

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**MODELO DE MICROSIMULACIÓN DEL ENTORNO VIAL DE  
UN TERMINAL BRT DEBIDO A LA AMPLIACIÓN DE SU RED**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR**

**LUIS EDUARDO AITE COCHACHI**

**ASESOR**

**MSc. EDWARD SANTA MARÍA DÁVILA**

**LIMA-PERU**

**2024**

©2024, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados  
**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte,  
con fines estrictamente académicos.”**

Aite Cochachi, Luis Eduardo

laitec@uni.pe

988530110

## ÍNDICE

<b>Resumen.....</b>	<b>5</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>6</b>
<b>Prólogo.....</b>	<b>7</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>8</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>13</b>
<b>Lista de cuadros.....</b>	<b>14</b>
<b>Lista de símbolos y siglas .....</b>	<b>15</b>
<b>Capítulo I: Introducción .....</b>	<b>16</b>
1.1. Generalidades .....	16
1.2. Antecedentes.....	17
1.3. Planteamiento de la realidad problemática .....	18
1.4. Objetivos.. .....	20
<b>Capítulo II: Marco teórico y conceptual .....</b>	<b>21</b>
2.1. Ingeniería de tránsito .....	21
2.1.1.Estructura del Sistema de Transporte.....	21
2.1.2.Conflictos de Tráfico .....	22
2.1.3.Congestión Vehicular.....	23
2.2. Características del flujo de tránsito .....	24
2.2.1.Capacidad y Nivel de Servicio .....	24
2.2.2.Parámetros de Flujo de Tráfico.....	27
2.2.3.Características del Tráfico .....	31
2.2.4.Procedimientos Analíticos en una Vía Urbana .....	33
2.3. Estudio de tránsito .....	34
2.3.1.Estudio de Volúmenes de Tránsito .....	34
2.4. Simulación de tránsito .....	38
2.4.1.Modelos Según el Nivel de Detalle .....	38
2.4.2.Fundamentos de la Microsimulación.....	39
2.4.3.Calibración y Validación de un Modelo .....	44

2.4.4. Software PTV Vissim .....	47
<b>Capítulo III: Metodología y diseño de la investigación.....</b>	<b>48</b>
3.1. Metodología de la investigación.....	48
3.2. Diseño de la investigación .....	48
3.2.1.Hipótesis.....	48
3.2.2.Variables.. .....	49
<b>Capítulo IV: Descripción de la infraestructura vial y obtención de data de campo.....</b>	<b>52</b>
4.1. Descripción del área de estudio.....	52
4.1.1.Ubicación de la Zona de Estudio .....	52
4.1.2.Descripción del Medio Físico e Infraestructura .....	53
4.1.3.Diagnóstico del Área de Estudio .....	59
4.2. Obtención de información de campo .....	68
4.2.1.Aforo Vehicular .....	68
4.2.2.Maniobras de Estacionamiento.....	77
4.2.3.Tiempo de Viaje.....	80
4.2.4.Ciclo Semaforíco .....	83
<b>Capítulo V: Creación del modelo de simulación .....</b>	<b>86</b>
5.1. Inserción de la vía .....	86
5.1.1.Trazo Geométrico .....	86
5.1.2.Áreas de Conflicto .....	87
5.1.3.Áreas de Reducción de Velocidad .....	89
5.1.4.Decisiones de Velocidad Deseada .....	90
5.1.5.Semáforos .....	91
5.2. Inserción de vehículos .....	91
5.2.1.Creación de modelos y clases de Vehículos.....	91
5.2.2.Inserción de Volumen de Vehículos.....	92
5.2.3.Asignación Estática de Rutas .....	93
5.2.4.Asignación de Parqueo en Rutas.....	94
5.3. Creación de puntos de medición.....	96
5.3.1.Puntos de Medición de Tiempos de Viaje .....	96
5.3.2.Inserción de Nodos.....	97
5.4. Parámetros de simulación .....	98

5.4.1. Periodo de Simulación.....	98
5.4.2. Número de Semilla .....	99
<b>Capítulo VI: Evaluación y validación del modelo.....</b>	<b>100</b>
6.1. Calibración del modelo .....	100
6.1.1. Análisis de Sensibilidad .....	100
6.1.2. Resultados Obtenidos en cada Intersección.....	101
6.1.3. Resultados obtenidos en el tramo entero.....	102
6.2. Optimización parámetros del modelo.....	103
6.2.1. Preparación de algoritmo y evaluación .....	103
6.2.2. Valores resultantes.....	103
6.3. Validación del modelo.....	105
6.3.1. Prueba de Valores Anómalos .....	106
6.3.2. Prueba distribución de la muestra.....	106
6.3.3. Prueba de normalidad .....	113
<b>Capítulo VII: Propuestas de mejora y replanteo del modelo .....</b>	<b>118</b>
7.1. Análisis de resultados del modelo.....	118
7.2. Planteamiento de escenarios.....	121
7.2.1. Propuestas de escenario sin ampliación.....	121
7.2.2. Propuestas de ampliación.....	129
7.3. Comportamiento optimizado de conductores .....	137
<b>Capítulo VIII: Análisis de resultados.....</b>	<b>138</b>
8.1. Análisis de tiempos de viaje en el escenario sin ampliación .....	138
8.1.1. Análisis tiempos de Viaje Comportamiento Conductor sin Optimizar .....	138
8.1.2. Análisis tiempos de viaje Comportamiento Conductor Optimizado .....	139
8.2. Análisis tiempos de viaje para el escenario de ampliación.....	140
8.2.1. Análisis Tiempos de Viaje Comportamiento Conductor sin Optimizar .....	140
8.2.2. Análisis Tiempos de Viaje Comportamiento Conductor Optimizado.....	142
8.3. Análisis tiempos de viaje para el escenario futuro .....	143
8.3.1. Análisis Tiempos de Viaje Comportamiento Conductor sin Optimizar .....	143
8.3.2. Análisis Tiempos de Viaje Comportamiento Conductor Optimizado.....	144
8.4. Análisis tiempos de demora y niveles de servicio en el escenario sin ampliación .....	146
8.4.1. Análisis Tiempos de Demora Comportamiento Conductor sin Optimizar .....	147
8.4.2. Análisis Tiempos de Demora Comportamiento Conductor Optimizado ...	149

8.5. Análisis tiempos de demora y niveles de servicio para el escenario de ampliación .....	151
8.5.1. Análisis Tiempos de Demora Conductor sin Optimizar .....	151
8.5.2. Análisis Tiempos de Demora Conductor Optimizado .....	153
8.6. Análisis tiempos de demora y niveles de servicio para el escenario futuro.....	156
8.6.1. Análisis Tiempos de Demora Conductor sin Optimizar .....	156
8.6.2. Análisis Tiempos de Demora Conductor Optimizado .....	159
<b>Conclusiones.....</b>	<b>163</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>165</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>166</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>171</b>

## RESUMEN

La puesta en operación del sistema BRT del Metropolitano ha generado un impacto en torno a sus estaciones, tanto para los vehículos que circulan en vías próximas como población que reside cerca del área de influencia del sistema. La estación de Naranjal viene siendo la de principal afectación al ser la de mayor concurrencia de pasajeros, ocasionando que durante las horas pico las vías sean rebasadas en su capacidad e incrementen los tiempos de viaje. El proyecto de ampliación del tramo norte del Metropolitano generaría que el impacto se extienda e incremente tanto para la población cercana como para los vehículos que circulan por vías circundantes. La presente investigación aborda el análisis los tiempos de viaje y demoras en las intersecciones entorno a la intersección Naranjal a través del desarrollo de un modelo de simulación microscópica y que permita evaluar alternativas que aminoren el tiempo de viaje y nivel de servicio.

Mediante el apoyo de grabaciones aéreas, se recopiló información del flujo vehicular y tiempos de viaje durante el periodo de mayor demanda para las vías que atraviesan las intersecciones de la avenida Túpac Amaru con las avenidas Los Alisos, Chinchaysuyo y Naranjal. Estos insumos junto con información complementaria recopilada en campo permitieron crear el modelo de simulación microscópico para el área de estudio. Aplicando un muestro de hipercubos latinos, se ejecutó el análisis de sensibilidad en el micromodelo en donde se encontraron las variables de comportamiento del conductor más influyentes para el modelo de simulación. La calibración del modelo creado se llevó a cabo ejecutando Algoritmos Genéticos, teniendo como resultado para el modelo de simulación una diferencia de tiempos de viajes menor a tres segundos respecto a la información de campo. Para la validación del modelo se verificó que los resultados cumplan con las pruebas de valores anómalos, de distribución de la muestra y normalidad. Se crean escenarios considerando medidas aplicables antes del proyecto de ampliación del metropolitano, con la puesta en operación del proyecto de ampliación y para un horizonte al año 2030. La alternativa de ola verde obtiene un mejor desempeño en tiempos de viaje, nivel de servicio, así como la disminución de conflictos operacionales en la intersección de Chinchaysuyo. La alternativa de incluir una rotonda en la intersección de Naranjal consigue un mejor desempeño en tiempos de viaje y nivel de servicio a comparación del trazo considerado para el proyecto de ampliación norte del metropolitano.

## ABSTRACT

The implementation of the Metropolitano BRT system has generated an impact around its stations, both for vehicles traveling on nearby roads and for the population living near the system's area of influence. The Naranjal station has been the most affected station, as it is the one with the highest passenger traffic, causing the capacity of the roads to be exceeded during peak hours and increasing travel times. The project to expand the northern section of the Metropolitano would cause the impact to extend and increase both for the nearby population and for vehicles traveling on surrounding roads. This research addresses the analysis of travel times and delays at the intersections around the Naranjal intersection through the development of a microscopic simulation model that allows the evaluation of alternatives that reduce travel time and level of service.

Using aerial recordings, information was collected on vehicle flow and travel times during the peak period for the roads that cross the intersections of Túpac Amaru Avenue with Los Alisos, Chinchaysuyo and Naranjal Avenues. These inputs, together with complementary information collected in the field, made it possible to create the microscopic simulation model for the study area. Applying a sample of Latin hypercubes, a sensitivity analysis was performed on the micromodel where the most influential driver behavior variables for the simulation model were found. The calibration of the created model was carried out by executing Genetic Algorithms, resulting in a difference in travel times of less than three seconds for the simulation model with respect to the field data. For the validation of the model, it was verified that the results comply with the outliers, sample distribution and normality tests.

Scenarios are created considering measures applicable before the metropolitan expansion project, with the implementation of the expansion project and for a horizon of 2030. The green wave alternative achieves better performance in terms of travel times, level of service, and reduced operational conflicts at the Chinchaysuyo intersection. The alternative of including a traffic circle at the Naranjal intersection achieves better performance in terms of travel times and level of service compared to the route considered for the northern extension project.

## PRÓLOGO

La ampliación del Metropolitano hacia el norte de Lima es un proyecto de gran envergadura que tiene como objetivo mejorar la movilidad urbana en la capital peruana, en el eje de mayor importancia. El proyecto contempla la construcción de algunas estaciones nuevas y alrededor de 10 kilómetros de vía exclusiva, lo que representa un importante desafío para la gestión del tráfico, en particular, en la zona de la conexión con la estación Naranjal (una de las mayores estaciones intermodales de la ciudad).

En esta investigación, se han evaluado diversos escenarios en los que se analizó el desempeño del flujo vehicular que circula por la red vial cercana a la estación Naranjal y considerando el impacto generado para el tramo de ampliación norte del Metropolitano. El trabajo se realizó a partir del vuelo de drones para calibrar los modelos de tráfico que se hicieron en el programa Vissim (simulación). Los resultados de las simulaciones muestran que las rotundas tienen un mejor desempeño que los cruces a nivel para combinar los flujos de vehículos y el tránsito peatonal. Esto se debe a que las rotundas permiten que los vehículos transiten en círculo, reduciendo los giros, las interrupciones y tiempos de espera.

La investigación pone de relieve la importancia de la calidad de los datos y el ajuste numérico de las simulaciones para la planificación de proyectos de transporte, así como en el uso de parámetros adecuados para la calibración de programas computacionales de gran utilidad como Vissim. Los resultados de esta investigación pueden ayudar a mejorar la gestión del tráfico en el tramo norte del Metropolitano y en otras áreas urbanas de Lima, y a mi parecer, Luis Aite ha recorrido una senda de investigación que ha sido ardua y dedicada, y que los resultados evidencian la calidad del esfuerzo.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Relación entre los Sistemas de transportes, actividades y estructura de Flujos.....	21
<b>Figura 2.</b> Comportamiento del tráfico en un carril próximo a una intersección...	29
<b>Figura 3.</b> Perfiles de velocidad Típicos de Vehículos en Calles Urbanas .....	33
<b>Figura 4.</b> Tipos de Modelos de Simulación.....	38
<b>Figura 5.</b> Fases del modelo de Wiedemann .....	42
<b>Figura 6.</b> Muestreo de hipercubos latinos de un espacio bidimensional para muestras de capacidad y demanda de tráfico.....	46
<b>Figura 7.</b> Proceso iterativo desarrollado por los algoritmos genéticos .....	47
<b>Figura 8.</b> Ubicación de la zona de estudio y vías aledañas .....	52
<b>Figura 9.</b> Sectores de Independencia dentro del área de estudio.....	54
<b>Figura 10.</b> Infraestructura vial de la av. Túpac Amaru .....	55
<b>Figura 11.</b> Infraestructura vial de la av. Alisos.....	55
<b>Figura 12.</b> Infraestructura vial de la av. Chinchaysuyo .....	56
<b>Figura 13.</b> Infraestructura vial de la av. Naranjal .....	57
<b>Figura 14.</b> Infraestructura vial av. Gerardo Unger (Izquierda) y Metropolitana (Derecha) .....	58
<b>Figura 15.</b> Infraestructura de la Estación Naranjal.....	58
<b>Figura 16.</b> Viajes generados y atraídos por la estación Naranjal.....	59
<b>Figura 17.</b> Área ocupada utilizada por vehículos de transporte público como paradero y zona de tránsito de peatones en medio de los ambulantes.....	60
<b>Figura 18.</b> Buses de transporte publico esperando por pasajeros con semáforo en verde .....	61
<b>Figura 19.</b> Informalidad de Servicio de Mototaxis y Colectivos.....	62
<b>Figura 20.</b> Concentración de peatones y vendedores ambulantes en los cruces peatonales. ....	63
<b>Figura 21.</b> Conflicto generado por vehículos provenientes de av. Los Alisos ....	64
<b>Figura 22.</b> Espacio vial desaprovechado de la Infraestructura del Metropolitano.....	65
<b>Figura 23.</b> Conflictos generados por la geometría de la vía en la intersección de las avenidas.....	66
<b>Figura 24.</b> Conflicto en la av. Naranjal generado por la ausencia de semafORIZACIÓN .....	67
<b>Figura 25.</b> Vendedores ambulantes en las calles y alrededor de la estación Naranjal.....	68
<b>Figura 26.</b> Área de cobertura del aforamiento con drones en las intersecciones dentro del área de estudio .....	69
<b>Figura 27.</b> Codificación del flujo de tránsito en las intersecciones .....	70
<b>Figura 28.</b> Direcciones del flujo en la av. Túpac Amaru intersección de las av. Túpac Amaru con Los Alisos .....	71
<b>Figura 29.</b> Direcciones de giro en la en la av. Túpac Amaru (intersección Túpac Amaru-Los Alisos) .....	72
<b>Figura 30.</b> Direcciones de giro en la av. Los Alisos y Calle Yahuar Huaca.....	72

<b>Figura 31.</b> Direcciones del flujo en la Intersección de las av. Túpac Amaru con Chinchaysuyo .....	73
<b>Figura 32.</b> Direcciones del flujo en la av. Túpac Amaru (intersección Túpac Amaru- Naranjal) .....	74
<b>Figura 33.</b> Direcciones del flujo en la av. Naranjal y Calle 1 (intersección Túpac Amaru- Naranjal) .....	75
<b>Figura 34.</b> Direcciones del flujo en las vías auxiliares (intersección Túpac Amaru- Naranjal) .....	76
<b>Figura 35.</b> Direcciones del flujo en la av. Metropolitana y Gerardo Unger (intersección Túpac Amaru- Naranjal) .....	77
<b>Figura 36.</b> Espacios de estacionamiento identificados en la intersección Túpac Amaru- Alisos .....	78
<b>Figura 37.</b> Espacios de estacionamiento identificados en la intersección Túpac Amaru- Chinchaysuyo.....	79
<b>Figura 38.</b> Espacios de estacionamiento identificados en la intersección Túpac Amaru- Naranjal.....	79
<b>Figura 39.</b> Puntos y tramos de medición de tiempos de viaje en la intersección de la av. Túpac Amaru con av. Los Alisos .....	81
<b>Figura 40.</b> Puntos y tramos de medición de tiempos de viaje en la intersección de la av. Túpac Amaru con av. Chinchaysuyo .....	82
<b>Figura 41.</b> Puntos y tramos de medición de tiempos de viaje en la Intersección de la av. Túpac Amaru con av. Naranjal .....	82
<b>Figura 42.</b> Ciclo semafórico de la intersección Naranjal .....	83
<b>Figura 43.</b> Ubicación de grupos de señales en la intersección Naranjal .....	83
<b>Figura 44.</b> Ciclo semafórico de la intersección Chinchaysuyo .....	84
<b>Figura 45.</b> Ubicación de grupos de señales en la intersección Chinchaysuyo ...	84
<b>Figura 46.</b> Ciclo semafórico de la intersección Alisos.....	85
<b>Figura 47.</b> Ubicación de grupos de señales en la intersección Alisos.....	85
<b>Figura 48.</b> Información de cada link creado.....	86
<b>Figura 49.</b> Links y conectores del modelo de simulación.....	87
<b>Figura 50.</b> Situaciones ocurridas entre áreas de conflicto .....	88
<b>Figura 51.</b> Situaciones ocurridas entre áreas de conflicto .....	89
<b>Figura 52.</b> Áreas de reducción de velocidad para giros vehiculares en la intersección Naranjal .....	90
<b>Figura 53.</b> Zonas de decisión de velocidad deseada en la intersección Chinchaysuyo .....	90
<b>Figura 54.</b> Zonas de decisión de velocidad deseada en la intersección Chinchaysuyo .....	91
<b>Figura 55.</b> Lista de tipos de vehículos insertados y su representación visual en el modelo .....	92
<b>Figura 56.</b> Zonas de parqueo insertadas en el modelo .....	95
<b>Figura 57.</b> Ubicación de puntos de medición y tiempos de viaje en las intersecciones .....	97
<b>Figura 58.</b> Ubicación de nodos de medición en las intersecciones .....	98
<b>Figura 59.</b> Parámetros de simulación introducidos para el modelo .....	99
<b>Figura 60.</b> Diagrama de flujo para la creación del modelo de simulación .....	99

<b>Figura 61.</b> Prueba T para el Punto 1 de la intersección Alisos .....	107
<b>Figura 62.</b> Prueba T para el Punto 2 de la intersección Alisos .....	108
<b>Figura 63.</b> Prueba T para el Punto 1 de la intersección Chinchaysuyo .....	109
<b>Figura 64.</b> Prueba T para el Punto 2 de la intersección Chinchaysuyo .....	109
<b>Figura 65.</b> Prueba T para el Punto 3 de la intersección Chinchaysuyo .....	110
<b>Figura 66.</b> Prueba T para el Punto 4 de la intersección Chinchaysuyo .....	111
<b>Figura 67.</b> Prueba T para el Punto 1 de la intersección Naranjal .....	112
<b>Figura 68.</b> Prueba T para el Punto 2 de la intersección Naranjal .....	112
<b>Figura 69.</b> Prueba de Normalidad para el Punto 1 de la intersección Alisos ...	113
<b>Figura 70.</b> Prueba de Normalidad para el Punto 2 de la intersección Alisos ...	114
<b>Figura 71.</b> Prueba de Normalidad para el Punto 1 de la intersección Chinchaysuyo .....	114
<b>Figura 72.</b> Prueba de Normalidad para el Punto 2 de la intersección Chinchaysuyo .....	115
<b>Figura 73.</b> Prueba de Normalidad para el Punto 3 de la intersección Chinchaysuyo .....	115
<b>Figura 74.</b> Prueba de Normalidad para el Punto 4 de la intersección Chinchaysuyo .....	116
<b>Figura 75.</b> Prueba de normalidad para el Punto 1 de la intersección Naranjal 116	116
<b>Figura 76.</b> Prueba de normalidad para el Punto 2 de la intersección Naranjal 117	117
<b>Figura 77.</b> Tramo de evaluación del modelo de simulación .....	118
<b>Figura 78.</b> Zonas de congestión en la intersección de Chinchaysuyo .....	119
<b>Figura 79.</b> Zonas de congestión en la intersección de Alisos .....	120
<b>Figura 80.</b> Zonas de congestión en la intersección de Naranjal .....	121
<b>Figura 81.</b> Aplicación de intervenciones sobre la intersección Alisos .....	122
<b>Figura 82.</b> Aplicación de intervenciones sobre la intersección Alisos en el modelo de simulación .....	122
<b>Figura 83.</b> Aplicación de intervenciones sobre la intersección Chinchaysuyo para el escenario de Ola Verde .....	124
<b>Figura 84.</b> Aplicación de intervenciones sobre la intersección Chinchaysuyo en el modelo de simulación para el escenario de Ola Verde .....	124
<b>Figura 85.</b> Ciclo semafórico propuesto en la intersección de Chinchaysuyo para el escenario de Ola Verde .....	124
<b>Figura 86.</b> Aplicación de intervenciones sobre la intersección de Naranjal en el modelo de simulación .....	125
<b>Figura 87.</b> Aplicación de intervenciones sobre la intersección Naranjal y el modelo de simulación .....	125
<b>Figura 88.</b> Aplicación de intervenciones sobre la intersección Chinchaysuyo en el escenario sin variación del ciclo semafórico.....	126
<b>Figura 89.</b> Aplicación de intervenciones sobre la intersección Chinchaysuyo en el modelo de simulación para el escenario sin variación del ciclo semafórico .....	127
<b>Figura 90.</b> Ciclo semafórico propuesto en la intersección de Chinchaysuyo para el escenario sin variación del ciclo semafórico .....	127
<b>Figura 91.</b> Aplicación de intervenciones sobre la intersección Chinchaysuyo en el escenario de accesibilidad en Chinchaysuyo .....	128

<b>Figura 92.</b> Aplicación de intervenciones sobre la intersección Chinchaysuyo en el modelo de simulación para el escenario de accesibilidad en Chinchaysuyo .....	129
<b>Figura 93.</b> Ciclo semafórico propuesto en la intersección de Chinchaysuyo para el escenario de accesibilidad en Chinchaysuyo .....	129
<b>Figura 94.</b> Próximo cruce en la av. Túpac Amaru debido al cierre del acceso ubicado en la intersección de Naranjal .....	131
<b>Figura 95.</b> Aplicación de intervenciones sobre la intersección Naranjal en el modelo de simulación para el escenario proyectado por EMAPE ..	132
<b>Figura 96.</b> Ciclo semafórico propuesto en la intersección de Naranjal para el escenario proyectado por EMAPE .....	133
<b>Figura 97.</b> Aplicación de intervenciones sobre la intersección Naranjal en el modelo de simulación para el escenario proyectado por EMAPE, pero con acceso en Naranjal .....	134
<b>Figura 98.</b> Ciclo semafórico propuesto en la intersección de Naranjal para escenario proyectado por EMAPE, pero con acceso en Naranjal .	134
<b>Figura 99.</b> Aplicación de intervenciones sobre la intersección Naranjal en el modelo de simulación para el escenario de Rotonda.....	135
<b>Figura 100.</b> Ciclo semafórico propuesto en la intersección de Chinchaysuyo para el escenario de accesibilidad en Chinchaysuyo .....	136
<b>Figura 101.</b> Tiempos de viaje totales para los escenarios sin ampliación.....	139
<b>Figura 102.</b> Tiempos de viaje para escenarios sin ampliación con comportamiento de conductor optimizado .....	140
<b>Figura 103.</b> Tiempos de viaje totales para los escenarios de ampliación .....	141
<b>Figura 104.</b> Tiempos de viaje en los escenarios de ampliación con comportamiento de conductor optimizado .....	143
<b>Figura 105.</b> Tiempos de viaje totales para los escenarios futuros .....	144
<b>Figura 106.</b> Tiempos de viaje en los escenarios futuros con comportamiento de conductor optimizado.....	145
<b>Figura 107.</b> Tiempos de demora totales para los escenarios sin ampliación ...	148
<b>Figura 108.</b> Distribución de Niveles de Servicio en los escenarios sin ampliación .....	149
<b>Figura 109.</b> Tiempos de demora totales en los escenarios futuros con comportamiento de conductor optimizado .....	150
<b>Figura 110.</b> Distribución niveles de servicio en el escenario sin ampliación con comportamiento de conductor optimizado.....	151
<b>Figura 111.</b> Tiempos de demora totales en los escenarios de ampliación.....	152
<b>Figura 112.</b> Distribución niveles de servicio en los escenarios de ampliación .	153
<b>Figura 113.</b> Tiempos de demora totales en los escenarios de ampliación con comportamiento de conductor optimizado.....	155
<b>Figura 114.</b> Distribución niveles de servicio en los escenarios de ampliación con comportamiento de conductor optimizado.....	156
<b>Figura 115.</b> Tiempos de demora totales en los escenarios futuros.....	158
<b>Figura 116.</b> Distribución niveles de servicio en los escenarios futuros .....	159
<b>Figura 117.</b> Tiempos de demora totales en los escenarios futuros con comportamiento de conductor optimizado .....	160

- Figura 118.** Distribución niveles de servicio en los escenarios futuros con comportamiento de conductor optimizado ..... 162

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tipos de maniobras de stop and go.....	22
<b>Tabla 2.</b> Tipos de maniobras Convergentes y Divergentes.....	23
<b>Tabla 3.</b> Maniobras de Giro en Cruce.....	23
<b>Tabla 4.</b> Clasificación del Nivel de Servicio en Intersecciones Urbanas .....	25
<b>Tabla 5.</b> Tipos de aforo manual .....	35
<b>Tabla 6.</b> Tipos de aforamiento apoyados de equipos electrónicos.....	35
<b>Tabla 7.</b> Tipos de aforamiento apoyados de equipos electrónicos.....	36
<b>Tabla 8.</b> Variables consideradas para la investigación. ....	51

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Proporción del Parque automotor en Lima Metropolitana y a Nivel Nacional .....	16
<b>Cuadro 2.</b> Volumen Vehicular asignado y proporción relativa entre tipos de vehículos .....	93
<b>Cuadro 3.</b> Volumen Vehicular asignado y proporción relativa entre tipos de vehículos .....	94
<b>Cuadro 4.</b> Volumen Vehicular asignado y proporción relativa entre tipos de vehículos .....	96
<b>Cuadro 5.</b> Parque automotor de Lima y Callao y tasa de crecimiento anual.....	130
<b>Cuadro 6.</b> Tiempos de viaje en los escenarios sin ampliación .....	139
<b>Cuadro 7.</b> Tiempos de viaje para escenarios sin ampliación con comportamiento de conductor optimizado .....	140
<b>Cuadro 8.</b> Tiempos de viaje en los escenarios de ampliación .....	141
<b>Cuadro 9.</b> Tiempos de viaje en los escenarios de ampliación con comportamiento de conductor optimizado.....	142
<b>Cuadro 10.</b> Tiempos de viaje en los escenarios futuros .....	144
<b>Cuadro 11.</b> Tiempos de viaje en los escenarios futuros con comportamiento de conductor optimizado .....	145
<b>Cuadro 12.</b> Asignación de niveles de servicio según tiempos de demora.....	146
<b>Cuadro 13.</b> Tiempos de demora en los escenarios sin ampliación .....	147
<b>Cuadro 14.</b> Niveles de servicio en los escenarios sin ampliación .....	148
<b>Cuadro 15.</b> Tiempos de demora en los escenarios sin ampliación con comportamiento de conductor optimizado.....	150
<b>Cuadro 16.</b> Niveles de servicio en los escenarios sin ampliación con comportamiento de conductor optimizado.....	151
<b>Cuadro 17.</b> Tiempos de demora en los escenarios de ampliación .....	152
<b>Cuadro 18.</b> Niveles de Servicio en los escenarios de ampliación .....	153
<b>Cuadro 19.</b> Tiempos de demora en los escenarios de ampliación con comportamiento de conductor optimizado.....	154
<b>Cuadro 20.</b> Niveles de servicio en los escenarios de ampliación con comportamiento de conductor optimizado.....	156
<b>Cuadro 21.</b> Tiempos de demora en los escenarios futuros.....	157
<b>Cuadro 22.</b> Niveles de Servicio en los escenarios futuros .....	158
<b>Cuadro 23.</b> Tiempos de demora en los escenarios futuros con comportamiento de conductor optimizado .....	160
<b>Cuadro 24.</b> Niveles de servicio en los escenarios futuros con comportamiento de conductor optimizado .....	161

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

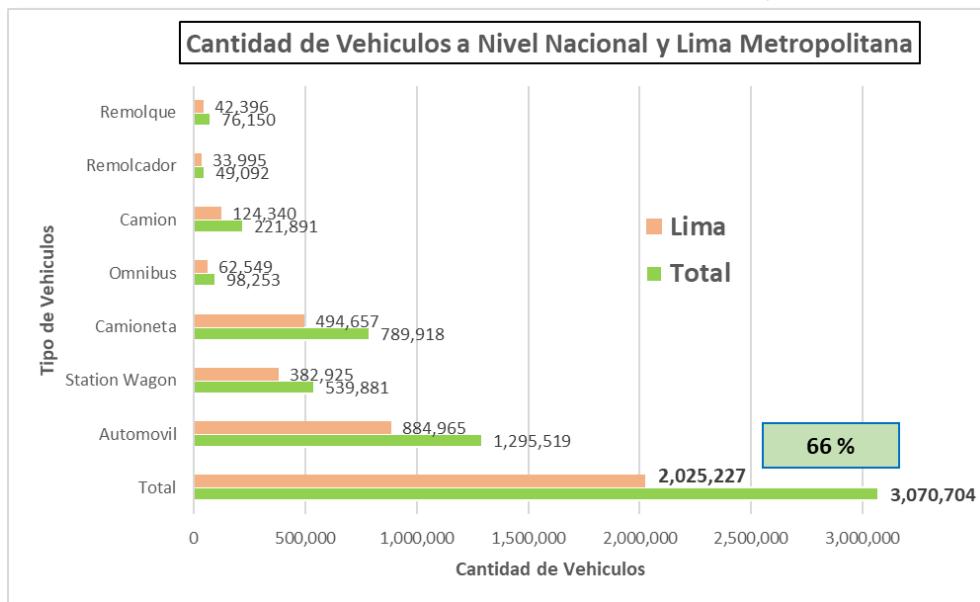
<b>AccDecelOwn</b>	: Desaceleración propia aceptada.
<b>AccDecelTrail</b>	: Desaceleración aceptada (vehículo de arrastre).
<b>C</b>	: Capacidad.
<b>CoopLnChgCollTm</b>	: Cambio de carril cooperativo-tiempo máximo de colisión.
<b>CoopDecel</b>	: Desaceleración Cooperativa Máxima.
<b>CoopLnChgSpeedDiff</b>	: Máxima diferencia de velocidad- cambio cooperativo de carril.
<b>d</b>	: Demora por vehículo.
<b>D</b>	: Densidad (veh/km).
<b>DecelRedDistOwn</b>	: Distancia propia de reducción de la desaceleración.
<b>DecelRedDistTrail</b>	: Distancia de reducción de la desaceleración (vehículo de arrastre).
<b>FHP</b>	: Factor de hora pico.
<b>FHWA</b>	: Federal Highway Administration.
<b>HCM</b>	: Highway Capacity Manual.
<b>IHP</b>	: Intensidad de hora punta.
<b>I<sub>15</sub></b>	: Intensidad de 15 minutos en la hora pico.
<b>L</b>	: Longitud del segmento de la vía (m).
<b>LookAheadDistMax</b>	: Máxima distancia de mirada al frente.
<b>MinHdwy</b>	: Distancia Mínima.
<b>MinSpeedForLat</b>	: Velocidad longitudinal mínima para movimiento lateral.
<b>MaxSpeedLnchg</b>	: Velocidad máxima para cambio de carril.
<b>N</b>	: Número de carriles.
<b>n</b>	: Numero de tiempos de viaje observados.
<b>ObsrvdVehs</b>	: Vehículos observados en frente.
<b>RearCorrMaxSpeed</b>	: Corrección trasera-velocidad máxima.
<b>SafDistFactLnChg</b>	: Factor de reducción de la distancia de seguridad (cambio de carril).
<b>Seg</b>	: Segundos.
<b>StandDist</b>	: Distancia de parada frente a obstáculos estáticos.
<b>v</b>	: Velocidad.
<b>Veh.</b>	: Vehículos.
<b>Veh/h</b>	: Vehículos por hora
<b>W74ax</b>	: Distancia de seguridad entre vehículos detenidos.
<b>W74bxAdd</b>	: Distancia adicional en función de la velocidad estática.
<b>W74bxMult</b>	: Distancia adicional en función de la velocidad variable.

## CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. GENERALIDADES

La congestión vehicular es uno de los principales problemas que afecta a diario a sus habitantes. En el cuadro 1 muestra una comparación del total del parque automotor estimado a nivel nacional y el existente en Lima Metropolitana en el año 2020, se observa que la ciudad de Lima concentra cerca del 66% del total de vehículos en el Perú. Esta centralización del parque automotor se refleja en las congestionadas vías de Lima Metropolitana y Callao durante las horas pico, según Almeida (2018) cerca del 25% de la población designa cerca de dos horas diarias para trasladarse desde su vivienda hasta su destino; esto genera efectos sobre la productividad, competitividad, salud de las personas y que se ocupe tiempo en el tráfico en lugar de realizar otras actividades. En términos económicos, el mismo autor sostiene que los costos que representa el transporte pueden llegar hasta el 25% del sueldo mínimo mensual; sobre todo para las personas que se trasladan desde los distritos más alejados hacia las zonas más céntricas de la ciudad.

**Cuadro 1.** Proporción del Parque automotor en Lima Metropolitana y a Nivel Nacional



Elaboración propia. Anuario estadístico MTC 2020.

Disminuir los efectos generados por la congestión vehicular parte en apostar por infraestructura vial orientada servicio de transporte público multimodal, en una ciudad donde más del 70% utiliza a diario el transporte público. En una entrevista de Agencia Andina (2015) a Luis Quispe presidente de la ONG Luz Ámbar señaló que para solucionar el caos vehicular en Lima debe impulsarse el establecimiento

de un sistema integrado con buses de gran capacidad y con tiempos de viaje y frecuencias definidos. En esa misma entrevista Alfonso Flores, gerente general de la fundación Transitemos, indica que en cada distrito, avenida o tramo de avenida la red de semáforos funciona de forma independiente y no como un sistema en conjunto; por lo que es necesario realizar una inversión fuerte en tecnología para mejorar la red los sistemas semafóricos entre los en la ciudad son diferentes e incompatibles entre sí.

## 1.2. ANTECEDENTES

Las calles de la ciudad de Lima se convierten a diario el escenario de desarrollo de un caótico flujo vehicular; donde millones de personas se transportan de un punto a otro dentro de la ciudad a través de distintos modos de transporte los entran en conflicto al interactuar entre sí. Ante este escenario, se han producido diversas investigaciones que toman como área de estudio zonas de gran afluencia vehicular recopilando información sobre el desenvolvimiento del flujo vehicular; para posteriormente crear un modelo que reproduzca condiciones similares al tramo vehicular analizado, e implementar modificaciones al modelo que posibiliten mejorar sus condiciones de servicio tanto para peatones como vehículos.

Una referencia clara a lo mencionado la encontramos en la tesis de Alcalá (2013) donde evalúa las condiciones de circulación de los usuarios en una intersección del distrito de Pueblo Libre creando un modelo microscópico de tránsito que represente el funcionamiento de la intersección; y también diagnosticar alternativas que mejoren las condiciones de circulación en la zona de estudio. Por su parte, Pérez (2017) desarrolla un modelo de microsimulación en la que describe el comportamiento del flujo vehicular privado y usuarios del servicio de transporte del corredor Azul para un tramo de la av. Arequipa. Asimismo, evalúa diferentes escenarios como propuestas de mejora y determinar la más idónea que ayude a reducir los tiempos de viaje. Escobedo et al. (2019) proponen la implementación de tecnologías inteligentes de transporte (ITS) en la intersección de las av. Primavera y Velasco a fin de mejorar la transitabilidad y disminuir la congestión vehicular; mediante una adecuada gestión del flujo vehicular y sin la necesidad de implementar infraestructuras viales adicionales.

Investigaciones como la tesis de Alcalde et al. (2020), toman como área de estudio las vías contiguas de la estación Naranjal del servicio del Metropolitano desarrollando un modelo de microsimulación describiendo el comportamiento del flujo peatonal y vehicular en los cruces del área de estudio; y que permita aplicar un rediseño geométrico de la vía en las áreas de conflicto identificadas con el objetivo de disminuir el conflicto generado entre vehículos y peatones. Por otra parte, Tello (2018) describe metodologías para el análisis vial enfocadas tanto para al nivel de servicio como en la seguridad vial tanto en usuarios no motorizados como peatones y vehículos en la intersección de la avenida Túpac Amaru y Los Alisos; alcanzando un rediseño geométrico de la vía inclusivo, accesible y con una adecuada señalización.

Si bien las investigaciones como las de Alcalde et al. (2020) y Tello (2018) evalúan la movilidad en las vías adyacentes de la estación Naranjal, el enfoque de ambos estudios va dirigido principalmente a la mejora de desplazamiento del flujo peatonal; asimismo, resulta necesario analizar en conjunto todo el tramo de vía e intersecciones impactadas por la presencia de la estación Naranjal, y que se integren con las propuestas de mejora evaluadas por ambas investigaciones.

### 1.3. PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En la ciudad de Lima, con una población de más de 10.41 millones de habitantes (INEI, 2022), cerca de 71.8% de la población limeña se moviliza en transporte público (Bus, Combi, Metropolitano, Metro de Lima, Taxi, etc.) y otro del 12.7% lo realiza en un transporte individual como automóvil o bicicleta (Lima como Vamos, 2019); evidenciando la gran demanda de movilidad en la ciudad. La operación de sistemas de transporte masivo como la Línea 1 del metro de Lima y Metropolitano facilitan que se efectúen millones de viajes diarios con mayor rapidez y calidad; sin embargo, su implementación también ha generado un impacto alrededor de sus estaciones. Tal es el caso del terminal Naranjal del Metropolitano, que es la estación más importante y de mayor afluencia de usuarios para un servicio que moviliza entre 650 y 700 mil pasajeros al día (Campuzano, 2018). Esta situación se evidencia principalmente durante las horas pico en la que pueden circular cerca de 800 veh/hora por cada sentido de tránsito en la av. Túpac Amaru (Alcalde et. Al, 2020); viéndose las vías rebasadas en su capacidad e incrementando los tiempos de viaje para los vehículos y personas que se movilizan por esta área

generando un gran número de conflictos entre vehículos y personas tanto dentro del terminal como en vías aledañas.

Al problema de la gran demanda vehicular durante las horas punta, se le suma el uso inadecuado por parte de algunos conductores hacia la infraestructura vial. Tello (2018) describe que algunos conductores de vehículos de transporte público se aprovechan del inadecuado criterio de diseño en algunos paraderos; haciendo que recojan y dejen pasajeros en prácticamente cualquier parte de la vía, al igual que detener sus vehículos a la espera de un potencial pasajero. Por otra parte, algunos conductores ofrecen un servicio de taxi colectivo y se estacionan en las vías adyacentes a la estación Naranjal aguardando por pasajeros; pero a su vez, obstaculizan el tránsito de otros vehículos. La falta de educación vial de los mismos peatones y usuarios del Metropolitano influyen también en el desarrollo del tránsito, generando un mayor conflicto entre peatones y vehículos.

La puesta en operación del servicio del Metropolitano ha afectado la red vial adyacente restringiendo movilidad en la zona de estudio. En el sentido sur-norte de la av. Túpac Amaru a la altura de la calle Los Taladros, la avenida y la vía Gerardo Unger se combinan reduciendo de 4 a 2 el número de carriles lo que ocasiona se genere un cuello de botella que limitara la circulación de vehículos hasta el cruce con la av. Los Alisos y generando que se formen largas colas. En otro punto de la zona de estudio, se encuentra la intersección de las av. Túpac Amaru, Metropolitana, Gerardo Unger, Naranjal y calle 1; en donde deficiencias en la semaforización genera conflictos para los diversos sentidos de tránsito que confluyen. Este problema podría agravarse con la ejecución del proyecto ampliación del servicio del metropolitano en las que se prevé que 120 nuevos buses (Ampliación norte del metropolitano, 2019), sumado a los 305 buses articulados que cuenta actualmente el servicio, recorran diariamente por la intersección entre las av. Naranjal, Túpac Amaru y Metropolitana para poder continuar su recorrido, lo cual podría generar más zonas de conflicto y por consiguiente una congestión vehicular mayor a la actual existente.

El entorno vial correspondiente a la estación Naranjal es supeditado por distintos factores tanto los que suceden por acción de los conductores y peatones, como por las características de la vía y elementos que componen el sistema; haciendo

que establecer un modelo de microsimulación sea complejo ya que requiere de una gran cantidad de información para que el modelo emule un comportamiento similar al del entorno vial de la estación Naranjal. Todos los modelos de simulación de tránsito requieren ser calibrados ya que solo así proporcionan con certeza el desempeño y buen funcionamiento del modelo y resultados. Programas de microsimulación como PTV Vissim calibran sus modelos con relación a los parámetros de comportamiento del conductor; sin embargo, debido a la cantidad de estos parámetros es importante conocer que parámetros tienen mayor incidencia en el modelo de microsimulación y cuál sería su valor numérico para representar el entorno vial adecuadamente.

En tal sentido se propone la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué variables deben considerarse para evaluar el entorno vial urbano de una estación terminal BRT, y que alternativas que permitan disminuir los tiempos de viaje deben considerarse luego de una ampliación en la red BRT?

#### 1.4. OBJETIVOS

##### Objetivo General:

Evaluar los tiempos de viaje en las intersecciones alrededor del terminal El Naranjal mediante una modelación microscópica de la zona en estudio y evaluar distintas alternativas que disminuyan los tiempos de viaje tanto en el corto plazo, como para una proyección año 2030.

##### Objetivos Específicos:

- Recolección y Levantamientos de datos de campo en la zona de estudio.
- Crear, calibrar y validar un modelo de micro simulación que refleje condiciones similares de circulación del flujo de tránsito en la zona de estudio.
- Evaluar alternativas de mejora que brinden una óptima gestión del flujo vehicular y opciones que mejoren el trazo de la infraestructura vial existente.
- Realizar una evaluación de los impactos generados entre las distintas alternativas de mejora planteados.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 2.1. INGENIERÍA DE TRÁNSITO

Es la disciplina que tiene como eje de estudio la problemática de la movilidad y se encarga del planeamiento, diseño, operación y gestión del tránsito tanto en vías urbanas como carreteras; incluye al entorno que la rodea y su relación con otros modos de transporte. Quintero (2017) la menciona como el estudio de algunos elementos del tránsito como el vehículo, conductor, peatón, la señalización y características de la vía, y dispositivos de control de tránsito.

#### 2.1.1. Estructura del Sistema de Transporte

Cal y Mayor et al. (2018) señala que el sistema de transporte de un territorio mantiene una relación estrecha con el sistema social y económico; la cual se da en forma bidireccional y mediante la interacción entre estos van generando una transformación sobre el sistema de transporte. Manheim (1976) sustenta dos ideas básicas respecto al análisis de los sistemas de transporte: Por un lado, este debe ser analizado en conjunto con sus sistema social, político y económico del territorio; por otro lado, el sistema total de transporte debe ser asumido como un sistema que incluya todos los modos de transporte, personas y mercancías, red de flujo de viajes e infraestructura.

Manheim (1979) describe un enfoque clásico del funcionamiento del sistema de transporte (ST) considerando una interrelación (ST) entre el sistema de actividades (SA) y estructura de flujos (PF); como se muestra en la figura 1.

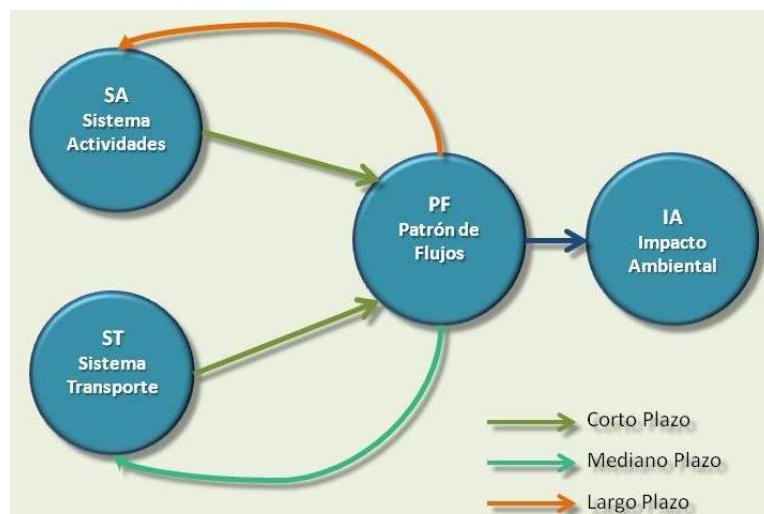


Figura 1. Relación entre los Sistemas de transportes, actividades y estructura de Flujos. Tomado de Castro (2014)

Se distinguen tres tipos de relaciones: En el corto plazo, el Sistema de Transporte (ST) y de Actividades (SA) impactan sobre la estructura de flujo (PF); en el mediano plazo, el patrón de flujos (PF) genera cambios sobre el sistema de actividades (SA) como la aparición de nuevos comercios, centros de trabajo, residencias, etc.; el patrón de flujos en el largo plazo impacta en el sistema de transporte produciendo cambios como aparición de nuevas infraestructuras, líneas de transporte, señalizaciones, etc.

### 2.1.2. Conflictos de Tráfico

Amudsen et al. (1977) lo describen como la situación en la que la proximidad entre uno o más usuarios de una vía conlleva a que exista un riesgo de colisión si ninguna de ellos toma la decisión de alterar sus movimientos.

Por otra parte, Pérez et al. (2019) señalan que hay diferentes tipos de conflictos de tráficos, los cuales pueden clasificarse según su gravedad considerando un hipotético accidente, tipos de usuarios involucrados, entre otros factores. Se consideran tres diferentes tipos de trayectorias conflictivas

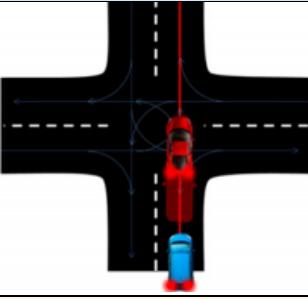
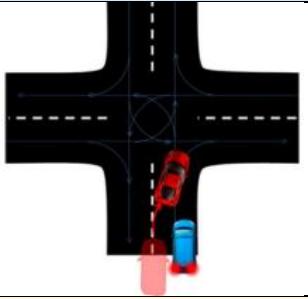
#### 2.1.2.1. Conflictos en la Misma Vía

Cuando uno de dos vehículos que circulan por una vía, no necesariamente en el mismo sentido de circulación, optan por cambiar su velocidad o dirección de circulación, afectando al otro vehículo y provocando un posible peligro de colisión.

En esta clase de conflicto suceden dos tipos de maniobras conflictivas:

- **Stop/go**

Tabla 1. Tipos de maniobras de stop and go

Desaceleración de un vehículo	Cambio de Carril
	

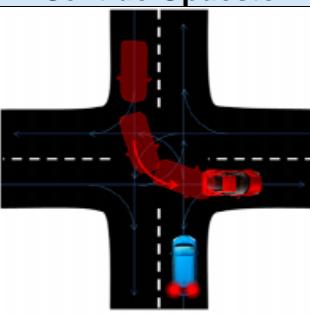
Ocurre una disminución de velocidad del vehículo precedente antes de llegar a la intersección.

El vehículo decide cambiar a otro carril, afectando el flujo de circulación del carril al que cambiará.

Elaboración propia.

- **Maniobras convergentes y divergentes:**

*Tabla 2. Tipos de maniobras Convergentes y Divergentes*

Maniobras de cambio de carril por reducción de la vía	Giro de un vehículo Circulando en Sentido Opuesto
 <p>Los carriles por el que circulan dos vehículos convergen en una sola; conlleva a que uno de los vehículos cambie sus condiciones de circulación para evitar una colisión entre ambos.</p>	 <p>Uno de los vehículos circulando en sentido contrario realiza un giro que afecta el flujo de circulación del otro vehículo, provocando que este tenga que desacelerar o detenerse inmediatamente.</p>

Elaboración propia.

#### 2.1.2.2. Conflictos en Movimientos de Cruce

Cuando dos flujos de tráfico, con direcciones ortogonales entre sí, se cruzan. Esto genera de que uno de los flujos tenga que ver interrumpida su circulación ya que de otra forma se desencadenaría en una colisión lateral de vehículos.

*Tabla 3. Maniobras de Giro en Cruce*

Cruce con vehículo desde el lado derecho	Cruce con vehículo desde el lado izquierdo
 <p>El vehículo realiza maniobras de cruce, accediendo desde la derecha del conductor del otro vehículo.</p>	 <p>El vehículo realiza maniobra de cruce, accediendo desde la izquierda del conductor del otro vehículo.</p>

Elaboración propia.

#### 2.1.3. Congestión Vehicular

Según Thomson et al. (2002) la congestión vehicular es el estado en el que una gran cantidad de vehículos circulen sobre una vía en el mismo tiempo y espacio; ocasionando que los vehículos circulen de manera lenta y caótica. Las

condiciones de desplazamiento de los vehículos se ven afectadas, repercutiendo en demoras de los tiempos de viaje.

#### *2.1.3.1. Causas de la congestión vehicular*

El sistema de transporte urbano se desarrolla en un medio con características muy particulares. Por un lado, es altamente variable con horas pico caracterizadas por una alta demanda y concentración de viajes. Por otro lado, la demanda del transporte tiende a ser derivada; donde la necesidad de la población de movilizarse conduzca a movilizarse de un punto a otro.

Asimismo, los vehículos de grandes dimensiones como buses y camiones, al circular por una vía generan un mayor impacto que los de menores dimensiones, como un auto; y por consiguiente una mayor congestión. Sin embargo; un bus tiene la capacidad de transportar una mayor cantidad de pasajeros que un auto.

Thomson et al. (2002) sostiene que muchas ciudades no proveen un adecuado mantenimiento de su infraestructura vial; que, sumado a inapropiados diseños de estos, no permiten que sus elementos funcionen adecuadamente afectando la fluidez del tránsito. Por otra parte, muchos conductores muestran poco respeto por las normas de tránsito, obstruyen la circulación del tránsito afectando a los usuarios alrededor suyo.

#### *2.1.3.2. Consecuencias de la congestión vehicular*

La congestión vehicular en las ciudades trae como consecuencia un deterioro en su calidad de vida de sus habitantes y ninguno es ajeno a ellas. En el aspecto socioeconómico, mayores tiempos de viajes implica menos tiempo empleado para la realización de actividades sociales y afecta sobre el transporte de cargas y mercancías. En el aspecto ambiental, aumenta la emisión de gases de efecto invernadero, aumenta el nivel de ruido y afecta la salud de las personas.

