://www.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/posada_816/posada%20816_final_aumento%20continuo%20del%20parque%20automotor.pdf)
- CIES. (2016). Transporte Urbano: ¿Cómo resolver la movilidad en Lima y Callao? Lima, Perú. Recuperado el junio de 2018, de <http://www.cies.org.pe/es/investigaciones/elecciones-generales-2016/transporte-urbano-como-resolver-la-movilidad-en-lima-y>
- Dextre, J., & Avellaneda, P. (2014). *Movilidad en zonas urbanas*.
- Esquivel, W. (2011). Elementos de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas. Lima, Perú: PUCP.
- FHWA - Federal Highway Administration. (2004). Traffic Analysis Toolbox Volumen III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software. Obtenido de [https://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysistools/tat\\_vol3/vol3\\_guidelines.pdf](https://ops.fhwa.dot.gov/trafficanalysistools/tat_vol3/vol3_guidelines.pdf)
- Flores, Y. (2016). Micro-simulación de la intersección de la Av. Universitaria con la Av. Bolívar utilizando los softwares VISSIM y VISWALK 8. Lima, Perú: PUCP.
- Gestión. (22 de enero de 2018). Hacia una movilidad urbana sostenible en Lima.
- ITDP. (febrero de 2016). Guía de diseño de calles e intersecciones para Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. Recuperado el agosto de 2018, de <https://www.itdp.org/publication/guia-de-diseño-de-calles-e-intersecciones-para-buenos-aires/>
- Lima Cómo Vamos. (2015). Evaluando la Gestión en Lima: Sexto Informe de Resultados sobre Calidad de Vida. Lima, Perú. Recuperado el junio de 2018, de <http://www.limacomovamos.org/movilidad-y-transporte/observatorio-de-movilidad-urbana-informe-2015-2016/>

- Mathew, T. (2014). Microscopic Traffic Simulation. Obtenido de [https://nptel.ac.in/courses/105101008/downloads/cete\\_16.pdf](https://nptel.ac.in/courses/105101008/downloads/cete_16.pdf)
- Ministerio de Energía y Minas del Perú. (2016). Balance Nacional de Energía. Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda y Urbanismo - Gobierno de Chile. (2009). Manual de Viabilidad Urbana: Recomendaciones para el Diseño de Elementos de Infraestructura Vial Urbana (REDEVU). Chile. Recuperado el agosto de 2018, de [http://www.minvu.cl/incjs/download.aspx?glb\\_cod\\_nodo=20070404110715&hdd\\_nom\\_archivo=REDEVU.pdf](http://www.minvu.cl/incjs/download.aspx?glb_cod_nodo=20070404110715&hdd_nom_archivo=REDEVU.pdf)
- MTC. (2016). Manual de Carreteras. *Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras*. Perú.
- NACTO. (2018). National Association of City. *Urban Street Design Guide*. New York.
- NCHRP. (2001). Evaluating Intersection Improvements: An Engineering Study Guide. Washington, DC, EEUU. Recuperado el agosto de 2018, de <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/esg/esg.pdf>
- NCHRP. (2004). Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan. Washington, DC, EEUU. Recuperado el agosto de 2018, de [https://nacto.org/docs/usdg/nchrp500\\_antonucci.pdf](https://nacto.org/docs/usdg/nchrp500_antonucci.pdf)
- Obra Social Caja Madrid. (2010). Movilidad Urbana Sostenible: Un reto energético y ambiental . Madrid, España.
- Owens, S. (1996). *I wouldn't start from here: land use, transport and sustainability*. UK: University of Oxford.
- Tamayo, J. (2014). El sector transporte terrestre, el uso de la energía y sus impactos sobre el Cambio Climático. Lima. Recuperado el mayo de 2018, de [http://www.osinergmin.gob.pe/newweb/pages/Publico/cop20/uploads/Jesus\\_Tamayo-El\\_Sector\\_Transporte\\_Terrestre-Usode\\_la\\_Energia\\_y\\_sus\\_Impactos\\_en\\_el\\_Cambio\\_Climatico.pdf](http://www.osinergmin.gob.pe/newweb/pages/Publico/cop20/uploads/Jesus_Tamayo-El_Sector_Transporte_Terrestre-Usode_la_Energia_y_sus_Impactos_en_el_Cambio_Climatico.pdf)
- Vasconcellos, E., & Mendonça, A. (2016). Observatorio de Movilidad Urbana: Informe 2015-2016 (resumen ejecutivo). Caracas: CAF. Obtenido de <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/981>