## 2.2. CARACTERÍSTICAS DEL FLUJO DE TRÁNSITO

### 2.2.1. Capacidad y Nivel de Servicio

#### *2.2.1.1. Capacidad*

Es el flujo máximo horario en que las personas o vehículos pueden razonablemente esperar para atravesar un punto o sección de un carril para un periodo establecido. Para su cálculo debe considerarse condiciones promedio; así como también, las características de los vehículos, conductores y condiciones

ambientales las cuales son variables entre una región y otra. Se encuentra bajo las condiciones prevalecientes de la vía, dispositivos y/o elementos de control, y del tránsito mismo (Cerquera, 2007).

#### 2.2.1.2. Demanda

El Highway Capacity Manual (2010) señala que la demanda es utilizada como la principal medida de la cantidad de tráfico y se encuentra relacionada con la llegada del total de vehículos a una vía.

#### 2.2.1.3. Nivel de Servicio

Cerquera (2007) la define como una medida cualitativa empleada para evaluar las condiciones de calidad en que el flujo vehicular o peatonal realizan sus operaciones en una vía. Existen 6 niveles de servicio que va en orden alfabético desde la letra A hasta la F; donde un nivel de servicio A indica que tiene las más adecuadas condiciones de operación, mientras que la F, las más deficientes. Para el desarrollo de la presente tesis se tomarán a los tiempos de viaje como factor principal en la determinación de los niveles de servicio.

**Tabla 4. Clasificación del Nivel de Servicio en Intersecciones Urbanas**

<b>A</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operaciones con muy poca demora (&lt;10s.).</li> <li>El avance de vehículos es extremadamente favorable, sin apenas detenerse.</li> <li>La mayoría de los vehículos llegan a la intersección en la fase verde.</li> </ul>	
<b>B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operaciones con ligera demora (10-20 s.)</li> <li>El avance de vehículos es favorable, produciéndose detenciones esporádicas.</li> <li>Se da en intersecciones con buena progresión y ciclos semafóricos cortos.</li> </ul>	
<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La demora es considerable (20 a 35 s.).</li> <li>La progresión de los vehículos es de mediana calidad y el ciclo es más largo.</li> <li>Detención de un número significativo de vehículos.</li> </ul>	
<b>D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La demora es elevada, entre 35 y 55 s.</li> <li>Notable influencia de la congestión, con progresiones desfavorables y ciclos largos.</li> <li>Muchos vehículos se detienen.</li> <li>Falta de capacidad en ciclos individuales.</li> </ul>	

<b>E</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Operaciones con gran demora (55-80 s).</li> <li>• Avance lento de los vehículos y largas duraciones del ciclo.</li> <li>• Alto grado de congestión.</li> <li>• Frecuente falta de capacidad en ciclos individuales.</li> </ul>	
<b>F</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La demora supera &gt; 80 s por vehículo.</li> <li>• Nivel inaceptable por los conductores.</li> <li>• Sobresaturación: la intensidad de llegada supera la capacidad de la intersección.</li> <li>• Progresión deficiente, ciclos prolongados.</li> </ul>	

Fuente: Bañón. Manual de Carreteras

#### 2.2.1.4. Factores que Afectan la Capacidad y el Nivel de Servicio

- **Condiciones Base:** El Highway Capacity Manual (2010) asume por defecto condiciones en la cual el flujo del tráfico se desarrolla bajo condiciones de buen clima, adecuado estado del pavimento, anchos de carril determinados, etc.
- **Condiciones de la Vía:** Factores geométricos como el número de carriles, ancho del carril, velocidad de diseño, alineamientos horizontales y verticales, severidad del terreno, peralte, etc., influyen en la capacidad de una carretera y otros factores más como la velocidad
- **Condiciones del Tráfico:** El tipo de vehículo influye sobre la capacidad y nivel de servicio de una vía. Los vehículos pesados tienen características físicas y de circulación diferentes a un automóvil, exigiendo a la vía mayores condiciones para una adecuada circulación.
- **Condiciones de Control:** Una señal de tránsito influye en la operación del flujo de tránsito. Un dispositivo de control como el semáforo es uno de los que predominantes, la fase de la señal, tiempos en verde y la duración del ciclo afectan sobre las operaciones de la vía. Las señales de alto, ceda el paso, disminuya la velocidad también influyen sobre la capacidad y nivel de servicio de una vía, aunque en una menor medida.
- **Tecnología:** Tecnologías como los sistemas inteligentes de transporte permiten mejorar la seguridad y eficiencia, tanto en vehículos como carreteras. Brindan a conductores y operadores del tránsito de la vía utilizar información en tiempo real permitiendo tomar mejores decisiones de circulación.

## 2.2.2. Parámetros de Flujo de Tráfico

El Highway Capacity Manual (2010) considera tres variables básicas utilizadas para la descripción del tráfico en cualquier vía: velocidad, densidad y volumen. La velocidad y densidad son aplicadas para flujos ininterrumpidos; mientras que, el volumen es un parámetro común para flujos ininterrumpidos e interrumpidos.

### 2.2.2.1. Flujo Ininterrumpido

Para Mozo (2011), el flujo ininterrumpido o continuo se caracteriza por un tránsito constante de vehículos en una vía que solo se detienen cuando llegan a su destino, realizan paradas intermedias, ocurre un accidente, etc. Una vía con características de flujo continuo no presenta elementos viales externos que fuerce al conductor a cambiar las condiciones de circulación en las que se encontraba.

- Volumen y Tasa de Flujo: Permiten cuantificar el tráfico que circula por un punto de la vía durante un periodo de tiempo establecido; es decir la demanda de vehículos que utilizan la vía. El volumen es el número total de vehículos que transitan por un punto o sección determinada de un carril o una vía durante un periodo de tiempo determinado. La tasa de flujo es el equivalente por hora en que un total de vehículos transita por un punto o sección de vía durante un intervalo de tiempo menor al de una hora.

El concepto de tasa de flujo pico resulta importante para el análisis de capacidad de una vía; esta considera la medición del flujo, pero para intervalos consecutivos más pequeños como minutos, permitiendo determinar con mayor exactitud períodos en los que la capacidad de la vía pueda verse rebasada. Estos conceptos nos permiten determinar el Factor de Hora Pico (FHP).

$$PHF = \frac{\text{Volumen por Hora}}{\text{Tasa de Flujo Pico (para una hora)}}$$

- Velocidad: La velocidad es descrita como una tasa de movimiento expresada como la distancia recorrida en un intervalo de tiempo. Para caracterizar la velocidad en un flujo de tráfico se utiliza un valor representativo como el viaje promedio; el cual es calculado a partir de la observación individual de vehículos dentro del flujo de tráfico. Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{nL}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{L}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} = \frac{L}{t_a}$$

Donde:

S = Velocidad promedio de Viaje (km/h)

L = Longitud del segmento de la vía (m)

$t_i$  = Tiempo de viaje del i-ésimo vehículo para atravesar el tramo (h)

n = Número de tiempos de viaje observados

$t_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$  = Tiempo promedio sobre L (h)

En vías urbanas la velocidad de flujo libre es a la que viaja un vehículo en condiciones de bajo volumen con todas las señales en verde durante todo el viaje. Se mide ubicándose a mitad de cuadra lejos de la intersección señalizada o con control de parada más cercana.

- Densidad: Se entiende como el número de vehículos o peatones que ocupan una longitud determinada de una vía o carril durante un instante establecido. Para instalaciones de flujo continuo actúa como indicador de la calidad en que el flujo de tráfico se desarrolla; también, permite describir la proximidad entre los vehículos y la libertad de maniobra dentro del flujo de tráfico. El Highway Capacity Manual (2010) considera para sus cálculos que la densidad va promediándose a lo largo del tiempo y se expresa como vehículos por kilómetro (veh/km). A partir de las variables descritas, se expresa su cálculo:

$$D = \frac{v}{S}$$

Donde:

v = tasa de flujo (veh/h)

S = velocidad promedio (km/h)

D = densidad (veh/km)

- Margen y Espaciamiento: El margen es el tiempo entre vehículos sucesivos cuando pasan un punto en específico de una vía. Por otro lado, el espaciado es la distancia entre vehículos sucesivos en un flujo de tráfico, es medido también desde un mismo punto para cada vehículo. El espaciamiento generalmente es obtenido de la derivación de otras mediciones directas en campo. En cambio, el margen puede ser fácilmente medible con observación de cronómetro cuando los vehículos pasan por un punto de la vía. El espaciamiento promedio de vehículos en un flujo de tráfico se encuentra directamente relacionado con la densidad del flujo de tráfico, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Densidad } \left( \frac{\text{veh}}{\text{km}} \right) = \frac{1000}{\text{Espaciamiento } \left( \frac{\text{m}}{\text{veh}} \right)}$$

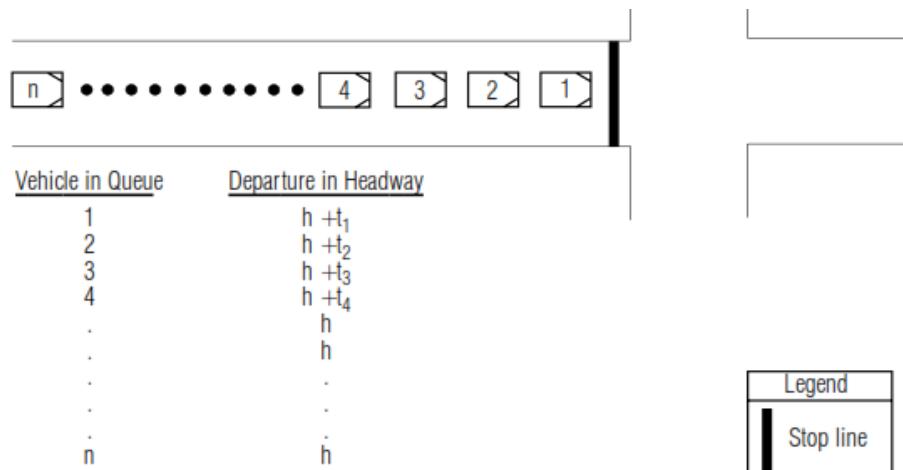
La relación entre el espaciamento promedio y margen promedio en un flujo de tráfico depende de la velocidad, así como se indica en la siguiente ecuación:

$$\text{Margen } \left( \frac{s}{\text{veh}} \right) = \frac{\text{Espaciamiento } \left( \frac{\text{m}}{\text{veh}} \right)}{\text{Velocidad } \left( \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)}$$

#### 2.2.2.2. Flujo Interrumpido

Para Mozo (2011), el flujo ininterrumpido o discontinuo, es distintivo de vías urbanas, se caracteriza por frecuentes interrupciones del flujo de tránsito debido a la operación señales y dispositivos de control de tránsito como semáforos. El Highway Capacity Manual (2000) describe que el estado de operación del flujo discontinuo está sujeto a las variables de volumen y caudal, flujo de saturación y avances de salida, variables de control, etc.

- Dispositivos de Control de Tránsito: Regulan el flujo de movimiento, siendo la fuente más importante de interrupciones fijas para este tipo de flujo. Los semáforos son los principales dispositivos encargados de restringir de manera periódica el flujo de circulación, según la señal que indique.



**Figura 2.** Comportamiento del tráfico en un carril próximo a una intersección. Tomado de Transportation Research Board (2000).

En la figura 2 se observa una cola de vehículos detenidos en una intersección señalizada y cuando la señal es verde, el primer vehículo que reacciona al cambio de señal e inicia su movimiento; el resto de los vehículos detrás, esperan a la reacción y movimiento del vehículo delante suyo para poder iniciar su

movimiento. El avance promedio constante ( $h$ ) se logra después de cuatro vehículos; estos alcanzan avances mayores expresados como  $h + t_i$ , siendo " $t_i$ " la reacción de aceleración del vehículo y luego va disminuyendo.

- Demora: La demora, es utilizada como medida de servicio para evaluar el Nivel de Servicio en intersecciones señalizadas y no señalizadas. La demora de control implica movimientos a velocidades más lentes y paradas debido a la proximidad en intersecciones.
- Tasa de Flujo de Saturación y Tiempo Perdido: Indica la cantidad de vehículos por hora por carril que pasarían por una intersección señalizada si la señal del semáforo estuviera en verde durante toda la hora y el flujo de vehículos nunca se detuviera. Para la figura 2, los primeros cuatro vehículos en la cola encuentran avances más largos que el avance de saturación  $h$ . Los incrementos,  $t_i$ , se denominan tiempos perdidos de arranque. El tiempo total perdido de arranque de los vehículos es la suma de los incrementos calculados en la siguiente ecuación:

$$I_1 = \sum_{i=1}^N t_i$$

Donde:

$I_1$  = Total de tiempo perdido en el arranque (s)

$t_i$  = Tiempo perdido por cada vehículo en cola (s)

$N$  = Último vehículo en cola

Cada parada de un flujo de vehículos es también otra fuente de tiempo perdido. Cuando una corriente de vehículos se detiene, la seguridad requiere de cierto tiempo ante permitir que una corriente de tráfico en conflicto entre en la intersección. Este intervalo cuando no hay vehículos que usen la intersección se llama tiempo perdido de espacio libre  $I_2$ .

- Colas: Es la cantidad de vehículos acomodados en filas a lo largo de un carril en el acercamiento a una intersección señalizada; que, debido a los patrones de llegada de los vehículos y a los vehículos, no pueden despejar la intersección durante una fase verde determinada produciéndose un desbordamiento. Las colas también se generan en las proximidades de un área de servicios tales como una cabina de peajes o tarifas estacionamiento, el acceso hacia una calle principal, etc.

### 2.2.3. Características del Tráfico

Las características del vehículo, el tipo de comportamiento del conductor, las propiedades de la calzada, y las condiciones del entorno son cuatro de los principales factores que impactan sobre el modo de conducción de un vehículo.

#### 2.2.3.1. Vehículos y Factores Humanos

- **Características del Vehículo:** Para el análisis de una vía debe tenerse en cuenta las características operativas de los vehículos, tales como: el tipo de vehículo, dimensiones, radios de giro, radios de desvío, requerimientos de energía y resistencia al movimiento. No es lo mismo considerar un flujo vehicular compuesto solamente por automóviles; que un flujo de composición mixta con buses de transporte público con rendimientos de aceleración y desaceleración distintos, y que además realizan paradas en ciertos tramos para el recojo y/o desembarque de pasajeros.
- **Características del Conductor:** Conducir requiere el uso de múltiples habilidades, como la asimilar y procesar información, para la toma de decisiones rápidas basadas en la información anteriormente recolectada y procesada. Las tareas se dividen tres grupos tareas principales: De control, orientación y navegación. La primera se relaciona con la interacción entre el conductor y el manejo del movimiento de este. La orientación se refiere a que el conductor pueda mantener un camino seguro para el vehículo. La navegación va enlazada a la capacidad de poder planificar y ejecutar un viaje.
- **Características de los Peatones:** De similar forma que los vehículos, los peatones presentan características diferentes en cuanto a la velocidad de circulación, ya que este variara según la edad, tamaño del peatón, el comportamiento de los peatones, los hábitos de cada transeúnte y porcentaje de peatones con condiciones de movilidad diferentes.

#### 2.2.3.2. Variaciones del Flujo de Tránsito

La demanda de tráfico es muy variable; debido a que el flujo de tráfico no es el mismo en todo momento. En vías urbanas, la demanda de tráfico no varía significativamente según el mes del año; sin embargo, esta si cambia entre los días de una semana. Respecto a las variaciones horarias del flujo vehicular, estas

presentan una mayor demanda en las primeras horas de la mañana y durante la tarde o principio de la noche.

#### 2.2.3.3. Horas Pico y Hora de Análisis

Los estudios de tránsito relacionados a la capacidad y nivel de servicio de la vía, centran su análisis durante la hora pico vehicular; debido a que contiene el período más crítico de operación y los más altos requisitos de capacidad.

Los estudios de análisis del Nivel de Servicio de una intersección toman en cuenta las tasas máximas de flujo que ocurren dentro de la hora punta. La mayoría de los procedimientos considerados por el Highway Capacity Manual (HCM) se basan en caudales máximos de 15. De igual forma para el momento más crítico para la intersección debe tenerse en consideración el Factor de Hora Pico (FHP) que resulta del cociente de la Intensidad de la hora pico en la intersección y cuatro veces el periodo de 15 minutos más cargado.

$$FHP = \frac{IHP}{4 \times I_{15}}$$

Donde:

FHP = Factor Hora pico

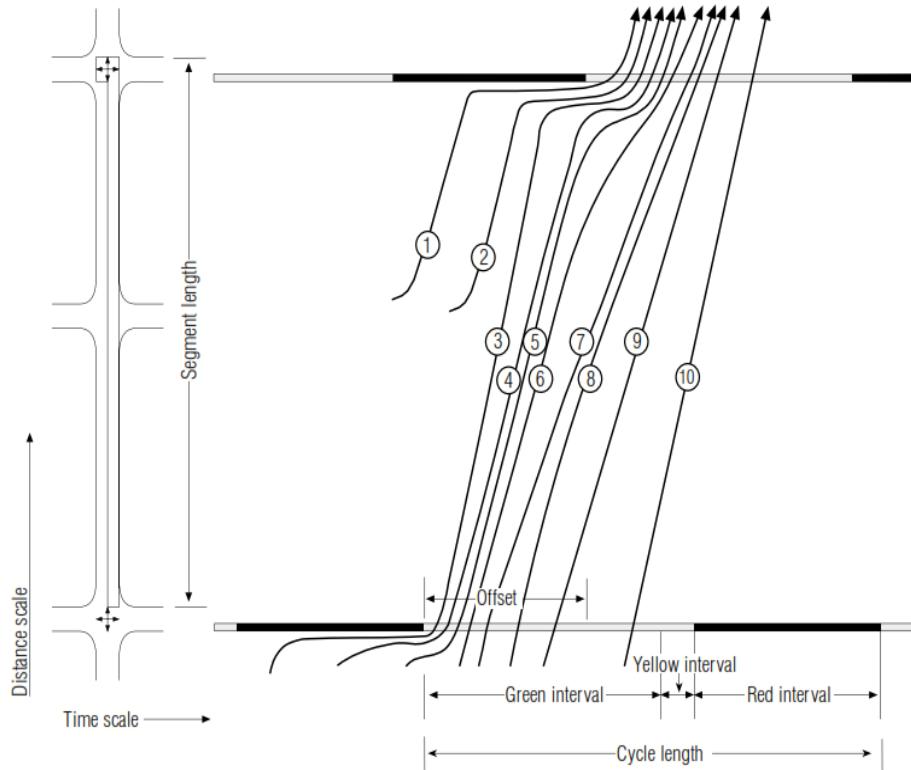
IHP = Intensidad del tráfico en la hora pico

$I_{15}$  = Intensidad de 15 minutos en la hora pico

Los valores más bajos significan una mayor variabilidad del flujo dentro de la hora en cuestión, y los valores más altos significan una menor variación del flujo. Los PHF superiores a 0,95 suelen ser indicativos de altos volúmenes de tráfico, a veces con limitaciones de capacidad en el flujo durante las horas pico.

#### 2.2.3.4. Trayectoria Espacio-Temporal

Una gráfica de trayectoria espacio-temporal describe el recorrido de diferentes vehículos a lo largo de un tramo de vía durante un periodo establecido. En la figura 3 se observa el desplazamiento de varios vehículos que llegan a una intersección semaforizada, en donde la pendiente de cada línea refleja la velocidad correspondiente del vehículo en un momento dado. En la figura se muestra como los primeros vehículos se detienen al llegar la intersección semaforizada que se encuentra en el intervalo de rojo; mientras que los últimos vehículos llegan a la intersección con el semáforo en verde por lo que no ven una variación en su pendiente.



**Figura 3.** Perfiles de velocidad Típicos de Vehículos en Calles Urbanas. Tomado de Transportation Research Board (2000).

#### 2.2.4. Procedimientos Analíticos en una Vía Urbana

Existen procedimientos analíticos cuyas consideraciones son de aplicación general para todo tipo de vías como los cálculos de velocidad promedio, densidad y retardo; estas proporcionan información sobre el nivel de servicio para alcanzar una condición de estado estable y representativa de un modelo de tráfico. Las vías urbanas manejan algunas consideraciones particulares como las características del flujo de tránsito en una intersección señalizada.

##### 2.2.4.1. Valores de Entrada y Valores Estimados

La calidad de los resultados obtenidos depende de buenos datos de entrada, debe tomarse en cuenta las condiciones en que estos se toman y la posibilidad de obtención de los mismos. En algunos parámetros podrían tomarse valores recomendados de manuales locales; sin embargo, valores predeterminados producen resultados menos precisos que los medidos en campo.

##### 2.2.4.2. Características de las Intersecciones Señalizadas

La capacidad de una vía urbana se encuentra condicionada por tres factores: las características geométricas de la instalación, la sincronización de las señales de tránsito y la composición del tráfico en la instalación. La geometría de una vía se

considera como característica fija de una instalación ya que no varía mucho en el tiempo, por lo que la capacidad de la instalación mantiene un valor estable. La sincronización de señales optimizando la operación del tránsito sin tener que incorporar nueva infraestructura. Una composición de tráfico variada implica que los conductores manejen en condiciones diferentes dentro de una misma vía.

### 2.3. ESTUDIO DE TRÁNSITO

Se realizan con el objetivo de conocer el desarrollo del flujo de tránsito, sus componentes y su interacción con la infraestructura vial que se pretende evaluar. Moreno (2016) menciona que los estudios de tránsito permiten evaluar la situación actual y encontrar el tipo la solución más adecuada que posibiliten ser eficiente en términos de económicos, ambientales, de movilidad y seguridad.

Los estudios de tránsito son empleados para proyectos de implementación de nuevas infraestructuras viales, desarrollo proyectos urbanísticos y comerciales, estudios de accidentabilidad, evaluación del flujo de tránsito existente, etc.

#### 2.3.1. Estudio de Volúmenes de Tránsito

Los estudios de volúmenes de tránsito es el procedimiento empleado con la finalidad de obtener información del tránsito de vehículos y/o personas que circulan sobre una intersección, tramo de vía o área de estudio definida durante un determinado tiempo. (SEDESOL,1992). La información se detalla con la composición vehicular o la dirección de movimiento tanto de peatones como vehículos. El conteo del volumen de tránsito debe incluir el periodo de mayor demanda; y en días representativos como martes, miércoles o jueves en el caso de vías urbanas. Existen dos principales formas de aforamiento:

##### 2.3.1.1. Aforos Manuales

Tienen la ventaja de obtener información más detallada del flujo vehicular; como los tipos de vehículos que circulan, dirección de trayecto, longitud de colas, flujo y trayectoria de los peatones, y su interacción con los dispositivos de control. En la tabla 5 se muestra los tipos de aforo manual realizados sobre el flujo vehicular.

**Tabla 5.** Tipos de aforo manual

Conteo manual de vehículos	Conteo manual mediante grabaciones de video
 <p>El procedimiento es ejecutado por uno o más personas, llamados aforadores, los cuales se posicionan en puntos específicos del tramo de estudio recopilando información del número y tipos de vehículos y peatones.</p>	 <p>Con el apoyo de cámaras, el aforador realiza el registro de conteos, tipos de vehículos, dirección del flujo, etc. Este tipo de aforo es empleado para registrar el flujo vehicular en esta tesis.</p>

Elaboración propia.

#### 2.3.1.2. Aforos Mecánicos o Usos de Equipos Electrónicos

Se apoya en el uso de dispositivos que pueden ser accionados tanto manual como mecánicamente y que facilitan la recolección de datos del flujo de tránsito en la zona de estudio. Según el equipo que utilizan, en la tabla 6 se muestran los dos tipos de aforo empleados:

**Tabla 6.** Tipos de aforamiento apoyados de equipos electrónicos

Aforo con uso de un contador manual electrónico	Aforo con equipos electrónicos automáticos
<p>Del Águila (2017) explica que, en este procedimiento, los aforadores realizan el conteo apoyado con un contador accionado manualmente por los aforadores. El uso de este equipo reemplaza el uso de hojas o plantillas durante el conteo, permitiendo al aforador prestar mayor atención al desarrollo del flujo de tránsito.</p>	<p>Escobedo (2019) describe que este método facilita obtener información de los volúmenes de tránsito mediante el uso de detectores, que de manera automática identifican a los vehículos o peatones que circulan por la superficie de estudio. Este método requiere menor cantidad de personal; además, el periodo de aforo puede extenderse por más tiempo.</p>

Elaboración propia.

#### 2.3.1.3. Estudio de Velocidades Instantáneas

SEDESOL (1992) explica que los estudios de velocidades instantáneas son elaborados con el objetivo de medir las características de las velocidades instantáneas del movimiento del tránsito o un numero específico de vehículos. La medición de velocidades se desarrolla en puntos específicos de la zona de estudio y bajo las condiciones predominantes del tráfico y entorno.

El desarrollo del estudio debe tenerse en cuenta que la muestra de vehículos seleccionada debe circular en condiciones de flujo libre; además de ser aleatoria y representativa. Para cumplir estas condiciones debe considerarse que los vehículos escogidos sean el primero de una columna, ya que su movilidad no se encuentra influenciada por otros vehículos detrás de él; asimismo, es deseable que tampoco se opte por una mayoría de vehículos que viajen a altas velocidades.

#### 2.3.1.4. Estudio de Tiempos de Viaje

El objetivo de los estudios de tiempo de recorrido es para evaluar la calidad del movimiento del flujo de tránsito; permitiendo determinar los principales puntos de conflicto de la zona de estudio para efectuar las más adecuadas mejoras operacionales. La eficiencia de un sistema de tránsito es usualmente calculada en términos de la velocidad media de recorrido y se obtiene mediante la división entre la longitud del tramo de estudio, sobre el tiempo medio de recorrido obtenido de varios viajes. En la tabla 7 se describen dos métodos para obtener los tiempos de viaje de un flujo vehicular.

*Tabla 7. Tipos de aforamiento apoyados de equipos electrónicos*

Método del Vehículo de Prueba	Tiempos de recorrido en puntos específicos del tramo
 <p>Este método emplea un vehículo el cual es conducido a través de todo el tramo de estudio. La aplicación de este método brinda al evaluador una gran flexibilidad para calcular la calidad del flujo del tránsito (SEDESOL, 1992). Para el desarrollo del método se emplea la técnica del Vehículo Flotante, la cual consiste en que el vehículo de prueba se encuentra “flotando” en el flujo de tránsito y adopta condiciones de movimiento similares a este.</p>	 <p>Se ubican puntos específicos del tramo evaluado, en donde se registrará la hora en que los vehículos pasan por el primer punto y los sucesivos existentes a lo largo de la ruta en estudio. Con la diferencia de las horas registradas entre los puntos de control para un mismo vehículo, se obtiene los tiempos de viaje para los tramos dentro de los puntos de control. Para el desarrollo de esta tesis se apoyó de grabaciones con vista desde el aire, permitiendo registrar el recorrido de los vehículos que circulan.</p>

Elaboración propia.

### 2.3.1.5. Estudio de Demoras en Intersecciones

Son aplicados en estudios relacionados con el flujo de tránsito en una intersección, tales como la evaluación de elementos de control de tránsito en las intersecciones; determinación del costo por las demoras generadas y la evaluación de posibles mejoras. Se aplican también en la colocación o modificación del ciclo semafórico y un posterior análisis de la efectividad de la señal de tránsito instalada. Se utilizan los siguientes métodos para calcular las demoras en las intersecciones:

- Métodos de Tiempo de Viaje

Se determina el tiempo empleado por un vehículo que cruza desde un punto determinado antes de la intersección hasta otro después de esta. Puede apoyarse las técnicas utilizadas para el método del vehículo de prueba.

- Método del Tiempo en que el vehículo permanece detenido

Tienen como objetivo determinar el tiempo en que el vehículo se encuentra totalmente parado, sin considerar reducciones de velocidad. Esto se realiza primero realizando un conteo por intervalos consecutivos de vehículos detenidos en la llegada a una intersección y un conteo del total de vehículos que pretenden atravesar la intersección, tanto los que se detienen como los que no.

Los siguientes valores se calculan usando las siguientes fórmulas:

$$DTP = (VTP)X (IM)$$

Donde:

DTP = Demora total que los vehículos que se mantienen detenidos (veh-seg)

VTP = Volumen total de vehículos detenidos en la llegada de la intersección (veh)

IM = Intervalo de muestreo (seg)

La demora Media de Parada para todos los vehículos en la llegada de la intersección se determina de la siguiente forma:

$$DMPT = \frac{(DTP)}{VT}$$

Donde:

DMPT = Demora media de parada en la llegada a la intersección (seg)

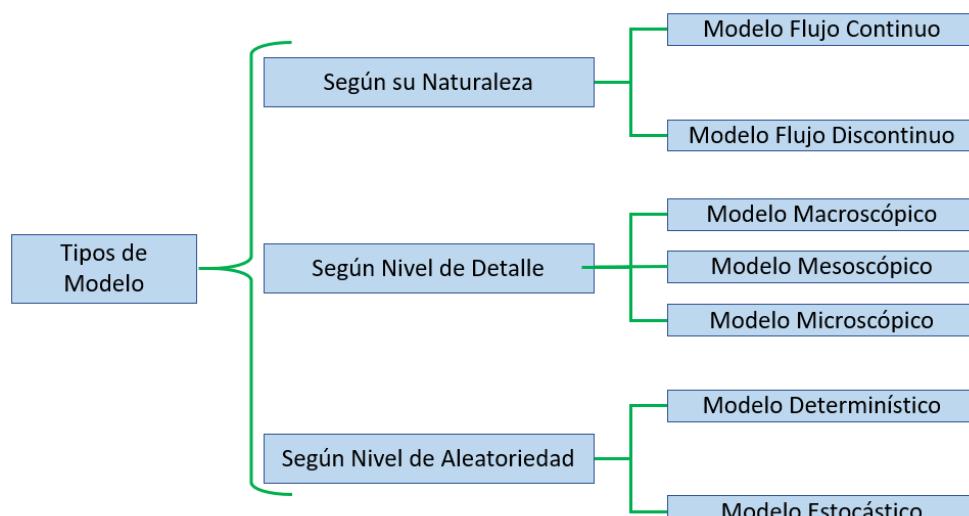
DTP = Demora total en que los vehículos se mantienen detenidos (veh-seg)

VT = Volumen total contabilizado en la llegada de la intersección (veh)

## 2.4. SIMULACIÓN DE TRÁNSITO

Hernández (2009) define la simulación como el proceso constituido por la construcción de un modelo que emula un sistema real, y la aplicación analítica para evaluar el problema; que permite evaluar distintos escenarios que permitan comprender el desempeño del sistema. Las variables de entrada al modelo y la relación entre sus elementos pueden desarrollarse tanto de manera probabilística como de manera estocástica.

Un modelo de tráfico busca replicar las condiciones tránsito y transporte con el objetivo de analizarlo y plantear posibles soluciones. Aplica las circunstancias indicadas por el modelador obtenidas a través de su experiencia e información real obtenida en campo. Los tipos de modelos se dividen en tres grandes grupos:



**Figura 4.** Tipos de Modelos de Simulación. Fuente propia

### 2.4.1. Modelos Según el Nivel de Detalle

Los modelos de tránsito según el nivel de detalle se dividen en función la cantidad de valores iniciales solicitados, donde cada nivel de modelación varía según la forma como engloba en detalle la interacción dentro del sistema y considerando el tamaño del área de estudio que cada nivel abarca. (Montenegro et al., 2013)

- **Simulación Macroscópica:** Las variables consideradas buscan resumir las condiciones e información de los diferentes vehículos. No se busca detallar en las interacciones entre los elementos sino el desarrollo como conjunto.

- Simulación Mesoscópica: Existe un mayor grado de especificación en los algoritmos de los modelos matemáticos especificados; sin embargo, no se llega a detallar la interacción entre los elementos del modelo.
- Simulación Microscópica: Los modelos de micro simulación tienden a ser representaciones complejas de un escenario de estudio en el que describen la interacción directa entre las unidades de estudio que conforman el sistema. Aplica modelos matemáticos que detallan las características operativas y el desplazamiento de los elementos, los describe de forma individual y hace uso de modelos dinámicos y estocásticos proveyéndoles un tipo de comportamiento definido.

#### 2.4.2. Fundamentos de la Microsimulación

Un modelo de micro simulación se caracteriza por su versatilidad; sin embargo, el modelo requiere de un proceso de evaluación más complejo en medida que las condiciones de congestión se incrementen. Necesita igualmente, de un análisis que facilite el entendimiento de potenciales resultados ajustados a las condiciones observadas y reflejadas con los datos obtenidos en campo.

El proceso de calibración permite construir un modelo valido que busca emular las diversas condiciones del flujo de tránsito percibidas en el área de estudio. Las condiciones calibradas se comprueban a través del proceso de validación que permita reflejar condiciones cercanas a la realidad observada.

Los programas computacionales que realizan microsimulaciones deben incorporar dentro de sus variables la influencia del comportamiento de los conductores sobre el desarrollo del tránsito; asimismo, las características propias de la vía y otras particularidades del entorno por medio de distintos modelos matemáticos como:

##### 2.4.2.1. Nivel de Aleatoriedad

Dowling et al. (2004) señala que los modelos de simulación de acuerdo con la forma de representación de aleatoriedad en el flujo de tránsito se dividen en:

- Modelos Determinísticos: No existe variación respecto a las características del conductor sobre su forma de manejo del vehículo. Ejemplo: Asumir que todos los vehículos tendrán las mismas dimensiones, o que todos los conductores viajarán a una misma velocidad de circulación.

- Modelos Estocásticos: A diferencia de los modelos determinísticos, los estocásticos asignan características de forma aleatoria en el modo de conducción que ejerce cada conductor sobre su vehículo. Los modelos estocásticos se desempeñan mediante la generación de números aleatorios, que siguen una secuencia que depende del método particular y el valor inicial de numero aleatorio (semilla). Estos modelos requieren la especificación de algunos parámetros adicionales; por ejemplo, una característica particular del vehículo como la velocidad que esté representada dentro de los parámetros de la desviación estándar en una distribución normal estadística.

#### *2.4.2.2. Semillas y Corridas*

Dentro de una microsimulación, el número de semilla representa el valor inicial que desencadena una secuencia de números aleatorios que repercute en el comportamiento de los conductores respecto al flujo de tránsito; y que permitirá producir simulaciones que puedan ser lo suficientemente diferente unas de otras. Por otra parte, la Federal Highway Administration (FHWA) describe el número de corridas se relaciona con la cantidad de veces que debe ejecutarse el modelo para obtener un resultado estadísticamente consistente. Inicialmente no es posible definir el número de ejecuciones para alcanzar un resultado valido.

#### *2.4.2.3. Periodo de Calentamiento*

El periodo de calentamiento o “Warm Up Period” se refiere a la fase del periodo de simulación comprendida desde el inicio de la simulación, cuando el modelo inicia sin ningún vehículo dentro de la red, hasta alcanzar algún criterio de estabilidad. Para Ballesteros et al. (2003), estos criterios se encuentran en función de la cantidad de distintas actividades efectuadas por los vehículos que es capaz de ejecutar el sistema y los tiempos empleados en ejecutarlas; es decir, el periodo de calentamiento será simulado hasta que el número de vehículos en el tramo de análisis deje de incrementarse.

Dowling et al. (2004) indica que la cantidad de vehículos y la velocidad media de operación deberían estabilizarse en los primeros 15 minutos de la simulación. En caso de no ocurrir esto, podría indicar que la demanda insertada en los datos de entrada excede la capacidad del sistema y no llegue a la estabilidad; para ello puede optarse por extender el tiempo de simulación e incluir periodos de menor demanda previo al periodo de análisis. Asimismo, el autor recomienda escoger un

periodo de calentamiento a por lo menos el doble de tiempo que demoraría un vehículo en condiciones de flujo libre en recorrer el tramo de estudio. Para el desarrollo de esta investigación se tomará un periodo de entre 10 a 15 minutos recomendados por la Federal Highway Administration (FDA).

#### 2.4.2.4. *Modelo de Comportamiento de Vehículos*

Mathew (2010) menciona cinco tipos de parámetros de comportamiento de conducción que pueden afectar en la demora. Estos son: Parámetros movimiento longitudinal, movimiento lateral, cambio de carril, comportamiento en ámbar y seguimiento de vehículos. El movimiento longitudinal se relaciona con el número de vehículos, junto con la distancia de anticipación mínima y máxima, y la falta de atención temporal. El movimiento lateral interviene como factor de holguras laterales (una holgura mínima y otra con el vehículo viajando a 50km/h). El parámetro de cambio de carril va condicionado por la tasa de desaceleración, distancia requerida para desacelerar y tiempos de espera para la difusión. Por su parte el comportamiento en ámbar se desarrolla bajo dos condiciones: Decisión única (sigue los parámetros  $\alpha$ ,  $\beta_1$  y  $\beta_2$ ) y control continuo. El parámetro de seguimiento de vehículos emplea los modelos de Wiedemann 74 para flujo interrumpido; y Wiedemann 99 para flujo continuo.

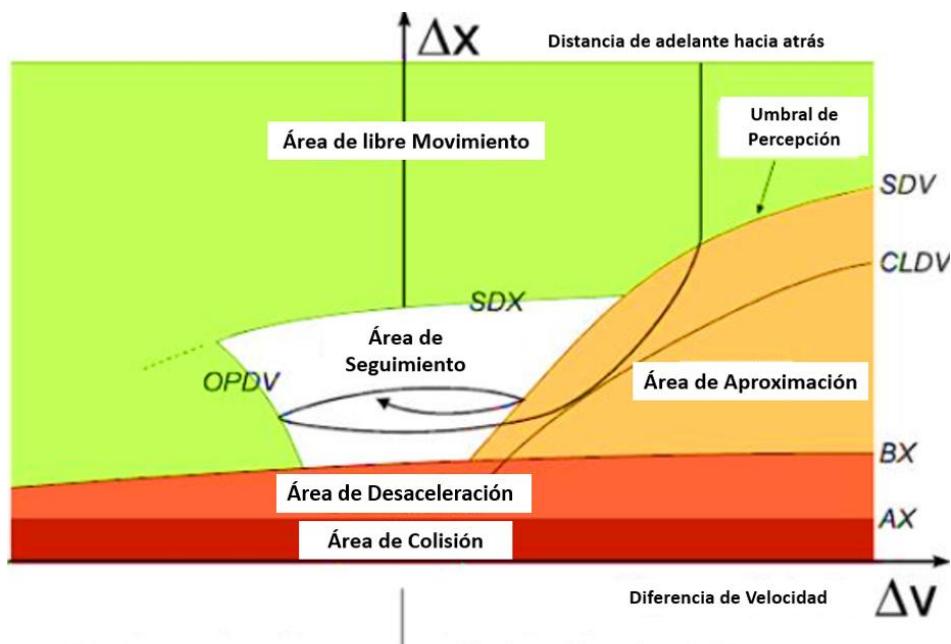
#### Modelo de Wiedemann

El modelo de Wiedemann basa su modelo en parámetros psicofísicos, donde considera la percepción y reacción de un conductor frente a diversas situaciones del desarrollo del flujo de tránsito. Para esta investigación se empleará el modelo de Wiedemann 74 que maneja tres parámetros de seguimiento de coche: La distancia media de parada ( $ax\_average$ ); y los factores aditivos y multiplicativos ( $bx\_add$  y  $bx\_mult$  respectivamente). Estos parámetros representan la impresión y respuesta del conductor en situaciones de interacción con otros vehículos en aspectos como su tipo de manejo y distancia respecto a los demás vehículos.

Fellendorf (2010) señala que el modelo de Wiedemann toma en cuenta posibles fases o situaciones que los conductores atraviesan dentro del tránsito:

- En el primer escenario existe libertad de conducción, el vehículo no se encuentra influenciado por otros a su alrededor (Área de Libre Movimiento).

- En el segundo escenario el vehículo se encuentra parcialmente influenciado por la presencia de un vehículo, por lo que el conductor comienza a disminuir un poco la velocidad de su automóvil (Área de Acercamiento).
- En el tercer escenario el conductor del vehículo se adentra en un proceso inconsciente de seguimiento, viéndose totalmente influenciado cuando otro vehículo comienza a disminuir su velocidad considerablemente. (Área de Seguimiento).
- Finalmente, en el cuarto escenario el conductor del vehículo ingresa a una fase de desaceleración del móvil, donde el conductor se ve obligado de frenar el automóvil. (Área de Desaceleración).



**Figura 5.** Fases del modelo de Wiedemann. Tomado de PTV Planung Transport Verkehr AG. (2014)

### Comportamiento de Cambio de Carril

Dowling et al. (2004) menciona que los modelos de cambio de carril están basados en el modelo de aceptación de espacios, donde un vehículo tiene la posibilidad de cambiar hacia otro carril si el espacio de este es mayor a su espacio crítico. Se distinguen tres tipos de modelos de cambio de carril:

- Cambio de Carril Obligatorio: Ocurre cuando el vehículo imprescindiblemente debe salir de su carril actual. Esto puede ocurrir en circunstancias como: caída de carril (carril actual está terminando), el carril se encuentra bloqueado por

algún evento en el medio, el vehículo necesita desplazarse a un carril exterior para salir de la vía.

- Cambio de Carril Discrecional: Toma lugar cuando el vehículo opta por cambiar de carril con la finalidad de mejorar su posición (viajar a la velocidad deseada); bajo esta lógica, el conductor determina el carril adyacente que se adapte al vehículo en cuestiones de estar libre de bloqueos y no terminar cerca. Puede ocurrir en los siguientes casos: Operación de tránsito de autobuses, tráfico de vehículos pesados, actividades de estacionamiento, movimientos de desde carriles compartidos, etc.
- Cambio de Carril Anticipado: Se desarrolla cuando el vehículo opta por cambiar de carril anticipando una desaceleración que ocurrirá en su actual carril metros más adelante como resultado de una unión entre carriles o zigzagueos. La lógica de este tipo de cambio de carril reconoce que un conductor puede acelerar o desacelerar para crear espacios aceptables para cambiar de carril.

El software Vissim reconoce dos tipos de cambio de carril: cambio de carril necesario y discrecional. El primer tipo incluye parámetros de conducción como desaceleración máxima aceptable del móvil que opta por cambiar de carril y la del vehículo que quedara detrás del primero al efectuarse el cambio. Para el segundo tipo de cambio se analizará la distancia de seguridad deseada entre el vehículo que adelantará y el que se quedará detrás. Para ambos modelos, el cambio debe realizarse sujeto a la disponibilidad de espacios en el carril y la aceptabilidad de los espacios por parte del vehículo en cuestión.

#### Comportamiento de Interacción Lateral

Falkenberg (2003) propuso un modelo de interacción que es actualmente empleado en VISSIM. En este modelo, la posición lateral elegida por el conductor de tal forma que tenga el máximo tiempo longitudinal hasta la colisión. Dado que dos conductores se mantienen en el mismo camino manteniendo la misma velocidad, el tiempo restante hasta que chocan entre sí se define como tiempo hasta la colisión. Para encontrar esta posición, los conductores dividen el ancho de vía disponible en carriles virtuales. Teniendo en cuenta cierta distancia lateral segura, los conductores construyen estos carriles virtuales desde los lados izquierdo y derecho de los vehículos precedentes en la calzada. El tipo de vehículo y la velocidad de este que adelanta rigen la distancia de seguridad lateral que un

conductor desea mantener al rebasar a otro vehículo; siendo que la distancia de seguridad varía linealmente con la velocidad. Teniendo en cuenta el tipo de vehículo y la velocidad longitudinal, un conductor aplica una velocidad lateral para moverse a una posición deseada desde su posición actual.

#### 2.4.3. Calibración y Validación de un Modelo

Jobanputra (2012) describe a la calibración y validación como un proceso que asegura que el modelo reproduzca satisfactoriamente las condiciones del tráfico reales. Resulta un procedimiento necesario debido a que ningún modelo puede contener todas las variables necesarias que afectan las condiciones del tráfico del mundo real o reproducir las condiciones locales en todas partes.

La calibración se entiende como el proceso de ajuste de los parámetros utilizados en el modelo, y que permita garantizar con precisión que los valores de entrada insertados reflejen un modelo con datos de salida coincidentes a los datos observados. La calibración se efectúa después de que el modelo base ha sido desarrollado y verificado por errores; posteriormente deben realizarse varias ejecuciones para obtener resultados que proporcionen una salida representativa para comparar con los datos observados.

Los aspectos de calibración pueden ser los siguientes:

- Calibración de Volúmenes: Se realiza un ajuste sobre el global de volúmenes ingresados por cada dirección de movimiento en el tramo de estudio; esto debido a que el software de simulación ajusta su propio volumen a partir de lo ingresado, ajustándose según los parámetros de Wiedemann insertados.
- Calibración de Tiempos de Viaje: Debe ser de similitud al que se tomó en campo, ya que garantizara que se elaboren propuestas de mejora adecuadas.
- Calibración de Colas: La longitud de colas obtenidas del modelo debe coincidir con los tomados en las intersecciones del área de estudio.

La validación se entiende como el proceso que verifica el rendimiento general del tráfico predicho por el modelo para un sistema de vías de acuerdo con las mediciones de campo del rendimiento del tráfico, volúmenes de tráfico, tiempos de viaje, velocidades y retrasos medios. Para la validación del modelo, se emplean datos de campo no utilizados en el proceso de calibración; permitiendo comprobar

que el modelo calibrado genera valores de salida de acuerdo con el conjunto de datos observados.

#### 2.4.3.1. Muestreo por Hipercubo Latino

Calvert (2014) lo describe como un esquema estratificado de muestreo en el que se garantiza que todo el espacio muestral para múltiples variables de entrada está suficientemente cubierto, mejorando la cobertura del espacio de entrada. La estratificación se consigue dividiendo el eje vertical del gráfico de la función de distribución  $F(X_k)$  de una variable aleatoria  $X_j$  en  $N$  intervalos de igual longitud que no se solapan, donde  $N$  es el número de ejecuciones del ordenador que se van a realizar. Las variables se muestran uniformemente en los espacios muestrales de muestra, también conocido como hipercubo  $N$ -dimensional, en el que a cada variable aleatoria se le atribuye una dimensión. Las combinaciones de las muestras se generan aleatoriamente, de manera que se consigue una buena dispersión de las muestras para formar una única función objetivo.

Las variables de entrada  $X_k$  se dividen en  $N$  estratos de igual probabilidad  $P(X_k)$

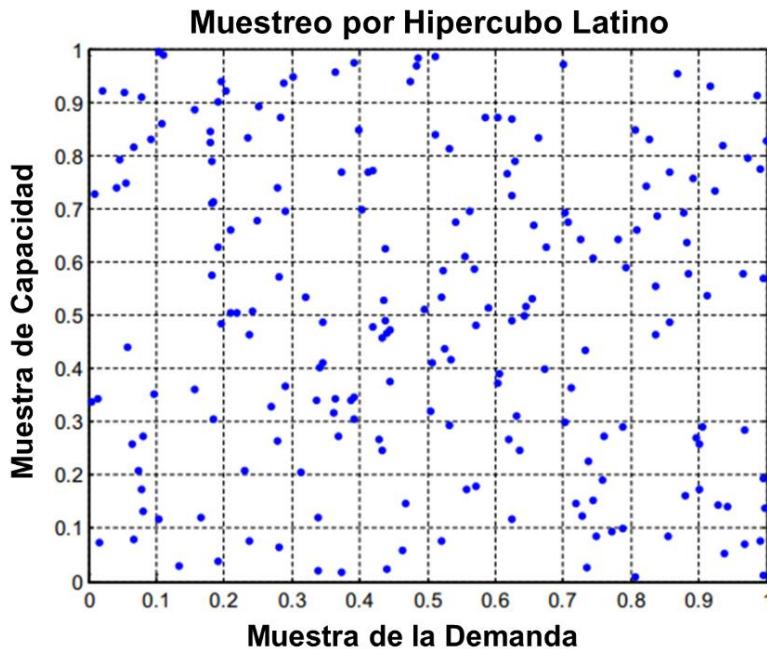
$$P(\mathbf{x}_k) = \frac{1}{N}$$

A single sample  $X_{k,j}$  is taken from each stratum  $j$ . These form the component  $X_k$ :

$$X_k = X_{k,j} \quad \text{with } k = 1..K, j = 1..N$$

Para cada variable de entrada  $X_k$ , los componentes se emparejan al azar para formar un cubo de muestra de  $K$  dimensiones.

No todos los estratos conjuntos serán cubiertos uniformemente; sin embargo, la cobertura de cada estrato está bien distribuida, incluyendo la distribución aleatoria dentro de cada estrato. La distribución sobre cada estrato marginal individual está uniformemente distribuida. Esto da lugar a una distribución superior de las muestras en la mayoría de los espacios, especialmente en aquellas evaluaciones con un número limitado de muestras.



**Figura 6.** Muestreo de hipercubos latinos de un espacio bidimensional para muestras de capacidad y demanda de tráfico. Tomado de Calvert (2014)

#### 2.4.3.2. Algoritmo Genético

Goldberg (1989) define a los Algoritmos Genéticos como algoritmos de búsqueda del valor o conjunto de valores más destacados, basados mediante mecánicas de selección y genética naturales. Se combinan características de supervivencia del más apto entre estructuras de secuencias con intercambio de información estructurado y aleatoria al mismo tiempo, con la finalidad de constituir un algoritmo de búsqueda que tenga algo de las cualidades de las búsquedas humanas.

Los Algoritmos Genéticos trabajan sobre una población de individuos, cada uno tiene asociado un ajuste con respecto al problema de la solución; representando una posible solución al problema que se desea resolver. El conjunto de los parámetros representado por un cromosoma particular recibe el nombre de genotipo, el fenotipo es el que contiene la información necesaria para la construcción del organismo que brinda solución al problema. Por otro lado, codificación de los parámetros se representa mediante un numero de bits de tamaño dependiente del grado de ajuste que se desee alcanzar por gen.

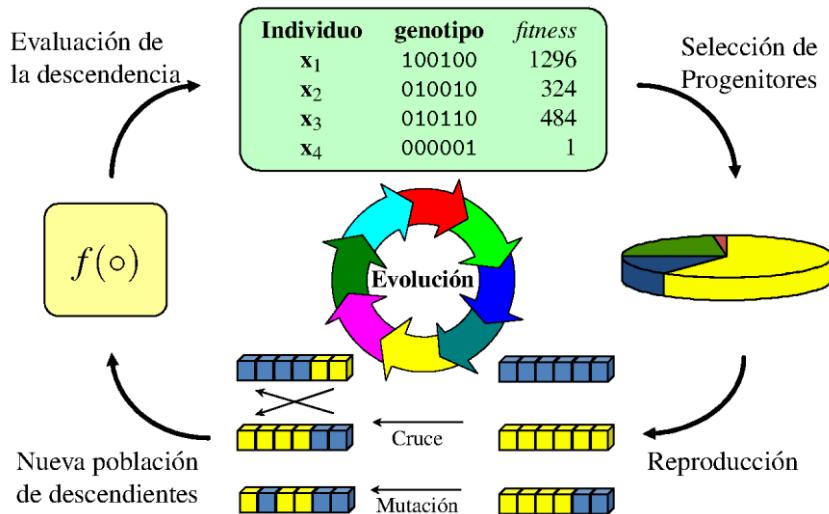


Figura 7. Proceso iterativo desarrollado por los algoritmos genéticos. Tomado de Sancho (2018)

En la figura 7 se observa el proceso típico desarrollado por los algoritmos genéticos, en donde por cada generación la población combina sus genes, priorizando a los genes que brindan mejores resultados dando lugar a descendientes más aptos. Durante el proceso de reproducción de la población descendente, se aplican operaciones genéticas como selección, cruce, reemplazo, copia y mutación; los cuales permiten enriquecer el proceso de obtención de un mejor candidato.

#### 2.4.4. Software PTV Vissim

PTV Vissim es un software de simulación microscópica que emplea distintos modelos de comportamiento vehicular; y que permite al usuario analizar el comportamiento y operación del flujo de tráfico bajo distintas condiciones muy específicas y variadas. (PTV GROUP,2021)

El software PTV Vissim apoyado de modelos de análisis como los de Wiedemann o de cambios de carril, permite al usuario recrear a gran nivel de detalle del tráfico real. Adicionalmente ofrece herramientas que permite poder especificar los diversos tipos de vehículos (predeterminados o creados) que componen el flujo vehicular. Destaca en gran medida la flexibilidad y control sobre el nivel de detalle de las diversas características del componente vial y vehicular que se pueda incluir en el modelo de simulación microscópica; permitiendo al usuario experimentar con diferentes diseños de optimización para obtener el que se acomode mejor a las características del tramo de estudio.

## CAPITULO III: METODOLOGÍA Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se rige con una metodología del tipo analítico-experimental. Se considera analítico, por la descomposición que se realiza para comprender en primer lugar por cada intersección del área de estudio; y junto a las características de las variables del modelo que cada intersección posee. Estudiar por partes todas estas características permitirán luego representarlas para todo el sistema del área de estudio. La metodología se considera experimental, porque a través del ensayo de prueba y error sobre las características en los comportamientos de los conductores y modelo de tráfico en general; es como logra alcanzar que reproduzcan las cualidades del modelo con respecto a su contraparte real. Asimismo, para el desarrollo del conjunto de propuestas de mejoras; a través de la experimentación entre distintos escenarios junto con la combinación de estos, es como se obtendrá el grupo de propuestas que posibiliten desarrollar un panorama adecuado para la evaluación de los resultados obtenidos.

### 3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.2.1. Hipótesis

En el presente trabajo se plantea dos hipótesis, las que indicamos a continuación:

##### **Primera Hipótesis**

Los parámetros de comportamiento de conductor que más influyen en determinar los tiempos de viaje del modelo de microsimulación son: distancia media de parada (W74ax), factor aditivo de la distancia de seguridad (), factor multiplicativo de la distancia de seguridad (W74bxMult), distancia máxima de mirada hacia adelante (LookAheadDistMax), distancia de parada (StandDist), vehículos observados (ObsrvdVehs), avance mínimo (MinHdwy), diferencia cooperativa de velocidad de cambio de carril (CoopLnChgSpeedDiff), Desaceleración Cooperativa (CoopDecel), factor de distancia de seguridad para cambio de carril (SafDistFactLnChg), desaceleración propia aceptada (AccDecelOwn) y distancia de reducción de aceleración propia (DecelRedDistOwn). Los parámetros mencionados permitirán calibrar el modelo de microsimulación con una diferencia inferior a 3 segundos entre los tiempos de viaje simulados y medidos en campo.

## Segunda Hipótesis

Considerar una rotonda en Naranjal constituye la mejor alternativa de disminución en los tiempos de viaje del entorno vial, sin afectar la operación de los buses del sistema BRT.

### 3.2.2. Variables

#### 3.2.2.1. Variables Independientes

Para el desarrollo de esta investigación, se identificaron como variables independientes a las siguientes:

**Flujo vehicular:** Cantidad de vehículos que circulan por las vías del área de estudio. Su unidad de medida se representa en vehículos por hora (veh/h).

**Direcciones de giro:** Cantidad de vehículos que toman una dirección de destino al llegar a las intersecciones de análisis. Su unidad de medida se representa en vehículos por hora (veh/h).

**Ciclos semafóricos:** Tiempo de duración para las fases de rojo, verde y ámbar en una intersección. Su unidad de medida se representa en segundos (s).

**Ancho de vía:** Amplitud horizontal que tiene cada carril de una vía, así como el ancho total de todos los carriles a lo largo del tramo de estudio. Su unidad de medida se representa en metros (m).

**Velocidad de circulación de vehículos:** Rapidez promedio con la que los vehículos circulan a través de una vía. Su unidad de medida se representa en metros (km/h).

**Variables de comportamiento de conductor:** Los parámetros de simulación permiten describir la conducta que adopta el conductor en su recorrido por el tramo de estudio. Las variables de comportamiento de conductor son fijadas durante la fase calibración del modelo de simulación y son definidas por el software Vissim. Estas variables se dividen en tres conjuntos principales:

#### Parámetros de seguimiento vehicular

Estas variables determinan el proceder de los conductores en situaciones de proximidad de otros vehículos que se ubican en su mismo carril delante de ellos, y en cierta parte los que se encuentran detrás. Estos parámetros representan la sensación y resolución por parte del conductor en casos de interrelación con otros vehículos en aspectos como la forma de manejo y

distancia de separación respecto a los otros vehículos. Las variables de seguimiento vehicular escogidas para esta investigación son las siguientes:

- W74ax: Average standstill distance (Wiedemann 74)
- W74bxad: Additive factor for security distance (Wiedemann 74)
- W74bxMult: Multiplicative factor for security distance (Wiedemann 74)
- LookAheadDistMax: Look ahead distance (maximum)
- LookBackDistMax: Look back distance (maximum)
- StandDist: Standstill distance in front of static obstacles
- ObsrvdVehs: Observed vehicles in front

### Parámetros de cambio de carril

Las variables de cambio de carril toman en consideración el espacio y velocidad de desplazamiento de los vehículos del otro carril; influyendo sobre el conductor la decisión de pasar al otro carril. Las variables de cambio de carril escogidas para esta investigación son las siguientes:

- MinHdwy: Minimum headway
- SafDistFactLnChg: Safety distance reduction factor (lane change)
- DecelRedDistOwn: Deceleration reduction distance (own)
- AccDecelOwn: Accepted deceleration (own)
- CoopDecel: Maximum cooperative deceleration
- MaxSpeedLnchg: Maximum speed for lane changing
- CoopLnChgSpeedDiff: Cooperative Lane change-maximum speed difference
- AccDecelTrail: Accepted deceleration (trailing vehicle)
- DecelRedDistTrail: Deceleration reduction distance (trailing vehicle)
- CoopLnChgCollTm: Cooperative Lane change-maximum collision time
- RearCorrMaxSpeed: Rear correction-maximum speed

### Parámetros de Comportamiento Lateral

El comportamiento lateral toma en cuenta la influencia de la distancia lateral entre los conductores de dos carriles diferentes y la velocidad en que circulan estos, para realizar maniobras de movimiento lateral. La variable de cambio de carril escogida para esta investigación es la siguiente:

- MinSpeedForLat: Minimum longitudinal speed for lateral movement

### 3.2.2.2. Variables Dependientes

Para el desarrollo de esta investigación, se identificaron como variables dependientes a las siguientes:

**Nivel de Servicio:** Medida cualitativa que define las condiciones de calidad de circulación de un flujo vehicular. Su unidad de medida se representa en letras del alfabeto que van desde la A hasta la F.

**Demoras en intersecciones:** Tiempo adicional que toma a los vehículos en atravesar un tramo de vía, con respecto a la forma como lo haría en condiciones de flujo libre. Su unidad de medida se representa en segundos (s).

**Tiempos de viaje:** Tiempo que le toma a los vehículos en recorrer un determinado tramo. Su unidad de medida se representa en segundos (s).

En la siguiente tabla se muestra el resumen de las variables dependientes e independientes que son consideradas para la presente tesis, y su correspondiente unidad de medida.

**Tabla 8.** Variables consideradas para la investigación.

Tipo	Variable	Unidad
Variables Dependientes	Nivel de servicio	A, B, C, D, E, F
	Demoras en intersecciones	Seg.
	Tiempos de viaje	Seg.
Variables Independientes	Flujo vehicular	Veh/h
	Direcciones de giro	Veh/h
	Ciclos semafóricos	Seg
	Ancho de vía	m
	Velocidad de circulación de Vehículos	km/h
	Variables de comportamiento de conductor	(diferentes unidades)

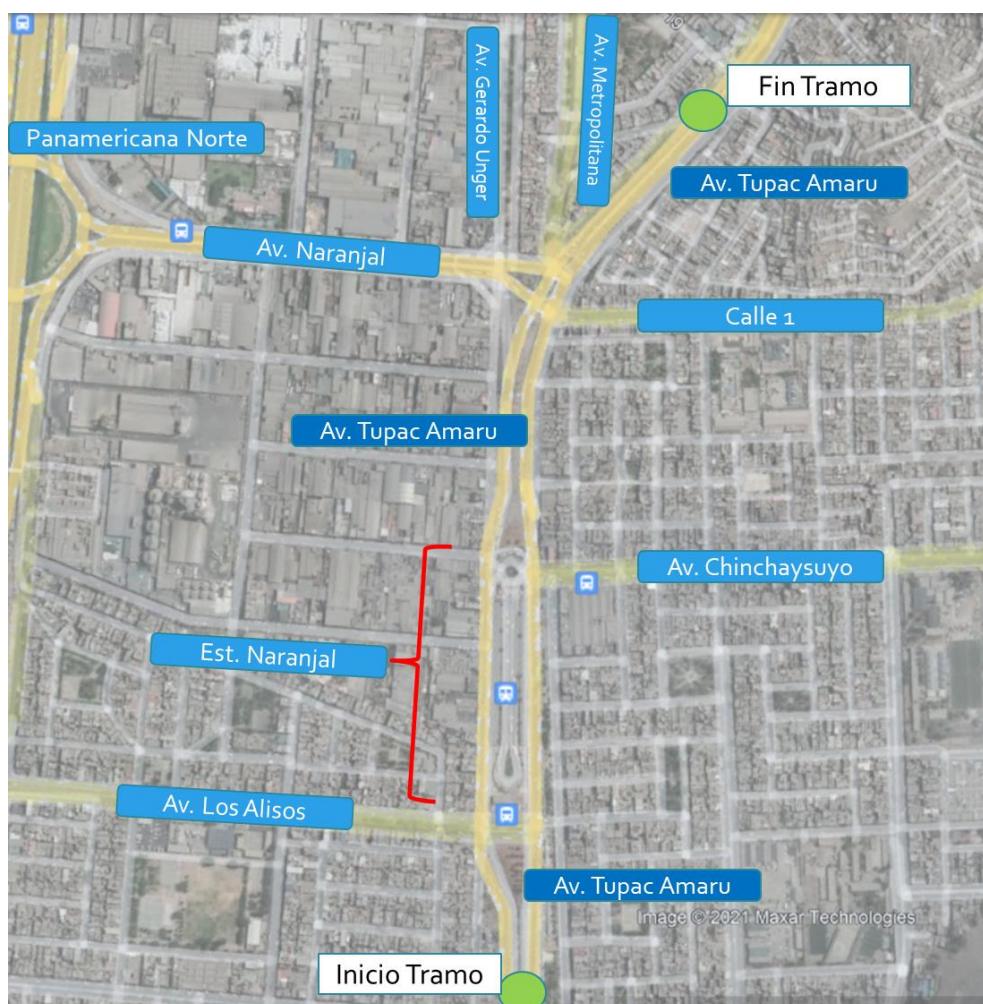
Elaboración propia.

## CAPITULO IV: DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y OBTENCIÓN DE DATA DE CAMPO

### 4.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1.1. Ubicación de la Zona de Estudio

El área de estudio abarca el tramo de la avenida Túpac Amaru, comprendido entre las intersecciones con las av. Los Alisos y Naranjal. Tiene una longitud aproximada de 1 kilómetro y dentro del tramo se ubica la estación Naranjal del Metropolitano, que es la estación con mayor afluencia de pasajeros y vehículos de todo el servicio de transporte.



**Figura 8.** Ubicación de la zona de estudio y vías aledañas. Fuente propia en base a imagen tomada de Google Earth.

A lo largo de la zona de estudio se identifican tres importantes intersecciones de la av. Túpac Amaru; la primera es con la av. Los Alisos donde también se ubica la entrada sur de pasajeros hacia la estación Naranjal y es paradero de 5 líneas de

buses alimentadores del Metropolitano, la segunda intersección se da con la av. Chinchaysuyo donde también que se ubica la entrada norte de pasajeros hacia la estación Naranjal, la tercera intersección es una confluencia entre las avenidas Naranjal, Gerardo Unger, Metropolitana y Calle 1 con Túpac Amaru. En la figura 8 se observa los puntos de inicio y fin del tramo de estudio, así como la ubicación de las principales vías con las que se interseca la av. Túpac Amaru.

#### 4.1.2. Descripción del Medio Físico e Infraestructura

##### 4.1.2.1. *Medio Físico*

El área de estudio se encuentra ubicada en la parte norte del distrito de Independencia y límite con Comas; separando los sectores de Tahuantinsuyo, Industrial y Túpac Amaru del distrito. La zona industrial se encuentra hacia el lado oeste del área de estudio; mientras que las zonas de Tahuantinsuyo y Túpac Amaru hacia el lado este. La longitud de zona Industrial abarca de Tahuantinsuyo abarca desde el inicio del tramo hasta la avenida Naranjal, cruzándola se encuentra el distrito de Comas. La zona de Tahuantinsuyo abarca desde el inicio del tramo hasta av. Chinchaysuyo, mientras que la zona de Túpac Amaru se comprende desde la av. Chinchaysuyo hasta el punto final del tramo.

Dentro de la zona Industrial de Independencia se ubica la urbanización el Naranjal una zona residencial de densidad media, la cual contrasta con su alrededor donde se encuentran zonas industriales de tamaño mediano y grande. En los predios ubicados en las avenidas principales como Los Alisos, Naranjal y Túpac Amaru; se desarrolla una alta actividad comercial, predominando la venta de autopartes y artículos industriales.

La zonificación de los sectores de Tahuantinsuyo y Túpac Amaru es netamente residencial de densidad media; ubicándose la urbanización Tahuantinsuyo primera etapa y la asociación Víctor Raúl Haya de la Torre respectivamente a cada sector. Se desarrolla actividad comercial de todo tipo en las principales avenidas como Chinchaysuyo y Contisuyo (auxiliar de la av. Túpac Amaru).



Figura 9. Sectores de Independencia dentro del área de estudio. Fuente propia en base a imagen tomada de Google Earth.

#### 4.1.2.2. Infraestructura Vial

- Avenida Túpac Amaru

Es una vía arterial cuatro carriles por cada sentido de circulación, dos de uso exclusivo para el servicio del Metropolitano y que llegan hasta la estación el Naranjal. Solamente en el tramo comprendido entre las intersecciones con las avenidas Chinchaysuyo y Naranjal, esta se convierte en una de tres carriles para ambos sentidos; en el sentido norte-sur la vía se fusiona con la av. Gerardo Unger resultando en una vía de dos carriles entre ambas. Los carriles exclusivos para el Metropolitano son de pavimento rígido los cuales no presentan ningún tipo de falla aparente; la señalización horizontal en las intersecciones se encuentra ligeramente desgastada. El resto de las vías son de pavimento flexible que se encuentra en buen estado de conservación con ligeras fisuras longitudinales en los accesos hacia la avenida desde otras vías.



**Figura 10.** Infraestructura vial de la av. Túpac Amaru. Fuente propia

- Avenida Los Alisos

Es una vía arterial que cuenta con dos carriles por cada sentido de circulación. El pavimento presenta fallas con fisuras tipo piel de cocodrilo en grandes partes del tramo; mientras que en algunos puntos se identifican baches. La señalización horizontal es borrosa en la mayor parte del tramo, mientras que las líneas de paso de cebra en las intersecciones están borrosas. En la intersección con la av. Túpac Amaru, el pavimento rígido no presenta ningún daño aparente; mientras que la señalización horizontal es parcialmente borrosa en los pasos de cebra y casi no visible en la línea divisoria de carriles.



**Figura 11.** Infraestructura vial de la av. Alisos. Fuente propia

- Avenida Chinchaysuyo

Cuenta con dos carriles en el sentido este-oeste (hacia la estación Naranjal), mientras que el otro sentido es de 3 carriles. El pavimento flexible se encuentra en buen estado de conservación, presentando ligeras fisuraciones producto del tiempo en servicio. La señalización horizontal se encuentra ligeramente desgastada y no se distinguen claramente las líneas divisoras de carriles.



Figura 12. Infraestructura vial de la av. Chinchaysuyo. Fuente propia

- Avenida Naranjal:

Es una vía arterial de tres carriles para ambos sentidos de circulación, solo en la intersección con la av. Túpac Amaru esta se reduce a dos carriles. La vía esta asfaltada con pavimento flexible la cual se encuentra en malas condiciones con grandes baches, piel de cocodrilo y fisuraciones; sobre todo en la intersección con la av. Gerardo Unger. La señalización horizontal, tanto para intersecciones y línea separadora de carril, es prácticamente inexistente. No cuenta con ningún tipo de señalización vertical, ni semáforo en la intersección con la av. Gerardo Unger. La vía auxiliar se encuentra también en similares condiciones.



**Figura 13.** Infraestructura vial de la av. Naranjal. Fuente propia

- **Av. Gerardo Unger:**

Es una vía de dos carriles por cada sentido de circulación. El pavimento flexible se encuentra en un estado de conservación malo, evidenciándose problemas de fisuraciones, baches y piel de cocodrilo en la intersección con la av. Naranjal. La señalización horizontal es prácticamente inexistente; al igual que la señalización vertical y no existe semáforo.

- **Av. Metropolitana:**

Es una vía de dos carriles de para ambos sentidos de circulación, el pavimento es flexible y se encuentra en un estado de conservación aceptable con presencia de pocas fisuras y piel de cocodrilo. No se distingue algún tipo de señalización horizontal ni vertical; pero si cuenta con semaforización tanto para peatones como para vehículos.



**Figura 14.** Infraestructura vial av. Gerardo Unger (Izquierda) y Metropolitana (Derecha). Fuente propia

- Estación Naranjal

La berma central de la av. Túpac Amaru ha sido destinada para las operaciones del servicio de transporte del Metropolitano, el cual dentro del distrito de Independencia abarca cuatro carriles exclusivos, dos por cada sentido. Cuenta con seis zonas de embarque destinadas al servicio troncal y trece embarques para buses alimentadores y ubicadas en la parte interior de la estación Naranjal. En la intersección con la av. Naranjal se utiliza un carril de cada sentido de circulación para las operaciones de otras cinco líneas de buses alimentadores.



**Figura 15.** Infraestructura de la Estación Naranjal. Fuente propia

#### 4.1.3. Diagnóstico del Área de Estudio

##### 4.1.3.1. Servicio del Metropolitano

Desde la construcción y posterior puesta en operación, el servicio del metropolitano ha impactado sobre la infraestructura vial y el flujo vehicular que circula por la zona de estudio. La dimensión de la estación Naranjal es de unos 65m de ancho aproximadamente; esto cual ha generado que la av. Túpac Amaru en el sentido norte-sur y la av. Gerardo Unger se unan al llegar a la altura de la entrada norte de la estación Naranjal, pasando de tener cuatro carriles a solo dos entre ambas vías.



Figura 16. Viajes generados y atraídos por la estación Naranjal. Fuente propia

La operación del Metropolitano en la estación Naranjal atrae una gran cantidad de viajes hacia este punto, debido a que es la estación de mayor afluencia de pasajeros del servicio de transportes los cuales llegan hasta la estación mediante diferentes modos de transporte. Por un lado, está el servicio de alimentadores del metropolitano los cuales una parte recogen y dejan pasajeros dentro del mismo terminal; mientras que otras cinco líneas de alimentadores lo hacen en los exteriores de la estación Naranjal, desencadenando en que constantemente ocupe un carril de la av. Los Alisos que son utilizados como paraderos. Las líneas de servicio de transporte público también pasan por la zona de estudio, recogiendo y dejando pasajeros tanto en los paraderos como en zonas no adecuadas para hacerlo; a esto se le suma el excesivo tiempo en espera de un pasajero. Por otro

lado, están los servicios de taxis, colectivos y motos, los cuales llegan hasta zonas cercanas a la estación Naranjal para dejar pasajeros y ocupando en muchos casos parte de la vía; de forma similar sucede en el recojo de pasajeros en que los vehículos se quedan parados esperando por un potencial cliente.



**Figura 17.** Área ocupada utilizada por vehículos de transporte público como paradero y zona de tránsito de peatones en medio de los ambulantes. Fuente propia

#### 4.1.3.2. Transporte Publico

Las líneas de transporte público que transitan por la zona de estudio siguen tres tipos de ruta. En la primera los vehículos siguen su recorrido por toda la av. Túpac Amaru y para ambos sentidos de circulación, en la segunda los vehículos doblan desde la Túpac Amaru (sentido sur-norte) hacia la av. Chinchaysuyo; finalmente, en la tercera ruta los vehículos giran desde la av. Túpac Amaru hacia Naranjal y de forma viceversa.

Tal como se mencionó en la sección anterior, en determinados puntos, los paraderos son aprovechados por los conductores para detenerse durante largo tiempo esperando por un pasajero y restringiendo el flujo de tránsito para los vehículos detrás de él. Esto se evidencia en mayor medida en la intersección entre la av. Túpac Amaru y Chinchaysuyo (Sentido sur-norte), los vehículos se quedan parados incluso hasta más de dos períodos del semáforo; esta situación también se repite en el carril izquierdo de la vía provocando que durante un largo tiempo el tráfico se quede detenido. En el sentido inverso de circulación ocurre algo similar, los vehículos en la av. Gerardo Unger se detienen en cualquier punto incluso a más de una cuadra del paradero. Por el lado de la av. Túpac Amaru,

algunos vehículos también se detienen a dejar pasajeros los cuales caminan a través de la berma central hacia el paradero.



**Figura 18.** Buses de transporte público esperando por pasajeros con semáforo en verde. Fuente propia

#### 4.1.3.3. Mototaxis y Servicios de Colectivo

Dentro del área de estudio, los mototaxis ofrecen servicio de transporte de pasajeros, realizando cortos viajes desde las distintas zonas de Independencia hasta la av. Túpac Amaru para luego utilizar el servicio del Metropolitano o tomar un vehículo de transporte público. El problema con estas unidades de transporte es que muchas no cuentan con paraderos establecidos por lo que también ocupan parte de la vía al dejar pasajeros para luego girar en U, estando esta maniobra de giro no permitida en muchos casos y pudiendo ser peligrosa.

Por su parte, los autos que realizan servicio de colectivo realizan un recorrido similar al de los buses alimentadores compitiendo con este otro servicio en llevar pasajeros hacia el terminal Naranjal. El problema de los vehículos colectivo reside en que al llegar a una vía cercana a la estación Naranjal (Los Alisos o Chinchaysuyo), estos se estacionan en el carril derecho de la vía obstruyendo la libre circulación de los vehículos detrás de este, obligando también a vehículos detrás a realizar maniobras de cambio de carril. Asimismo, durante las horas punta en la noche ocurre el efecto contrario; los vehículos se estacionan en las vías cercanas a la estación Naranjal ofreciendo servicio de colectivo para pasajeros que no desean esperar a la llegada de un bus alimentador.



**Figura 19.** Informalidad de Servicio de Mototaxis y Colectivos. Fuente propia

#### 4.1.3.4. Peatones y Vendedores Ambulantes

Miles de peatones transitan a diario por las vías peatonales del área de estudio en su mayoría como usuarios del Metropolitano y por la actividad comercial de la zona. Lo primero se evidencia sobre todo durante las horas punta, tanto de la mañana como en la noche. Durante la mañana miles de usuarios cruzan la av. Túpac Amaru en dirección hacia las entradas de la estación Naranjal, tal como se observa en la parte izquierda de la figura 20. El problema de esto reside en la gran cantidad de peatones que por ciclo semafórico se queda esperando en las veredas; se llega a un punto en que la cantidad de peatones es tal que algunos terminan ocupando parte de la vía en su intento por querer cruzar primero que los otros peatones a su alrededor. A esto se le suma que algunos peatones optan por cruzar imprudentemente pese a encontrarse la señal en rojo para ellos. En la hora de la punta de la noche ocurre el proceso inverso, los usuarios salen de la estación Naranjal hacia los paraderos de alimentadores o transporte público; los peatones que toman transporte público o colectivo muchas veces suben a los vehículos cuando estos no están ubicados en el carril de la derecha.

La actividad comercial en la zona de estudio y el alto flujo de peatones circulando alrededor es aprovechado por vendedores ambulantes. En la figura 20 se observa que los vendedores ambulantes se ubican estratégicamente alrededor de los cruces peatonales; esto genera que durante las horas pico la vía peatonal tenga que estar compartida entre los vendedores ambulantes y los usuarios del metropolitano, generando caos y limitando la circulación de peatones.



**Figura 20.** Concentración de peatones y vendedores ambulantes en los cruces peatonales.  
Tomado de Alcalde (2020).

#### 4.1.3.5. Pavimento y Geometría de la Vía

A lo largo del área de estudio, se identifican ciertas irregularidades en el trazado de la geometría de la vía. La avenida Los Alisos, con sus dos carriles por sentido de vía, finaliza al intersecarse con la av. Túpac Amaru; generando que los conductores en dirección oeste-este, tengan que girar a la izquierda hacia la av. Túpac Amaru. Sin embargo, y tal como se observa en la figura 21, muchos vehículos van en dirección hacia la avenida Yahuar Huaca (color verde) pese a ser de sentido contrario; lo que provoca conflictos en movimientos de cruce entre los vehículos que vienen desde el sector Tahuantinsuyo (naranja) y los que giran hacia la izquierda desde la auxiliar de la av. Túpac Amaru (color azul).



**Figura 21.** Conflicto generado por vehículos provenientes de la av. Los Alisos. Fuente propia.

En secciones anteriores se mencionó la reducción de carriles entre las av. Gerardo Unger y Túpac Amaru en el sentido norte-sur, esto con la finalidad de construir una rotonda por la que los buses troncales del Metropolitano puedan girar en “U” adecuadamente; sin embargo, como se observa en la figura 22 este espacio es más empleado como estacionamiento de buses troncales mientras que los buses troncales en operación giran sin mayor dificultad por un espacio más pequeño. Este sobredimensionamiento del espacio vial pudo haber sido aprovechado para realizar una transición más adecuada entre las avenidas Gerardo Unger y Túpac Amaru, mitigando el impacto vial por la reducción de carriles y disminuyendo maniobras de cambios de carril generadas por el conflicto direccional entre ambas avenidas.

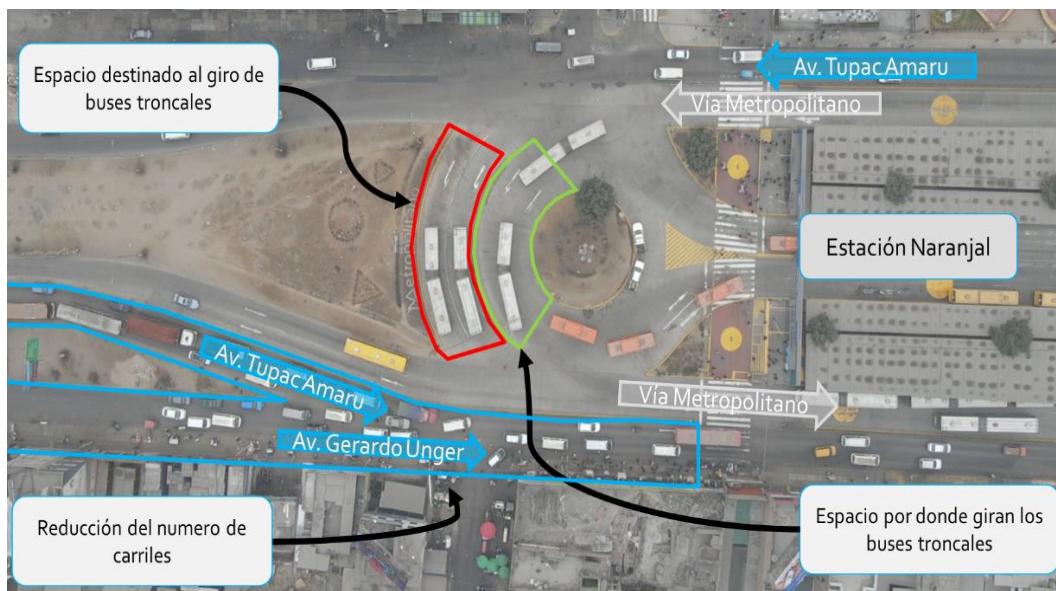


Figura 22. Espacio vial desaprovechado de la Infraestructura del Metropolitano. Fuente propia.

El trazado de la vía en la confluencia de las av. Túpac Amaru, Naranjal, Gerardo Unger, Metropolitana y Calle 1 es mucho más caótico que en los otros puntos analizados y que puede identificarse un enorme número de conflictos por maniobras de cruce, cambios de carril y direccionales. Tal como se observa en el primer punto de la figura 23, un vehículo que va por la Calle 1 en dirección hacia la av. Naranjal o hacia la estación Naranjal; tiene que dar toda una vuelta con forma de S para poder recién girar hacia su destino. Para el punto número dos, se observa una gran cantidad de vehículos provenientes principalmente de la av. Túpac Amaru (sentido sur-norte) o la Calle 1; ocasionando que dos, o incluso tres de los carriles de la Túpac Amaru lo ocupen que esperan la luz verde para girar. En el tercer punto las av. Túpac Amaru, su vía auxiliar y Metropolitana en el sentido norte-sur entran en conflicto direccional y por maniobras de cruce cuando los vehículos que provenientes de la av. Túpac Amaru o su auxiliar desean girar hacia Naranjal se encuentran con los que proceden desde la av. Metropolitana. Finalmente, el cuarto punto de conflicto se da en la intersección de las av. Gerardo Unger con Naranjal, donde los conductores que van desde la av. Naranjal (sentido este-oeste) y los provenientes desde la av. Gerardo Unger (sentido norte-sur); giran o siguen su destino por la Gerardo Unger generando conflictos con el otro sentido de la av. Naranjal debido ineficiente trazado que permita los giros y tenga los espacios adecuados para que los conductores puedan continuar con su recorrido. A este problema se le suma de que no existe un semáforo para el cruce

de ambas vías y que el estado del pavimento en ese punto se encuentra en pésimas condiciones.



Figura 23. Conflictos generados por la geometría de la vía en la intersección de las avenidas.  
Fuente propia

#### 4.1.3.6. Señalización

Tal como se describió en secciones anteriores, la señalización horizontal en las avenidas del área de estudio es deficiente; sobre todo las líneas separadoras de carriles. En las intersecciones vehiculares o cruces peatonales, las líneas de paso de cebra son visibles o en algunos casos se encuentran borrosas debido al uso; sin embargo, en avenidas como Naranjal y Gerardo Unger (así como la intersección de estas) no es posible apreciar señalización de ningún tipo o en todo caso esta ya es prácticamente imperceptible. En las intersecciones, además de las avenidas ya mencionadas, las Calle 1 y Yahuar Huaca no cuentan con flechas direccionales que indican a los conductores según el carril que se encuentran hacia donde deben dirigirse.

En cuanto a la señalización vertical, hace falta colocar señales que indiquen la ubicación de un paradero y se complementa con la señalización horizontal del paradero. Asimismo, en los puntos críticos e intersecciones descritas anteriormente en otros subcapítulos debería colocar señales que prohíban giros y maniobras peligrosas que realizan algunos conductores.

Los semáforos en el tramo de la zona de estudio se encuentran desincronizados, lo que ocasiona que cada intersección opere de manera aislada. En la intersección de la av. Los Alisos con Túpac Amaru, el ciclo semafórico no cuenta con un tiempo dentro del que permita a los vehículos de la av. Los Alisos (sentido oeste-este) puedan girar adecuadamente sin entrar en conflicto con los vehículos de la Av. Yahuar Huaca. En la intersección de la av. Naranjal con Gerardo Unger no existe un semáforo que regule el flujo vehicular entre estas avenidas, pese al gran volumen vehicular de ambas vías. Asimismo, el tiempo en verde y rojo para la intersección de las avenidas Metropolitana y Túpac Amaru es el mismo, lo que ocasiona que entren en conflicto los vehículos provenientes de la Túpac Amaru que deseen girar hacia la izquierda, con los que se desplazan por la av. Metropolitana y buscan continuar su recorrido hacia la Túpac Amaru.



**Figura 24.** Conflicto en la av. Naranjal generado por la ausencia de semaforización. *Fuente propia.*

#### 4.1.3.7. Actividades Comerciales

La actividad comercial en los locales alrededor de la estación Naranjal, principalmente los establecimientos que se dedican a la venta de autoparte y productos industriales impactan sobre el flujo vehicular y de peatones que transitan por la zona de estudio. Por un lado, los comercios dedicados a la venta de autopartes exhiben parte de su mercadería en veredas y parte de la vía; asimismo muchos de sus clientes cuadran sus vehículos en un carril de la vía, limitando el flujo vehicular de la zona. Los comercios dedicados a la venta de autopartes impactan principalmente sobre los peatones debido a que también ocupan parte de las veredas para mostrar su mercadería; además que, al igual que el Metropolitano, atraen al comercio ambulatorio.

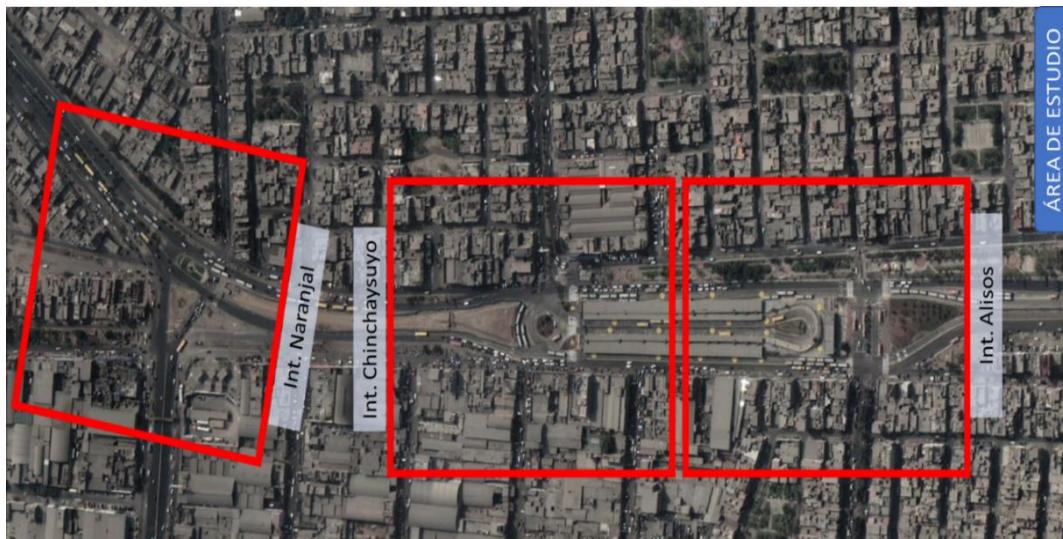


**Figura 25.** Vendedores ambulantes en las calles y alrededor de la estación Naranjal. *Fuente propia.*

## 4.2. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN DE CAMPO

### 4.2.1. Aforo Vehicular

El aforo de vehículos se realizó mediante un conteo manual a través de videos grabados mediante vehículos dron ubicados en las intersecciones del área de estudio, los cuales volaron a una altura de cerca de 120 metros sobre el nivel de los puntos de despegue (ubicados dentro del área de estudio). Se consideró esta altura debido a que permitía captar íntegramente el total desarrollo del flujo de tránsito junto con una excelente calidad de video. Se opta por esta decisión debido a que permite un conteo mucho más completo; ya que puede seguirse la dirección final que toma cada vehículo al llegar a cada intersección, requiriendo también de menor personal en campo. El conteo del flujo vehicular se realizó el martes 28 de septiembre del 2021 entre las 6:30 y 12:00 del mediodía, se optó por esta fecha debido a que representa un día típico de la semana, y que en aforamientos preliminares sobre la avenida Túpac Amaru efectuados semanas antes, de lunes a viernes desde las 6:00 hasta las 21:00 horas; la hora de mayor demanda vehicular ocurría en las mañanas.



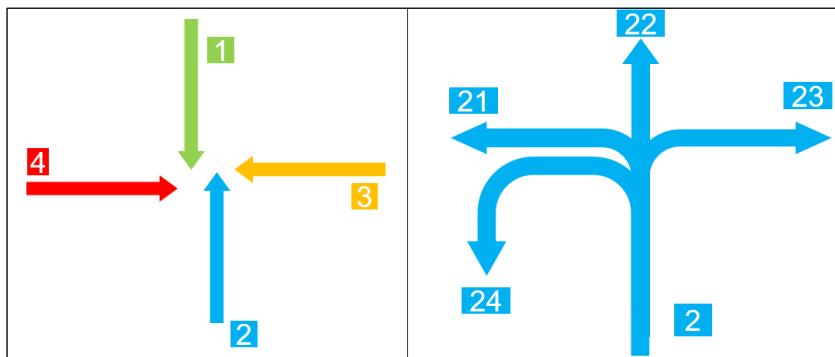
**Figura 26.** Área de cobertura del aforamiento con drones en las intersecciones dentro del área de estudio. Fuente propia en base a imágenes de Google Earth.

#### 4.2.1.1. Dirección del flujo vehicular

En la figura 27 se muestra la codificación que se considerará para las direcciones de donde proviene el flujo y la dirección que tomará cada vehículo al cruzar por la intersección respectivamente.

En la parte izquierda de la imagen se establece la asignación de un número según el sentido de tránsito en cada avenida. La asignación 1 corresponderá a la av. Túpac Amaru en el sentido sur a norte (el de mayor interés de estudio); mientras que 2 corresponderá a la av. Túpac Amaru en el sentido norte a sur. Los otros números serán asignados a los otros sentidos de las avenidas que formen parte de la intersección analizada.

En la parte derecha se muestra cómo se destina también un número a la dirección de tránsito que tomará el vehículo al finalizar su recorrido por la intersección evaluada. Este número acompañara al del sentido del tránsito para identificar su origen antes de llegar a la intersección y su destino final luego de pasar por la misma. El número 1 corresponde a que el vehículo realiza un giro hacia la izquierda, el 2 que el vehículo circulará de forma recta sin maniobrar giros, el 3 indica un giro hacia la derecha; y finalmente, el 4 que el vehículo ejerce un giro en U. Para ciertos casos de las direcciones del flujo que se pretende identificar, la complejidad del movimiento o la cantidad de trayectorias que puede tomar un vehículo en la intersección requerirá de una descripción adicional a la codificación explicada en esta sección y que se detallará para cada caso específico de las intersecciones.



**Figura 27.** Codificación del flujo de tránsito en las intersecciones. Fuente propia

#### 4.2.1.2. Clasificación de Vehículos

Los vehículos aforados tomando como base el “Reglamento Nacional del Sistema de Emisión de Licencias de Conducir”, se han clasificado de la siguiente forma:

- Vehículos Ligeros: Se considerará como vehículos ligeros a los que se encuentran clasificados en las categorías M1, N1 y N2. Los M1 son vehículos de cuatro ruedas diseñados para el transporte de pasajeros y cuentan hasta con 8 asientos; mientras que los N1 y N2 al transporte de mercancías (MTC, 2016). Para este estudio solo se considerará como vehículos representativos a de la categoría M1.
- Combis: Se considera a todos aquellos pertenecientes a la categoría M2 (camioneta rural) y M3 (cousters), que son vehículos destinados al transporte de pasajeros. Se incluye a ambas categorías de vehículos como combis debido a que el número de cousters es poco representativa y poseen características físicas semejantes.
- Motocicletas: Para este estudio se considera como Motocicleta a cualquier vehículo de la categoría L, correspondiente a vehículos de menos de cuatro ruedas; siendo los de dos ruedas los más representativos respecto a otros vehículos como mototaxis.
- Bus: Se considera a todos los vehículos de transporte público de la categoría M3 y que no pertenezcan al servicio del Metropolitano.
- Metropolitano Alimentador: Son vehículos de la categoría M3 pertenecientes al servicio del metropolitano, con excepción de los buses de la ruta troncal del

metropolitano. Se considera una categoría distinta a los vehículos buses; debido a que presenta un comportamiento diferente en el recojo y bajada de pasajeros.

- Metropolitano Troncal: Son vehículos de la categoría M3 pertenecientes al Metropolitano. Tienen la principal característica de ser articulados. Además, estos se trasladan por la vía exclusiva con la que cuenta el servicio.

#### 4.2.1.3. Puntos de Conteo

- Intersección av. Túpac Amaru- Los Alisos

En esta intersección se distinguen los flujos vehiculares provenientes de las avenidas Túpac Amaru, Los Alisos, Contisuyo (auxiliar de la avenida Túpac Amaru) y la calle Yahuar Huaca. Se identificaron en total cinco sentidos de flujo al llegar a la intersección, tal como se ve en la figura 28.



**Figura 28.** Direcciones del flujo en la av. Túpac Amaru intersección de las av. Túpac Amaru con Los Alisos. Fuente propia en base a imágenes de Open Street Maps.

En la figura 29 se observa los flujos con origen en la avenida Túpac Amaru N-S, realizan giros en las direcciones 12,13 y 14; siendo los vehículos clasificados como autos los que en su mayoría realizan las maniobras de giro 13 y 14. Caso similar ocurre con el sentido contrario de flujo de la av. Túpac Amaru y su auxiliar, donde los autos son los que desarrollan giros como el 21,23, 51 y 53.



**Figura 29.** Direcciones de giro en la en la av. Túpac Amaru (intersección Túpac Amaru-Los Alisos).  
Fuente propia en base a imágenes de Open Street Maps.

En la figura 30 se identifica las direcciones de flujo para la av. Los Alisos y la calle Yahuar Huaca. En la av. Los Alisos se observan giros en U como el 44, realizado en su mayoría por autos colectivos. En la av. Alisos se describen también direcciones del flujo más complejas como a la que se denominó como 44(1) en el que se realiza un giro en U que realizan los vehículos colectivos y vehículos alimentadores que dejan pasajeros más cerca de la estación Naranjal. Por su parte el giro 41 se realiza en la avenida Túpac Amaru; mientras que se denomina como 41(1) al giro que tiene como dirección la vía auxiliar.



**Figura 30.** Direcciones de giro en la av. Los Alisos y Calle Yahuar Huaca. Fuente propia en base a imágenes de Open Street Maps.

- Intersección av. Túpac Amaru- Chinchaysuyo

En esta intersección se distinguen las avenidas Túpac Amaru, Chinchaysuyo y las vías auxiliares de la av. Túpac Amaru que son Gerardo Unger (sentido N-S) y Contisuyo (sentido S-N). Se identifico en la intersección cinco sentidos de flujo distintos tal como se muestra en la figura 31.



**Figura 31.** Direcciones del flujo en la Intersección de las av. Túpac Amaru con Chinchaysuyo.  
Fuente propia en base a imágenes de Open Street Maps.

Los flujos de la av. Túpac Amaru (N-S) y Gerardo Unger comparten una misma dirección de circulación, es por ellos que se les asigna la codificación 11 y 1(1) respectivamente; sin embargo, antes de llegar a la altura de la intersección, ambas vías se unen. El flujo número 2 se da en la av. Túpac Amaru (S-N) y en las vías exclusivas del Metropolitano, tanto para alimentadores como buses troncales. Los vehículos con origen la av. Chinchaysuyo, realizan en su mayoría los giros 31 y 33(1), que son hacia la av. Túpac Amaru y su auxiliar respectivamente; los buses Alimentadores son los únicos van en la dirección 32, y algunos autos pese a que está prohibido realizar giros 34. De igual forma sucede en el flujo 5, donde se realizan giros como el 51, los cuales están prohibidos y pese a que la geometría de la vía dificulta realizarlos.

- Intersección av. Túpac Amaru- Naranjal

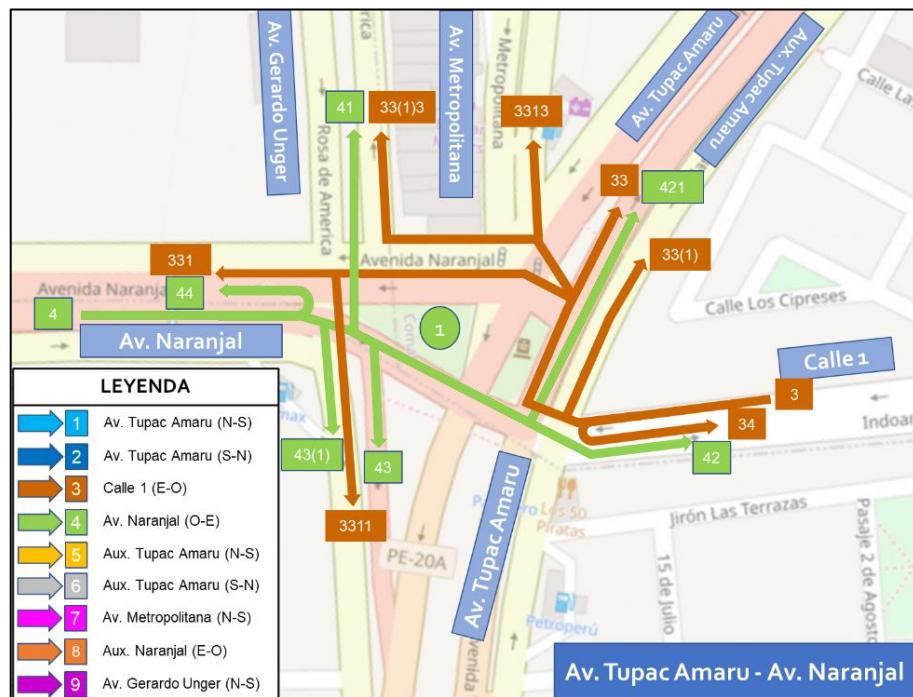
En esta intersección se distinguen las avenidas Túpac Amaru, Naranjal, sus vías auxiliares de ambas avenidas, la avenida Metropolitana, Gerardo Unger y la calle 1. Se identifico un total de nueve sentidos de tráfico, tal como se aprecia en las leyendas de las figuras 32, 33, 34 y 35. En la figura 32 se observa el flujo de la av.

Túpac Amaru (N-S) se realizan giros más complejos que los descritos anteriormente, tal es el caso del giro 131 el cual primero vira hacia la av. Naranjal para nuevamente hacerlo en dirección a la av. Gerardo Unger. El sentido (S-N) de la misma avenida se toman direcciones aún más complejas como la 213 y 21(1)3, en donde inicialmente realizan un giro hacia la izquierda para luego dirigirse hacia las av. Metropolitana y Gerardo Unger respectivamente, siendo este hacia la derecha y es la razón porque se les asigna el número 3 a su dirección de giro. Otras direcciones como el 21(1) y 22(1) tienen la asignación (1) debido a que tienen como destino final vías auxiliares.



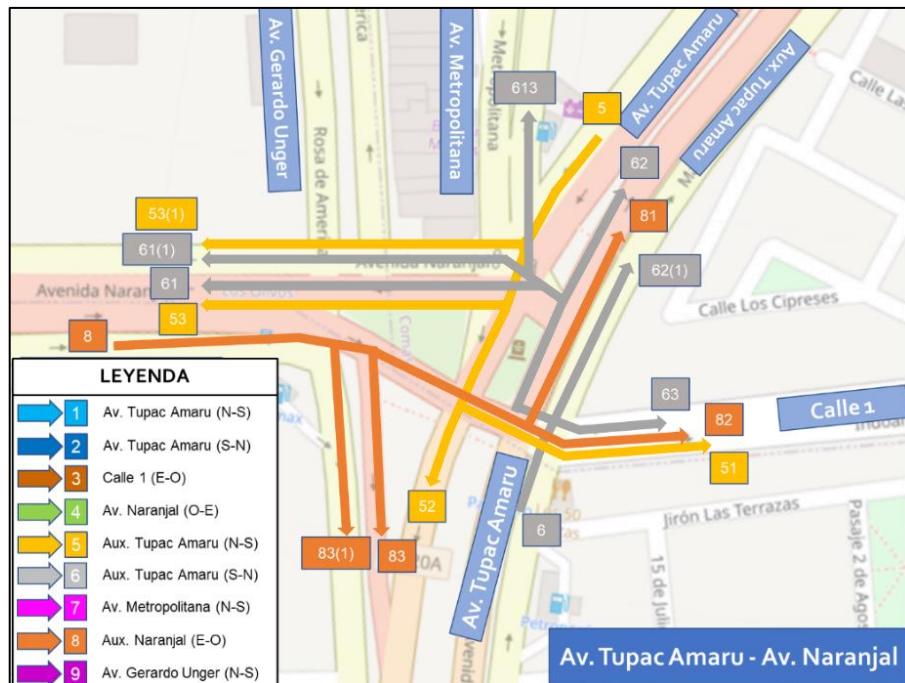
**Figura 32.** Direcciones del flujo en la av. Túpac Amaru (intersección Túpac Amaru- Naranjal).  
Fuente propia en base a imágenes de Open Street Maps.

La figura 33 muestra los giros y destinos de los flujos provenientes de las av. Naranjal y Calle 1. Para la av. Naranjal se observan movimientos como el 421, donde el vehículo vira a su izquierda en dirección a la av. Túpac Amaru, luego de pasar por un tramo recto; también está la dirección de 43(1) la cual indica un giro a la derecha y que termina en la av. Gerardo Unger (paralela a la av. Túpac Amaru que tiene asignación 43). En la Calle 1 los vehículos realizan movimientos aún más complejos; tal es el caso como la 3311, en donde los vehículos atraviesan parte de la av. Túpac Amaru y Naranjal para tener como destino final la av. Gerardo Unger. Otros movimientos complejos son los 33(1)3 y 3313 que tienen como destino av. Metropolitana y Gerardo Unger respectivamente.



**Figura 33.** Direcciones del flujo en la av. Naranjal y Calle 1 (intersección Túpac Amaru- Naranjal). Fuente propia en base a imágenes de Open Street Maps.

En la figura 34 se muestra las direcciones tomadas por los flujos provenientes de las vías auxiliares de las av. Túpac Amaru y Naranjal. En el sentido S-N de la auxiliar de la av. Túpac Amaru se observan ciertos movimientos complejos como el 61, 61(1) y 613 en donde los vehículos giran en dirección a la av. Naranjal, la auxiliar de la av. Naranjal y la av. Metropolitana respectivamente. La dirección de giro descrita como 62(1) indica que el flujo vehicular continua un rumbo recto y que su destino sigue en la vía auxiliar; mientras que, el 62 señala que se mantiene el tramo recto pero la dirección final es en la vía principal de la av. Túpac Amaru. Un caso similar sucede para el flujo proveniente de la auxiliar de la av. Naranjal (O-E), en donde en la dirección de flujo 63 indica un giro hacia la derecha con dirección a la av. Naranjal, mientras que el 63(1) señala un mismo giro a la derecha, pero hacia la av. Gerardo Unger que podría tomarse como auxiliar de la av. Naranjal. Para la vía auxiliar de la av. Túpac Amaru (N-S) el giro 53 se dirige a la av. Naranjal y el giro 53(1) a la vía auxiliar de la anterior mencionada.



**Figura 34.** Direcciones del flujo en las vías auxiliares (intersección Túpac Amaru- Naranjal). Fuente propia en base a imágenes de Open Street Maps.

Las dos direcciones restantes del flujo de tránsito se observan en la figura 35 y estas corresponden a la av. Metropolitana y Gerardo Unger. Desde la av. Metropolitana, los vehículos toman direcciones de giro hacia la derecha como la 73, 73(1), 731 y 733; donde luego los vehículos giran en dirección a la av. Naranjal en el primer caso, en el 73(1) gira hacia la vía auxiliar de la av. Naranjal, el 731 toma luego un giro a la izquierda y termina en la av. Gerardo Unger respectivamente, y el 733 ejecuta un giro adicional a la derecha que le permite llegar al vehículo a la av. Gerardo Unger. Los vehículos provenientes de la av. Gerardo Unger, con descripción de giro 9, realizan dos giros a la derecha los cuales serían el 93 y 93(1); siendo el primero a la av. Naranjal, y el segundo a su vía auxiliar.

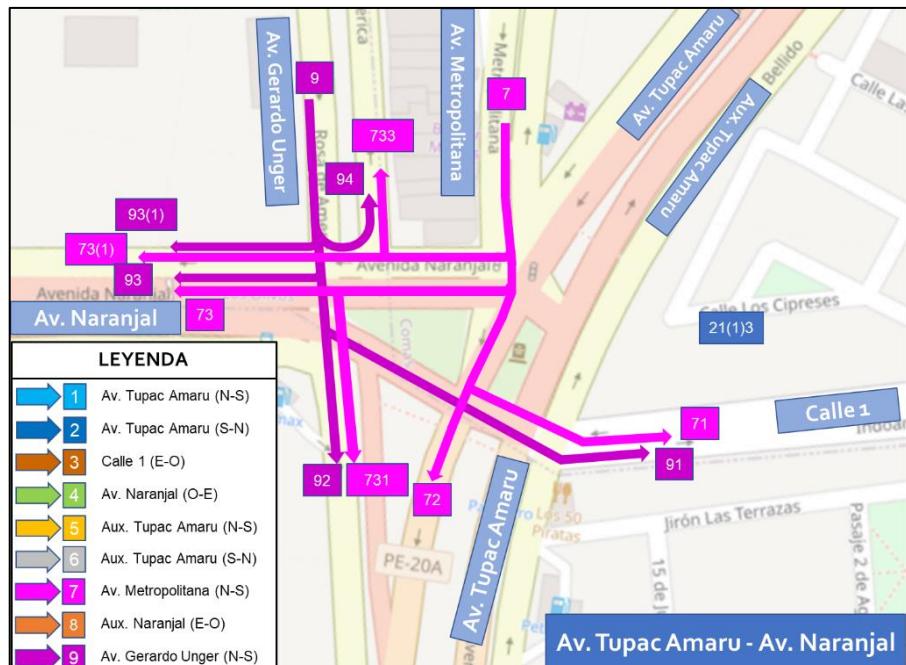


Figura 35. Direcciones del flujo en la av. Metropolitana y Gerardo Unger (intersección Túpac Amaru- Naranjal). Fuente propia en base a imágenes de Open Street Maps.

#### 4.2.2. Maniobras de Estacionamiento

En capítulos anteriores se identificó que tanto vehículos de transporte público como colectivos y buses alimentadores del metropolitano; aparcen sus vehículos en los paraderos, o en las zonas circundantes a estos. Esto ocasiona que el tiempo de parada de los vehículos, afecte a los demás vehículos que vienen detrás y al flujo de tránsito en general. En las zonas donde ocurren estos sucesos se pueden considerar como espacios en donde los vehículos realizan maniobras de estacionamiento, ya que los medios de transporte se mantienen aparcados durante un periodo de segundos. Dentro el área de estudio se identificaron ocho zonas donde se efectúan maniobras de estacionamiento con mayor recurrencia y que afectan el desenvolvimiento del flujo vehicular; cuatro se encuentran en la intersección de Alisos, tres en la intersección de Chinchaysuyo, y una en la intersección de Naranjal.

En la intersección de la av. Alisos con Túpac Amaru, tal como se observa en la figura 36; los espacios de estacionamientos “1” y “2” corresponden a lugares en donde los buses alimentadores del servicio del metropolitano, y en menor medida vehículos colectivos, se estacionan para el recojo y subida de pasajeros. El espacio de estacionamiento “3” ubicado en la av. Los Alisos, es ocupado en su mayoría por vehículos que realizan el servicio de colectivo, estas maniobras se desarrollan principalmente en hora punta de la mañana. Por su parte, el espacio

“4”, ubicado en la av. Túpac Amaru (N-S); es utilizado por vehículos de transporte público. Al ser el espacio “4” un paradero desencadena que muchos de las combis y buses se mantengan un tiempo mayor al necesario causando que vehículos detrás efectúen maniobras de cambio de carril.



**Figura 36.** Espacios de estacionamiento identificados en la intersección Túpac Amaru- Alisos.  
Fuente propia.

En la intersección de la av. Chinchaysuyo con Túpac Amaru, tal como se observa en la figura 37; los espacios de estacionamientos “1” y “3” corresponden a la av. Túpac Amaru; ubicándose el primero antes de la unión entre las av. Gerardo Unger y el segundo cuando ambas avenidas ya se unieron. El espacio de estacionamiento “2” corresponde a la av. Gerardo Unger previo a la unión entre las avenidas. En los tres espacios de estacionamiento mencionados; vehículos como combis, buses y colectivos parquean durante varios segundos esperando por nuevos pasajeros. En el sentido S-N de la av. Túpac Amaru se encuentra la zona de estacionamiento “4”, en donde los vehículos de transporte público pueden quedarse estacionados un tiempo incluso mayor al de un ciclo semafórico.



**Figura 37.** Espacios de estacionamiento identificados en la intersección Túpac Amaru-Chinchaysuyo. Fuente propia.

En la figura 38 se identifica el área de estacionamiento “1”, en la cual vehículos que realizan servicio de mototaxi se estacionan para dejar pasajeros y luego realizar un giro en “U”, regresando por la misma Calle 1.



**Figura 38.** Espacios de estacionamiento identificados en la intersección Túpac Amaru- Naranjal. Fuente propia.

De las ocho zonas con maniobras de estacionamiento recurrente identificadas, se recopila información de cuatro de ellas que son las ubicadas en la av. Túpac Amaru (N-S) y Gerardo Unger. En estas áreas de estacionamiento, se recaba información correspondiente a la cantidad de vehículos que realizan maniobras de estacionamiento, los tipos de vehículos que efectúan estas maniobras y el tiempo en que los vehículos permanecen estacionados; todas estas mediciones tomarán lugar durante la hora punta de mayor demanda vehicular.

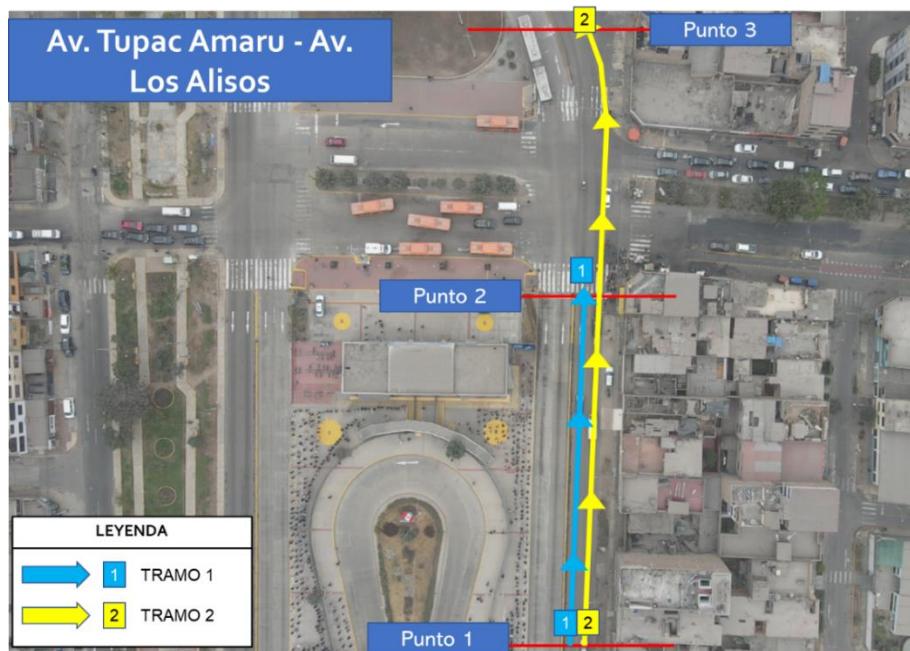
#### 4.2.3. Tiempo de Viaje

La medición de los tiempos de viaje se llevó a cabo tomando los tiempos de recorrido de los vehículos que se transportan a través de las intersecciones identificadas en el área de estudio, esta información se extrae de los videos utilizados en el conteo del flujo vehicular. Esta medición de los tiempos de viaje se toma sobre el tramo correspondiente a la avenida Túpac Amaru en la dirección de norte a sur.

En cada intersección se cronometran los tiempos de viaje considerando realizar una medición para un tramo en que el vehículo se encuentra ante un cruce o intersección semaforizada, es decir flujo interrumpido; y otro tramo en que el vehículo circula como flujo ininterrumpido. La decisión de identificar dos tramos en la medición de tiempos de viaje de vehículos se sustenta en la búsqueda de obtener una información más completa del desempeño de los vehículos en ambas condiciones de flujo. En acorde a lo descrito, sobre el área proyectada en los videos de grabación, se identifican puntos de medición los cuales indican el inicio o fin de un tramo de medición.

- Intersección av. Túpac Amaru- Los Alisos

En la figura 39 se observa la distribución de los puntos de medición, siendo el punto de medición 1 el que marca el inicio para ambos tramos. El punto 2 ubicado antes de la línea de cruce de peatones, demarca el fin del tramo 1 que representa al flujo interrumpido por un semáforo. El punto de medición 3 indica el fin del tramo 2, el cual contiene el recorrido de los vehículos en comportamiento tanto como para flujo interrumpido e ininterrumpido.

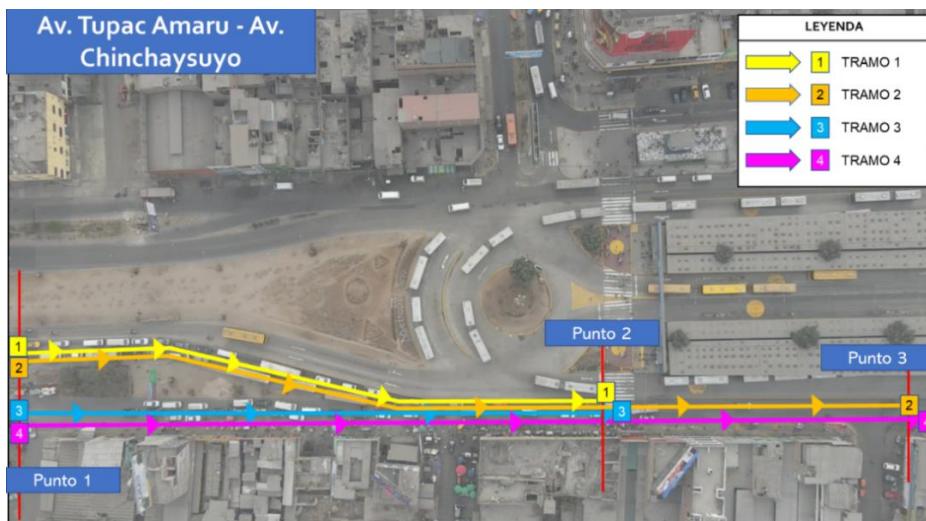


**Figura 39.** Puntos y tramos de medición de tiempos de viaje en la intersección de la av. Túpac Amaru con av. Los Alisos. *Fuente propia.*

- Intersección av. Túpac Amaru- Chinchaysuyo

En la figura 40 se observa la distribución de los puntos de medición, la cual, a diferencia de las otras intersecciones del área de estudio, se establecen tramos de medición también para la av. Gerardo Unger; se toma esta decisión en particular debido a que en medio de la intersección analizada tanto la av. Túpac Amaru como Gerardo Unger se unen, y se considera conveniente tener la información de los tiempos de viaje para ambos tramos y el desempeño de los vehículos por cada vía por separado.

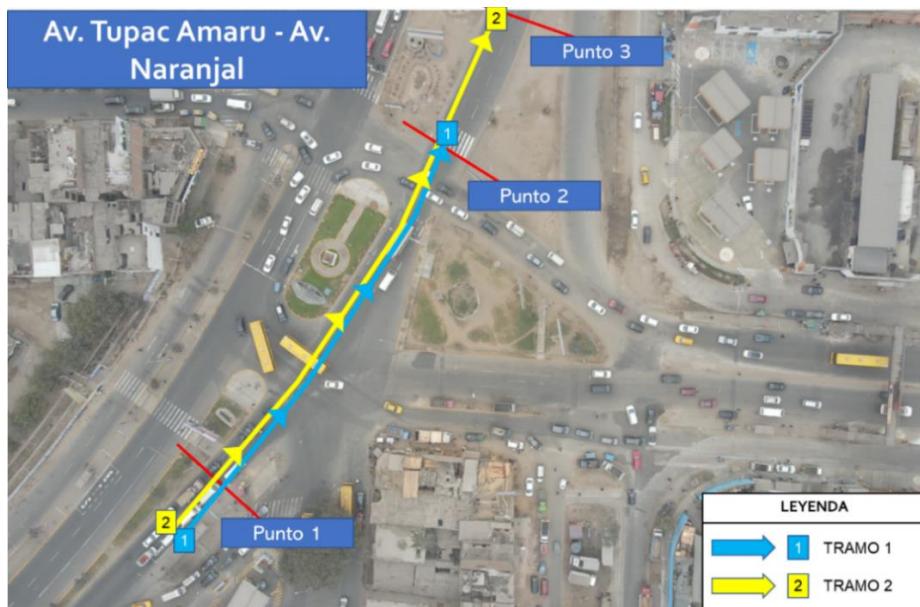
El punto de medición 1 establece el inicio para los cuatro tramos. El punto 2 ubicado antes de la línea de cruce de peatones, demarca el fin para el tramo 1 y tramo 3; representando ambos al flujo interrumpido por un semáforo. El punto de medición 3 indica el fin del tramo 2 y tramo 4, el cual alberga el recorrido de los vehículos en condiciones como para flujo interrumpido e ininterrumpido.



**Figura 40.** Puntos y tramos de medición de tiempos de viaje en la intersección de la av. Túpac Amaru con av. Chinchaysuyo. Fuente propia.

- Intersección av. Túpac Amaru- Naranjal

En la figura 41 se observa la distribución de los puntos de medición, teniendo que el punto de medición 1 marca el punto de partida para ambos tramos. El punto 2 que se encuentra antes de la línea de cruce de peatones, señala el fin del tramo 1 que contiene un flujo interrumpido por un semáforo. El punto de medición 3 indica el fin del tramo 2, que cual contiene el recorrido de los vehículos en comportamiento para ambos tipos de flujo.

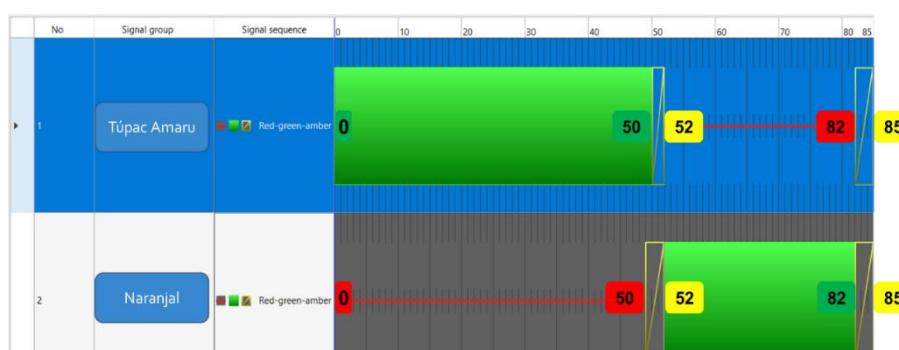


**Figura 41.** Puntos y tramos de medición de tiempos de viaje en la Intersección de la av. Túpac Amaru con av. Naranjal. Fuente propia.

#### 4.2.4. Ciclo Semaforico

En las intersecciones viales semaforizadas correspondientes al área de estudio se recopila información del ciclo semafórico, los tiempos para cada fase del ciclo semafórico (verde, rojo y ámbar) y también que parte del ciclo le corresponde a cada vía. Adicionalmente se identifica la información del desfase entre cada ciclo semafórico; en donde se tomará como referencia que el ciclo semafórico en verde inicia para la av. Túpac Amaru en la intersección de Naranjal.

La intersección de Naranjal presenta un ciclo semafórico de 85 segundos de duración y que consta de cuatro fases, la primera fase es un tiempo en verde, al cual le sucede un tiempo en ámbar, después un tiempo en rojo, y finalmente otra fase en ámbar. El ciclo semafórico se divide en dos grupos de señales, el primero se denominó Túpac Amaru y corresponde a los dos sentidos de la av. Túpac Amaru, sus vías auxiliares y la av. Metropolitana; el otro grupo toma el nombre de Naranjal, y corresponde a la av. Naranjal y Calle 1.



**Figura 42.** Ciclo semafórico de la intersección Naranjal. *Fuente propia en base a imágenes de Vissim 10.*



**Figura 43.** Ubicación de grupos de señales en la intersección Naranjal. *Fuente propia.*

La intersección de Chinchaysuyo presenta un ciclo semafórico de 130 segundos de duración y que consta de tres fases, la primera fase inicia con un tiempo en rojo, al cual le sucede un tiempo en verde, y finalmente una fase en ámbar. El ciclo semafórico se divide en dos grupos de señales, el primero se denominó Túpac Amaru y corresponde a los dos sentidos de la av. Túpac Amaru, sus vías auxiliares, y la vía utilizada por los buses troncales del metropolitano; el otro grupo toma el nombre de Chinchaysuyo, y corresponde a la av. Chinchaysuyo y la vía de los alimentadores del servicio del Metropolitano. Con relación a la intersección de Naranjal, el grupo de señal Túpac Amaru se encuentra desfasado en siete segundos respecto al grupo de señal con el mismo nombre.



**Figura 44.** Ciclo semafórico de la intersección Chinchaysuyo. Fuente propia en base a imágenes de Vissim 10.



**Figura 45.** Ubicación de grupos de señales en la intersección Chinchaysuyo. Fuente propia.

La intersección de Alisos presenta un ciclo semafórico de 130 segundos de duración y que consta de tres fases, la primera fase es un tiempo en rojo, al cual le sucede un tiempo en verde, y finalmente una fase en ámbar. El ciclo semafórico se divide en dos grupos de señales, el primero se denominó Túpac Amaru y corresponde a los dos sentidos de la av. Túpac Amaru y la vía utilizada por donde circulan los buses troncales del metropolitano; el otro grupo se designa Alisos, y corresponde a la av. Alisos y la calle Yahuar Huaca (sentido O-E). Con relación a

la intersección de Naranjal, el grupo de señal Túpac Amaru se encuentra desfasado en diez segundos relativo al grupo de señal con el mismo nombre.



**Figura 46.** Ciclo semafórico de la intersección Alisos. *Fuente propia en base a imágenes de Vissim 10.*



**Figura 47.** Ubicación de grupos de señales en la intersección Alisos. *Fuente propia*

## CAPITULO V: CREACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

### 5.1. INSERCIÓN DE LA VÍA

#### 5.1.1. Trazo Geométrico

El primer paso en la creación del modelo de simulación corresponde a la creación de links, que describen la geometría de la vía; si bien el modelo no exige gran rigurosidad en la forma del trazo geométrico; si resulta necesario efectuar mediciones en campo como el ancho de cada carril de las calles y avenidas.

Tomando como referencia las imágenes de satelitales de Google Earth y de las imágenes registradas mediante vuelo; se ejecuta el trazo de la geometría vial aplicando en primer lugar la herramienta links; y posteriormente connectors para enlazar los links creados. Por cada link establecido se inserta información como el nombre de la vía, el sentido de circulación, la cantidad de carriles y el ancho del carril; posteriormente, se van creando puntos internos dentro del link que lo asemejen a la forma de la vía.

En la figura 48 se aprecia las características para el link que se ingresa, como su nombre, el tipo comportamiento que los vehículos tomarán en la vía, la cantidad de carriles y el ancho de cada carril. El resto de información se deja por defecto.

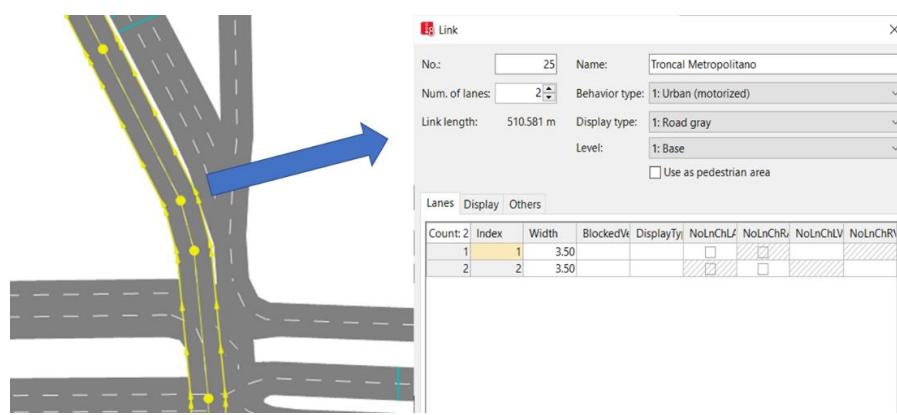


Figura 48. Información de cada link creado. Fuente propia.

En la figura 49 se observan todos los links insertados en el área de estudio los cuales toman la forma del trazo geométrico de las vías, cantidad de carriles y sentidos de circulación.

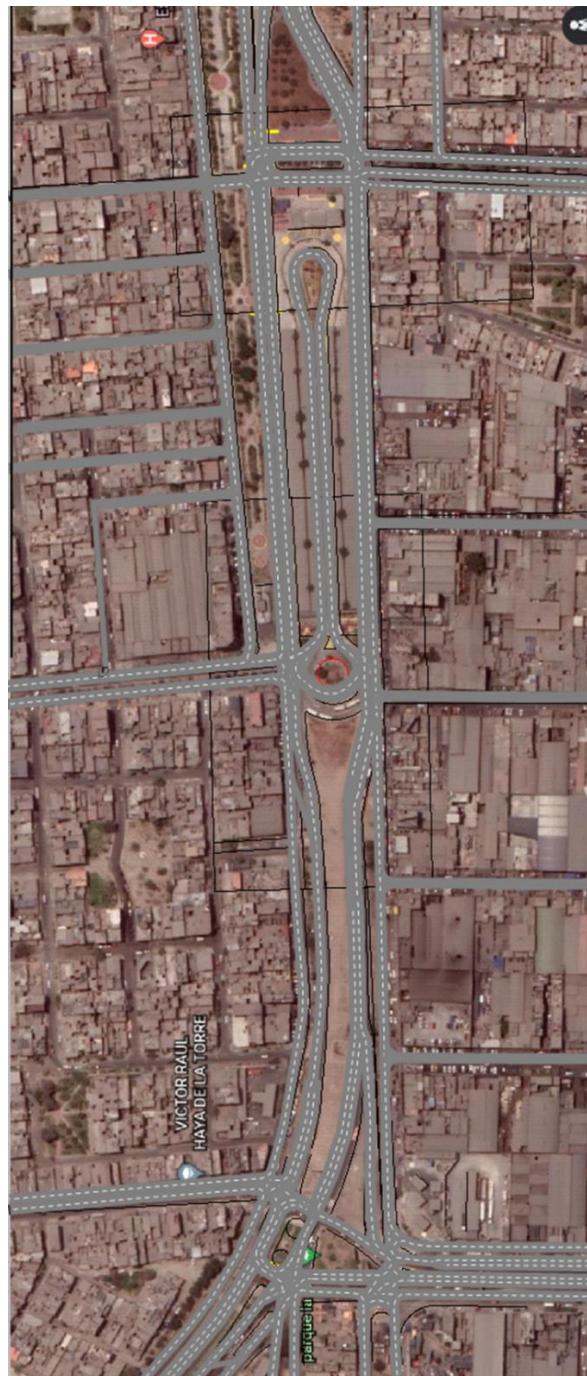


Figura 49. Links y conectores del modelo de simulación. *Fuente propia.*

### 5.1.2. Áreas de Conflicto

El siguiente paso dentro de la creación del modelo viene con la definición de las áreas de conflicto, las cuales se crean de forma automática entre links y connectors que se intersectan en un espacio en común. La función de esta herramienta es la de ayudar a establecer que vehículo tiene la preferencia de pase

ante una situación en la que los links o connectors se unen o comparten un mismo espacio.

Las cuatro situaciones que pueden darse entre dos vías que se intersectan son: Que la primera vía tenga prioridad de pase sobre la segunda, que la segunda tenga mayor preponderancia sobre la primera, que ambas vías que la situación se de forma indeterminada el modelo definirá en las simulaciones, o que ambos sentidos que confluyen actúen de una forma pasiva en la que ninguno tiene prioridad. En la figura 50 se puede observar las cuatro situaciones descritas que ocurren entre la avenida Túpac Amaru (1) con Gerardo Unger (2); y la forma en cómo se representan en el modelo.

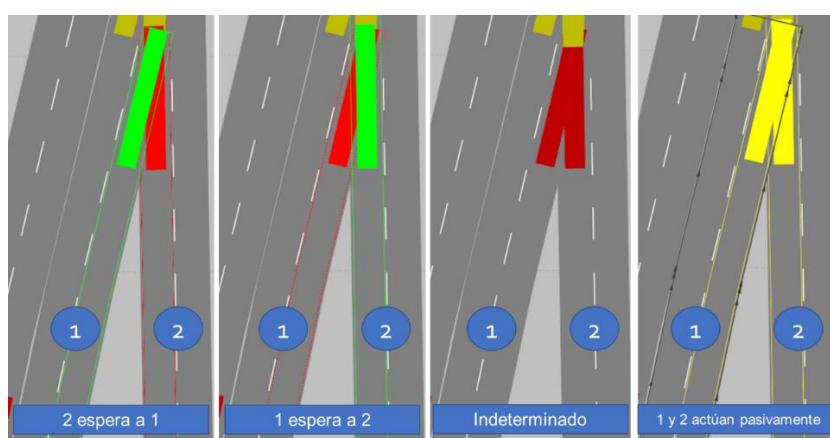


Figura 50. Situaciones ocurridas entre áreas de conflicto. Fuente propia.

Con relación al modelo de simulación creado, se generaron de forma automática una gran cantidad de áreas de conflicto; sin embargo, la mayoría de estas se dejó en el modo que ambas vías actúan de forma pasiva, que es la asignación por defecto y que se deja a criterios de comportamiento de los vehículos que escogen la prioridad en que los vehículos transitarán por la zona; salvo en casos como el que sucede en la intersección de las avenidas Túpac Amaru y Gerardo Unger, la interacción es de consideración y resulta importante evaluar la prioridad de circulación.

En la figura 51 puede observarse que, para el sector de la intersección de Chinchaysuyo, se asignó que el carril izquierdo de la avenida Gerardo Unger y el derecho de Túpac Amaru adquieren un comportamiento de prioridad indeterminado en el área de conflicto que comparten. Sin embargo, metros más adelante en el caso de la intersección del carril izquierdo de la avenida Gerardo

Unger con el derecho de Túpac Amaru; se mantiene la asignación por defecto, debido a que no es de tanta recurrencia el conflicto entre ambas secciones.

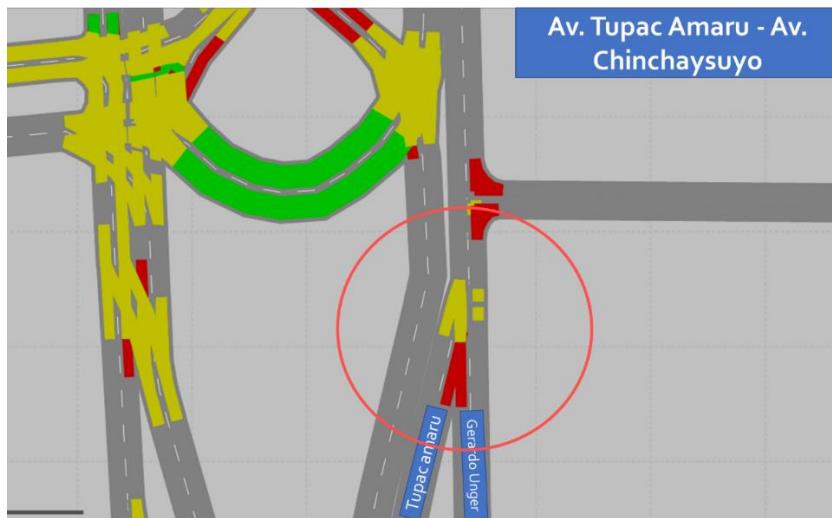
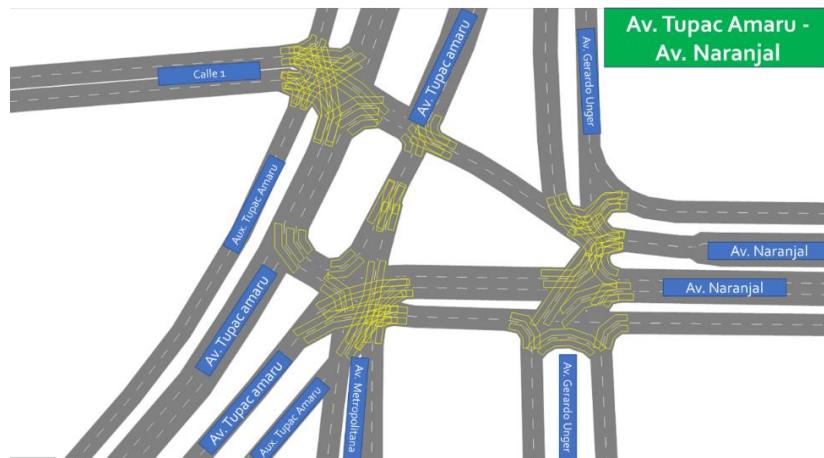


Figura 51. Situaciones ocurridas entre áreas de conflicto. Fuente propia.

### 5.1.3. Áreas de Reducción de Velocidad

Las áreas de reducción de velocidad son tramos de vía, en el cual los vehículos que pasan a través del link o connector existente, reducen su velocidad hasta el valor asignado para dicho tramo. Luego que el vehículo atraviese este tramo, comenzará a recobrar la velocidad de movimiento asignada para el link en el que se desplaza. Las áreas de reducción de velocidad son generalmente aplicadas en intersecciones, en donde los vehículos necesitan que ejecuten maniobras de giro necesitan reducir su velocidad para poder virar adecuadamente. Otras zonas en donde se incluyeron áreas de reducción de velocidad son en tramos donde se generan colas antes de una intersección y se espera que los vehículos vayan reduciendo su velocidad al aproximarse al cruce vehicular.

En la figura 52 se aprecia las áreas de reducción de velocidad colocadas en la intersección de Naranjal; en donde se asignó que, para los tramos de amarillo, los vehículos reducen su velocidad a 15km/h para que puedan ejecutar maniobras de giro adecuadamente, emulando a los comportamientos reales identificados de los conductores.

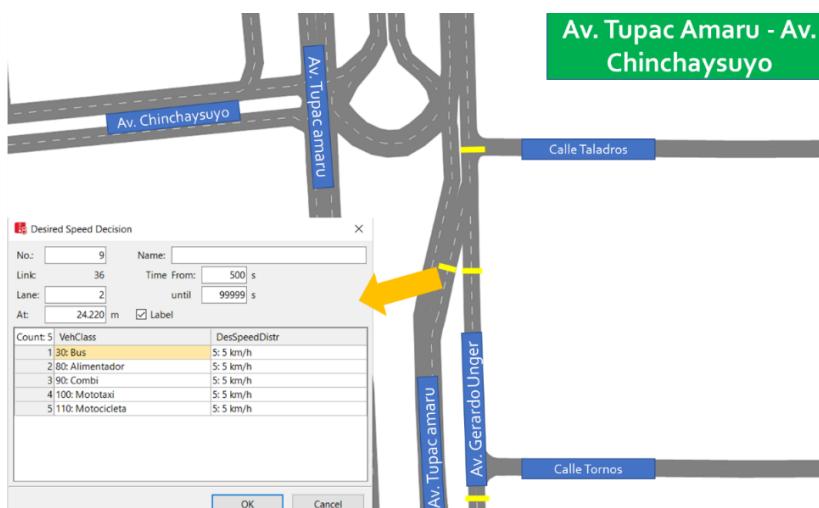


**Figura 52.** Áreas de reducción de velocidad para giros vehiculares en la intersección Naranjal.  
Fuente propia.

#### 5.1.4. Decisiones de Velocidad Deseada

En ciertos tramos de las vías dentro del área de estudio, el pelotón de vehículos cambia sus velocidades según como van acercándose a zonas como un paradero de vehículos o intersección semaforizada. Esto permite que el flujo de tránsito mantenga un comportamiento similar a lo observado durante la grabación aérea del desarrollo del flujo de tránsito, haciendo que el modelo que se construye simule las mismas características.

En la figura 53 se muestra las zonas de decisión de velocidad en donde los vehículos que atravesen por las líneas demarcadas proyectarán un cambio en la velocidad que venían circulando hasta alcanzar el valor de velocidad asignado; el vehículo mantendrá esta velocidad hasta que atraviese por otro punto de decisión y modifique la velocidad que mantiene.



**Figura 53.** Zonas de decisión de velocidad deseada en la intersección Chinchaysuyo. Fuente propia.

### 5.1.5. Semáforos

Con la herramienta signal controllers, se crean los tres ciclos semafóricos que rigen para cada intersección del área de estudio. Tal como se explicó en capítulos anteriores, se indica también el desfase existente entre los sistemas semafóricos. Posteriormente para cada intersección y sentido del flujo del tráfico en el modelo, se crean los puntos donde se colocan los semáforos para cada intersección del área de estudio.

En la figura 54 se representa la ubicación de los signal controllers para la intersección de Chinchaysuyo; en donde tal como se había descrito en el capítulo anterior, se tienen dos grupos de señales: uno para la av. Túpac Amaru su auxiliar y corredor del metropolitano; el otro corresponde a la av. Chinchaysuyo y la vía para los alimentadores del metropolitano.

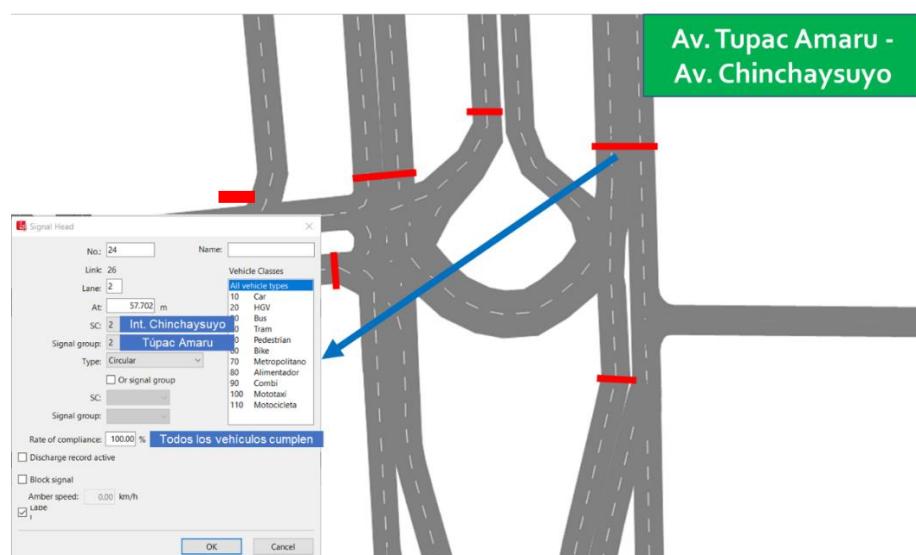


Figura 54. Zonas de decisión de velocidad deseada en la intersección Chinchaysuyo. Fuente propia.

## 5.2. INSERCIÓN DE VEHÍCULOS

### 5.2.1. Creación de modelos y clases de Vehículos

En el modelo de simulación se insertan las clases de vehículos identificados y descritos en secciones anteriores (vehículos ligeros, combis, motocicletas, buses, buses alimentadores y buses biarticulados del metropolitano). Algunos de estos modelos deben de importarse, ya que por defecto el Vissim no posee vehículos los del metropolitano y mototaxis; sin embargo, si se encuentran en su base de

datos. Se mantienen las mismas características por defecto que tienen asignadas los vehículos respecto a sus velocidades y aceleraciones deseadas. La razón de la decisión radica en que sus parámetros en su forma por defecto coinciden con las características de movimiento de los vehículos observados durante las grabaciones; además, que el factor más influyente sobre el desarrollo del flujo de tránsito se da por parte del comportamiento de los conductores de vehículos.

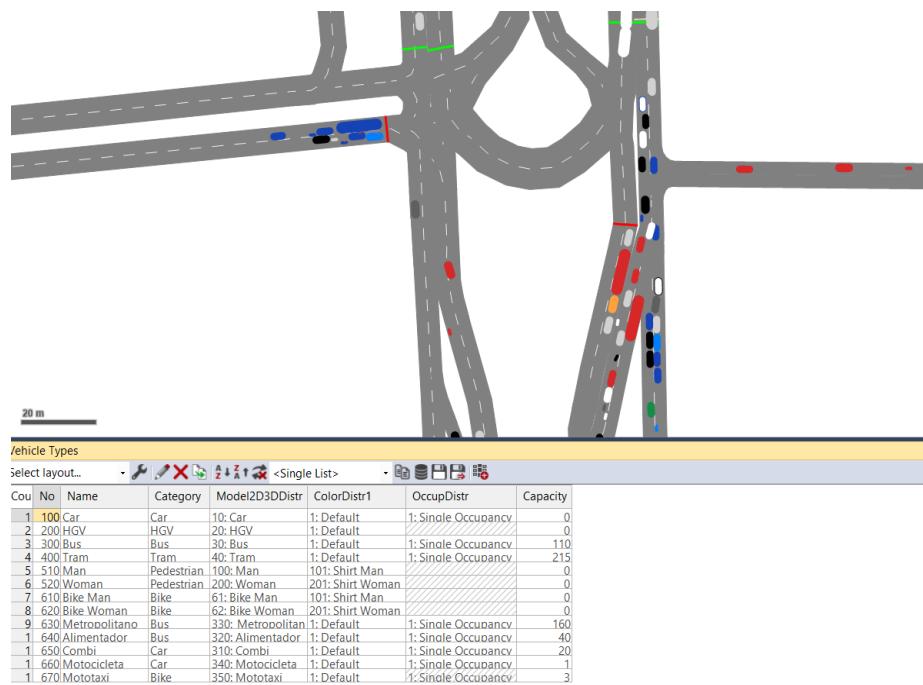


Figura 55. Lista de tipos de vehículos insertados y su representación visual en el modelo. Fuente propia.

### 5.2.2. Inserción de Volumen de Vehículos

En la inserción del volumen de flujo vehicular se escoge el rango horario entre las 7:00 a.m. hasta las 8:00 a.m.; el cual representa la hora de máxima demanda vehicular dentro del área de estudio. Asimismo, los quince minutos más críticos de mayor afluencia de vehículos ocurre en el periodo de 7:45 a.m. a 8:00 a.m.; es con este periodo crítico del cual se insertará el volumen de vehículos al sistema. Previo a la inserción de los volúmenes vehiculares se crean las composiciones de vehículos por cada vía, los cuales consisten en ingresar al modelo la proporción de tipos de vehículos que componen el volumen de flujo vehicular; es decir, la cantidad de autos, buses, combis, alimentadores, etc. El valor de la proporción de tipos de vehículos se ingresará en función a la composición promedio de los cuatro periodos de 15 minutos durante la hora de mayor demanda vehicular.

Una vez creadas las composiciones vehiculares por vía; se introduce los valores correspondientes al volumen vehicular por cada vía, estos valores se ingresan en unidades de veh/h.

En el cuadro 2 se muestra la información del flujo relativo insertado y el valor del volumen vehicular para cada vía correspondiente. Se inserto el valor total para quince vías en las que se encuentran calles, avenidas y vías auxiliares.

**Cuadro 2. Volumen Vehicular asignado y proporción relativa entre tipos de vehículos**

Nº	VÍA DE CIRCULACIÓN	SENTIDO DE CIRCULACIÓN	VOLUMEN VEHICULAR (Veh/h)	FLUJO RELATIVO					
				Tipo de Vehículo					
				Car	Bus	Bus Troncal	Alimentador	Combi	Motocicleta
1	Av. Los Alisos	Oeste - Este	848	180	3	0	30	11	11
2	Aux. Tupac Amaru (A)	Sur - Norte	412	57	13	0	0	25	8
3	Av. Tupac Amaru (A)	Sur - Norte	660	79	3	0	0	66	17
4	Calle Yahuar Huaca	Este - Oeste	660	110	11	0	0	33	11
5	Av. Chinchaysuyo	Este - Oeste	216	46	2	0	5	4	8
6	Metropolitano Troncal	Sur - Norte	260	0	0	65	0	0	0
7	Calle Los Taladros	Oeste - Este	56	14	0	0	0	5	2
8	Calle Las Prenses	Oeste - Este	52	13	0	0	0	1	0
9	Av. Naranjal	Oeste - Este	832	147	10	0	8	25	18
10	Av. Metropolitana	Norte - Sur	424	76	3	0	5	4	18
11	Calle 1	Este - Oeste	700	110	11	0	0	33	11
12	Av. Gerardo Unger (N)	Norte - Sur	808	160	6	0	0	6	30
13	Aux. Tupac Amaru (N)	Norte - Sur	932	123	1	0	0	7	34
14	Aux. Av. Naranjal	Oeste - Este	156	147	10	0	0	25	18
15	Av. Tupac Amaru (N)	Norte - Sur	1500	220	25	0	11	67	34

Elaboración propia.

### 5.2.3. Asignación Estática de Rutas

La asignación de rutas estáticas es una herramienta que permite insertar la dirección final que tomarán ciertos vehículos al atravesar por una intersección. Para la creación de rutas estáticas, primero se crea un punto en la vía de origen en función a cada tipo de vehículo, y que a partir del mismo se van trazando las distintas rutas que se tiene registrado del trabajo en campo que los vehículos pueden tomar por cada ruta que se crea. Se ingresa adicionalmente en el modelo, la proporción del volumen según la ruta que toma cada tipo vehículo.

En el cuadro 3 expone las rutas de decisión junto con el valor de su flujo relativo correspondiente, que toman los tipos de vehículos que circulan por las av. Túpac Amaru (sentido N-S) y Gerardo Unger (altura de la intersección de Chinchaysuyo), al llegar a las intersecciones del tramo de estudio.

**Cuadro 3.** Volumen Vehicular asignado y proporción relativa entre tipos de vehículos

Vía de Circulación	Tipo Vehículo	Ruta	Flujo Relativo
Av. Gerardo Unger (Chinchaysuyo)	Auto	1(1)2	86
		Los Taladros	8
		Las Prensas	14
		Los Tornos	12
	Bus	1(1)2	9
		1(1)2	38
		Las Prensas	1
	Combi	1(1)2	8
		Las Prensas	1
		Los Tornos	1
Av. Tupac Amaru N-S (Alisos)	Motocicleta	Bus	12
		122	3
		14	3
		13	51
		12	165
	Combi	14	1
		13	3
		12	65
		13	1
		12	48
Av. Tupac Amaru N-S (Chinchaysuyo)	Alimentador	Alimentador	14
		12	117
		Bus	12
		Combi	12
		Motocicleta	12
	Auto	Alimentador	12
		11	10
		12	31
		13	3
		12	165
Av. Tupac Amaru N-S (Naranjal)	Bus	14	1
		13	3
		12	65
		13	1
		12	48
	Combi	Alimentador	11
		12	22
		131	1
		11	25
		12	37
	Motocicleta	11	5
		12	1
		13	30
		131	1
		11	2

Elaboración propia.

#### 5.2.4. Asignación de Parqueo en Rutas

La asignación de parqueo de rutas es una herramienta de consignación de rutas que posibilita insertar en el modelo maniobras de estacionamiento durante el trayecto de los vehículos.

Con la información recopilada a través de observaciones en campo, y de las grabaciones de video, se ingresa en el modelo las zonas de parqueo identificadas y descritas en capítulos anteriores. Las zonas de parqueo se ubican en las av. Túpac Amaru (sentido norte-sur) y Gerardo Unger, a la altura de las intersecciones de Alisos y Chinchaysuyo. En la figura 56 se muestra las zonas de parqueo creadas en el modelo y sus nombres asignados.

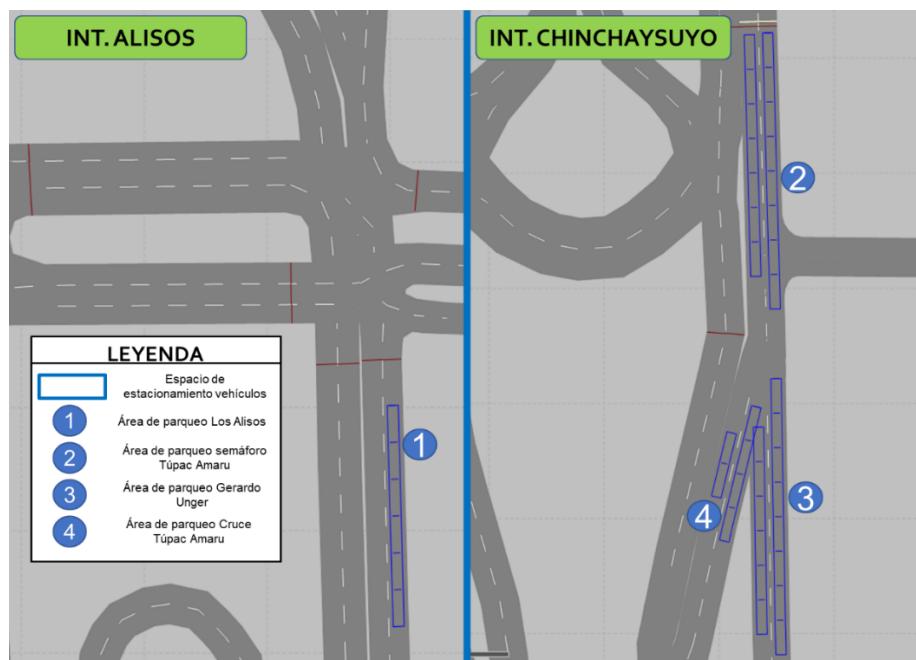


Figura 56. Zonas de parqueo insertadas en el modelo. Fuente propia.

Posterior a la creación de las áreas de parqueo, se establecen los puntos decisión desde donde se asignarán las rutas de parqueo correspondientes. Para cada ruta de decisión que se ingresa en el modelo, se selecciona el tipo de vehículo que realizan la maniobra de estacionamiento, porcentaje del total de la clase vehículo que se estaciona, el tiempo total del cual el vehículo permanecerá parqueado, y la acción que tomaría un vehículo en caso de no encontrar estacionamiento.

En el cuadro 4 se muestra las rutas de decisión ingresadas al modelo según el punto de origen donde se establece la decisión de parqueo, y la zona de parqueo asignada. Los tipos de vehículos que realizan estas maniobras son buses, combis y algunos autos los cuales realizan servicios de colectivo. En cuanto al tiempo de duración del parqueo, el modelo establece únicamente tiempos de 3, 5 o 20 segundos por lo que se adaptan los valores promedio de parqueo identificados en campo a las cifras que maneja el modelo.

**Cuadro 4.** Volumen Vehicular asignado y proporción relativa entre tipos de vehículos

Vía de Origen	Parqueo de Destino	Tipo de Vehículo	Tasa de Parqueo	Duración de Parqueo (s)
<b>Av. Tupac Amaru (Alisos)</b>	Parqueo Alisos (Carril Derecho)	Auto	4%	3
		Combi	32%	3
		Bus	29%	20
<b>Av. Gerardo Unger (Chinchaysuyo)</b>	Parqueo T. Amaru Semáforo (Carril Izquierdo)	Auto	15%	20
		Combi, Bus	60%	20
	Parqueo Gerardo Unger (Carril Derecho)	Combi, Bus	75%	20
	Parqueo Gerardo Unger (Carril Izquierdo)	Auto	95%	5
	Parqueo T. Amaru Semáforo (Carril Derecho)	Auto	60%	5
		Auto	25%	3
		Combi, Bus	65%	20
<b>Av. Tupac Amaru (Chinchaysuyo)</b>	Parqueo T. Amaru Semáforo (Carril Izquierda)	Combi, Bus	10%	3
	Parqueo T. Amaru Semáforo (Carril Derecho)	Auto	15%	3
		Combi, Bus	30%	3
	Parqueo Cruce T. Amaru (Carril Derecho)	Combi, Bus	45%	3

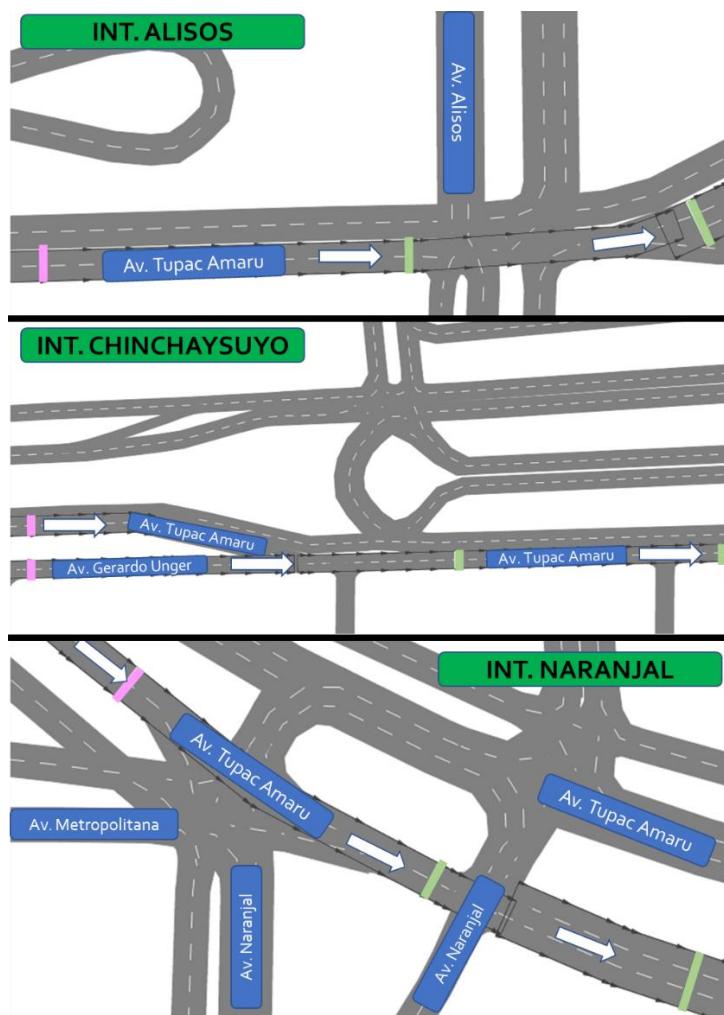
Elaboración propia.

### 5.3. CREACIÓN DE PUNTOS DE MEDICIÓN

#### 5.3.1. Puntos de Medición de Tiempos de Viaje

Estas herramientas son utilizadas para extraer información como velocidades flujo vehicular, aceleraciones, tiempos de viaje, etc.; de los vehículos que circulan a través de los tramos de medición durante los períodos de simulación del modelo. Para cada intersección del área de estudio, las zonas de medición se ubican en las entradas y salidas de estas. Se colocan en total tres puntos de medición, los cuales se encuentran ubicados según como se mostró en las figuras correspondientes al subcapítulo 4.3 de tiempos de viajes. En la figura 57 se muestran los tres puntos por cada intersección, el primer punto (color rosa) se encuentra localizado en un punto cercano a la entrada de la intersección vehicular, el siguiente (color verde) está colocado pasando el semáforo correspondiente a la

intersección y el tercero (color verde) ya siendo la salida del vehículo de la intersección. Con estos 3 puntos se podrá obtener la información de los tiempos de viaje y vehículos correspondiente a 2 tramos que se distinguen principalmente porque en el primero (ante de la intersección) el pelotón de vehículos se encuentra en estado de flujo ininterrumpido; mientras que, el segundo tramo representa al comportamiento del pelotón como flujo ininterrumpido.

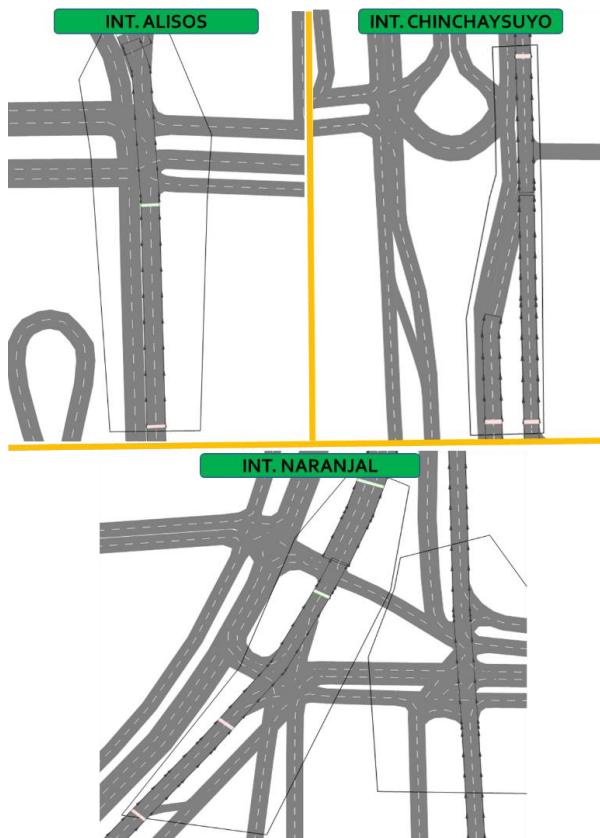


**Figura 57.** Ubicación de puntos de medición y tiempos de viaje en las intersecciones. Fuente propia.

### 5.3.2. Inserción de Nodos

En cada intersección del tramo de estudio se colocan nodos de medición, de los cuales se extraerá información referente a los tiempos de demora para cada dirección del flujo vehicular, longitud de colas y niveles de servicio vehicular. En la figura 58 se muestra la geometría de los nodos creados en las principales

intersecciones del área de estudio y que analizan el desempeño de los vehículos que circulan por la av. Túpac Amaru (sentido norte-sur) y Gerardo Unger.



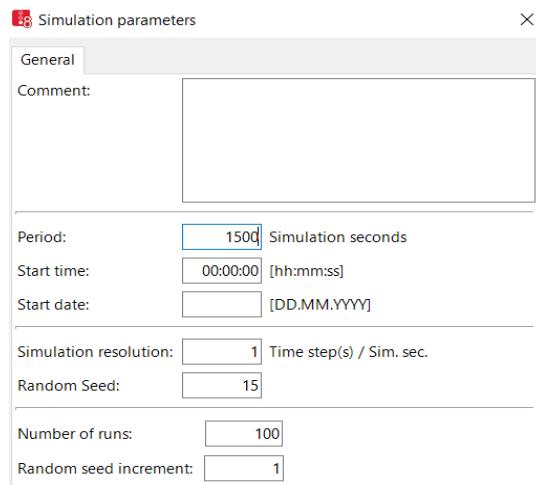
**Figura 58.** Ubicación de nodos de medición en las intersecciones. Fuente propia.

## 5.4. PARÁMETROS DE SIMULACIÓN

### 5.4.1. Periodo de Simulación

Se consideró que cada simulación tendría una duración total de 25 minutos, 10 minutos corresponden al periodo de calentamiento (Warm-up period) y el tiempo restante netamente al periodo de 15 minutos con mayor registro de volumen de vehículos. Es a partir del periodo de 15 minutos que se comenzará a registrar la información correspondiente a los tiempos de viaje, flujo vehicular, tiempos de demora, colas y nivel de servicio de la intersección.

En la figura 59 se puede observar el cuadro de parámetros de simulación que contiene el modelo y que tiene asignados los valores del periodo de simulación, el número de corridas, el número de semilla, el incremento de este, etc.

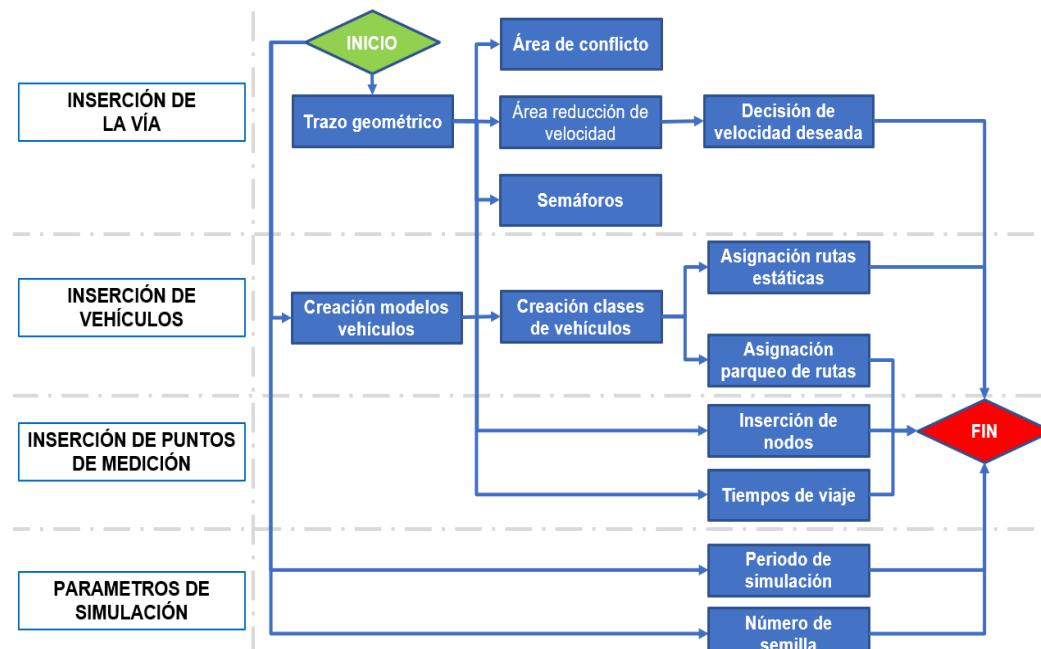


**Figura 59.** Parámetros de simulación introducidos para el modelo. Fuente propia.

#### 5.4.2. Número de Semilla

El número de semilla con el que se iniciará considerado para cada simulación tanto de análisis de sensibilidad, calibración y evaluación de resultados; es de 15. Este valor se encontrará incrementando en orden de uno por cada nueva simulación.

En la figura 60 se muestra el diagrama de flujo seguido para la creación del modelo de microsimulación de transporte correspondiente a la presente tesis.



**Figura 60.** Diagrama de flujo para la creación del modelo de simulación. Fuente propia.

## CAPÍTULO VI: EVALUACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO

### 6.1. CALIBRACIÓN DEL MODELO

#### 6.1.1. Análisis de Sensibilidad

Para la ejecución del análisis de sensibilidad, se adapta un algoritmo de Latin Hypercube Sampling, el cual se encuentra en lenguaje de programación Python y puede integrarse con el software Vissim por medio de su interfaz COM. En el código del algoritmo se ingresan los parámetros de comportamiento de conductor que se evaluarán; asimismo, a cada variable se le asigna un rango de valores que contienen una determinada cantidad de valores intermedios entre los cuales oscilarán por cada simulación los parámetros de comportamiento de conductor de forma aleatoria.

El análisis de sensibilidad se lleva a cabo para cada intersección del área de estudio; es decir, Alisos, Chinchaysuyo y Naranjal. Se corre el programa asignando que por cada intersección se realicen mil simulaciones, de las cuales se escogen los resultados pertenecientes a las cincuenta mejores simulaciones que brinden mejores desempeños en los tiempos de viaje simulados y cuyos tiempos de viajes sean los más semejantes a los obtenidos en campo. De los mejores resultados se evalúa la influencia de las variables en la determinación de los tiempos de viaje para el modelo de simulación; asimismo, el rango de valores inicial escogido para cada uno de los parámetros se hace mucho más reducido.

A continuación, se muestran los rangos de valores y valores intermedios entre los que cada parámetro de comportamiento de conductor intercambiará su valor de forma aleatoria, por cada simulación efectuada.

**W74ax** = [0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4]

**W74bxAdd** = [0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5]

**W74bxMult** = [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]

**LookAheadDistMax** = [100, 150, 200, 250, 300]

**StandDist** = [0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4]

**ObsrvdVehs** = [1, 2, 3, 4, 5]

**DecelRedDistOwn** = [50, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250]

**AccDecelOwn** = [-4, -3, -2, -1, -0.5, 0]

**MinHdwy** = [0, 0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5]

**SafDistFactLnChg** = [0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6]

**CoopDecel** = [-6, -5.5, -5, -4.5, -4, -3.5, -3]

**CoopLnChgSpeedDiff** = [0, 3, 5, 10, 15, 20]  
**LookBackDistMax** = [10, 50, 100, 150, 200, 250]  
**AccDecelTrail** = [-10, -8, -6, -4, -2, -1, 0]  
**CoopLnChgCollTm** = [0, 4, 8, 12, 14, 16, 18, 20]  
**RearCorrMaxSpeed** = [1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15]  
**MinSpeedForLat** = [1, 3, 5, 7, 9]  
**DecelRedDistTrail** = [25, 50, 75, 100, 150, 200, 250]

#### 6.1.2. Resultados Obtenidos en cada Intersección

Del análisis de sensibilidad realizado a través de cientos de simulaciones, se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a la selección de los parámetros de comportamiento de conductor y el rango de valores que toman estas variables.

#### Intersección Alisos

En la intersección de Alisos se llevaron a cabo un total de mil simulaciones para el análisis de sensibilidad; tomando en cuenta las cincuenta simulaciones con mejor desempeño, se obtuvieron los siguientes resultados para los parámetros de comportamiento de conductor:

- W74ax = [0.5, 1]
- W74bxAdd = [1.5, 2]
- W74bxMult = [2, 3]
- LookAheadDistMax = [250, 300]
- StandDist = [1.5, 2]
- ObsrvdVehs = [1, 2]
- DecelRedDistOwn = [150, 175]
- AccDecelOwn = [-2, -1]
- MinHdwy = [2.5, 3.5]
- SafDistFactLnChg = [0.3, 0.5]
- CoopDecel = [-5, -4]
- CoopLnChgSpeedDiff = [15, 20]

#### Intersección Chinchaysuyo

En la intersección de Chinchaysuyo se corrieron un número de mil simulaciones para el análisis de sensibilidad aplicando muestreo por Hipercubos Latinos. Tomando en cuenta las cincuenta simulaciones que brinden el mejor desempeño en los tiempos de viaje tanto para la av. Túpac Amaru como Gerardo Unger; se produjeron los siguientes resultados para los parámetros de comportamiento de conductor:

- W74ax = [0, 0.5]
- MinHdwy = [0.5, 1.5]

- W74bxAdd = [0.5, 1]
- W74bxMult = [1, 2]
- LookAheadDistMax = [250, 300]
- StandDist = [1, 2]
- ObsrvdVehs = [1, 2]
- AccDecelOwn = [-3, -2]
- SafDistFactLnChg = [0.5, 0.6]
- CoopDecel = [-6, -5]
- CoopLnChgSpeedDiff = [4, 8]
- AccDecelTrail = [-6, -4]
- CoopLnChgCollTm = [14, 16]
- MinSpeedForLat = [3, 5]

### Intersección Naranjal

En la intersección de Naranjal se ejecutaron una cantidad de 1000 simulaciones para el análisis de sensibilidad aplicando muestreo por Hipercubos Latinos. Tomando en cuenta las cincuenta simulaciones que brinden el mejor desempeño en los tiempos de viaje; se obtuvieron los siguientes resultados para los parámetros de comportamiento de conductor:

- W74ax = [0, 0.5]
- W74bxAdd = [2, 3]
- W74bxMult = [1, 2]
- LookAheadDistMax = [100, 150]
- StandDist = [0, 0.5]
- ObsrvdVehs = [1, 2]
- DecelRedDistOwn = [50, 100]
- AccDecelOwn = [-3, -2]
- MinHdwy = [0.5, 1.5]
- SafDistFactLnChg = [0.5, 0.6]
- CoopDecel = [-6, -5]
- CoopLnChgSpeedDiff = [4, 8]

#### 6.1.3. Resultados obtenidos en el tramo entero

Realizando el mismo proceso de análisis de sensibilidad aplicando muestreo por Hipercubos Latinos, se corrieron un total de mil simulaciones. Se escogieron las mejores simulaciones que brinden los mejores resultados en los tiempos de viaje para todos los tiempos de viaje en las intersecciones al mismo tiempo; y cuyos rangos de valores son los siguientes:

- W74ax = [0.5, 1.2]
- W74bxAdd = [1.5, 2]
- W74bxMult = [0.5, 1.5]
- LookAheadDistMax = [250, 300]
- StandDist = [0, 1]
- ObsrvdVehs = [1, 2]
- DecelRedDistOwn = [100, 150]
- AccDecelOwn = [-3, -2]
- MinHdwy = [0, 1.5]
- SafDistFactLnChg = [0.5, 0.6]
- CoopDecel = [-4, -3]
- CoopLnChgSpeedDiff = [5, 15]

## 6.2. OPTIMIZACIÓN PARÁMETROS DEL MODELO

### 6.2.1. Preparación de algoritmo y evaluación

La calibración del modelo se ejecuta a través de la adaptación de un algoritmo de Algoritmos Genéticos, el cual se encuentra en lenguaje de programación Python y puede integrarse con el software Vissim por medio de su interfaz COM. En el algoritmo de calibración del modelo se ingresan principalmente dos conjuntos de valores, los primeros son el rango de los valores de los parámetros de comportamiento de conductor obtenidos a través del análisis de sensibilidad; los segundos corresponden a las variables de algoritmos genéticos para el modelo. En las variables de algoritmos genéticos para la calibración del modelo, se asigna que se realizará la evaluación con un tamaño de población de 25 individuos; los cuales, a través de 100 generaciones buscará obtener el conjunto de valores que brinden una mejor aproximación a los tiempos de viaje obtenidos de campo. A continuación, se indican valores utilizados para las operaciones genéticas entre las generaciones de individuos y sus cromosomas que los caracterizan.

**Tamaño de la población:** 25

**Nº de generaciones:** 100

**GAP:** 80%

**Probabilidad de cruce:** 90%

**Probabilidad de mutación:** 10%

### 6.2.2. Valores resultantes

A partir de la calibración realizado para cada intersección y el tramo entero, se obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a la selección de los parámetros de comportamiento de conductor que brindan la mejor aproximación en tiempos de viaje para el modelo.

#### Intersección Alisos

En la intersección de Alisos a través del método de calibración por algoritmos genéticos del cual, a través de más de cien generaciones, se obtuvo una variación de **0.21 segundos** de diferencia con los tiempos de viaje registrados para la intersección. Los valores óptimos que toman los parámetros de comportamiento del conductor son los siguientes:

- W74ax = [0.65]
- W74bxAdd = [1.72]
- W74bxMult = [ 2.5]
- LookAheadDistMax = [275.15]
- StandDist = [1.86]
- ObsrvdVehs = [1]
- DecelRedDistOwn = [174.87]
- AccDecelOwn = [-1.52]
- MinHdwy = [2.87]
- SafDistFactLnChg = [0.41]
- CoopDecel = [-4.76]
- CoopLnChgSpeedDiff = [16.05]

### Intersección Chinchaysuyo

Para la intersección de Chinchaysuyo luego de aplicar el método de calibración por algoritmos genéticos del cual, se obtuvo una variación de **1.53 segundos** de diferencia con los tiempos de viaje registrados para las av. Túpac Amaru y Gerardo Unger. Los valores óptimos que toman los parámetros de comportamiento del conductor son los siguientes:

- W74ax = [0.35]
- W74bxAdd = [0.93]
- W74bxMult = [1.12]
- LookAheadDistMax = [295.33]
- StandDist = [1.5]
- ObsrvdVehs = [1]
- AccDecelOwn = [-2.07]
- MinHdwy = [1.37]
- SafDistFactLnChg = [0.52]
- CoopDecel = [-6]
- CoopLnChgSpeedDiff = [4.51]
- AccDecelTrail = [-5.52]
- CoopLnChgCollTm = [14.83]
- MinSpeedForLat = [3.38]

### Intersección Naranjal

En la intersección de Naranjal a través del método de calibración por algoritmos genéticos, con las características de las operaciones genéticas indicadas; se obtuvo una variación de **0.15 segundos** de diferencia con los tiempos de viaje registrados para la intersección. Los mejores valores que toman las variables de comportamiento del conductor son los siguientes:

- W74ax = [0.69]
- W74bxAdd = [2.85]
- W74bxMult = [ 1.72]
- LookAheadDistMax = [111.49]
- StandDist = [0.41]
- ObsrvdVehs = [1]
- DecelRedDistOwn = [97.72]
- AccDecelOwn = [-2.11]
- MinHdwy = [3.41]
- SafDistFactLnChg = [0.36]
- CoopDecel = [-3.44]
- CoopLnChgSpeedDiff = [11.52]

### Tramo Entero

Tomando en cuenta la información obtenida luego de realizadas las calibraciones para cada intersección de forma individual y el análisis de sensibilidad para el tramo entero, se ejecuta la calibración para todo el tramo de evaluación de la av. Túpac Amaru (sentido norte-sur) en la que se toma un rango de valores que contenga los valores optimizados de las intersecciones analizadas individualmente. Esta calibración permite encontrar un conjunto de valores promedio que describan con cierta exactitud el comportamiento para las intersecciones de entrada y salida en el modelo; garantizando que en la intersección intermedia (Chinchaysuyo) cumpla también al mismo tiempo y con un error no muy significativo principalmente respecto a los valores de tiempos de viaje en la entrada y salida del modelo. Producto de esta nueva simulación se obtuvo una variación acumulada de **9.26 segundos** en los tiempos de viaje de ocho registros de valores de tiempos de viaje. Los mejores valores que toman las variables de comportamiento del conductor son los siguientes:

- W74ax = [0.43]
- W74bxAdd = [1.82]
- W74bxMult = [0.91]
- LookAheadDistMax = [273.22]
- StandDist = [0.44]
- ObsrvdVehs = [1]
- DecelRedDistOwn = [132.75]
- AccDecelOwn = [-2.01]
- MinHdwy = [0.50]
- SafDistFactLnChg = [0.55]
- CoopDecel = [-3.86]
- CoopLnChgSpeedDiff = [9.47]

### 6.3. VALIDACIÓN DEL MODELO

La validación estadística es el proceso mediante el cual se verifica que los resultados obtenidos a partir del procedimiento de calibración resultan de forma general ser corroborados, en los casos que se analicen. En el desarrollo de la validación se realiza un total de 600 simulaciones, en los que se ingresan los valores de los parámetros óptimos resultantes del proceso de calibración para el tramo entero. Por cada simulación, el número de semilla del modelo va incrementándose en un valor de uno; comenzando en todos los casos por un valor inicial de quince. De cada simulación efectuada, se extraen los resultados correspondientes a los tiempos de viaje; tanto para el tramo considerado antes del semáforo como el que incluye el tiempo después de atravesado el semáforo.

La metodología de validación seguida sigue las indicaciones de Flores (2023) en donde se plantea que, para la aceptación de los resultados de calibración, los resultados deben cumplir con tres pruebas estadísticas, la prueba de valores outliers, prueba de distribución de la muestra y la prueba de normalidad.

### 6.3.1. Prueba de Valores Anómalos

Se aplica el criterio de Chauvenet para el conjunto de valores de tiempos de viaje resultantes de cada intersección. Este criterio permite identificar valores anormales los cuales difieren proporcionalmente de forma desmesurada a comparación de la mayoría del resto de conjunto de valores; y que puedan alterar la distribución estadística de la muestra. Debido a la complejidad del modelo de transporte creado, y los distintos parámetros implicados que la caracterizan; puede resultar que bajo ciertas condiciones el modelo se comporte de una manera muy distinta a las condiciones creadas.

A partir de los valores de las medias y desviación estándar del conjunto de resultados, se evaluó la existencia de valores outliers para cada intersección. Las intersecciones de Alisos y Naranjal no presento ningún valor atípico; sin embargo, la intersección de Chinchaysuyo en algunas simulaciones tenía resultados de valores de tiempos de viaje muy superiores a la media de datos. La situación de valores atípicos en la intersección de Chinchaysuyo se puede deber a la complejidad en la geometría de la vía en donde los vehículos provenientes de la av. Túpac Amaru y Gerardo Unger se interpongan hasta llegar al caso en que ninguno de los sentidos logre avanzar, o realicen sus desplazamientos de forma mucho más lenta a la prevista para el modelo. Aplicando el criterio de Chauvenet, se descartaron en total 18 valores atípicos, los cuales representan el 3% de la muestra.

### 6.3.2. Prueba distribución de la muestra

Los tiempos de viaje obtenidos de la simulación del modelo son tomadas en grupos de 10 simulaciones y se extrae el valor promedio de estas, luego se toma el valor promedio de otras 10 simulaciones y traslapadas con los últimos 5 valores de las simulaciones anteriores y otros 5 nuevos; esto se toma repetidamente para el resto de los valores de tiempos de viaje. El proceso descrito anteriormente se lleva a cabo con la finalidad de obtener valores de tiempos de viaje que agrupe distintas características de comportamiento de conductores o respecto al volumen

del flujo vehicular; que, si bien individualmente no son valores outliers, mucho de los valores de tiempo de viaje generados de las simulaciones difieren de forma significativa.

La prueba de distribución de la muestra se realiza comparando con los valores de tiempos de viaje registrados a partir de las grabaciones en campo. Los valores de tiempos de viaje consignados en campo se agrupan de una forma similar que con los tiempos resultantes de las simulaciones (tomando grupos de 10 datos y que el siguiente grupo contenga 5 del anterior, y así sucesivamente). De estos conjuntos de valores, se extraen los resultados de su media que luego se evaluará el T de la muestra y con un índice de confianza del 95%.

### Intersección de Alisos

En la intersección de Alisos se recogieron los conjuntos de valores para tiempos de viaje en el tramo antes del semáforo (Punto 1) y el tramo de toda la intersección (Punto 2). Los resultados de la prueba de distribución de la muestra son:

- **Punto 1:** El punto evaluado tiene una media hipotética de 34.97 segundos. Aplicando el T de la muestra se obtiene un valor P de 0.318, mayor a 0.05; por lo que la hipótesis nula se acepta.

Estadísticas descriptivas					Prueba	
N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$	Hipótesis nula	Hipótesis alterna
120	34.661	3.378	0.308	(34.050; 35.271)	$H_0: \mu = 34.97$	$H_1: \mu \neq 34.97$
$\mu$ : media de Punto 1						
					Valor T	Valor p
					-1.00	0.318

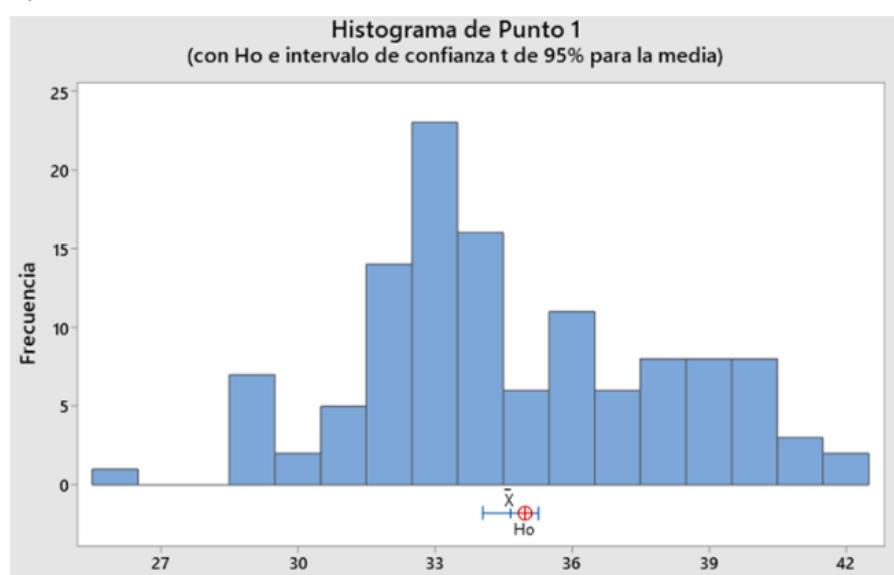


Figura 61. Prueba T para el Punto 1 de la intersección Alisos. Fuente propia.

- **Punto 2:** El punto evaluado tiene una media hipotética de 39.15 segundos. Aplicando el T de la muestra se obtiene un valor P de 0.06, mayor a 0.05; por lo que la hipótesis nula se acepta.

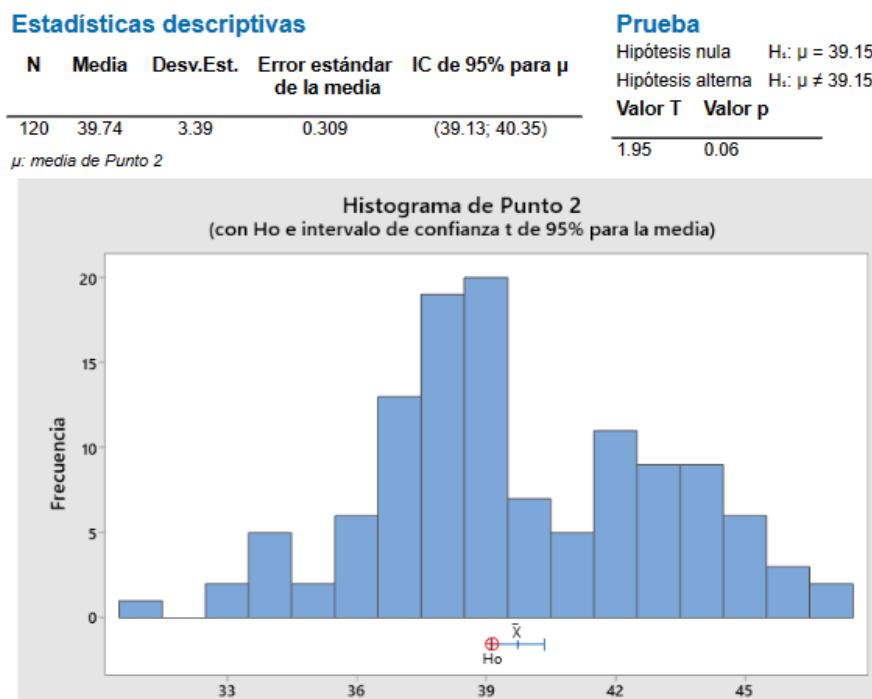


Figura 62. Prueba T para el Punto 2 de la intersección Alisos. Fuente propia.

### Intersección de Chinchaysuyo

En la intersección de Chinchaysuyo se recogieron los conjuntos de valores para tiempos de viaje en la av. Túpac Amaru el tramo antes del semáforo (Punto 1) y su tramo completo (Punto 2); también se evalúan los tiempos de viaje para la av. Gerardo Unger en el tramo antes del semáforo (Punto 3) y su tramo completo (Punto 4). Los resultados de la prueba de distribución de la muestra son:

- **Punto 1:** El punto evaluado tiene una media hipotética de 291.74 segundos. Aplicando el T de la muestra se obtiene un valor P de 0.289, mayor a 0.05; por lo que la hipótesis nula se acepta.

### Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$
116	292.96	12.49	1.14	(290.70; 295.21)

$\mu$ : media de Punto 1

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \mu = 291.74$

Hipótesis alterna  $H_a: \mu \neq 291.74$

Valor T

0.07

Valor p

0.289

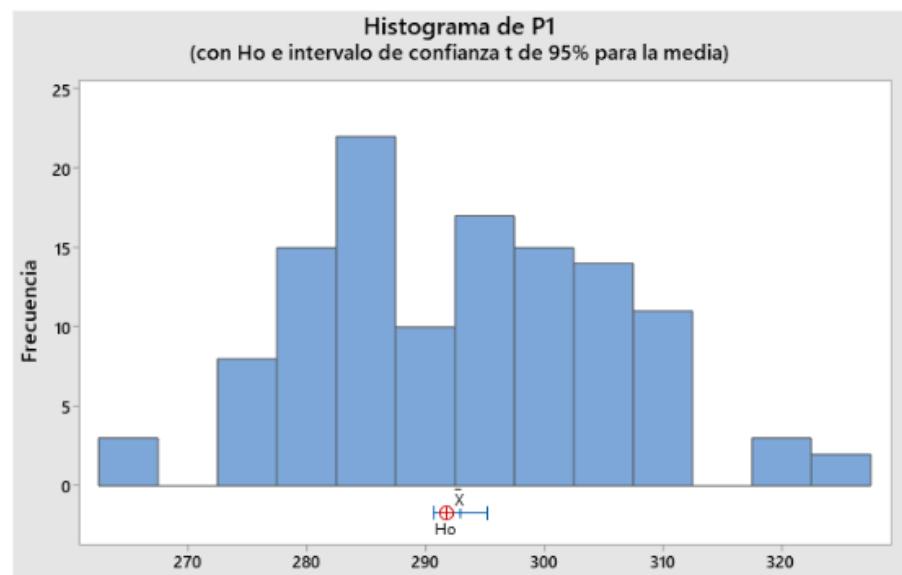


Figura 63. Prueba T para el Punto 1 de la intersección Chinchaysuyo. Fuente propia.

- Punto 2:** El punto evaluado tiene una media hipotética de 301.01 segundos. Aplicando el T de la muestra se obtiene un valor P de 0.095, mayor a 0.05; por lo que la hipótesis nula se acepta.

### Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$
116	302.96	12.49	1.14	(290.70; 295.21)

$\mu$ : media de Punto 2

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \mu = 301.01$

Hipótesis alterna  $H_a: \mu \neq 301.01$

Valor T

1.68

Valor p

0.095

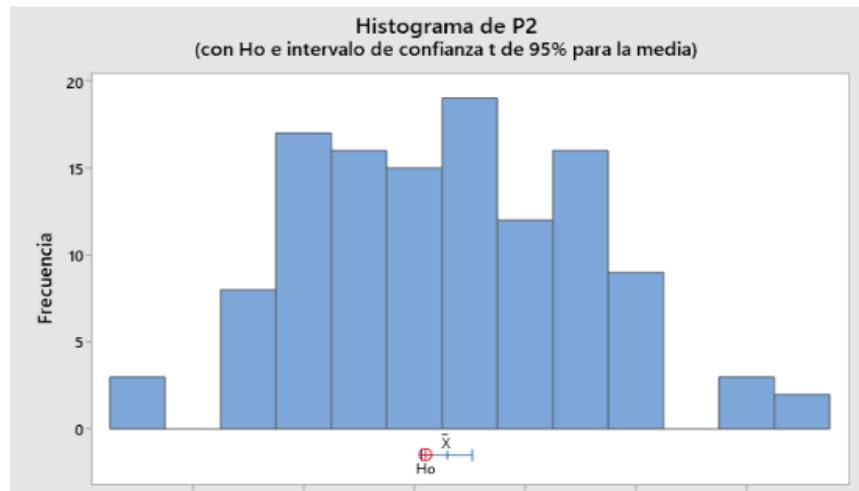


Figura 64. Prueba T para el Punto 2 de la intersección Chinchaysuyo. Fuente propia.

- **Punto 3:** El punto evaluado tiene una media hipotética de 301.01 segundos. Aplicando el T de la muestra se obtiene un valor P de 0.815, mayor a 0.05; por lo que la hipótesis nula se acepta.

Estadísticas descriptivas					Prueba
N	Media	Desv.Est.	Error estándar	IC de 95% para $\mu$	Hipótesis nula $H_0: \mu = 236.55$
116	236.761	9.863	0.900	(234.978; 238.544)	Hipótesis alterna $H_a: \mu \neq 236.55$
$\mu$ : media de Punto 3					Valor T      Valor p
					0.23      0.815

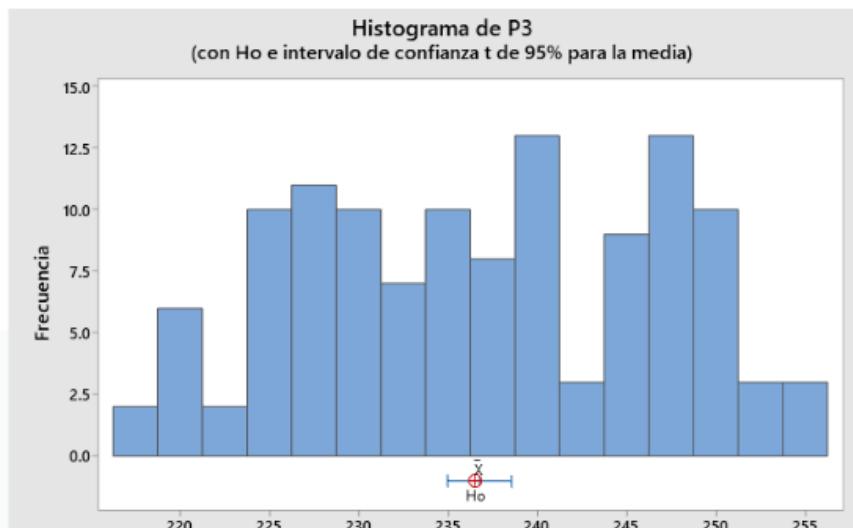


Figura 65. Prueba T para el Punto 3 de la intersección Chinchaysuyo. Fuente propia.

- **Punto 4:** El punto evaluado tiene una media hipotética de 246.53 segundos. Aplicando el T de la muestra se obtiene un valor P de 0.056, mayor a 0.05; por lo que la hipótesis nula se acepta.

### Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$
116	248.294	10.009	0.914	(246.484; 250.103)

$\mu$ : media de Punto 4

### Prueba

Hipótesis nula  $H_0: \mu = 246.53$

Hipótesis alterna  $H_a: \mu \neq 246.53$

Valor T 1.93

Valor p 0.056

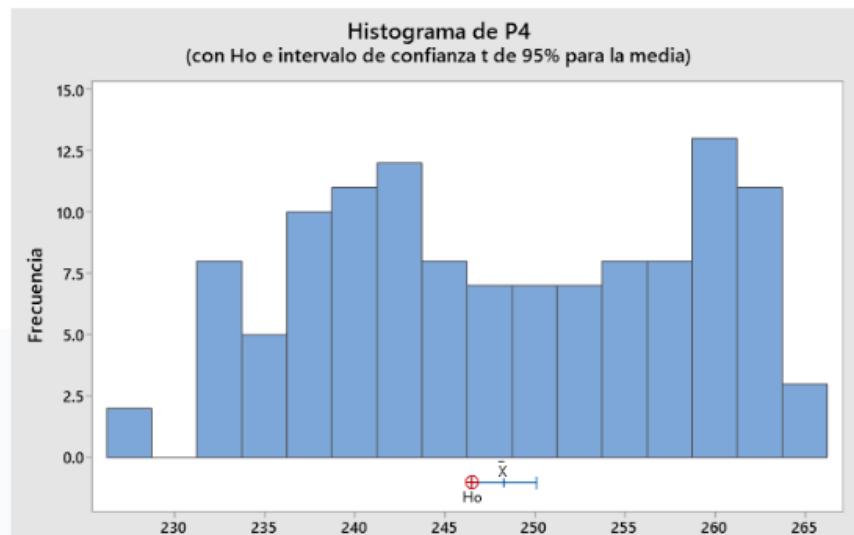


Figura 66. Prueba T para el Punto 4 de la intersección Chinchaysuyo. Fuente propia.

### Intersección de Naranjal

En la intersección de Naranjal se recogieron los conjuntos de valores para tiempos de viaje en el tramo antes del semáforo (Punto 1) y el tramo de toda la intersección (Punto 2). Los resultados de la prueba de distribución de la muestra son:

- **Punto 1:** El punto evaluado tiene una media hipotética de 10.416 segundos. Aplicando el T de la muestra se obtiene un valor P de 0.362, mayor a 0.05; por lo que la hipótesis nula se acepta.

### Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar	IC de 95% para $\mu$ de la media
120	10.429	0.1585	0.0145	(10.40; 10.46)

$\mu$ : media de Punto 1

### Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 10.416$
Hipótesis alterna	$H_a: \mu \neq 10.416$
Valor T	0.91
Valor p	0.362

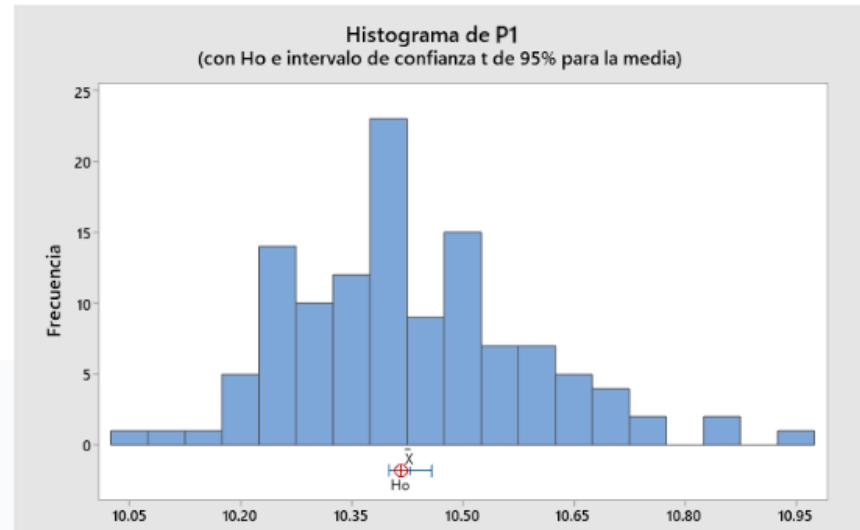


Figura 67. Prueba T para el Punto 1 de la intersección Naranjal. Fuente propia.

- Punto 2:** El punto evaluado tiene una media hipotética de 17.75 segundos. Aplicando el T de la muestra se obtiene un valor P de 0.79, mayor a 0.05; por lo que la hipótesis nula se acepta.

### Estadísticas descriptivas

N	Media	Desv.Est.	Error estándar	IC de 95% para $\mu$ de la media
120	17.754	0.171	0.320	(17.72; 17.79)

$\mu$ : media de Punto 2

### Prueba

Hipótesis nula	$H_0: \mu = 17.75$
Hipótesis alterna	$H_a: \mu \neq 17.75$
Valor T	0.26
Valor p	0.79

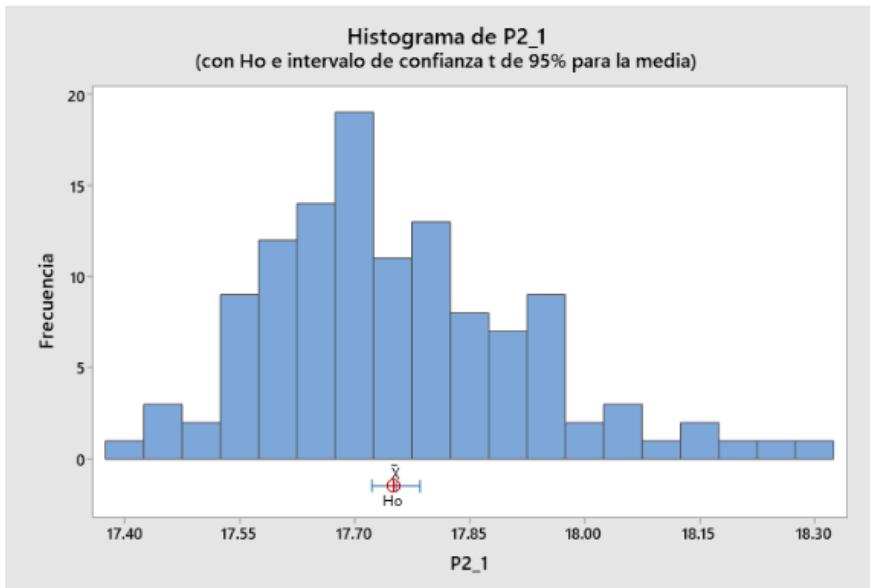


Figura 68. Prueba T para el Punto 2 de la intersección Naranjal. Fuente propia.

### 6.3.3. Prueba de normalidad

El conjunto de valores utilizados en las pruebas de validación anterior, son sometidos a una prueba de normalidad de Kolmogórov-Smirnov con un nivel de confianza del 95%; por lo que planteamos la hipótesis nula que el valor de P debe ser mayor a 0.05. En la prueba de normalidad, se toma la raíz cuadrada de los conjuntos de valores de los puntos en las intersecciones evaluados anteriormente; con la finalidad que estos valores sean más normalizables.

#### Intersección de Alisos

En la intersección de Alisos se realizó la prueba de normalidad para el conjunto de tiempos de viaje en el tramo antes del semáforo (Punto 1) y el tramo de toda la intersección (Punto 2). Los resultados de la prueba de la muestra son:

- **Punto 1:** El punto evaluado tiene una media de 5.88 segundos y desviación estándar de 0.304. De la muestra se obtiene un valor P de 0.064, mayor a 0.05; por lo que la hipótesis nula se acepta.

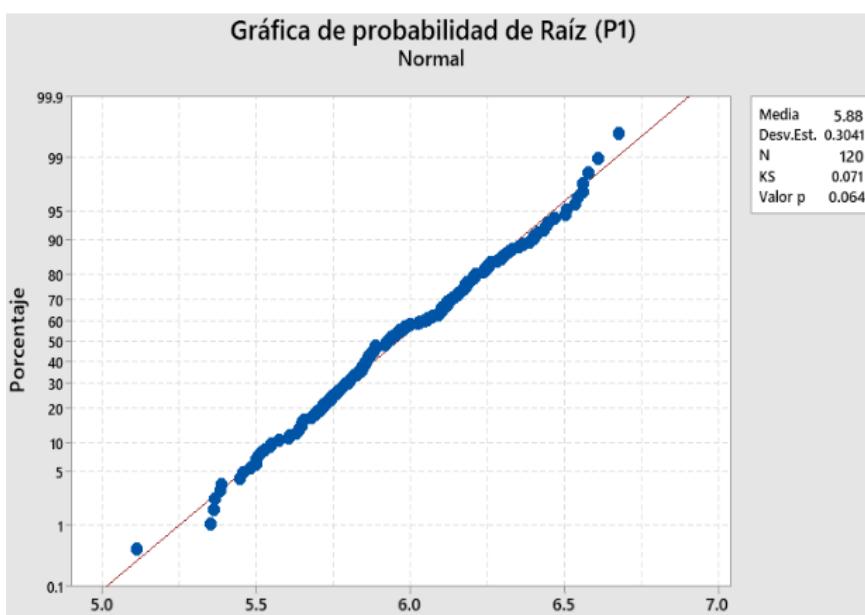


Figura 69. Prueba de Normalidad para el Punto 1 de la intersección Alisos. Fuente propia.

- **Punto 2:** El punto evaluado tiene una media de 6.30 segundos y desviación estándar de 0.269. De la muestra se obtiene un valor P de 0.127, mayor a 0.05; por lo que la hipótesis nula se acepta.

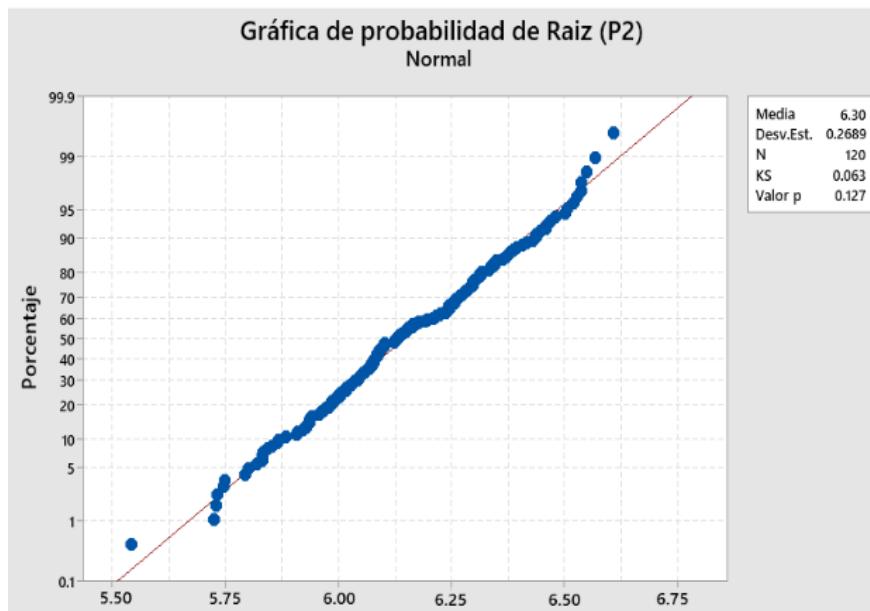


Figura 70. Prueba de Normalidad para el Punto 2 de la intersección Alisos. Fuente propia.

### Intersección de Chinchaysuyo

En la intersección de Chinchaysuyo se realizó la prueba de normalidad para el conjunto de tiempos de viaje en la av. Túpac Amaru en el tramo antes del semáforo (Punto 1) y su tramo completo (Punto 2); también se evalúa para los tiempos de viaje en la av. Gerardo Unger en el tramo antes del semáforo (Punto 3) y su tramo completo (Punto 4). Los resultados de la prueba de la muestra son:

- Punto 1:** El punto evaluado tiene una media de 17.11 segundos y desviación estándar de 0.364. De la muestra se obtiene un valor P de 0.077, mayor a 0.05; por lo que la hipótesis nula se acepta.

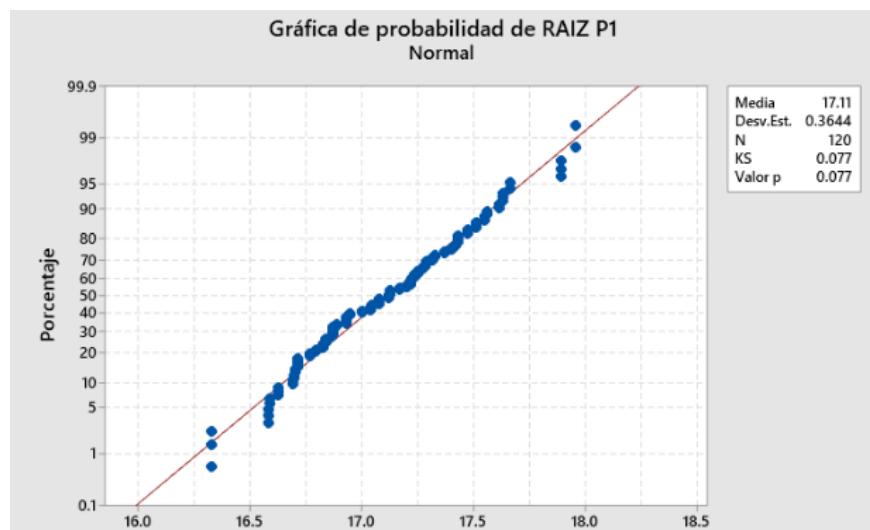


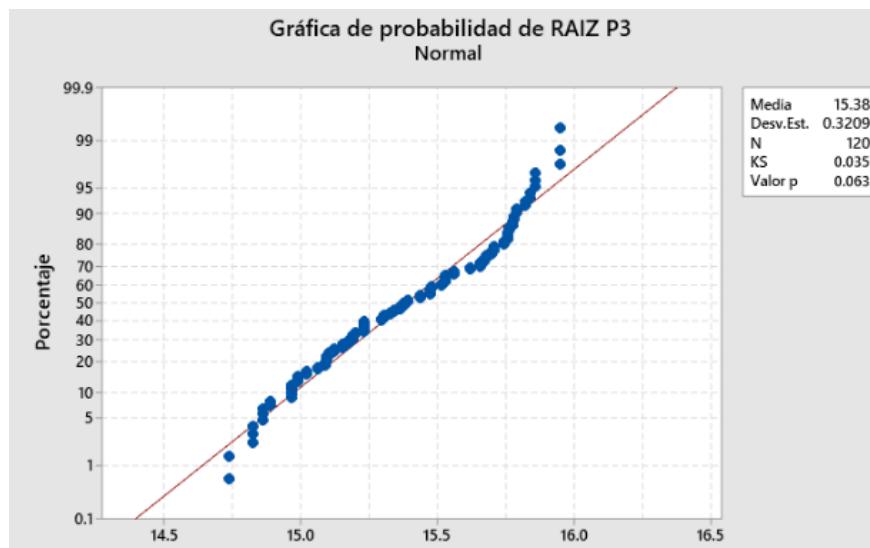
Figura 71. Prueba de Normalidad para el Punto 1 de la intersección Chinchaysuyo. Fuente propia.

- **Punto 2:** El punto evaluado tiene una media de 17.40 segundos y desviación estándar de 0.364. De la muestra se obtiene un valor P de 0.07, mayor a 0.05; por lo que la hipótesis nula se acepta.



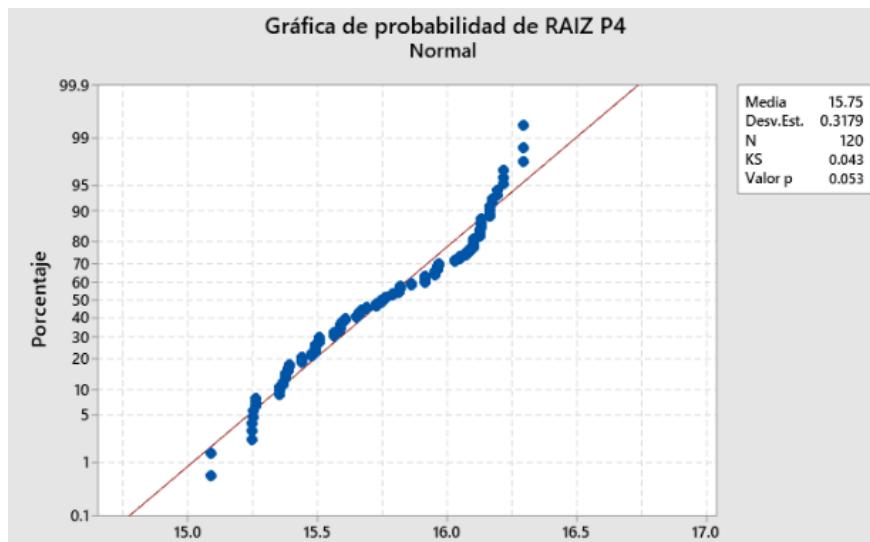
**Figura 72.** Prueba de Normalidad para el Punto 2 de la intersección Chinchaysuyo. Fuente propia.