## ANEXOS

---

### Anexo A. Tabulación de los resultados obtenidos con las propuestas de mejora

**Tabla A.1: Resultados obtenidos de la simulación para la Av. La Marina O-E**

N° de corrida	Intervalo de tiempo (s)	Tiempo de viaje (s)	Longitud de cola (m)
1	600-4200	27.60	30.54
2	600-4200	26.51	31.48
3	600-4200	26.04	28.16
4	600-4200	25.90	29.70
5	600-4200	26.98	28.04
6	600-4200	27.41	32.70
7	600-4200	27.23	31.02
8	600-4200	27.87	31.17
9	600-4200	27.40	30.98
10	600-4200	26.66	30.15
11	600-4200	25.83	29.89
12	600-4200	25.16	26.90
13	600-4200	26.80	31.33
14	600-4200	26.80	28.12
15	600-4200	26.52	32.68
16	600-4200	27.65	31.21
17	600-4200	27.22	30.62
18	600-4200	27.18	30.56
$\bar{x}$	600-4200	26.82	30.29
s	600-4200	0.726	1.59
Mín.	600-4200	25.16	26.90
Máx.	600-4200	27.87	32.70

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**Tabla A.2: Resultados obtenidos de la simulación para Av. La Marina E-O**

N° de corrida	Intervalo de tiempo (s)	Tiempo de viaje (s)
1	600-4200	23.92
2	600-4200	24.04
3	600-4200	25.35
4	600-4200	22.26
5	600-4200	24.51
6	600-4200	23.68
7	600-4200	23.88
8	600-4200	23.99
9	600-4200	25.12
10	600-4200	24.32
11	600-4200	24.19
12	600-4200	24.85
13	600-4200	24.97
14	600-4200	23.09
15	600-4200	25.04
16	600-4200	25.95
17	600-4200	26.35
18	600-4200	24.24
$\bar{x}$	600-4200	24.43
s	600-4200	0.98
Mín.	600-4200	22.26
Máx.	600-4200	26.35

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**Tabla A.3: Resultados obtenidos de la simulación para la bahía de almacenamiento**

N° de corrida	Intervalo de tiempo (s)	Longitud de cola (m)	Longitud máxima de cola (m)
1	600-4200	17.8	68.9
2	600-4200	14.1	57.6
3	600-4200	15.8	58.8
4	600-4200	20.1	79.0
5	600-4200	13.1	60.9
6	600-4200	17.9	62.7
7	600-4200	16.5	75.2
8	600-4200	10.7	58.4
9	600-4200	15.6	59.5
10	600-4200	14.7	57.1
11	600-4200	16.5	74.3
12	600-4200	14.2	56.7
13	600-4200	17.5	64.8
14	600-4200	20.5	80.2
15	600-4200	15.1	57.9
16	600-4200	16.8	73.2
17	600-4200	14.0	71.4
18	600-4200	18.1	62.3
$\bar{X}$	600-4200	16.1	65.5
s	600-4200	2.4	8.1
Mín.	600-4200	10.7	56.7
Máx.	600-4200	20.5	80.2

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**Tabla A.4: Resultados obtenidos de la simulación para las Calles Juan Valer Sandoval y Miguel de Unamuno**

N° de corrida	Intervalo de tiempo (s)	Longitud de cola en Juan Valer (m)	Longitud máxima de cola en Juan Valer (m)	Longitud de cola en Unamuno (m)	Longitud máxima de cola en Unamuno (m)
1	600-4200	23.21	107.87	27.36	132.34
2	600-4200	25.38	96.49	25.44	118.86
3	600-4200	30.18	112.68	35.51	153.70
4	600-4200	37.59	126.68	18.52	85.03
5	600-4200	30.73	141.10	21.21	92.69
6	600-4200	24.75	118.63	22.05	94.51
7	600-4200	22.69	101.29	18.93	82.06
8	600-4200	29.64	125.11	30.96	118.60
9	600-4200	27.73	116.56	20.36	95.39
10	600-4200	27.84	112.65	22.49	109.24
11	600-4200	25.74	113.22	21.16	113.31
12	600-4200	24.35	117.20	30.49	114.66
13	600-4200	24.20	98.09	25.16	109.28
14	600-4200	25.12	100.11	26.94	125.28
15	600-4200	22.16	101.10	23.42	117.12
16	600-4200	51.19	164.27	20.88	87.04
17	600-4200	24.41	106.68	25.68	108.89
18	600-4200	26.37	104.63	22.57	95.09
$\bar{x}$	600-4200	27.96	114.69	24.40	108.51
s	600-4200	6.88	16.87	4.53	18.39
Mín.	600-4200	22.16	96.49	18.52	82.06
Máx.	600-4200	51.19	164.27	35.51	153.70

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**Tabla A.5: Resultados de tiempo de viaje obtenidos de la simulación para el tránsito peatonal**