- **Punto 3:** El punto evaluado tiene una media de 15.38 segundos y desviación estándar de 0.321. De la muestra se obtiene un valor P de 0.063, mayor a 0.05; por lo que la hipótesis nula se acepta.



**Figura 73.** Prueba de Normalidad para el Punto 3 de la intersección Chinchaysuyo. Fuente propia.

- Punto 4:** El punto evaluado tiene una media de 15.75 segundos y desviación estándar de 0.318. De la muestra se obtiene un valor P de 0.053, mayor a 0.05; por lo que la hipótesis nula se acepta.

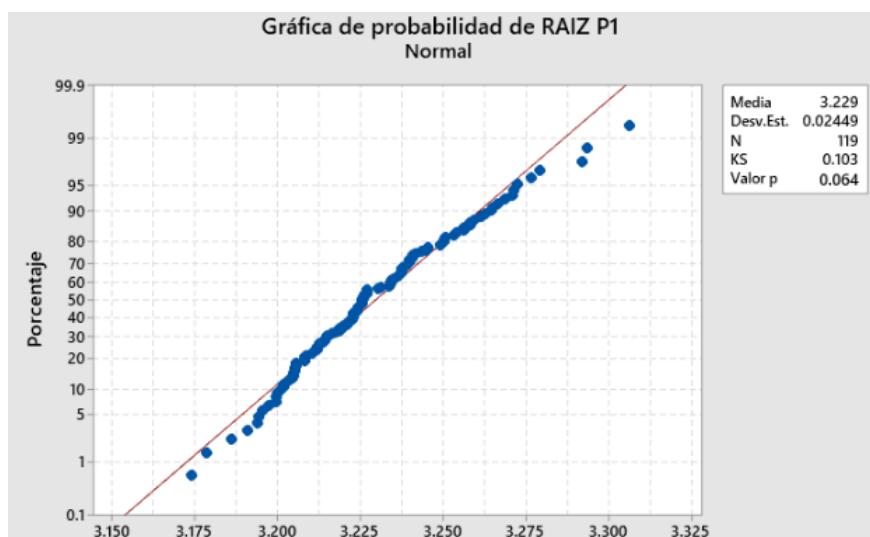


**Figura 74.** Prueba de Normalidad para el Punto 4 de la intersección Chinchaysuyo. Fuente propia.

### Intersección de Naranjal

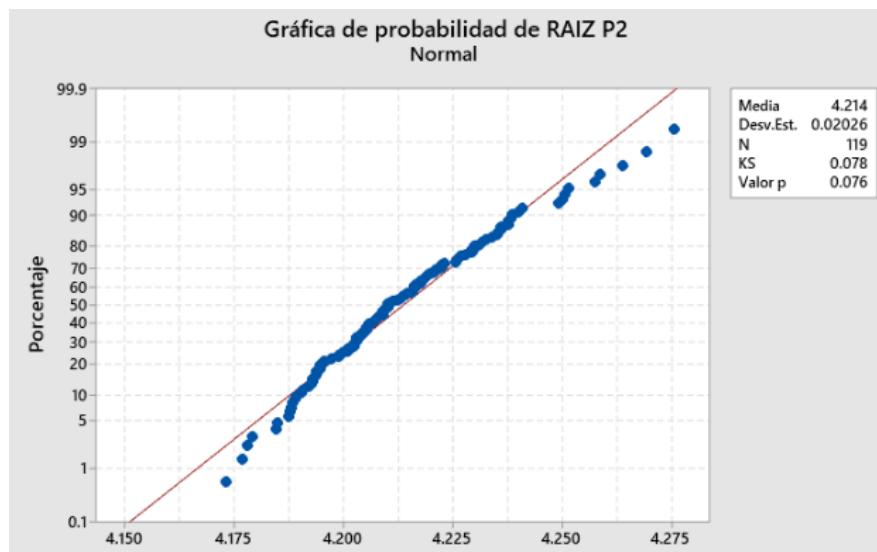
En la intersección de Naranjal se realizó la prueba de normalidad para el conjunto de tiempos de viaje en el tramo antes del semáforo (Punto 1) y el tramo de toda la intersección (Punto 2). Los resultados de la prueba de la muestra son:

- Punto 1:** El punto evaluado tiene una media de 3.23 segundos y desviación estándar de 0.024. De la muestra se obtiene un valor P de 0.064, mayor a 0.05; por lo que la hipótesis nula se acepta.



**Figura 75.** Prueba de Normalidad para el Punto 1 de la intersección Naranjal. Fuente propia.

- **Punto 2:** El punto evaluado tiene una media de 4.214 segundos y desviación estándar de 0.02. De la muestra se obtiene un valor P de 0.076, mayor a 0.05; por lo que la hipótesis nula se acepta.



**Figura 76.** Prueba de Normalidad para el Punto 2 de la intersección Naranjal. Fuente propia.

## CAPITULO VII: PROPUESTAS DE MEJORA Y REPLANTEO DEL MODELO

### 7.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL MODELO

En el modelo trabajado se tiene como resultado que a los vehículos que circulan por la av. Túpac Amaru, en dirección N-S durante la hora pico de la mañana, les toma un promedio de 451 segundos (7 minutos 31 segundos) entre los puntos de ingreso al sistema y salida. La mayor parte del tiempo de viaje se concentra en el tramo ubicado a la altura de la avenida Chinchaysuyo, en donde las avenidas Túpac Amaru y Gerardo Unger se unen. En esta intersección a los vehículos les puede tomar un promedio de 301 segundos (5 minutos y 1 segundo) para la av. Túpac Amaru y 246 segundos (4 minutos 6 segundos) para la av. Gerardo Unger.

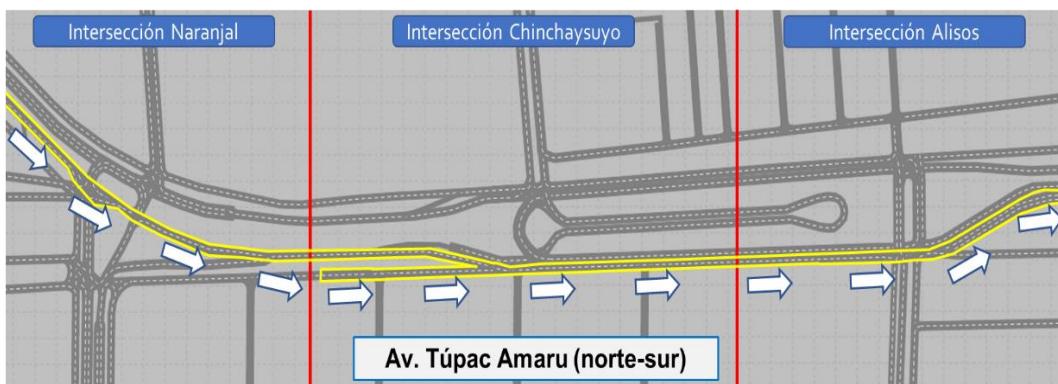


Figura 77. Tramo de evaluación del modelo de simulación. Fuente propia.

Con relación a los tiempos de demora obtenidos por cada intersección, en la simulación se obtuvo que los vehículos que circulan por la av. Túpac Amaru, en dirección N-S durante la hora pico de la mañana pierden cerca de 363 segundos (6 minutos 3 segundos) para las tres intersecciones de estudio. De similar forma que, con los tiempos de viaje, la intersección a la altura de Chinchaysuyo genera los mayores tiempos de demora vehicular que son 307 segundos (5 minutos y 7 segundos). Los resultados nos indican que el mayor retraso se concentra en la intersección denominada Chinchaysuyo; esto debido a que dentro esta intersección las avenidas Túpac Amaru y Gerardo Unger se unen, pasando de tener 4 a 2 carriles. En el tramo se encuentra también un paradero a la altura del ingreso hacia la estación Naranjal, en donde los vehículos de transporte público y colectivo se estacionan con el objetivo de dejar y recoger pasajeros; limitando aún más la circulación de los vehículos que pasan por este tramo. El semáforo

colocado para que los peatones puedan cruzar hacia la estación Naranjal; limita aún más la movilidad de los vehículos en la av. Túpac Amaru.



Figura 78. Zonas de congestión en la intersección de Chinchaysuyo. Fuente propia.

Es notable considerar que, en la intersección de la av. Alisos, los vehículos que circulan por la av. Los Alisos en dirección O-E al llegar al final de la vía tienen solo tres posibles destinos: el primero doblar hacia la av. Túpac Amaru en sentido S-N, otra ruta es hacia la vía auxiliar de la av. Túpac Amaru, y también en dirección hacia la calle Yahuar Huaca. El conflicto ocurre debido a que los vehículos con dirección a la calle Yahuar Huaca o la vía auxiliar de la Túpac Amaru, es que pasan hacia una vía de un solo carril y que en la intersección de las dos últimas vías anteriormente mencionadas no existe un semáforo y desencadena en que ocurran colas que llegan a obstruir la circulación de los vehículos con dirección

hacia la av. Túpac Amaru en sentido S-N e incluso la vía exclusiva del Metropolitano.

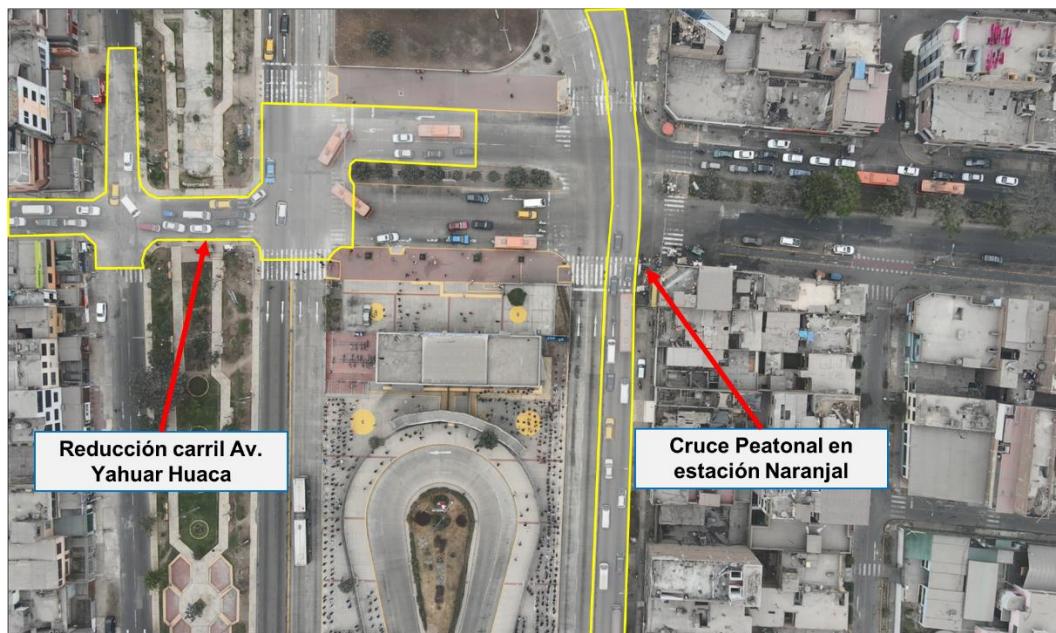
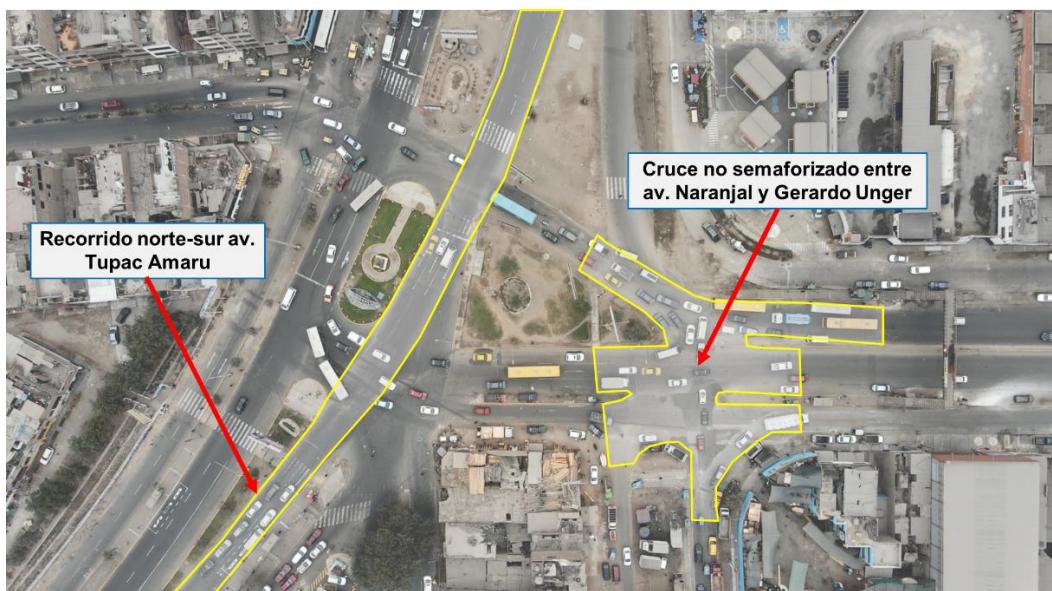


Figura 79. Zonas de congestión en la intersección de Alisos. Fuente propia.

Con relación a la intersección en la av. Naranjal: el mal estado de la vía en la intersección entre las av. Gerardo Unger y Naranjal, sumado la ausencia de un semáforo en la entre estos dos sentidos de tráfico; termina generando un conflicto entre los vehículos de ambos sentidos de circulación que termina afectando también a los vehículos de la av. Túpac Amaru que realizan giros a la derecha con direcciones hacia la av. Naranjal y Gerardo Unger. En ciertas ocasiones esta situación afecta a toda la intersección en general, incrementando los tiempos de demora.



**Figura 80.** Zonas de congestión en la intersección de Naranjal. Fuente propia.

## 7.2. PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS

Con relación a lo descrito en la sección anterior, se proponen un grupo de escenarios aplicados sobre el tramo de estudio; las cuales tienen como objetivo reducir los tiempos de viaje de los automóviles en el sentido de hora punta vehicular y disminuir las demoras en las intersecciones. Estos escenarios son propuestos para el escenario sin ampliación y también, considerando la ampliación del metropolitano.

### 7.2.1. Propuestas de escenario sin ampliación

Las propuestas tienen la característica de estar enfocadas principalmente en la optimización de la operación del flujo de tránsito y realizar pocas intervenciones sobre la geometría de la vía. Se plantean las siguientes tres alternativas.

#### 7.2.1.1. Escenario Ola Verde

En este escenario se abordan tres tipos de intervenciones, una para cada intervención descrita en el área de estudio. En la intersección de la av. Alisos con Túpac Amaru, se plantea que la av. Alisos se extienda hasta intersectarse con la auxiliar de la av. Túpac Amaru (sentido norte a sur). Esta medida se propone con la finalidad de agilizar el movimiento de los vehículos hacia la av. Yahuar Huaca y la Auxiliar de la av. Túpac Amaru; ya que como se explicó en la sección anterior de análisis de resultados, la vía de Alisos en el sentido de O-E pasa de tres carriles a solo uno en su conexión con la vía Yahuar Huaca en el que no accede de forma

recta. Adicionalmente; se plantea la colocación de semáforos como se observa en la figura 81 y 82, de forma que ordene los flujos de la av. Alisos, Yahuar Huaca y auxiliar de la av. Túpac Amaru que conforman un conflicto direccional al intersectarse.



Figura 81. Aplicación de intervenciones sobre la intersección Alisos. Fuente propia.



Figura 82. Aplicación de intervenciones sobre la intersección Alisos en el modelo de simulación. Fuente propia.

En el caso de la zona de intersección Chinchaysuyo, para el sentido N-S de la vía Túpac Amaru se proponen tres tipos de intervenciones, tal como se muestra en la figura 83 y 84. La primera consiste en trasladar el flujo peatonal que accede al

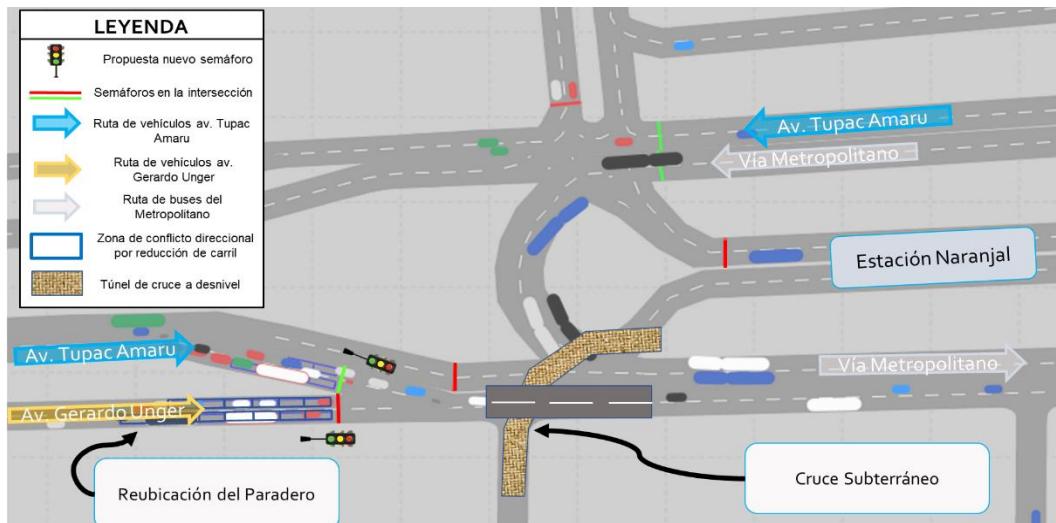
terminal de Naranjal del metropolitano haciendo que pasen de forma subterránea. Esta medida se propone debido a la gran cantidad de peatones por ciclo semafórico que cruzan la vía de Túpac Amaru en dirección N-S y que se acumulan en las veredas de esa vía, llegando a ocupar parte de la calzada y en otras ocasiones incluso cruzando intempestivamente pudiendo potencialmente ocasionar accidentes de tránsito. Con todo lo expuesto, un cruce subterráneo evitaría que la gente ocupe parte de la vía de Túpac Amaru y pueda cruzar de forma segura.

El paradero existente cerca al cruce para acceder a la estación del Metropolitano es otro de los problemas identificados dentro de la intersección. Los vehículos de transporte público y transporte colectivo que recogen y dejan pasajeros durante las horas punta suelen ocupar ambos carriles de la vía de la Túpac Amaru en dirección N-S; reduciendo aún más la capacidad de esta vía. Ante esta situación se plantea que el paradero existente sea trasladado hasta la zona antes del cruce entre las av. Túpac Amaru y G. Unger; esto permitiría que solo una de las vías sea afectada por la operación de los vehículos en el paradero, y que principalmente los vehículos tengan la capacidad de decisión desde la av. Naranjal para decidir la ruta de su elección.

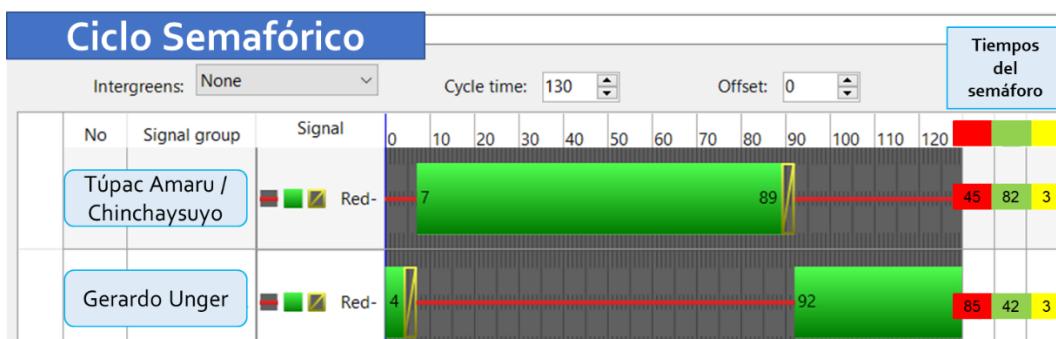
La tercera intervención plantea regular el conflicto direccional actual existente entre las av. Túpac Amaru y Gerardo Unger, donde la vía pasa de cuatro a dos carriles. Para esta intervención, se propone la colocación de un semáforo en la zona anterior a que estas dos vías se intersecten. Asimismo, actuando en conjunto con la propuesta del cruce subterráneo peatonal, se propone determinar un ciclo semafórico cuyos tiempos en verde se distribuyen de forma proporcional a sus volúmenes vehiculares tanto para la avenida Túpac Amaru N-S y Gerardo Unger (Figura 85). Esta intervención permite que exista en todo momento una circulación constante de vehículos por este tramo de vía.



**Figura 83.** Aplicación de intervenciones sobre la intersección Chinchaysuyo para el escenario de Ola Verde. Fuente propia.

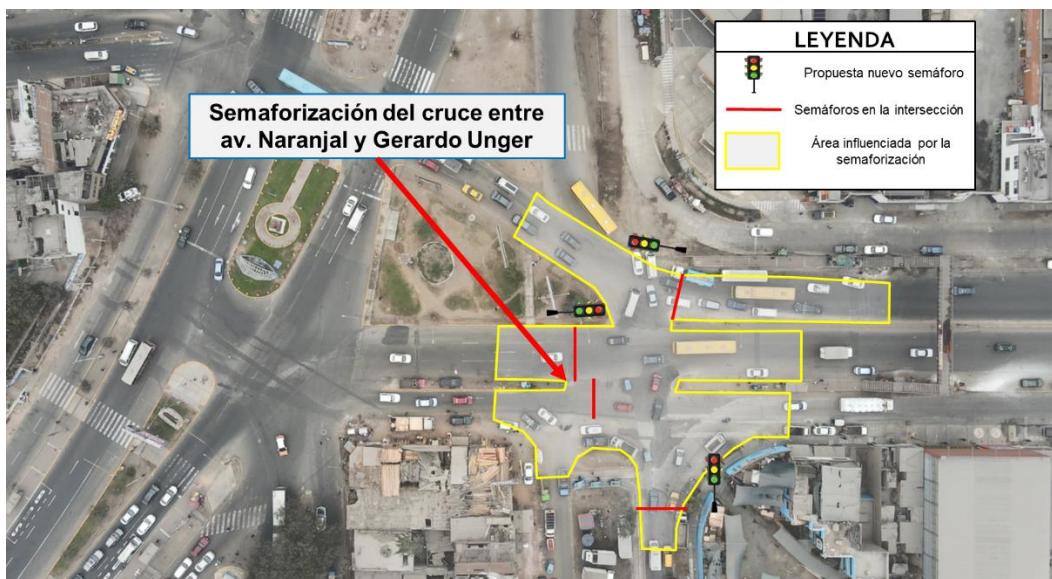


**Figura 84.** Aplicación de intervenciones sobre la intersección Chinchaysuyo en el modelo de simulación para el escenario de Ola Verde. Fuente propia.

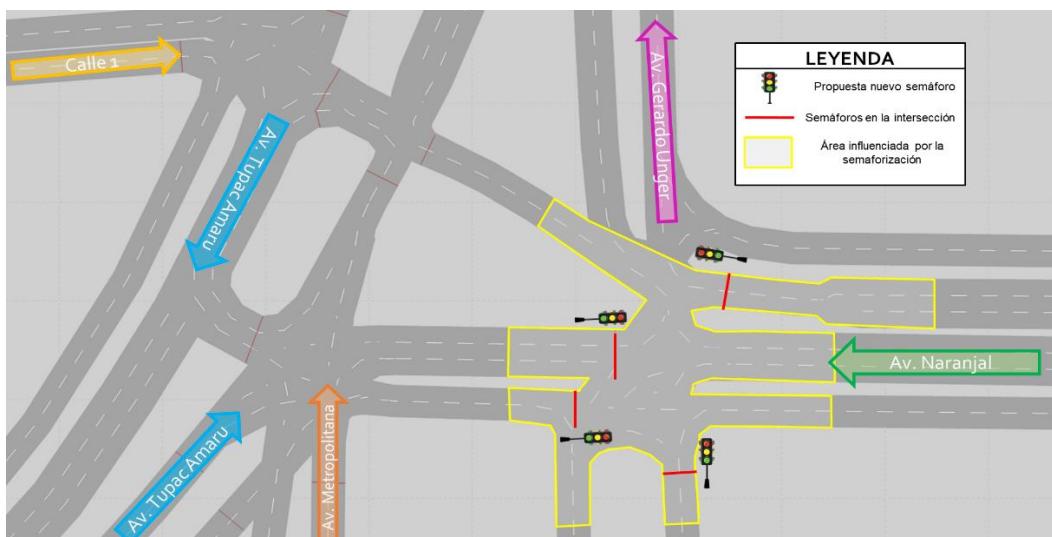


**Figura 85.** Ciclo semafórico propuesto en la intersección de Chinchaysuyo para el escenario de Ola Verde. Fuente propia.

En la intersección correspondiente a la av. Naranjal, se plantea colocar un semáforo entre las av. Gerardo Unger y Naranjal (figura 86 y 87). Esta medida permitiría reducir los conflictos concurrenciales entre ambas avenidas y evitar que en ciertas ocasiones los flujos se sobresaturen y enreden; terminando de afectar al resto de vías que circulan por los alrededores.



**Figura 86.** Aplicación de intervenciones sobre la intersección de Naranjal en el modelo de simulación. Fuente propia.



**Figura 87.** Aplicación de intervenciones sobre la intersección Naranjal y el modelo de simulación. Fuente propia.

Todas las medidas expuestas en esta sección, actuando de manera conjunta, son propuestas como un escenario alternativo de solución para disminuir de forma general los tiempos de viaje de un vehículo que circula por este tramo de la vía.

### 7.2.1.2. Escenario sin variación en el Ciclo Semaforico

Para este escenario, se incluyen las modificaciones propuestas en las intersecciones de las av. Los Alisos y Naranjal para el escenario Ola Verde. En el caso de la intersección Chinchaysuyo, se mantienen la intervención de incluir semáforos antes que las av. Túpac Amaru y Gerardo Unger se intersecten; el traslado del paradero hacia únicamente la av. Gerardo Unger como lo explicado en el escenario de Ola Verde también se mantendrá. La diferencia entre este escenario y el anterior descrito, radica en que no se considerará la construcción de un acceso peatonal subterráneo para ingresar a la estación Naranjal; por lo que el ciclo semafórico en verde para esta intersección no variará. Los peatones mantendrán el mismo tiempo para poder cruzar; mientras que, el tiempo en verde para los nuevos semáforos en las av. Túpac Amaru y Gerardo Unger será repartido de forma proporcional al flujo de vehículos que transporta (Figura 88 y 89)



**Figura 88.** Aplicación de intervenciones sobre la intersección Chinchaysuyo en el escenario sin variación del ciclo semafórico. Fuente propia.

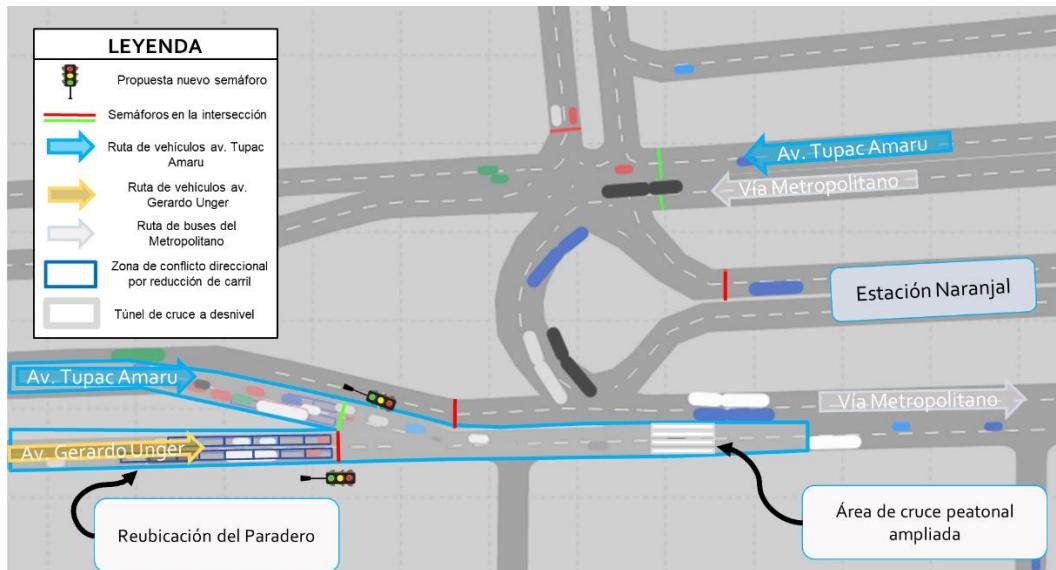


Figura 89. Aplicación de intervenciones sobre la intersección Chinchaysuyo en el modelo de simulación para el escenario sin variación del ciclo semafórico. Fuente propia.

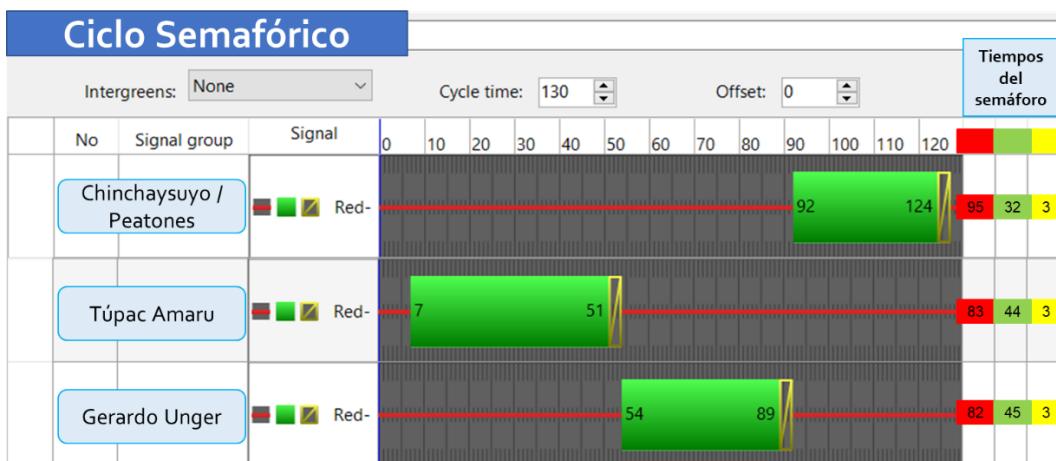
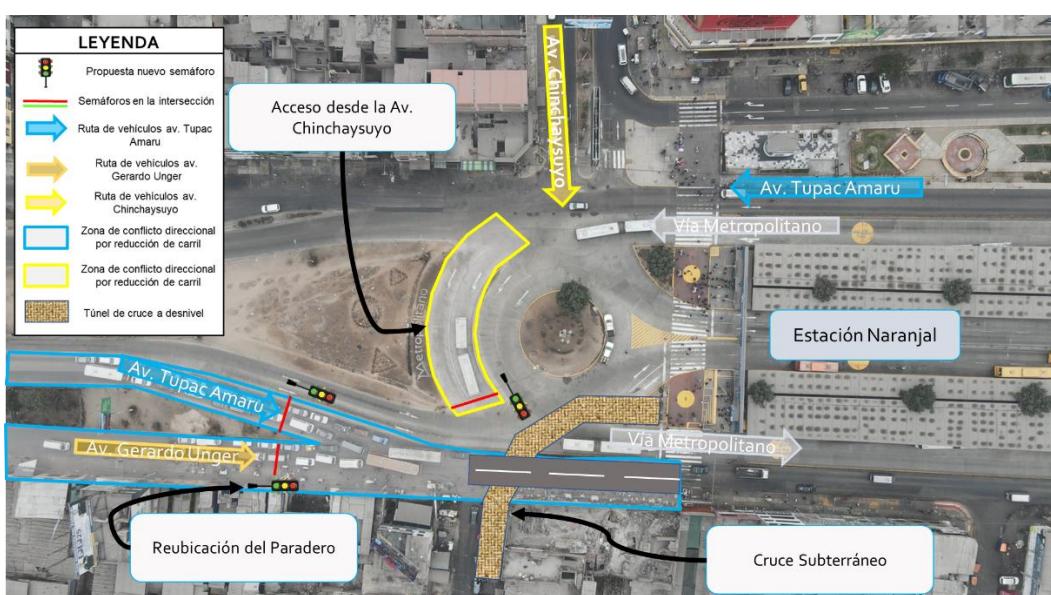


Figura 90. Ciclo semafórico propuesto en la intersección de Chinchaysuyo para el escenario sin variación del ciclo semafórico. Fuente propia.

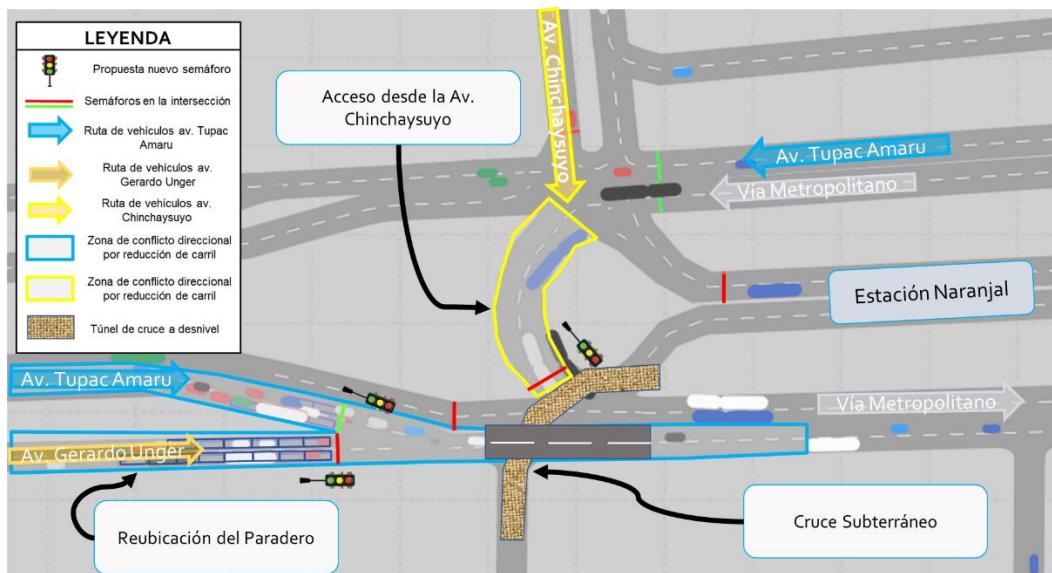
#### 7.2.1.1. Escenario con Accesibilidad en Chinchaysuyo

En este escenario se incluyen las modificaciones propuestas en las intersecciones de las av. Los Alisos y Naranjal para el escenario sin variación del Ciclo Semafórico. Para la intersección de Chinchaysuyo se mantienen las propuestas de incluir semáforos antes que las av. Túpac Amaru y Gerardo Unger se intersecten, el traslado del paradero hacia únicamente la av. Gerardo Unger, la incorporación de un cruce subterráneo para acceder a la estación Naranjal, e incluso el mismo ciclo semafórico se mantendrá para los semáforos en las av. Túpac Amaru y Gerardo Unger, dividiendo los tiempos proporcionalmente al flujo actual entre ambas avenidas (Figura 91).

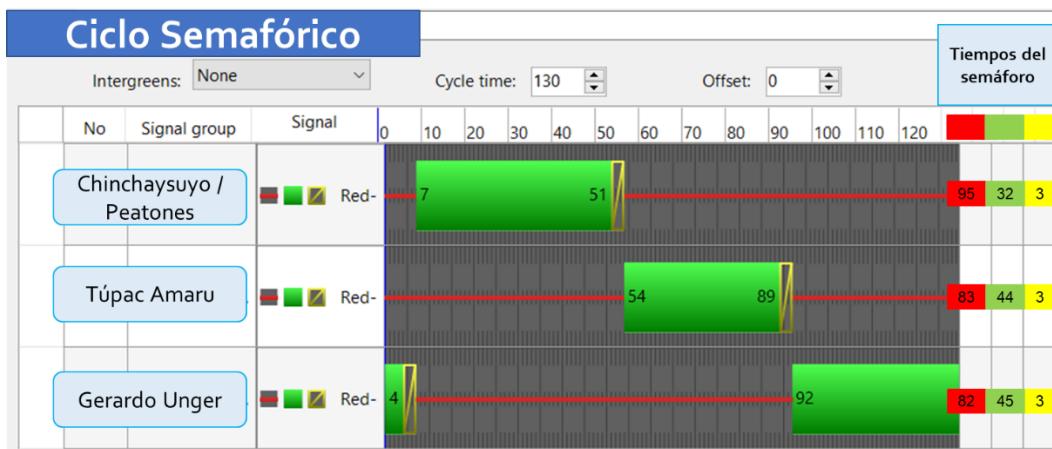
La diferencia con los otros escenarios planteados radica en que se implementa un acceso para que los vehículos provenientes de la av. Chinchaysuyo puedan girar y acceder al sentido N-S de la av. Túpac Amaru directamente desde la estación Naranjal; sin la necesidad de trasladarse hasta la av. Naranjal como se hace en la actualidad. El cruce de los vehículos desde la av. Chinchaysuyo lo realizarán a través del espacio de la rotonda que existe actualmente y que es utilizada como estacionamiento por los buses del metropolitano. En resumen, esta propuesta busca combinar modificaciones que incluyan mejorar los tiempos de viaje de los vehículos que pasen por el área de estudio, brindar mayor seguridad a los peatones que accedan a la estación Naranjal y proporcionar una accesibilidad que se ha perdido desde la construcción del sistema BRT del Metropolitano.



**Figura 91.** Aplicación de intervenciones sobre la intersección Chinchaysuyo en el escenario de accesibilidad en Chinchaysuyo. Fuente propia.



**Figura 92.** Aplicación de intervenciones sobre la intersección Chinchaysuyo en el modelo de simulación para el escenario de accesibilidad en Chinchaysuyo. Fuente propia.



**Figura 93.** Ciclo semafórico propuesto en la intersección de Chinchaysuyo para el escenario de accesibilidad en Chinchaysuyo. Fuente propia.

### 7.2.2. PROPUESTAS DE AMPLIACIÓN

Debido a la construcción del proyecto de ampliación del tramo norte del servicio BRT del Metropolitano; la geometría de la vía dentro del área de estudio se verá sometida a cambios significativos, principalmente en la intersección de Naranjal. Ante este escenario las propuestas expuestas en el subcapítulo anterior solo aplicables para un periodo de pocos años; por lo que también debe considerarse analizar el desempeño que tendrá la nueva configuración vial del área de estudio, pero para un periodo más extenso. En este subcapítulo también se examinará otro grupo de escenarios alternativos, en los que se analizará la justificación de

implementación de cada propuesta, y evaluará los tiempos de viaje para cada escenario.

Se establece el año 2030 como el periodo horizonte de evaluación, tiempo mediante el cual con la información actual se pueden plantear dos supuestos que permitan conceptualizar las características del flujo vehicular para ese año.

El primer supuesto sostiene que el comportamiento de manejo de los conductores de los vehículos no variará, por lo que los parámetros de comportamiento de conducción son los mismos. El segundo supuesto se apoya en que, para el año 2030 el flujo vehicular se incrementará al ritmo de la tasa de crecimiento promedio ( $r_{promedio}$ ) que han tenido vehículos en Lima Metropolitana y Callao en los últimos años. En el cuadro 5 se muestra la información resumida del parque automotor estimado en Lima Metropolitana y Callao desde el año 2016, así como la tasa de crecimiento anual (%) por cada año.

**Cuadro 5. Parque automotor de Lima y Callao y tasa de crecimiento anual**

Año	Nº Vehículos (Pi)	Cantidad Años (ti)	r %
2016	1,752,919.00	0	
2017	1,837,347.00	1	4.71%
2018	1,908,672.00	2	4.82%
2019	1,982,650.00	3	3.88%
2020	2,036,325.50	4	3.88%
2021	2,090,001.00	5	2.67%

Ministerio de Transporte y Comunicaciones-Elaboración propia.

A continuación, se muestra la operación matemática seguida para hallar la tasa de crecimiento promedio ( $r_{promedio}$ ) para los últimos 6 años y que se proyectará para el año 2030. La tasa de crecimiento promedio resultante es de 3.76%, la cual si es proyectada para el horizonte del proyecto; resulta en que la tasa de motorización en Lima y Callao se ve incrementada en 40% respecto a los valores actuales.

$$r_{promedio} = \frac{\sum_{r_{promedio}=1}^n t_i \times \ln \frac{P_i}{P_0}}{\sum_{r_{promedio}=1}^n t_i^2}$$

Considerando entonces, que para el horizonte de evaluación la asignación del volumen vehicular es 40% mayor a los escenarios actuales, se desarrollan los siguientes escenarios:

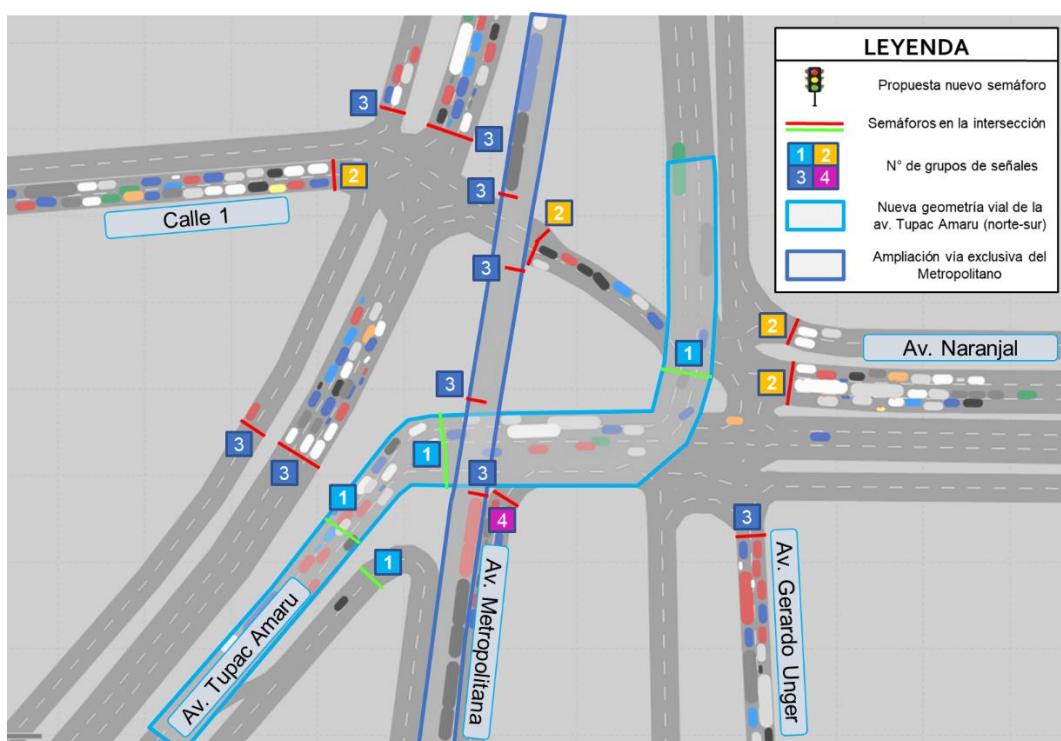
#### 7.2.2.1. Escenario Proyectado por EMAPE

En este escenario se recopilo la información del expediente técnico publicado por EMAPE para el desarrollo del proyecto de ampliación norte del metropolitano. Esta ampliación continuará por la av. Túpac Amaru, hasta intersectarse con la av. Naranjal, y pasará por la av. Metropolitana, por lo que generará un cambio significativo en el trazo de la geometría de la vía y la configuración de las señales de control del tráfico. En la figura 94 se observa también que los vehículos provenientes del sentido sur-norte de la av. Túpac Amaru y de la Calle 1, no pueden girar hacia la av. Naranjal. También se identifica que los vehículos tienen que mantener su recorrido por el sentido norte-sur de la av. Túpac Amaru hasta otro cruce ubicado a casi seiscientos metros de distancia para luego poder girar en U y recorrer el otro sentido de la av. Túpac Amaru hasta llegar a la av. Naranjal. Todos los vehículos que provenientes de las avenidas anteriormente mencionadas y que tienen como destino la av. Naranjal, tendrán que realizar este nuevo recorrido.

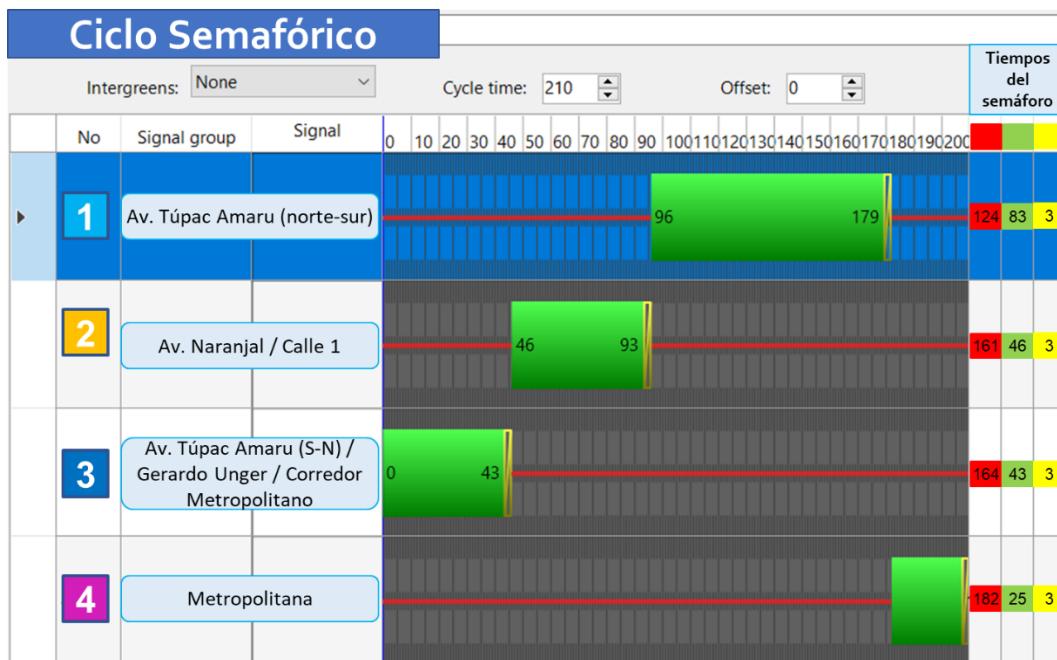


Figura 94. Próximo cruce en la av. Túpac Amaru debido al cierre del acceso ubicado en la intersección de Naranjal. Fuente propia.

En la figura 95, el área de bordes azules corresponde al tramo de ampliación de la vía exclusiva del metropolitano, la cual es de un carril para cada sentido de circulación. El área de bordes celestes pertenece al nuevo trazo de la geometría en la av. Túpac Amaru; la cual pasa de tres carriles antes de la intersección, a una vía de seis carriles (fusionándose con la vía auxiliar) para luego retornar a ser nuevamente tres carriles al cruzar la intersección. También se puede observar que ya no existe el acceso para que los vehículos provenientes del sentido sur-norte de la av. Túpac Amaru y de la Calle 1, crucen hacia la av. Naranjal. Los números indicados en la figura corresponden a la fase del ciclo semafórico nuevo que tendrá la intersección de Naranjal, la cual se puede notar con mayor detalle en la figura 96.



**Figura 95.** Aplicación de intervenciones sobre la intersección Naranjal en el modelo de simulación para el escenario proyectado por EMAPE. Fuente propia.



**Figura 96.** Ciclo semafórico propuesto en la intersección de Naranjal para el escenario proyectado por EMAPE. Fuente propia.

#### 7.2.2.2. Escenario Proyectado por EMAPE con Accesibilidad en la intersección Naranjal

En este escenario se incluyen las modificaciones propuestas en las intersecciones de las av. Los Alisos y Chinchaysuyo para el escenario de Ola Verde. En la intersección de Naranjal se incluyen las propuestas planteadas por EMAPE para el proyecto de ampliación del Metropolitano, y adicionalmente se considera incluir un acceso para que los vehículos provenientes de Calle 1 y la av. Túpac Amaru en el sentido sur-norte puedan girar con dirección hacia la avenida Naranjal (tal como se muestra en la figura 97). La esencia de incluir este acceso para los vehículos de las vías anteriormente seleccionadas radica en que los vehículos no tengan que recorrer 800 metros adicionales para girar en U (tal como se explicó en el subcapítulo anterior), ya que muchos tienen como origen de su viaje una vivienda dentro del sector de Tahuantinsuyo e Independencia, los cuales tienen a la Av. Túpac Amaru como medio de conexión con las vías del resto de la ciudad. Entonces esta propuesta busca mantener la accesibilidad que los vehículos provenientes del distrito de Independencia tenían antes de la ejecución del proyecto de ampliación.

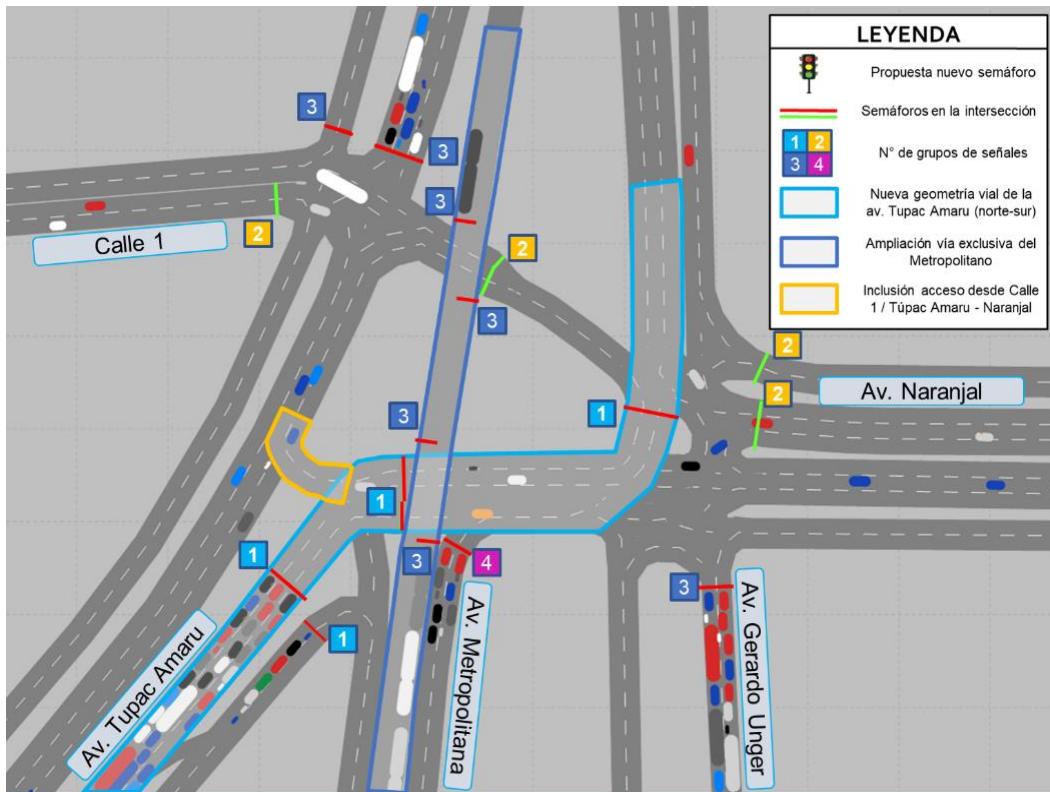


Figura 97. Aplicación de intervenciones sobre la intersección Naranjal en el modelo de simulación para el escenario proyectado por EMAPE, pero con acceso en Naranjal. Fuente propia.