N° de corrida	Intervalo de tiempo (s)	Flujo 3 (s)	Flujo 2 (s)	Flujo 4 (s)	Flujo 1 (s)
1	600-4200	39.38	32.52	32.80	35.50
2	600-4200	41.09	35.47	32.04	34.82
3	600-4200	39.32	27.98	32.18	36.16
4	600-4200	39.32	34.29	30.35	33.18
5	600-4200	39.65	31.84	31.08	34.75
6	600-4200	41.93	36.53	29.93	35.54
7	600-4200	42.38	30.74	33.18	36.09
8	600-4200	41.12	31.33	32.83	35.52
9	600-4200	43.92	32.65	32.22	41.35
10	600-4200	44.36	32.74	34.34	35.02
11	600-4200	38.39	30.92	32.66	36.16
12	600-4200	39.58	33.84	33.01	32.74
13	600-4200	37.78	34.61	32.84	35.01
14	600-4200	43.39	33.35	31.35	35.78
15	600-4200	37.19	29.76	33.33	38.10
16	600-4200	41.36	31.81	31.39	36.05
17	600-4200	39.09	29.86	33.41	37.76
18	600-4200	40.52	32.49	33.82	34.31
$\bar{x}$	600-4200	40.54	32.37	32.37	35.77
s	600-4200	2.06	2.14	1.18	1.91
Mín.	600-4200	37.19	27.98	29.93	32.74
Máx.	600-4200	44.36	36.53	34.34	41.35

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Anexo B. Escenario actual de la intersección.