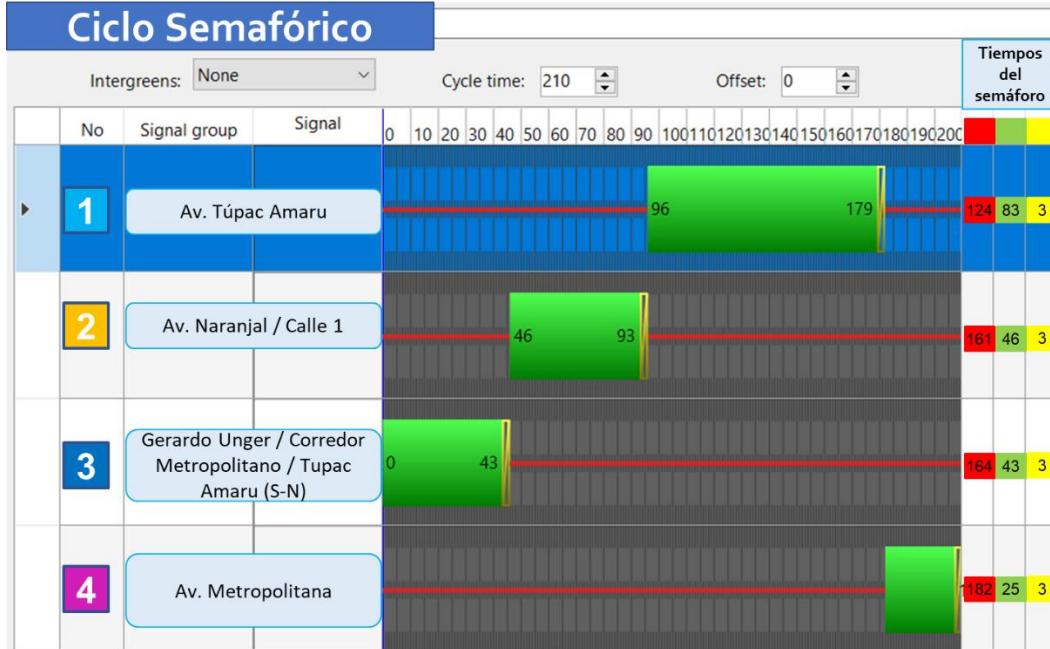


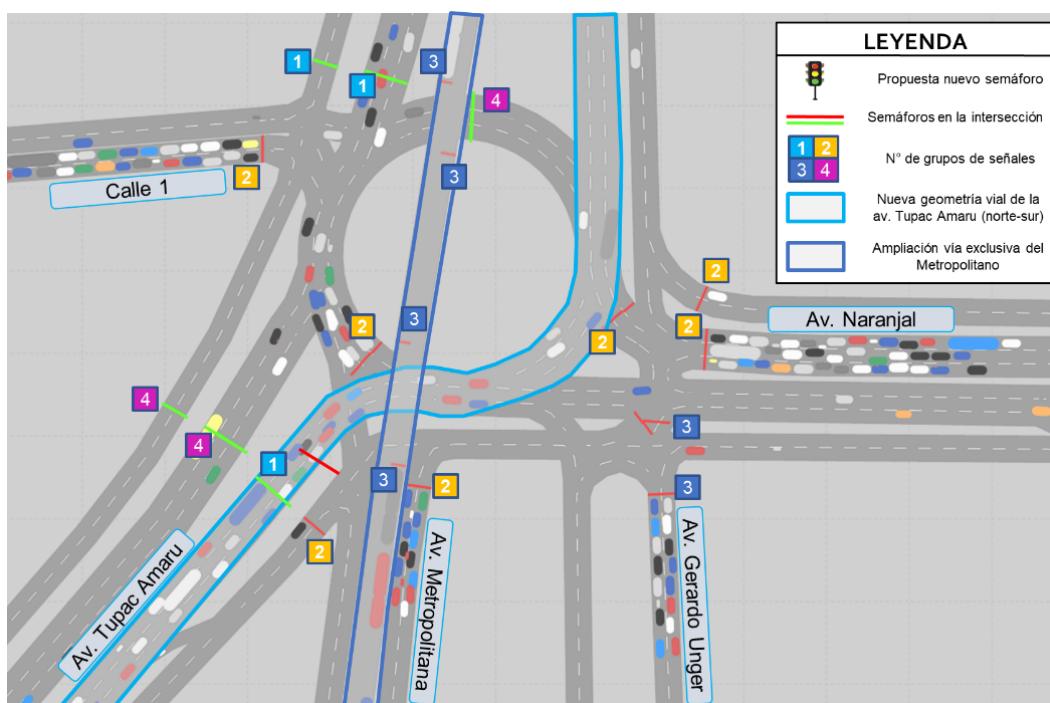
Figura 98. Ciclo semafórico propuesto en la intersección de Naranjal para escenario proyectado por EMAPE, pero con acceso en Naranjal. Fuente propia.

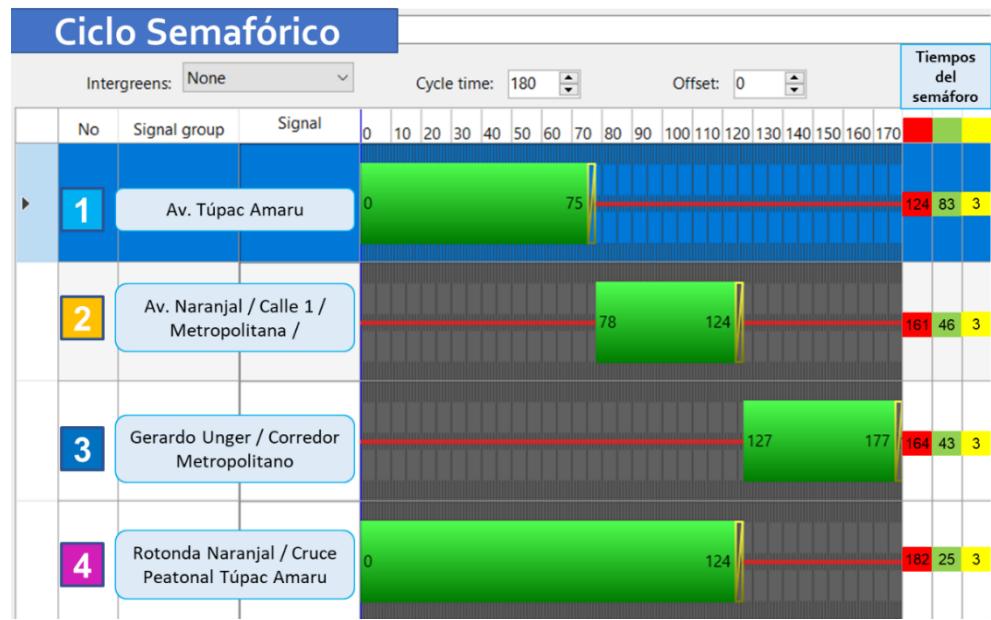
#### 7.2.2.3. Escenario con Rotonda

En este escenario se consideran las intervenciones propuestas sobre las intersecciones de Alisos y Chinchaysuyo en el escenario de Ola Verde. En la

intersección de Naranjal se propone la construcción de una rotonda semaforizada por el que pasaran los flujos provenientes de las avenidas Túpac Amaru, Naranjal, Metropolitana, Gerardo Unger y Calle 1 (tal como se muestra en la figura 99). La vía de ampliación del metropolitano conserva el mismo trazo propuesto en el proyecto de ampliación del sistema BRT, y atraviesa la rotonda.

El ciclo semafórico en este escenario tiene una duración de 210 segundos y se divide en 4 fases, tal como se ve en la figura 100. La primera fase corresponde a la av. Túpac Amaru en ambos sentidos. La siguiente fase del ciclo es asignada para los vehículos de la av. Naranjal, Metropolitana, auxiliar de la av. Túpac Amaru en el sentido norte-sur y Calle 1. La tercera fase corresponde al carril exclusivo del Metropolitano y la av. Gerardo Unger. Finalmente, la cuarta fase del ciclo tiene la asignación de fase en verde durante a la par que la fase 1 y 2, al encontrarse en rojo permite que los peatones puedan cruzar a través de la rotonda. Para la asignación del periodo correspondiente para cada fase del ciclo semafórico se aplica el método Webster, el cual es un procedimiento eficiente y directo para la optimización del flujo vehicular. El método considera asignar el periodo de cada ciclo semafórico con relación al volumen vehicular máximo del grupo de vías en cada ciclo semafórico.





**Figura 100.** Ciclo semafórico propuesto en la intersección de Chinchaysuyo para el escenario de accesibilidad en Chinchaysuyo. Fuente propia.

#### 7.2.2.4. Escenario Proyectado por EMAPE con accesibilidad en Chinchaysuyo

Este escenario es una combinación de dos propuestas antes descritas, en la intersección de Los Alisos y Chinchaysuyo aplica las intervenciones consideradas por el escenario de accesibilidad en Chinchaysuyo, mientras que para la intersección de Naranjal se incluyen las características en el escenario proyectado por EMAPE.

#### 7.2.2.5. Escenario Proyectado por EMAPE con Accesibilidad en la intersección Naranjal y accesibilidad en Chinchaysuyo

De forma similar que el escenario anterior, este es una combinación del escenario de Accesibilidad en Chinchaysuyo (la cual que aplica para las intersecciones de Los Alisos y Chinchaysuyo) y el escenario de escenario proyectado por EMAPE que considera el acceso para los vehículos de Calle 1 y Túpac Amaru en el sentido sur-norte.

#### 7.2.2.6. Escenario con Rotonda con accesibilidad en Chinchaysuyo

Este escenario es una combinación del escenario de accesibilidad en Chinchaysuyo, que aplica para la intersección de Los Alisos y Chinchaysuyo; y el escenario de Rotonda para la intersección de Naranjal.

### 7.3. COMPORTAMIENTO OPTIMIZADO DE CONDUCTORES

A los escenarios y propuestas descritas en los subcapítulos anteriores, se plantea otras situaciones las cuales no están relacionadas con modificaciones en la geometría de la vía o en la operación de esta; sino en el cambio de los parámetros de comportamiento de conductor utilizados anteriormente en la calibración del modelo. Se busca encontrar una configuración en los parámetros de comportamiento del conductor que brinden mejores tiempos de viaje sobre el tramo de estudio, entender qué porcentaje puede reducirse respecto a los escenarios que mantienen el mismo comportamiento obtenido de la calibración del modelo, y entender las características de comportamiento que adoptarían los conductores en estos escenarios.

Para obtener la configuración de parámetros optimizada, se realiza una modificación sobre el algoritmo. Esta modificación del algoritmo ya no buscará los valores de parámetros que generen la mayor aproximación a los resultados de campo; sino que aplicará el uso de algoritmos genéticos para obtener el menor valor de tiempos de viaje para las intersecciones. Los valores utilizados para las operaciones genéticas son los mismos que los aplicados en el proceso de calibración. Luego de haber ejecutado la optimización por algoritmos genéticos se obtienen los siguientes valores de parámetros de comportamiento de conductor.

- W74ax = [0.31]
- W74bxAdd = [0.85]
- W74bxMult = [1.26]
- LookAheadDistMax = [211.60]
- StandDist = [0.39]
- ObsrvdVehs = [1]
- DecelRedDistOwn = [191.82]
- AccDecelOwn = [-3]
- SafDistFactLnChg = [0.60]
- CoopDecel = [-4.47]
- CoopLnChgSpeedDiff = [4.88]
- MinSpeedForLat = [3.88]

Esta configuración de parámetros de comportamiento de conductor se aplica para todos los escenarios descritos anteriormente.

## CAPITULO VIII: ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 8.1. ANÁLISIS DE TIEMPOS DE VIAJE EN EL ESCENARIO SIN AMPLIACIÓN

Se realizaron simulaciones para el escenario original y los tres escenarios sin ampliación propuestos en el capítulo anterior, se llevaron a cabo un total de 100 simulaciones por cada escenario planteado, tomando el promedio de los tiempos y la desviación estándar del conjunto de datos. Los tiempos medidos fueron tomas desde los puntos de medición descrito en los capítulos anteriores considerando para tiempos de medición los tramos de la intersección de Naranjal hasta la intersección de Chinchaysuyo, y el tramo de la intersección a la altura de Chinchaysuyo hasta punto de medición ubicado en la av. Los Alisos.

#### 8.1.1. Análisis Tiempos de Viaje Comportamiento Conductor sin Optimizar

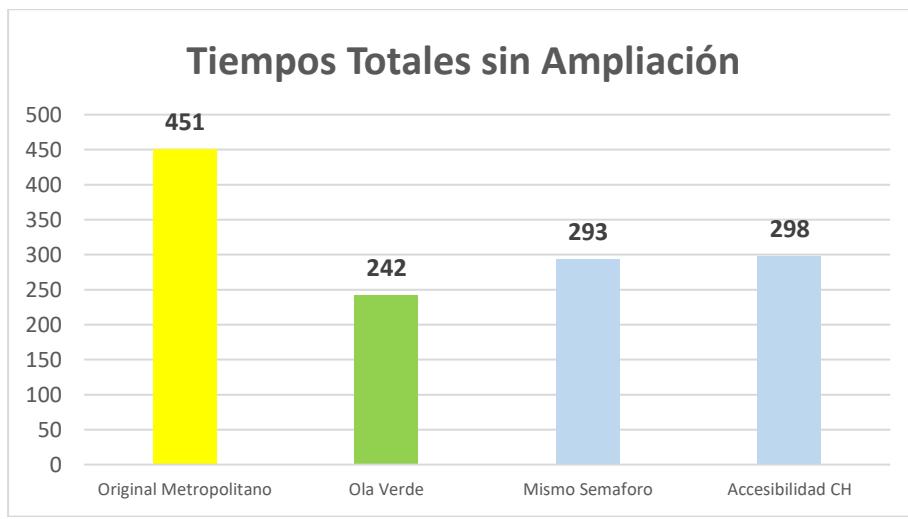
En este análisis se obtiene el desempeño de tramo de la av. Túpac Amaru en el sentido norte-sur para cada escenario tomando en cuenta que los conductores mantendrán el mismo tipo de comportamiento obtenido producto de la calibración del sistema.

En el cuadro 6 se observa que los mayores tiempos de viaje se concentran en el tramo comprendido entre las intersecciones de Naranjal y Chinchaysuyo, mientras que en el tramo Chinchaysuyo-Alisos los tiempos son mucho menores. Asimismo, se observa que, para los cuatro escenarios, los tiempos de viaje en el tramo Chinchaysuyo-Alisos se mantiene casi invariable. Para los tres escenarios propuestos, el tiempo de viaje se reduce considerablemente en comparación al escenario sin ampliación medido. Según lo observado en la figura 101 de tiempos totales para todo el tramo, en el escenario de Ola Verde el tiempo es de 242 segundos (4 minutos 2 segundos); resultando 209 segundos (3 minutos 29 segundos) menos que el escenario original. Los escenarios de Mismo Semáforo y Accesibilidad en Chinchaysuyo tienen resultados de tiempos de viaje total similares (293 y 298 segundos respectivamente); siendo sus tiempos de viaje menores en más de 150 segundos (2 minutos 30 segundos) con respecto al escenario original. El escenario de Ola Verde es el escenario el que obtiene mejores resultados de tiempos de viaje.

**Cuadro 6.** Tiempos de viaje en los escenarios sin ampliación

Tiempos de Viaje Sin Optimizar					
Escenarios		Tiempo NA-CH (segundos)	Tiempo CH-Alisos (segundos)	Total (segundos)	Desv. Estandar
Actual	Original Metropolitano	377	74	451	53
Corto Plazo	Ola Verde	170	72	242	15
Corto Plazo	Mismo Semaforo	216	77	293	22
Corto Plazo	Accesibilidad CH	219	79	298	25

Elaboración propia.



**Figura 101.** Tiempos de viaje totales para los escenarios sin ampliación. Fuente propia.

#### 8.1.2. Análisis Tiempos de Viaje con Comportamiento Conductor Optimizado

En este análisis se obtiene el desempeño del sistema tomando en cuenta que los conductores mejorarán el tipo de comportamiento debido a los cambios realizados por los escenarios propuestos.

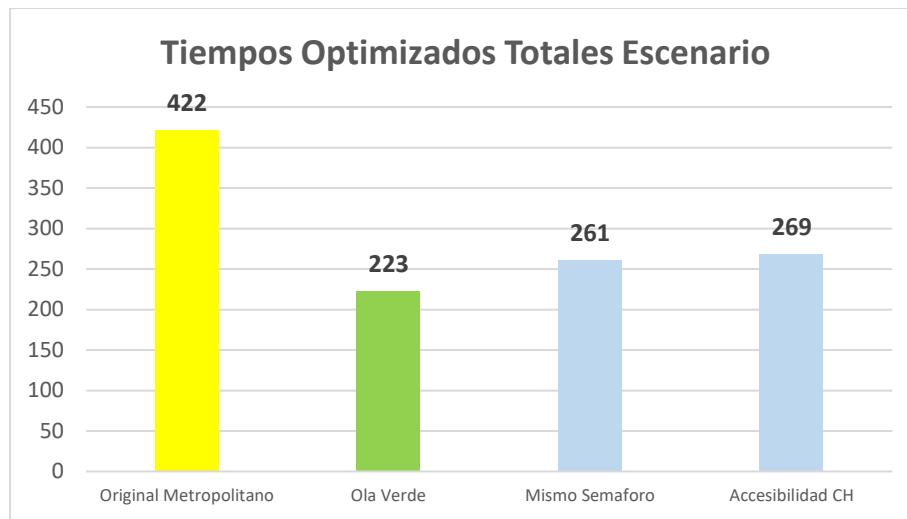
En el cuadro 7 puede observarse que los mayores tiempos de viaje se concentran en el tramo comprendido entre las intersecciones de Naranjal y Chinchaysuyo. El tiempo de viaje en el escenario de Ola verde para el tramo Chinchaysuyo-Alisos es menor en comparación a los otros escenarios. Según lo observado en la figura 102 de tiempos totales para todo el tramo, en el escenario de Ola Verde el tiempo es de 223 segundos (3 minutos 43 segundos); resultando 19 segundos menos que el mismo escenario sin comportamiento optimizado. Los escenarios de Mismo Semáforo y Accesibilidad en Chinchaysuyo tienen resultados de tiempos de viaje total similares (261 y 269 segundos respectivamente); siendo sus tiempos de viaje menores en cerca de 30 segundos con respecto a sus similares sin comportamiento de conductor sin optimizar. Del análisis de tiempos de viaje para

las propuestas de comportamiento de conductor optimizado, el escenario de Ola Verde es el que obtiene mejores resultados.

**Cuadro 7.** Tiempos de viaje para escenarios sin ampliación con comportamiento de conductor optimizado

Tiempos de Viaje con Comportamiento Optimizado					
Escenarios		Tiempo NA-CH (segundos)	Tiempo CH-Alisos (segundos)	Total (segundos)	Desv. Estandar
Actual	Original Metropolitano	365	57	422	51
Corto Plazo	Ola Verde	151	72	223	16
Corto Plazo	Mismo Semaforo	184	77	261	23
Corto Plazo	Accesibilidad CH	188	81	269	30

Elaboración propia.



**Figura 102.** Tiempos de viaje para escenarios sin ampliación con comportamiento de conductor optimizado. Fuente propia.

## 8.2. ANÁLISIS TIEMPOS DE VIAJE PARA EL ESCENARIO DE AMPLIACIÓN

Se realizó un total de 100 simulaciones para cada escenario de ampliación propuesto en el capítulo anterior, de los cuales se toma el promedio de los tiempos de recorrido. Los tiempos medidos fueron tomados en base a los tramos de medición descritos en capítulos y se toman como referencia los ubicados a la altura de la av. Naranjal hasta la intersección a la altura de la av. Chinchaysuyo, y el tramo de la intersección a la altura de Chinchaysuyo hasta punto de medición ubicado en la av. Los Alisos.

### 8.2.1. Análisis Tiempos de Viaje Comportamiento Conductor sin Optimizar

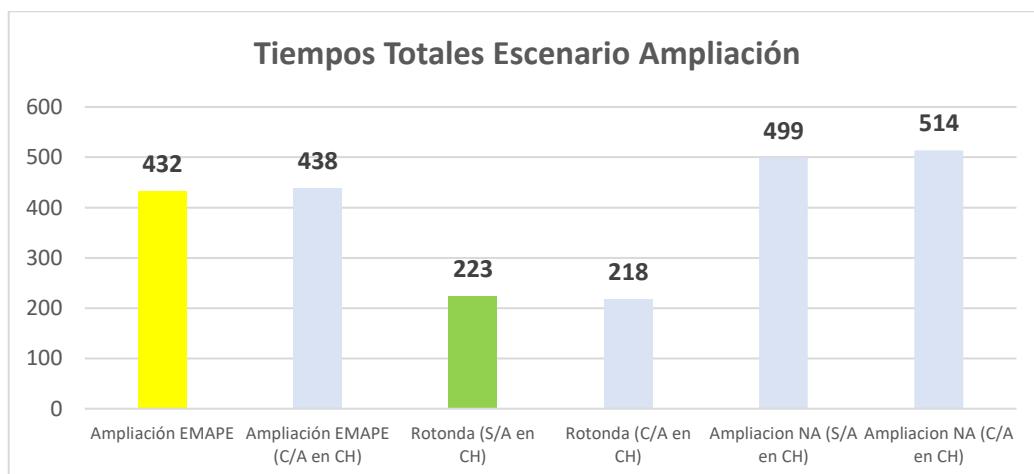
En el cuadro 8 se observa que los mayores tiempos de viaje se concentran en el tramo comprendido entre las intersecciones de Naranjal y Chinchaysuyo; mientras

que en el tramo Chinchaysuyo-Alisos, los tiempos en los escenarios de ampliación EMAPE y con accesos son mucho menores. En la figura 103 se visualiza que los tiempos totales en el escenario de Rotonda sin acceso en Chinchaysuyo el tiempo es de 223 segundos (3 minutos 43 segundos); siendo 211 segundos (3 minutos 31 segundos) menos que el escenario de ampliación propuesto por EMAPE (432 segundos). El tiempo de viaje escenario de Rotonda con acceso en Chinchaysuyo mantiene tiempos similares al otro escenario de rotonda sin acceso en Chinchaysuyo. Los dos escenarios de Ampliación con accesibilidad en Naranjal (con y sin acceso en Chinchaysuyo); tienen resultados de tiempos de viaje similares (514 y 499 segundos respectivamente); siendo sus tiempos de viaje superiores respecto a los demás escenarios. Del análisis de tiempos de viaje para las propuestas de comportamiento de conductor sin optimizar, los dos escenarios de Rotonda obtienen los mejores resultados.

**Cuadro 8.** Tiempos de viaje en los escenarios de ampliación

Tiempos de Viaje Escenario Ampliación				
Escenarios		Tiempo NA-CH (segundos)	Tiempo CH-Alisos (segundos)	Total (segundos)
Ampliación	Ampliación EMAPE	365	67	432
Ampliación	Ampliación EMAPE (C/A en CH)	368	70	438
Ampliación	Rotonda (S/A en CH)	141	82	223
Ampliación	Rotonda (C/A en CH)	138	80	218
Ampliación	Ampliacion NA (S/A en CH)	437	62	499
Ampliación	Ampliacion NA (C/A en CH)	445	69	514

Elaboración propia.

**Figura 103.** Tiempos de viaje totales para los escenarios de ampliación. Fuente propia.

### 8.2.2. Análisis Tiempos de Viaje Comportamiento Conductor Optimizado

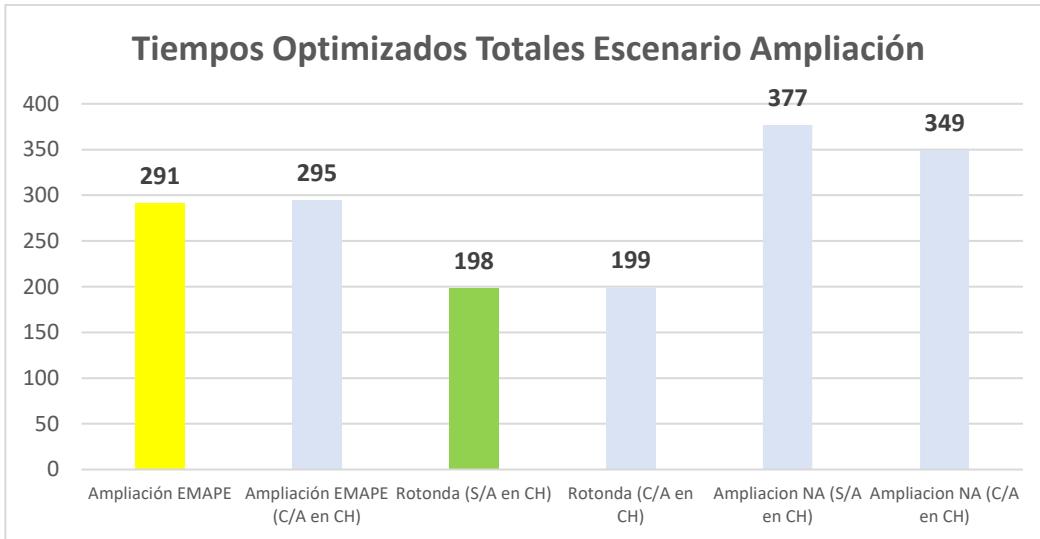
En este análisis se obtiene el desempeño del sistema tomando en cuenta que los conductores mejorarán el tipo de comportamiento debido a los cambios realizados por los escenarios futuros propuestos.

En el cuadro 9 puede observarse que los tiempos de viaje en el tramo comprendido entre las intersecciones de Naranjal y Chinchaysuyo son mucho menores en comparación a los mismos escenarios sin comportamiento de conductor optimizado. Según lo observado en la figura 104 de tiempos totales para todo el tramo, en el escenario de Rotonda sin acceso en Chinchaysuyo el tiempo es de 198 segundos (3 minutos 18 segundos); siendo 25 segundos menos a comparación del mismo escenario sin optimizar. El escenario de Rotonda con acceso en Chinchaysuyo presenta tiempos similares que el otro escenario con rotonda. Los escenarios de Ampliación con accesibilidad en Naranjal sin acceso en Chinchaysuyo y con acceso en Chinchaysuyo; tienen resultados de tiempos de viaje de 377 y 349 segundos respectivamente; siendo tiempos de viaje muy inferiores respecto sus escenarios sin optimización. El escenario proyectado por EMAPE disminuye en 141 segundos (2 minutos 21 segundos) con respecto al escenario sin optimizar; sin embargo, continúa siendo un tiempo de viaje mucho mayor a comparación de los dos escenarios con rotonda (93 segundos superior). Del análisis de tiempos de viaje para las propuestas de comportamiento de conductor optimizadas, el escenario de Rotonda sin acceso en Chinchaysuyo es el que obtiene mejores resultados.

**Cuadro 9.** Tiempos de viaje en los escenarios de ampliación con comportamiento de conductor optimizado

Tiempos de Viaje Escenario Ampliación con Comportamiento Optimizado				
	Escenarios	Tiempo NA-CH (segundos)	Tiempo CH-Alisos (segundos)	Total (segundos)
Ampliación	Ampliación EMAPE	221	70	291
Ampliación	Ampliación EMAPE (C/A en CH)	222	73	295
Ampliación	Rotonda (S/A en CH)	120	78	198
Ampliación	Rotonda (C/A en CH)	118	81	199
Ampliación	Ampliacion NA (S/A en CH)	318	59	377
Ampliación	Ampliacion NA (C/A en CH)	289	60	349

Elaboración propia.



**Figura 104.** Tiempos de viaje en los escenarios de ampliación con comportamiento de conductor optimizado. Fuente propia.

### 8.3. ANÁLISIS TIEMPOS DE VIAJE PARA EL ESCENARIO FUTURO

Se realizo un total de 100 simulaciones para cada escenario de ampliación propuesto en el capítulo anterior, de los cuales se toma el promedio de los tiempos de recorrido. Los tiempos medidos fue en base a los puntos de medición descrito en los capítulos anteriores considerando para tiempos de medición los tramos de la intersección ubicado a la altura de la av. Naranjal hasta la intersección a la altura de la av. Chinchaysuyo, y el tramo de la intersección a la altura de Chinchaysuyo hasta punto de medición ubicado en la av. Los Alisos.

#### 8.3.1. Análisis Tiempos de Viaje Comportamiento Conductor sin Optimizar

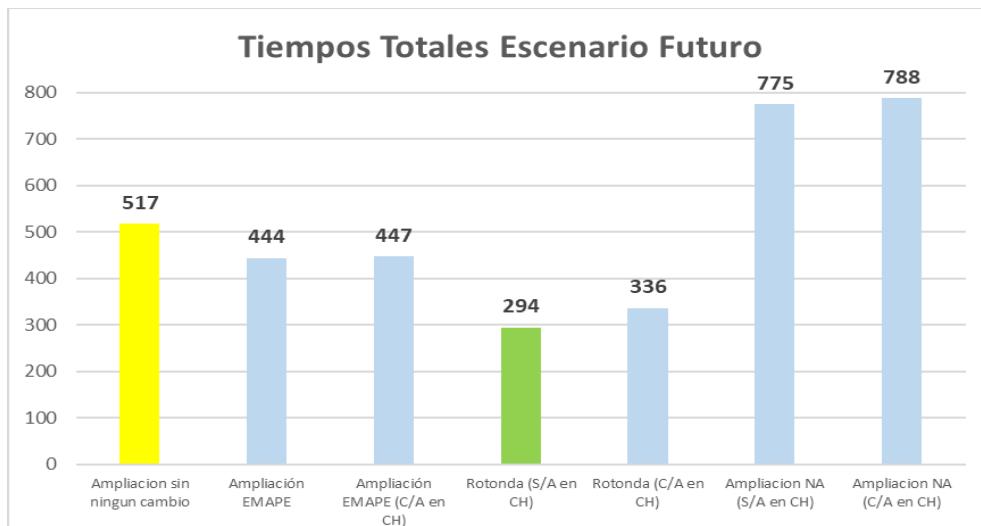
En el cuadro 10 se observa que los mayores tiempos de viaje se concentran en el tramo comprendido entre las intersecciones de Naranjal y Chinchaysuyo; mientras que en el tramo Chinchaysuyo-Alisos, los tiempos para los escenarios de ampliación EMAPE y con accesos son mucho menores. Si se considerara que se realiza el servicio de ampliación del metropolitano, sin ningún otro cambio en la vía, el tiempo de viaje total sería de 517 segundos (8 minutos 37 segundos). Según lo observado en la figura 105 de tiempos totales para todo el tramo, en el escenario de Rotonda sin acceso en Chinchaysuyo el tiempo es de 294 segundos (4 minutos 54 segundos); siendo 150 segundos (2 minutos 30 segundos) menos que el escenario de ampliación propuesto por EMAPE (444 segundos). Para el escenario de Rotonda con acceso en Chinchaysuyo el tiempo es de 336 segundos (5 minutos 36 segundos); resultando 108 segundos (1 minutos 48 segundos) menos

que el escenario de ampliación propuesto por EMAPE. Ambos escenarios de Ampliación con accesibilidad en Naranjal (con y sin acceso en Chinchaysuyo); tienen resultados de tiempos de viaje similares (729 y 720 segundos respectivamente); siendo sus tiempos de viaje muy superiores respecto a los demás escenarios. El escenario de Rotonda sin acceso en Chinchaysuyo es el que obtiene mejores resultados de tiempos de viaje.

**Cuadro 10. Tiempos de viaje en los escenarios futuros**

Tiempos de Viaje Escenario Futuro					
Escenarios		Tiempo NA-CH (segundos)	Tiempo CH-Alisos (segundos)	Total (segundos)	Desv. Estandar
Al 2030	Ampliacion sin ningun cambio	460	58	517	80
Futuro	Ampliación EMAPE	385	60	444	95
Futuro	Ampliación EMAPE (C/A en CH)	381	66	447	103
Futuro	Rotonda (S/A en CH)	155	139	294	48
Futuro	Rotonda (C/A en CH)	176	160	336	56
Futuro	Ampliacion NA (S/A en CH)	720	55	775	78
Futuro	Ampliacion NA (C/A en CH)	729	58	788	83

Elaboración propia.

**Figura 105. Tiempos de viaje totales para los escenarios futuros.** Fuente propia.

### 8.3.2. Análisis Tiempos de Viaje Comportamiento Conductor Optimizado

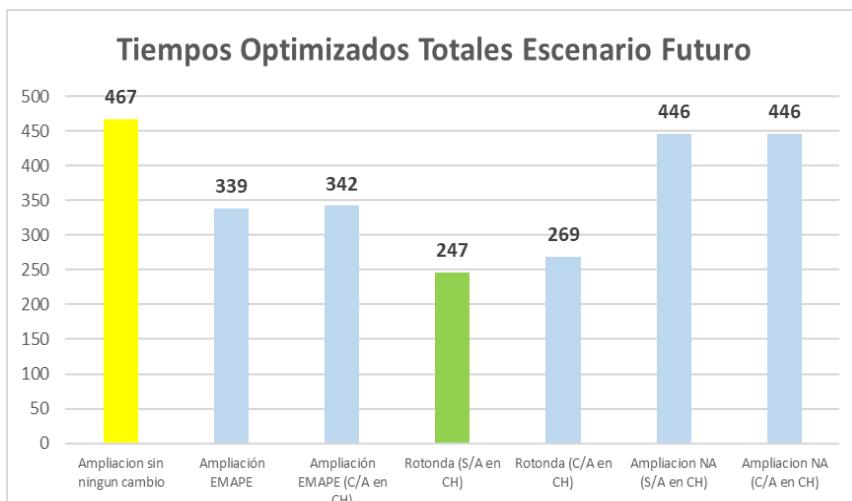
En el cuadro 11 puede observarse que los tiempos de viaje en el tramo comprendido entre las intersecciones de Naranjal y Chinchaysuyo son mucho menores en comparación a los mismos escenarios sin comportamiento de conductor optimizado. Según lo observado en la figura 106 de tiempos totales para todo el tramo, en el escenario de Rotonda sin acceso en Chinchaysuyo el tiempo es de 247 segundos (4 minutos 7 segundos); siendo 47 segundos menos a comparación del mismo escenario sin optimizar. Para el escenario de Rotonda con

acceso en Chinchaysuyo el tiempo es de 269 segundos (4 minutos 29 segundos); siendo 89 segundos menos que el mismo escenario, pero sin comportamiento optimizado. Los escenarios de Ampliación con accesibilidad en Naranjal sin acceso en Chinchaysuyo y con acceso en Chinchaysuyo; tienen resultados de tiempos de viaje similares de 298 y 282 segundos respectivamente; siendo tiempos de viaje muy inferiores respecto sus escenarios sin optimización. El escenario proyectado por EMAPE disminuye en 105 segundos (1 minutos 45 segundos) con respecto al escenario sin optimizar; sin embargo, continúa siendo un tiempo de viaje mucho mayor a comparación de los dos escenarios con rotonda (92 segundos superior al escenario de rotonda sin acceso en Chinchaysuyo y 70 segundos para el de rotonda con acceso en Chinchaysuyo). Del análisis de tiempos de viaje para las propuestas de comportamiento de conductor sin optimizar, el escenario de Rotonda sin acceso en Chinchaysuyo es el que obtiene mejores resultados.

**Cuadro 11.** Tiempos de viaje en los escenarios futuros con comportamiento de conductor optimizado

Tiempos de Viaje Escenario Futuro con Comportamiento Optimizado					
Escenarios		Tiempo NA-CH (segundos)	Tiempo CH-Alisos (segundos)	Total (segundos)	Desv. Estandar
AI 2030	Ampliacion sin ningun cambio	405	62	467	62
Futuro	Ampliación EMAPE	264	75	339	63
Futuro	Ampliación EMAPE (C/A en CH)	257	86	342	46
Futuro	Rotonda (S/A en CH)	182	64	247	66
Futuro	Rotonda (C/A en CH)	201	68	269	64
Futuro	Ampliacion NA (S/A en CH)	298	148	446	49
Futuro	Ampliacion NA (C/A en CH)	282	165	446	58

Elaboración propia.



**Figura 106.** Tiempos de viaje en los escenarios futuros con comportamiento de conductor optimizado. Fuente propia.

#### 8.4. ANÁLISIS TIEMPOS DE DEMORA Y NIVELES DE SERVICIO EN EL ESCENARIO SIN AMPLIACIÓN

De las simulaciones efectuadas por cada escenario planteado, se toma la información de los tiempos de demora obtenidos. Estos tiempos medidos fueron tomados para cada intersección del tramo de estudio; es decir, para las intersecciones de las av. Naranjal, Chinchaysuyo y Alisos.

El nivel de servicio para la intersección se calcula en función a los tiempos de demora registrados, y sus valores son asignados según el HCM 2010. Sin embargo, al obtener resultados de tiempos de demora muy superiores a los 80 segundos; se optó por realizar una segmentación en la clasificación de los niveles de servicio considerando subdivisiones dentro de los niveles ya considerados por el HCM 2010 y que puedan describir mejor la condición de servicio para cada intersección. En el cuadro 12 se observa la propuesta de subdivisión de niveles de servicio adoptada para el análisis de resultados de los escenarios.

**Cuadro 12.** Asignación de niveles de servicio según tiempos de demora

Nivel de Servicio	Tiempo de Demora (segundos)
A	[0, 10]
B	<10, 20]
C1	<20, 28]
C2	<28, 35]
D1	<35, 45]
D2	<45, 55]
E1	<55, 68]
E2	<68, 80]
F1	<80, 140]
F2	<140, 200]
F3	<200, 260]
F4	<260, 320]
F5	<320, 380]
F6	<380, 440]
F7	<440, 500]
F8	<500, 560]
F9	<560, 620]
F10	620 <

Elaboración propia.

#### 8.4.1. Análisis Tiempos de Demora Comportamiento Conductor sin Optimizar

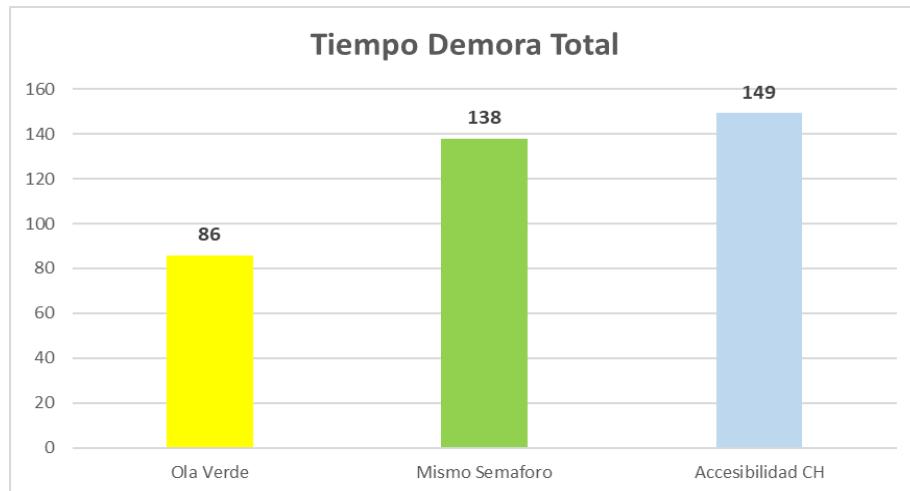
En este análisis se obtiene el desempeño del sistema respecto a los tiempos de demora para cada escenario sin ampliación, tomando en cuenta que los conductores mantendrán el mismo tipo de comportamiento obtenido producto de la calibración del sistema.

En el cuadro 13 puede observarse que, para el escenario original, los mayores tiempos de demora se concentran en el tramo comprendido en la intersección de Chinchaysuyo; mientras que en las otras dos intersecciones los tiempos de demora son mucho menores. Para los tres escenarios propuestos, el tiempo de demora en la intersección de Chinchaysuyo se reduce considerablemente en comparación al escenario base medido. Según lo observado en la figura 107 de tiempos de demora totales para todo el tramo, en el escenario de Ola Verde el tiempo acumulado es de 86 segundos (1 minutos 2 segundos); resultando 277 segundos (4 minutos 37 segundos) menos que el escenario original. Los escenarios de Mismo Semáforo y Accesibilidad en Chinchaysuyo tienen resultados de tiempos de demora total similares (138 y 149 segundos respectivamente); siendo sus tiempos de viaje menores en más de 210 segundos (3 minutos 30 segundos) con respecto al escenario original. Del análisis de tiempos de demora para las propuestas de comportamiento de conductor sin optimizar, el escenario de Ola Verde es el que obtiene mejores resultados.

**Cuadro 13. Tiempos de demora en los escenarios sin ampliación**

Tiempos de Demora					
Escenarios		NARANJAL	CHINCHAYSUYO	ALISOS	Total
Actual	Original Metropolitano	23	307	33	363
Corto Plazo	Ola Verde	23	26	36	86
Corto Plazo	Mismo Semaforo	24	75	39	138
Corto Plazo	Accesibilidad CH	24	81	45	149

Elaboración propia.



**Figura 107.** Tiempos de demora totales para los escenarios sin ampliación. Fuente propia.

En el cuadro 14 se muestra el nivel de servicio por cada intersección. Se observa que todos mantienen un nivel de servicio similar en la intersección de Naranjal y Alisos; sin embargo, en la intersección de Chinchaysuyo el nivel de servicio para el escenario original del metropolitano es pésimo (F6). Para la misma intersección de Chinchaysuyo, los escenarios de Mismo Semáforo y Accesibilidad presentan también un nivel de servicio malo (E2 y F1 respectivamente), pero comparativamente mucho mejor a la del escenario original del Metropolitano. En la figura 108 se muestra que escenario de Ola Verde presenta mejores niveles de servicio, siendo uno regular (C1) para la intersección de Chinchaysuyo; y mucho mejor a comparación de los otros escenarios considerados.

**Cuadro 14.** Niveles de servicio en los escenarios sin ampliación

Nivel de Servicio con Comportamiento Optimizado				
Escenarios		NARANJAL	CHINCHAYSUYO	ALISOS
Actual	Original Metropolitano	C1	F6	C2
Corto Plazo	Ola Verde	C1	C1	D1
Corto Plazo	Mismo Semaforo	C1	E2	D1
Corto Plazo	Accesibilidad CH	C1	F1	D1

Elaboración propia.

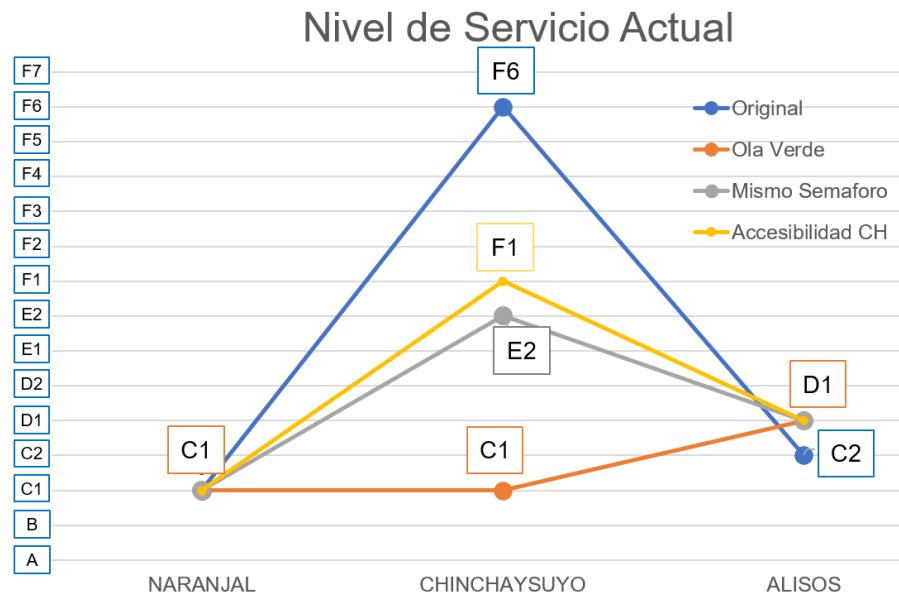


Figura 108. Distribución de Niveles de Servicio en los escenarios sin ampliación. Fuente propia.

#### 8.4.2. Análisis Tiempos de Demora Comportamiento Conductor Optimizado

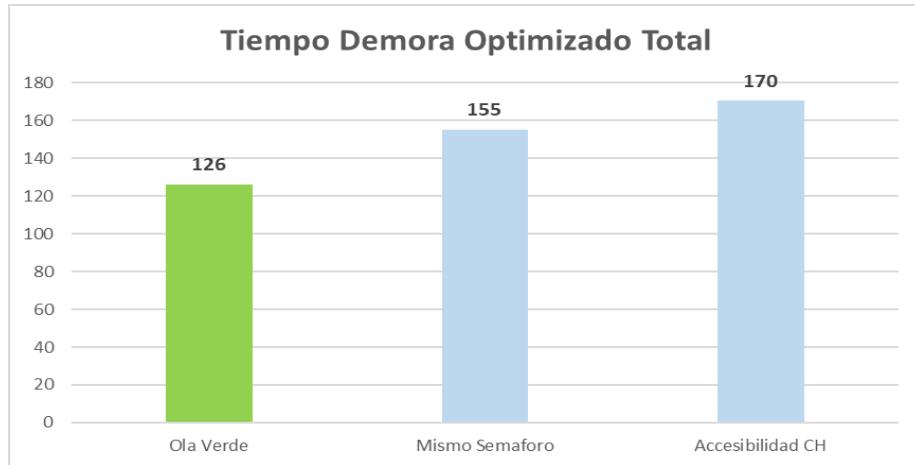
En este análisis se obtiene el desempeño del sistema respecto a los tiempos de demora para cada escenario sin ampliación, tomando en cuenta que los conductores mejorarán el tipo de comportamiento debido a los cambios realizados por los escenarios futuros propuestos.

En el cuadro 15 puede observarse que, para la intersección de Naranjal, los tiempos de demora en las tres intersecciones ha aumentado en comparación sus escenarios similares, pero sin comportamiento de conductor optimizado. En la intersección de Chinchaysuyo sucede el caso inverso; mientras que, para la intersección de Alisos, los tiempos de demora se mantienen similares. De forma general los tiempos de demora totales para los tres escenarios con tiempo optimizado son mayores que sus similares sin comportamiento optimizado. De la figura 109 analizando los tiempos de demora para las propuestas de comportamiento de conductor optimizado, el escenario de Ola Verde es el que obtiene mejores resultados con 126 segundos (40 segundos más de demora que el escenario sin comportamiento optimizado).

**Cuadro 15.** Tiempos de demora en los escenarios sin ampliación con comportamiento de conductor optimizado

Tiempos de Demora con Comportamiento Optimizado					
Escenarios		NARANJAL	CHINCHAYSUYO	ALISOS	Total
Corto Plazo	Ola Verde	67	22	37	126
Corto Plazo	Mismo Semaforo	56	60	39	155
Corto Plazo	Accesibilidad CH	65	61	45	170

Elaboración propia.



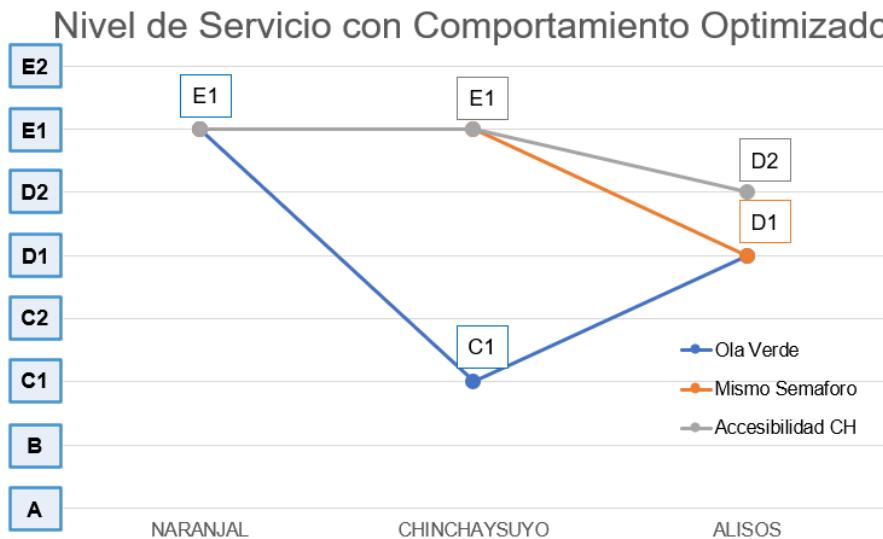
**Figura 109.** Tiempos de demora totales en los escenarios futuros con comportamiento de conductor optimizado. Fuente propia.

En el cuadro 16 se muestra el nivel de servicio por cada intersección. Se observa que los tres escenarios todos mantienen un nivel de servicio similar en la intersección de Naranjal y Alisos. Para la intersección de Chinchaysuyo, los escenarios de Mismo Semáforo y Accesibilidad presentan un mejor nivel de servicio con respecto a sus pares de comportamiento no optimizado de conductor (siendo E1 para ambos escenarios); sin embargo, este continúa siendo un nivel de servicio malo. En la figura 110 se muestra que escenario de Ola Verde presenta mejores niveles de servicio en cada intersección, a comparación de los otros dos escenarios; no obstante, el nivel de servicio en la intersección de Naranjal pasa a ser malo (E1), cuando el escenario sin comportamiento optimizado tenía un nivel de servicio regular (C1).

**Cuadro 16.** Niveles de servicio en los escenarios sin ampliación con comportamiento de conductor optimizado

Nivel de Servicio con Comportamiento Optimizado				
Escenarios		NARANJAL	CHINCHAYSUYO	ALISOS
Corto Plazo	Ola Verde	E1	C1	D1
Corto Plazo	Mismo Semaforo	E1	E1	D1
Corto Plazo	Accesibilidad CH	E1	E1	D2

Elaboración propia.



**Figura 110.** Distribución de niveles de servicio en el escenario sin ampliación con comportamiento de conductor optimizado. Fuente propia.

## 8.5. ANÁLISIS TIEMPOS DE DEMORA Y NIVELES DE SERVICIO PARA EL ESCENARIO DE AMPLIACIÓN

De las simulaciones efectuadas por cada escenario sin ampliación considerado, se toma también la información de los tiempos de demora obtenidos. Estos tiempos medidos fueron tomados para cada intersección del tramo de estudio; es decir, para las intersecciones de las av. Naranjal, Chinchaysuyo y Alisos.

### 8.5.1. Análisis Tiempos de Demora Conductor sin Optimizar

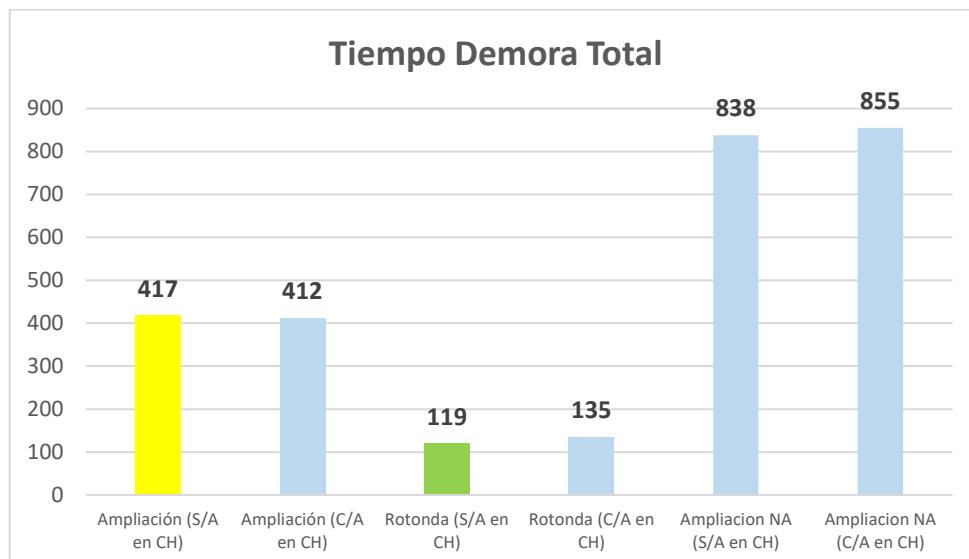
En el cuadro 17 puede observarse que los mayores tiempos de demora, para casi todos los escenarios, se concentran en la intersección de Naranjal; siendo que, para los escenarios de ampliación, los tiempos de demora se concentran en la intersección de Naranjal. Según lo observado en la figura 111 de tiempos de demora totales para todo el tramo, en el escenario de Rotonda sin acceso en Chinchaysuyo el tiempo es de 119 segundos (1 minutos 59 segundos); siendo 298 segundos (4 minutos 58 segundos) menos que el escenario de ampliación

propuesto por EMAPE (417 segundos). El escenario de Rotonda con acceso en Chinchaysuyo tiene un tiempo similar al otro escenario de rotonda, siendo de 135 segundos (3 minutos 15 segundos). Los escenarios de Ampliación con accesibilidad en Naranjal (con y sin acceso en Chinchaysuyo); tienen resultados de tiempos de demora similares (855 y 838 segundos respectivamente); siendo sus tiempos muy superiores respecto a los escenarios de rotonda. Del análisis de tiempos de demora para las propuestas de comportamiento de conductor sin optimizar, el escenario de Rotonda sin acceso en Chinchaysuyo es el que obtiene mejores resultados.

**Cuadro 17.** Tiempos de demora en los escenarios de ampliación

Tiempos de Demora Escenario Ampliación					
Escenarios		NARANJAL	CHINCHAYSUYO	ALISOS	Total
Ampliación	Ampliación (S/A en CH)	375	19	23	417
Ampliación	Ampliación (C/A en CH)	366	20	26	412
Ampliación	Rotonda (S/A en CH)	46	26	47	119
Ampliación	Rotonda (C/A en CH)	50	26	59	135
Ampliación	Ampliacion NA (S/A en CH)	803	17	18	838
Ampliación	Ampliacion NA (C/A en CH)	816	18	21	855

Elaboración propia.

**Figura 111.** Tiempos de demora totales en los escenarios de ampliación. Fuente propia.

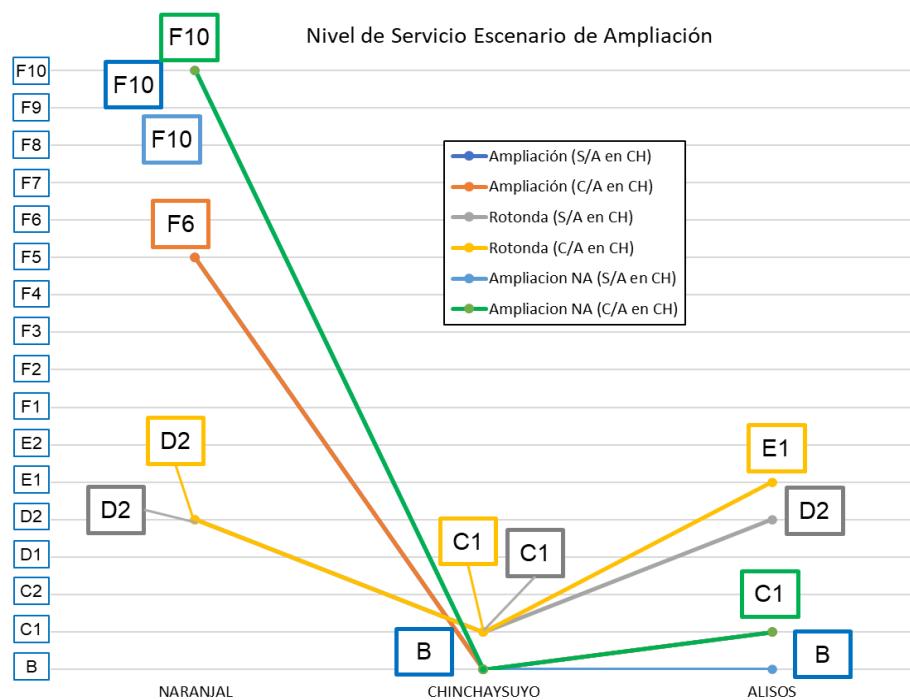
El cuadro 18 muestra el nivel de servicio por cada intersección y escenario. Se observa que los niveles más críticos se dan en la intersección de Naranjal, siendo que en ambos escenarios de ampliación tanto proyectados por EMAPE como los de acceso en Naranjal; alcanzan un nivel de servicio superior al F5. El nivel de

servicio para ambos escenarios de rotonda es malo (D2); pero ofreciendo un servicio mucho mejor a comparación de los otros escenarios de ampliación. En las intersecciones de Chinchaysuyo y Naranjal, los niveles de servicio de los escenarios de ampliación son entre buenos y regulares (oscilando entre los niveles de servicio B y C1). Los escenarios de rotonda presentan un nivel de servicio entre regular y malo. En la figura 112, observando la magnitud del nivel de servicio en cada intersección; el escenario con rotonda sin acceso en Chinchaysuyo mantiene un mejor desempeño en los niveles de servicio.

**Cuadro 18.** Niveles de Servicio en los escenarios de ampliación

		Nivel de Servicio Escenario Ampliación		
Escenarios		NARANJAL	CHINCHAYSUYO	ALISOS
Ampliación	Ampliación (S/A en CH)	F5	B	C1
Ampliación	Ampliación (C/A en CH)	F5	B	C1
Ampliación	Rotonda (S/A en CH)	D2	C1	D2
Ampliación	Rotonda (C/A en CH)	D2	C1	E1
Ampliación	Ampliacion NA (S/A en CH)	F10	B	B
Ampliación	Ampliacion NA (C/A en CH)	F10	B	C1

Elaboración propia.



**Figura 112.** Distribución niveles de servicio en los escenarios de ampliación. Fuente propia.

#### 8.5.2. Análisis Tiempos de Demora Conductor Optimizado

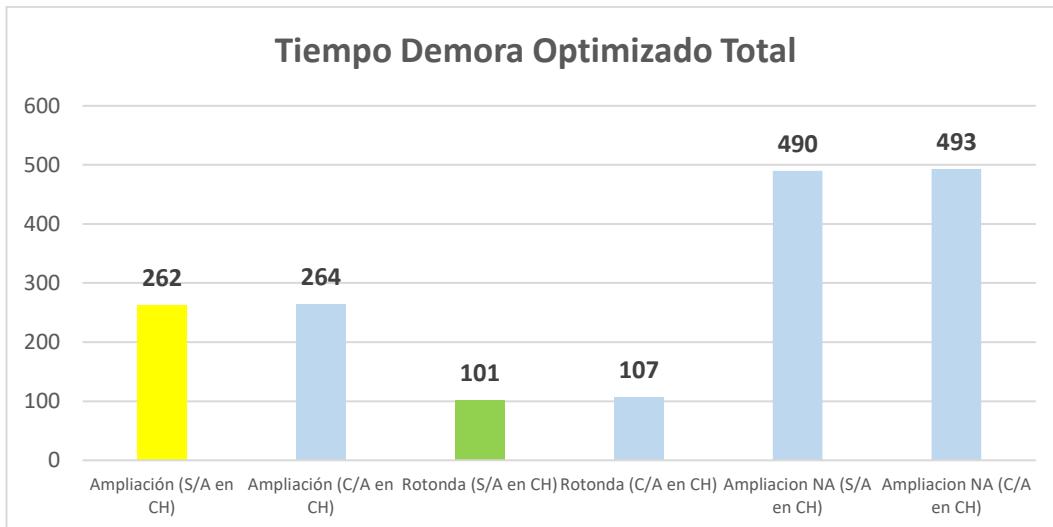
En el cuadro 19 puede observarse que los tiempos de demora, los escenarios de ampliación proyectado por EMAPE con acceso en Naranjal y/o Chinchaysuyo

presentan mejores tiempos en comparación a los de comportamiento sin optimizar. En el caso de la ampliación proyectada por EMAPE, se observa que el tiempo de demora disminuye en unos 212 segundos (3 minutos 32 segundos) a comparación de su similar con comportamiento optimizado. En las otras intersecciones, los tiempos de demora se mantienen casi similares para casi todos los escenarios. Según lo observado en la figura 113 de tiempos de demora totales para todo el tramo, en el escenario de Rotonda sin acceso en Chinchaysuyo el tiempo es de 101 segundos (1 minuto 41 segundos); siendo 161 segundos (2 minutos 41 segundos) menos que el escenario de ampliación propuesto por EMAPE (262 segundos); siendo la diferencia de tiempos de demora totales entre ambos escenarios mucho menor a comparación del escenario sin comportamiento optimizado. Para el escenario de Rotonda con acceso en Chinchaysuyo el tiempo de demora es de 107 segundos (1 minuto 47 segundos); resultando 155 segundos (2 minutos 25 segundos) menos que el escenario de ampliación propuesto por EMAPE. Los escenarios de Ampliación con accesibilidad en Naranjal sin acceso en Chinchaysuyo y con acceso en Chinchaysuyo; tienen resultados de tiempos de demora similares (490 y 493 segundos respectivamente); siendo sus tiempos muy superiores respecto a los escenarios de rotonda. Del análisis de tiempos de demora para las propuestas de comportamiento de conductor sin optimizar, el escenario de Rotonda sin acceso en Chinchaysuyo es el que obtiene mejores resultados; sin embargo, presenta mayores tiempos de demora a comparación del escenario de comportamiento de conductor sin optimizar.

**Cuadro 19.** Tiempos de demora en los escenarios de ampliación con comportamiento de conductor optimizado

Tiempos de Demora Escenario Ampliación Comportamiento Optimizado		NARANJAL	CHINCHAYSUYO	ALISOS	Total
Escenarios					
Ampliación	Ampliación (S/A en CH)	205	23	34	262
Ampliación	Ampliación (C/A en CH)	203	24	37	264
Ampliación	Rotonda (S/A en CH)	40	20	41	101
Ampliación	Rotonda (C/A en CH)	39	19	49	107
Ampliación	Ampliacion NA (S/A en CH)	449	18	23	490
Ampliación	Ampliacion NA (C/A en CH)	450	18	25	493

Elaboración propia.



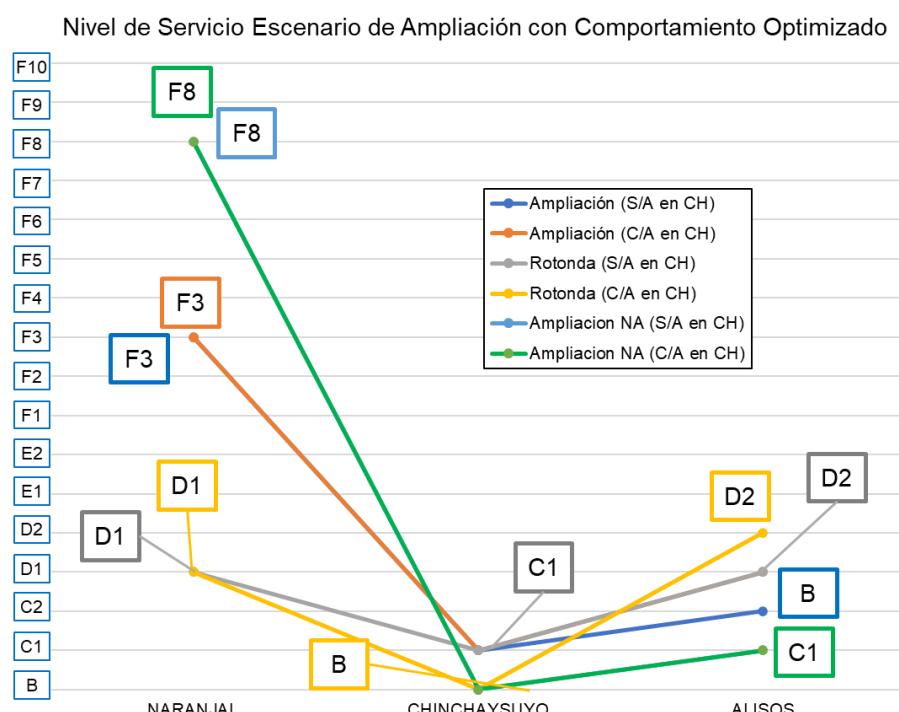
**Figura 113.** Tiempos de demora totales en los escenarios de ampliación con comportamiento de conductor optimizado. Fuente propia.

En el cuadro 20 se muestra el nivel de servicio por cada intersección y escenario. Se observa que los niveles más críticos se dan en la intersección de Naranjal, siendo que en los escenarios de ampliación tanto con acceso en Naranjal alcanzan niveles de servicio F8, mientras que en los escenarios de ampliación proyectados por EMAPE presentan niveles de servicio F3. El nivel de servicio para ambos escenarios de rotonda es malo (E2) y también peor que sus similares de comportamiento sin optimizar; pero ofreciendo a forma general un servicio mucho mejor a comparación de los otros escenarios de ampliación. En las intersecciones de Chinchaysuyo y Naranjal, los niveles de servicio de los escenarios de ampliación son entre buenos y regulares (oscilando entre los niveles de servicio B y C1). Por su parte, los escenarios de rotonda presentan un nivel de servicio entre regular y malo. En la figura 114, observando la magnitud del nivel de servicio en cada intersección; el escenario con rotonda sin acceso en Chinchaysuyo, aunque en menor magnitud que su similar de comportamiento sin optimizar, mantiene un mejor desempeño en los niveles de servicio.

**Cuadro 20.** Niveles de servicio en los escenarios de ampliación con comportamiento de conductor optimizado

Nivel de Servicio Escenario Ampliación Comportamiento Optimizado				
Escenarios		NARANJAL	CHINCHAYSUYO	ALISOS
Ampliación	Ampliación (S/A en CH)	F3	C1	C2
Ampliación	Ampliación (C/A en CH)	F3	C1	D1
Ampliación	Rotonda (S/A en CH)	D1	C1	D1
Ampliación	Rotonda (C/A en CH)	D1	B	D2
Ampliación	Ampliacion NA (S/A en CH)	F8	B	C1
Ampliación	Ampliaciion NA (C/A en CH)	F8	B	C1

Elaboración propia.



**Figura 114.** Distribución niveles de servicio en los escenarios de ampliación con comportamiento de conductor optimizado. Fuente propia

## 8.6. ANÁLISIS TIEMPOS DE DEMORA Y NIVELES DE SERVICIO PARA EL ESCENARIO FUTURO

De las simulaciones efectuadas por cada escenario sin ampliación planteado, se toma también la información de los tiempos de demora obtenidos. Estos tiempos medidos fueron tomados para cada intersección del tramo de estudio; es decir, para las intersecciones de las av. Naranjal, Chinchaysuyo y Alisos.

#### 8.6.1. Análisis Tiempos de Demora Conductor sin Optimizar

En este análisis se obtiene el desempeño del sistema respecto a los tiempos de demora para cada escenario sin ampliación, tomando en cuenta que los

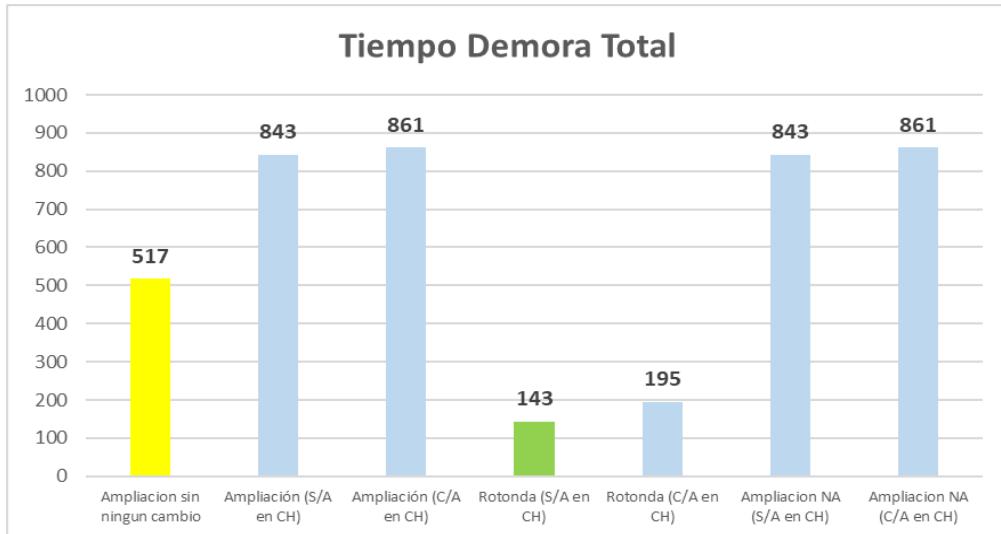
conductores mantendrán el mismo tipo de comportamiento obtenido producto de la calibración del sistema.

En el cuadro 21 puede observarse que los mayores tiempos de demora, para casi todos los escenarios, se concentran en la intersección de Naranjal; siendo que, para los escenarios sin ampliación, los tiempos de demora suceden en la intersección de Chinchaysuyo. Si se considerara que se realiza el servicio de ampliación del metropolitano, sin ningún otro cambio en la vía, el tiempo de demora total sería de 517 segundos (8 minutos 37 segundos). Según lo observado en la figura 115 de tiempos de demora totales para todo el tramo, en el escenario de Rotonda sin acceso en Chinchaysuyo el tiempo es de 143 segundos (2 minutos 23 segundos); siendo 700 segundos (11 minutos 40 segundos) menos que el escenario de ampliación propuesto por EMAPE (843 segundos). Para el escenario de Rotonda con acceso en Chinchaysuyo el tiempo de demora es de 195 segundos (3 minutos 15 segundos); resultando 648 segundos (10 minutos 48 segundos) menos que el escenario de ampliación propuesto por EMAPE. Los escenarios de Ampliación con accesibilidad en Naranjal sin acceso en Chinchaysuyo y con acceso en Chinchaysuyo; tienen resultados de tiempos de demora similares (843 y 861 segundos respectivamente); siendo sus tiempos muy superiores respecto a los escenarios de rotonda. Del análisis de tiempos de demora para las propuestas de comportamiento de conductor sin optimizar, el escenario de Rotonda sin acceso en Chinchaysuyo es el que obtiene mejores resultados. También se puede afirmar que, con el proyecto de ampliación del metropolitano, la intersección de naranjal es la que mayor afectación tendrá en cuanto a tiempos de demora.

**Cuadro 21. Tiempos de demora en los escenarios futuros**

Tiempos de Demora Escenario Futuro					
Escenarios		NARANJAL	CHINCHAYSUYO	ALISOS	Total
Futuro	Ampliacion sin ningun cambio	439	58	21	517
Futuro	Ampliación (S/A en CH)	807	17	19	843
Futuro	Ampliación (C/A en CH)	821	17	22	861
Futuro	Rotonda (S/A en CH)	50	31	62	143
Futuro	Rotonda (C/A en CH)	50	66	79	195
Futuro	Ampliacion NA (S/A en CH)	807	17	19	843
Futuro	Ampliacion NA (C/A en CH)	821	17	22	861

Elaboración propia.



**Figura 115.** Tiempos de demora totales en los escenarios futuros. Fuente propia.

En el cuadro 22 se muestra el nivel de servicio por cada intersección y escenario. Se observa que los niveles más críticos se dan en la intersección de Naranjal, siendo que en los escenarios de ampliación tanto con acceso en Naranjal y/o acceso en Chinchaysuyo; el nivel de servicio alcanza a ser F10. El nivel de servicio para ambos escenarios de rotonda es malo (D2); pero ofreciendo un servicio mucho mejor a comparación de los otros escenarios de ampliación. En las intersecciones de Chinchaysuyo y Naranjal, los niveles de servicio de los escenarios de ampliación son entre buenos y regulares (oscilando entre los niveles de servicio B y C1). Los escenarios de rotonda presentan un nivel de servicio entre regular y malo. En la figura 116, observando la magnitud del nivel de servicio en cada intersección; el escenario con rotonda sin acceso en Chinchaysuyo mantiene un mejor desempeño en los niveles de servicio.

**Cuadro 22.** Niveles de Servicio en los escenarios futuros

Nivel de Servicio Escenario Futuro				
	Escenarios	NARANJAL	CHINCHAYSUYO	ALISOS
	Ampliacion sin ningun cambio	F6	E1	C1
Futuro	Ampliación (S/A en CH)	F10	B	B
Futuro	Ampliación (C/A en CH)	F10	B	B
Futuro	Rotonda (S/A en CH)	D2	C2	E1
Futuro	Rotonda (C/A en CH)	D2	E1	E2
Futuro	Ampliacion NA (S/A en CH)	F10	B	C1
Futuro	Ampliacion NA (C/A en CH)	F10	B	C1

Elaboración propia.

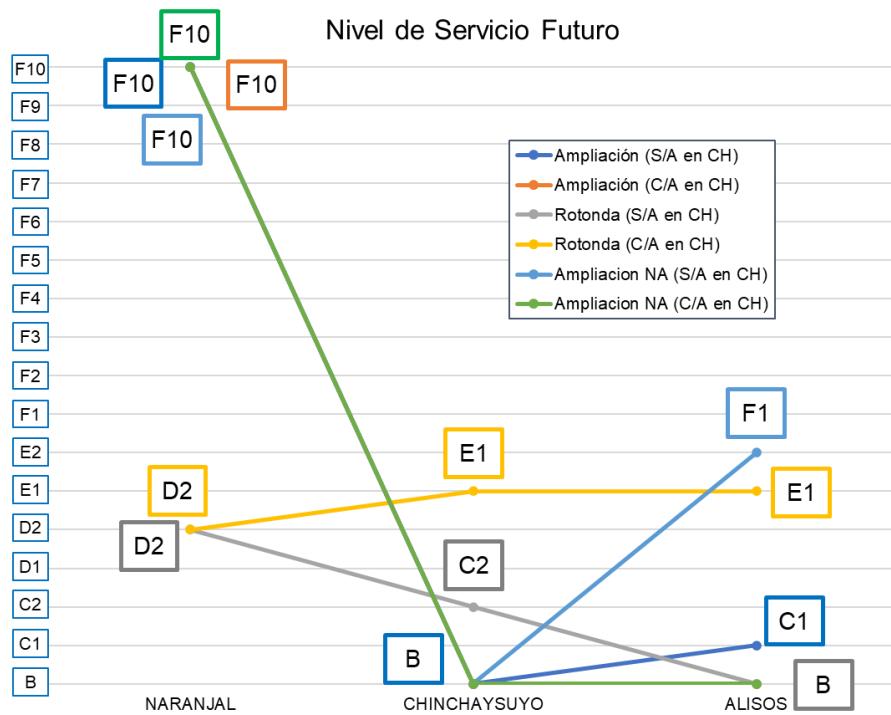


Figura 116. Distribución niveles de servicio en los escenarios futuros. Fuente propia.

#### 8.6.2. Análisis Tiempos de Demora Conductor Optimizado

En este análisis se obtiene el desempeño del sistema respecto a los tiempos de demora para cada escenario sin ampliación, tomando en cuenta que los conductores mejorarán el tipo de comportamiento debido a los cambios realizados por los escenarios futuros propuestos.

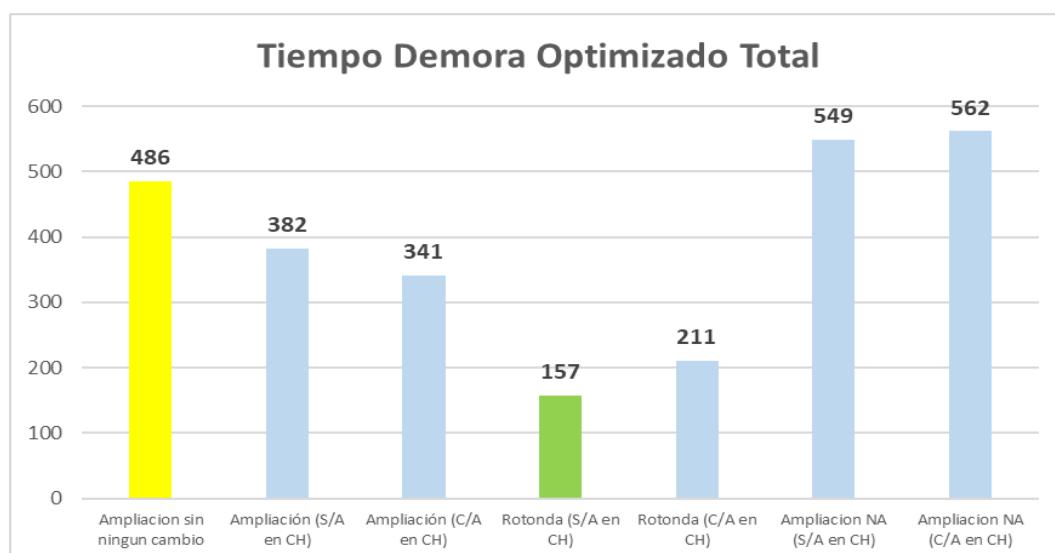
En el cuadro 23 puede observarse que los tiempos de demora, los escenarios de ampliación proyectado por EMAPE con acceso en Naranjal y/o Chinchaysuyo presentan mejores tiempos en comparación a los de comportamiento sin optimizar. En el caso de la ampliación proyectada por EMAPE, se observa que el tiempo de demora disminuye en unos 526 segundos (8 minutos 46 segundos) a comparación de su similar con comportamiento optimizado. En las otras intersecciones, los tiempos de demora se mantienen casi similares para casi todos los escenarios. Según lo observado en la figura 117 de tiempos de demora totales para todo el tramo, en el escenario de Rotonda sin acceso en Chinchaysuyo el tiempo es de 157 segundos (2 minutos 37 segundos); siendo 225 segundos (3 minutos 45 segundos) menos que el escenario de ampliación propuesto por EMAPE (382 segundos); siendo la diferencia de tiempos de demora totales entre ambos escenarios mucho menor a comparación del escenario sin comportamiento optimizado. Para el escenario de Rotonda con acceso en Chinchaysuyo el tiempo

de demora es de 211 segundos (3 minutos 31 segundos); resultando 171 segundos (2 minutos 51 segundos) menos que el escenario de ampliación propuesto por EMAPE. Los escenarios de Ampliación con accesibilidad en Naranjal sin acceso en Chinchaysuyo y con acceso en Chinchaysuyo; tienen resultados de tiempos de demora similares (503 y 512 segundos respectivamente); siendo sus tiempos muy superiores respecto a los escenarios de rotonda. Del análisis de tiempos de demora para las propuestas de comportamiento de conductor sin optimizar, el escenario de Rotonda sin acceso en Chinchaysuyo es el que obtiene mejores resultados; sin embargo, presenta mayores tiempos de demora a comparación del escenario de comportamiento de conductor sin optimizar.

**Cuadro 23.** Tiempos de demora en los escenarios futuros con comportamiento de conductor optimizado

Tiempos de Demora Escenario Futuro					
Escenarios		NARANJAL	CHINCHAYSUYO	ALISOS	Total
Futuro	Ampliacion sin ningun cambio	362	98	25	486
Futuro	Ampliación (S/A en CH)	281	20	81	382
Futuro	Ampliación (C/A en CH)	271	21	48	341
Futuro	Rotonda (S/A en CH)	72	26	59	157
Futuro	Rotonda (C/A en CH)	75	59	78	211
Futuro	Ampliacion NA (S/A en CH)	503	18	28	549
Futuro	Ampliacion NA (C/A en CH)	512	18	31	562

Elaboración propia.



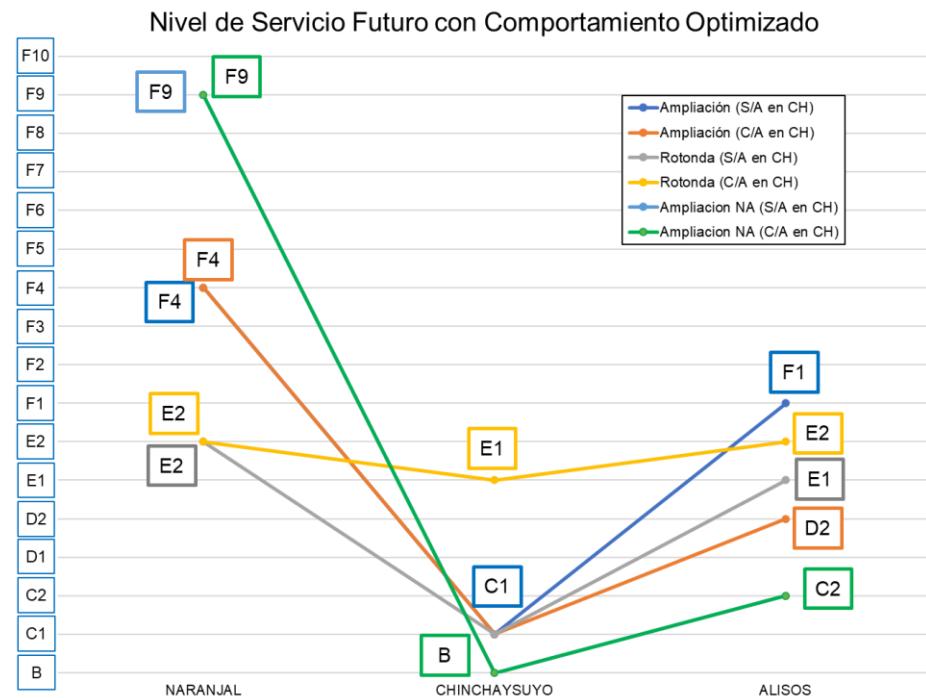
**Figura 117.** Tiempos de demora totales en los escenarios futuros con comportamiento de conductor optimizado. Fuente propia.

En el cuadro 24 se muestra el nivel de servicio por cada intersección y escenario. Se observa que los niveles más críticos se dan en la intersección de Naranjal, siendo que en los escenarios de ampliación tanto con acceso en Naranjal y/o acceso en Chinchaysuyo; el nivel de servicio alcanza a ser entre F4 y F5. El nivel de servicio para ambos escenarios de rotonda es malo (E2) y también peor que sus similares de comportamiento sin optimizar; pero ofreciendo un servicio mucho mejor a comparación de los otros escenarios de ampliación. En las intersecciones de Chinchaysuyo y Naranjal, los niveles de servicio de los escenarios de ampliación son entre buenos y regulares (oscilando entre los niveles de servicio B y C1). Por su parte, los escenarios de rotonda presentan un nivel de servicio entre regular y malo. En la figura 118, observando la magnitud del nivel de servicio en cada intersección; el escenario con rotonda sin acceso en Chinchaysuyo, aunque en menor magnitud que su similar de comportamiento sin optimizar, mantiene un mejor desempeño en los niveles de servicio.

**Cuadro 24.** Niveles de servicio en los escenarios futuros con comportamiento de conductor optimizado

Nivel de Servicio Futuro con Comportamiento Optimizado				
Escenarios		NARANJAL	CHINCHAYSUYO	ALISOS
	Ampliacion sin ningun cambio	F5	F1	C1
Futuro	Ampliación (S/A en CH)	F4	C1	F1
Futuro	Ampliación (C/A en CH)	F4	C1	F1
Futuro	Rotonda (S/A en CH)	E2	C1	E1
Futuro	Rotonda (C/A en CH)	E2	E1	E2
Futuro	Ampliacion NA (S/A en CH)	F4	C1	D2
Futuro	Ampliacion NA (C/A en CH)	F4	C1	D2

Elaboración propia.



**Figura 118.** Distribución niveles de servicio en los escenarios futuros con comportamiento de conductor optimizado. Fuente propia.

## CONCLUSIONES

Los parámetros de comportamiento de conductor seleccionados a partir del proceso de calibración y validación del modelo de simulación generan una desviación de los tiempos de viaje por cada punto evaluado de menos de tres segundos. La poca diferencia entre los tiempos de viaje simulados y los obtenidos en campo denota la buena aproximación y desempeño del modelo.

En el escenario sin ampliación, la alternativa de ola verde es la que mejor desempeño obtiene; logrando una reducir el tiempo de viaje en un 46% (3 minutos 29 segundos) con respecto al escenario base del tramo evaluado. Las intervenciones sobre la intersección de Chinchaysuyo son las de mayor impacto en la reducción de tiempos de viaje y nivel de servicio; el cual pasa de un nivel de servicio F6 (306 segundos de demora) en el escenario base a un nivel de servicio C1 (26 segundos) en el escenario de ola verde.

Las intervenciones aplicadas sobre la intersección de Chinchaysuyo, como la inclusión de semáforos previo al cruce de las av. Túpac Amaru y Gerardo Unger, erradicaría el total de los conflictos direccionales tráfico que se generan actualmente. Asimismo, incluir un cruce peatonal para los usuarios del metropolitano suprimir el conflicto peatón-vehículo existente en la zona de cruce; y permitiría que los peatones crucen de forma más segura.

La alternativa de Accesibilidad en Chinchaysuyo reduce el tiempo de viaje un 34% (2 minutos 33 segundos) con respecto al escenario base. Mantiene las mismas intervenciones que el escenario de ola verde, y adicionalmente incluye un acceso para que los vehículos crucen directamente desde la av. Chinchaysuyo hacia el sentido norte-sur de la av. Túpac Amaru; permitiendo mejorar el tiempo de viaje, seguridad y accesibilidad sobre el área de estudio.

La optimización de los parámetros de comportamiento de conductor, los choferes de los vehículos actúan de forma menos agresiva; mantienen una mayor distancia en la proximidad entre vehículos por mayores intervalos de tiempo, y evitan realizar maniobras de cambio de carril de manera continua. En el escenario de ola verde, la reducción de tiempos de viaje con este tipo de comportamiento es del 50%, la cual es una disminución similar al 46% obtenido en el mismo escenario, pero sin comportamiento optimizado. Esto indica que las intervenciones sobre la

operación del flujo vehicular tienen un mayor impacto en comparación si los conductores cambiaron su comportamiento de conducción a uno menos agresivo.

En el escenario futuro con horizonte el año 2030, el nivel de servicio para la propuesta del proyecto de ampliación del metropolitano decae significativamente en la intersección de Naranjal; pasando de ser C1 (23 segundos de demora) en el modelo original, a ser F10 (807 segundos de demora). Este aumento dramático se debe a que la extensión del carril exclusivo del metropolitano genera que el ciclo semafórico aumente de dos a cuatro fases, y por ende también el tiempo total del ciclo semafórico. Este escenario afecta principalmente a los vehículos que tienen un destino diferente al del corredor BRT, y a los pobladores de Independencia los cuales ven afectado su accesibilidad con el resto de la ciudad; ya que los vehículos deben desviar su trayectoria al menos 600 metros adicionales para doblar hacia el sentido norte-sur de la av. Túpac Amaru y recorrer otros 600 metros más por esta avenida en hora pico para continuar con su recorrido.

La inclusión de una rotonda en la intersección Naranjal atenúa la disminución del nivel de servicio, pasando de ser C1 en el escenario original (23 segundos de demora) a un nivel de servicio D2 (50 segundos de demora) en el escenario de ampliación proyectado al año 2030. Asimismo, el tiempo de viaje para ese mismo horizonte trazado, también se reduce en un 33.4% (2 minutos y 31 segundos) en comparación al desempeño del escenario de ampliación del metropolitano planificado. La propuesta de rotonda permite que vehículos provenientes de la Calle 1 y la av. Chinchaysuyo mantengan su acceso a girar por la av. Naranjal y conectarse con el resto de las vías de la ciudad, sin ser más segregados por la ampliación del corredor BRT del Metropolitano.

Si bien el escenario considerado para el proyecto de ampliación del sistema BRT del metropolitano es el de EMAPE; debería tomarse en consideración intervenciones propuestas tanto para la intersección de Chinchaysuyo como de Alisos ya que han demostrado en esta investigación que reducen los tiempos de viaje de manera significativa, mejora la seguridad vial para cruces peatonales e intersecciones conflictivas, y mejoraría la accesibilidad para un sector que se ha visto cada vez más segregado ante la construcción del sistema BRT del Metropolitano.

## RECOMENDACIONES

El uso del software de modelamiento de tránsito PTV Vissim, basado en el modelo de Wiedemann para representar el comportamiento de conductor, nos ayudó a recrear de manera precisa el escenario sin ampliación del área de estudio; y evaluar los escenarios alternativos y futuros que generen el mejor desempeño en los tiempos de viaje para el cumplimiento de los objetivos de nuestra investigación.

El uso de imágenes aérea obtenidas mediante grabaciones de dron, permitió obtener una información muy completa sobre el flujo vehicular y peatonal, tiempos de viaje, y evaluar de forma integral el comportamiento de los vehículos sobre las vías de las intersecciones de estudio. Asimismo, poder observar de forma total cada intersección, favorece en la toma de decisiones y planteamiento de mejores propuestas.

Realizar el análisis de sensibilidad aplicando Hipercubos latinos, permite analizar de forma eficiente las variables y el rango de valores de estas, que tienen mayor influencia sobre el modelo; mientras que el uso de Algoritmos Genéticos optimiza el empleo de recursos computacionales en el proceso de calibración, ya que posibilita encontrar de manera eficaz, la combinación de variables que aproxima el modelo respecto los valores obtenidos de campo.

Futuras investigaciones deberían considerar enfocarse evaluar el flujo de tráfico en horas distintas a las desarrolladas por el presente estudio; así como extender la investigación hacia otras intersecciones de la av. Túpac Amaru como la de Izaguirre, Los Pinos, Tomas Valle y Caquetá que presentan una gran demanda vehicular y que son también focos atractores de viajes.

En el análisis de resultados de escenarios se observan tiempos de demora como en la intersección Naranjal en el escenario proyectado por EMAPE (807 segundos) y el escenario base para la intersección de Chinchaysuyo (307 segundos); a pesar de la diferencia de 500 segundos en los tiempos de demora ambos son catalogados una clasificación F según el HCM. Por ello que, en nuestro medio la clasificación sobre el nivel de servicio operacional de una vía recomendada por el HCM requiere de una mayor discretización, ya que dentro de un mismo nivel pueden existir casos mucho peores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcalá Ramos, M. A. (2016). *Micro simulación del tráfico de la intersección de las avenidas Bolívar, Córdova y calle Andalucía empleando el software VISSIM 6* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6685>
- Alcalde Sánchez, C. D., & Larrea Quina, D. R. (2020). *Redistribución de las funciones de accesibilidad y movilidad para reducir los conflictos peatón-vehículo en los alrededores de la estación Naranjal del Metropolitano* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/650410>
- Amundsen, F. & Hyden, C. (1977). Proceedings of the First workshop on traffic Conflicts. Lund: Institute of Transport Economics
- Ballesteros, P. P., & Medina, R. D. (2003). Determinación del periodo de calentamiento en simulaciones de estado estable. *Scientia et technica*, 3(23), 43-48. <https://doi.org/10.22517/23447214.7381>
- Bull, A., y CEPAL, N.U (2003). *Congestión de tránsito: el problema y cómo enfrentarlo*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://hdl.handle.net/11362/27813>
- Cal, R., Mayor, R., y James Cárdenas, G. (2018). *Ingeniería de tránsito* (9º ed.). Alfaomega Grupo Editor
- Calvert, C., Tale, H., Snelder, M., & Hoogendoorn, S. (2014). Application of advanced sampling for efficient probabilistic traffic modelling. *Transportation Research Part C*, 49, 87–102. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2014.10.013>
- Campuzano, Ó. P. (2018, 24 abril). *Metropolitano al tope: Quejas y problemas por alta demanda*. El Comercio Perú. <https://elcomercio.pe/lima/transporte/metropolitano-tope-quejas-problemas-alta-demanda-noticia-514487-noticia/?ref=ecr>
- Castro, L. (2014). *Hacia un sistema de movilidad urbana integral y sustentable en la zona metropolitana del Valle de México* [Tesis de maestría, Universidad Iberoamericana Ciudad de México]. Biblioteca Francisco Xavier Clavigero. <http://www.bib.uia.mx/tesis/pdf/015845/015845.pdf>

- Cerquera, F. (2007). Capacidad y niveles de servicio de la infraestructura vial. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Escuela Ingeniería de Transporte y Vías, Colombia.
- Del Aguila Panduro, R. (2017). *Propuesta de implementación de un Sistema Inteligente de Transporte para la mejora de las condiciones viales en el tramo de la Panamericana Norte entre av. Los Alisos y av. Abancay* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/622505>
- Dowling, R., Skabardonis, A., & Alexiadis, V. (2004). *Traffic analysis toolbox, volume III: Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software* (No. FHWA-HRT-04-040). United States. Federal Highway Administration. Office of Operations
- Escobedo Zavala, R., & Estela Cifuentes, J. (2019). *Propuesta de mejoramiento de los niveles de servicio en la intersección de las avenidas Primavera y Velasco Astete mediante la aplicación de tecnologías basadas en el uso de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS)*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio académico UPC. <http://hdl.handle.net/10757/635424>
- Espejel-Garcia, D., Saniger-Alba, J. A., Wenglas-Lara, G., Espejel-Garcia, V. V., & Villalobos-Aragon, A. (2017). A Comparison among Manual and Automatic Calibration Methods in VISSIM in an Expressway (Chihuahua, Mexico). *Open Journal of Civil Engineering*, 7(4), 539-552. <https://doi.org/10.4236/ojce.2017.74036>
- Falkenberg, G., Blase, A., Bonfranchi, T., Cosse, L., Draeger, W., Vortisch, P., ... & Zimmermann, A. (2003). Bemessung von Radverkehrsanlagen unter verkehrstechnischen Gesichtspunkten. Berichte Der Bundesanstalt Fuer Strassenwesen. Unterreihe Verkehrstechnik, (103).
- Fellendorf, M., & Vortisch, P. (2010). *Microscopic traffic flow simulator VISSIM. In Fundamentals of traffic simulation* (pp. 63-93). Springer, New York, NY.
- Flores, A., & Quispe, L. (2018, abril). *Esto proponen expertos en transporte para solucionar caos vehicular en Lima*. Agencia Peruana de Noticias Andina. <https://andina.pe/agencia/noticia-esto-proponen-expertos-transporte-para-solucionar-caos-vehicular-lima-705551.aspx>
- Flores, L. (2023). *Hacia un modelo de gestión del tráfico como medio para incrementar la resiliencia del transporte urbano caso: Vía expresa de*

- Paseo de la República, Lima. [Tesis doctoral inédita, Pontificia Universidad Católica del Perú]
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning* (1º ed.). Addison-Wesley Longman, Reading, MA.
- Hernandez, E. G. (2009). *Desarrollo de un modelo de simulación vehicular para la mejora en la sincronización de semáforos*. [Tesis de maestría, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica]. INAOE repositorio. <http://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1009/379>
- Jobanputra, R., & VanderSchuren, M. J. W. A. (2012). *Calibration and validation of a micro-simulation model for a local arterial in Cape Town*. SATC 2012.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2022, 17 enero). *Lima supera los 10 millones de habitantes al año 2022*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Recuperado 24 de mayo de 2023, de <https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/noticias/nota-de-prensa-no-006-2022-inei.pdf>
- Lara, Julián (2015, 27 octubre). *Sistemas Inteligentes de Transporte: Marco Europeo*. EADIC - Cursos y Master para Ingenieros y Arquitectos. <https://www.eadic.com/sistemas-inteligentes-de-transporte-2/#:%7E:text=%E2%80%9CLos%20Sistemas%20Inteligentes%20de%20Transporte,un%20uso%20m%C3%A1s%20seguro%2C%20m%C3%A1s>
- Lima Como Vamos. (2019, octubre). Decimo informe urbano de percepción sobre calidad de vida en la ciudad. CONCIBA SAC.
- Manheim, M. L. (1976). Transportation systems analysis: A personal view. *Transportation Research*, 10(6), 371-375.
- Manheim, M. L. (1979). *Fundamentals of Transportation systems analysis; Volume 1: Basic concepts* (1º ed.). Mit Press.
- Mathew, T. V., & Radhakrishnan, P. (2010). Calibration of microsimulation models for nonlane-based heterogeneous traffic at signalized intersections. *Journal of Urban Planning and Development*, 136(1), 59-66. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9488\(2010\)136:1\(59\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9488(2010)136:1(59))
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). (2016, junio). Reglamento Nacional del Sistema de Emisión de Licencias de Conducir. El Peruano.
- Montenegro, J., & Lozano, A. D. (2013). Simulación microscópica del tránsito. In 13th World Conference on Transport Research Society (pp. 1-18).

- Moreno, B. (2016, julio). *Estudio de tránsito: impactos, resultados y herramientas.* EADIC - Cursos y Master para Ingenieros y Arquitectos. <https://www.eadic.com/estudio-de-transito-impactos-resultados-y-herramientas/>
- Mozo, J. (2011). *Análisis de Capacidad y Nivel de Servicio de Segmentos Básicos de Autopistas, Segmentos Trenzados y Rampas de acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras HCM2000 aplicando MathCad* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3541577>
- Municipalidad de Lima. (2019, abril). *Ampliación norte del metropolitano.* Municipalidad de Lima <https://aplicativos.munlima.gob.pe/ampliacion-metropolitano>
- Pérez de la Cruz, R. (2017). *Analisis y mejora Microscopica del corredor Vial Tacna-Arequipa, tramo Juan Pardo-Manuel Segura.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/9293>
- Pérez Zuriaga, A. M., Camacho Torregrosa, F. J., & López Maldonado, G. (2019). Conflicto de Tráfico.
- Pons, J. M. S., Reynés, M. R. M., & de la Terra, D. C. (2004). *Los sistemas inteligentes de transporte y sus efectos en la movilidad urbana e interurbana.* Geo Crítica/Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales. Barcelona: Universidad de Barcelona, 1, 170-60.
- PTV GROUP. (2021, 31 mayo). *Simulación del flujo vial.* PTV-Group. <https://www.ptvgroup.com/es/soluciones/productos/ptv-vissim-nuevo/areas-de-aplicacion/simulacion-del-flujo-vial/>
- PTV Planung Transport Verkehr AG. (2014). *Manual PTV Vissim-Curso Vissim Basico.* PTV AG.
- Quintero-González, J. R. (2017). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. *Ambiente y Desarrollo*, 21(40), 57-72. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd21-40.citm>
- Sancho F. (2018, octubre). *Algoritmos Genéticos.* Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial de la universidad de Sevilla [https://www.cs.us.es/~fsancho/Blog/posts/Algoritmos\\_Geneticos.md.html](https://www.cs.us.es/~fsancho/Blog/posts/Algoritmos_Geneticos.md.html)

- Sanz, A. (1997, junio). *Movilidad y accesibilidad: un esfuerzo para la sostenibilidad urbana.* CIUDADES PARA UN FUTURO MÁS SOSTENIBLE: <http://habitat.aq.upm.es/cs/p3/a013.html>
- Secretaría de Desarrollo Social en México (SEDESOL). (1992). *Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito; Tomo XII, Programa de Asistencia Técnica en Transporte Urbano para las Ciudades Medianas Mexicanas* Dirección General de Ordenación del Territorio, Subsecretaría de Desarrollo Urbano y Ordenación del Territorio. Secretaría de Desarrollo Social. México
- Tello Gutierrez, A. J. N. (2018). *Evaluación y mejora de la seguridad vial peatonal y el nivel de servicio en la intersección de las avenidas los Alisos y Túpac Amaru.* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la PUCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/12923>
- Thomson, I., & Bull, A. (2002). La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. *Revista de la CEPAL*, 76(1), 109-121. <https://hdl.handle.net/11362/10804>
- Transportation Research Board. (2000). Highway Capacity Manual 2000. Transportation Research Board, National Research Council.
- Transportation Research Board. (2010). Highway Capacity Manual 2010. Transportation Research Board, National Research Council.
- Wunderlich, K. E., Vasudevan, M., & Wang, P. (2019). TAT Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software 2019 Update to the 2004 Version (No. FHWA-HOP-18-036). United States. Federal Highway Administration.

## **ANEXOS**

<b>ANEXO A: AFOROS DE VOLÚMENES VEHICULARES.....</b>	<b>172</b>
<b>ANEXO B: REGISTROS DE TIEMPOS DE VIAJE.....</b>	<b>191</b>

**ANEXO A: Aforos de volúmenes vehiculares.**

INTERSECCIÓN ALISOS																	
DISTRITO:	Independencia																
FECHA:	30.09.2021																
HORA DE INICIO:	6.30 am																
SENTIDOS DE FLUJO:	N-S/ S-N																
O-E/ E-O																	
<p><b>Av. Tupac Amaru - Av. Los Alisos</b></p> <p><b>LEYENDA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>1 Av. Tupac Amaru (N-S)</li> <li>2 Av. Tupac Amaru (S-N)</li> <li>3 Av. Yahuar Huaca (E-O)</li> <li>4 Av. Los Alisos (O-E)</li> <li>5 Aux. Tupac Amaru (S-N)</li> </ul>																	
AVENIDA: TUPAC AMARU N-S																	
1																	
It	HORA	AUTOS			COMBI			MOTOS			BUS			METROPOLITANO			TOTAL
DIRECCION	12	14	13	12	14	13	12	14	13	12	14	13	12	14	13	227	
1	06:30-06:45	106	5	21	42	0	0	32	0	1	20	0	0	38	0	0	227
2	06:45-7:00	114	4	30	45	0	2	35	0	2	23	0	0	43	0	0	255
3	07:00-07:15	140	6	18	49	0	0	39	0	0	29	0	0	57	0	0	281
4	07:15-07:30	165	3	51	65	1	3	48	0	1	31	0	0	59	0	0	368
5	07:30-7:45	120	5	37	53	0	3	40	0	1	26	0	0	39	0	0	285
6	07:45-8:00	99	6	31	47	0	1	35	0	6	22	0	0	44	0	0	247
7	08:00-8:15	98	7	31	57	0	2	39	0	4	23	0	0	37	2	0	261
8	08:15-8:30	95	5	32	51	0	1	41	0	6	26	0	0	35	1	0	257
9	08:30-8:45	76	3	25	40	0	1	36	0	5	21	0	0	28	1	0	236
10	8:45-9:00	61	1	19	32	0	0	25	0	2	15	0	0	23	1	0	179

AVENIDA: TUPAC AMARU S-N																	
2																	
It