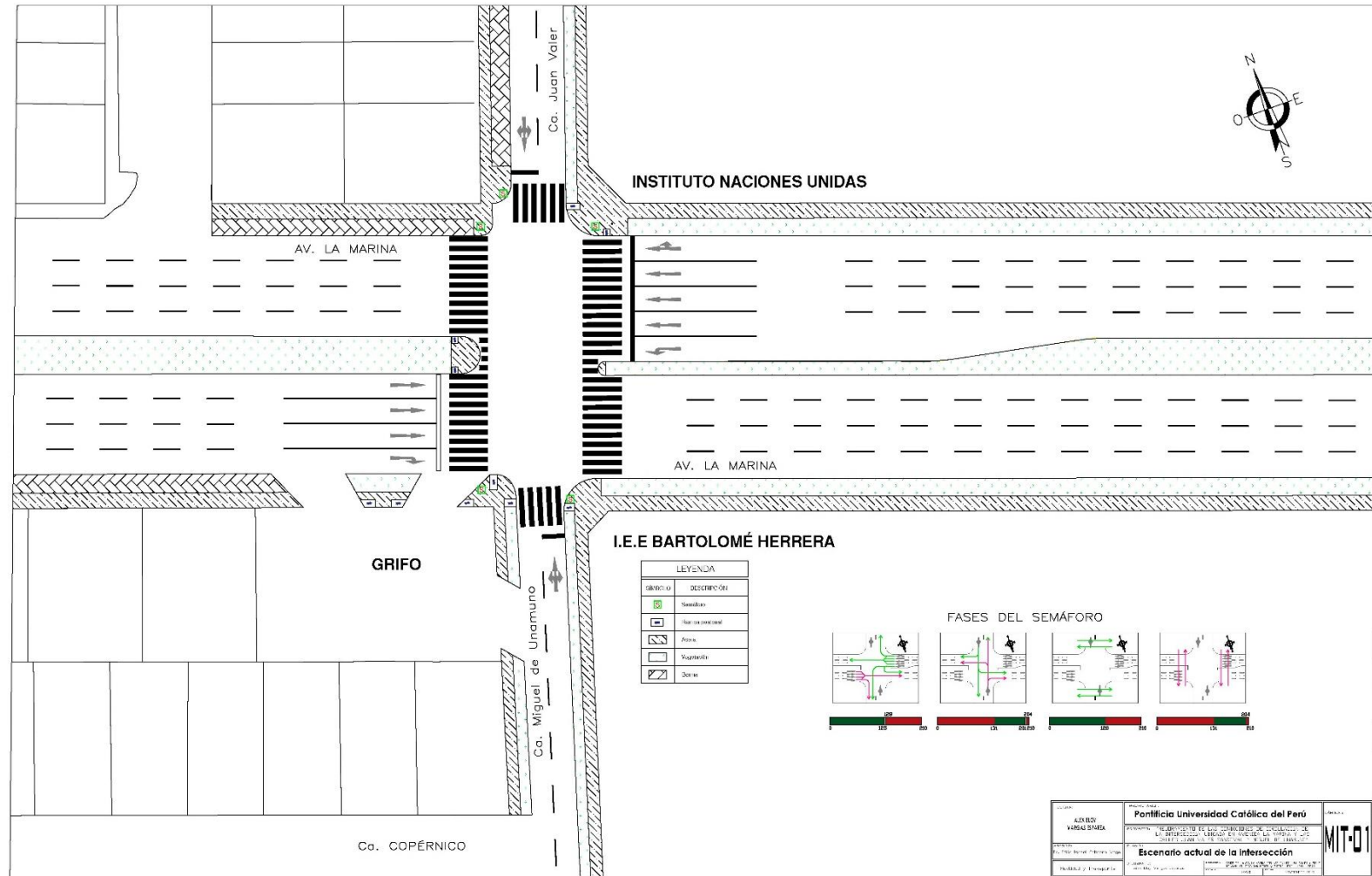


Figura B.1: Plano del escenario actual.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Anexo C. Propuesta de rediseño de la intersección.

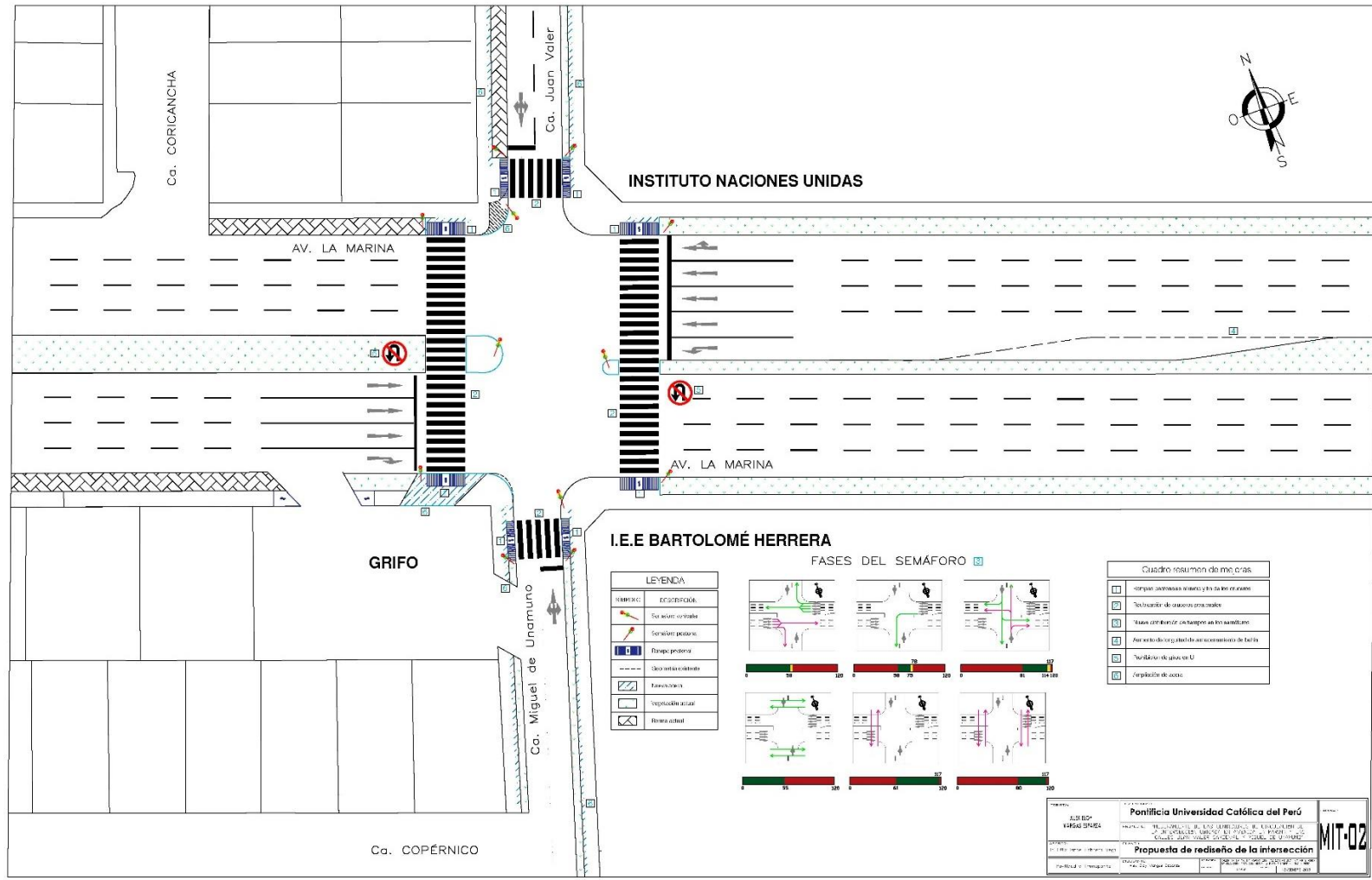


Figura C.1: Plano del rediseño de la intersección.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA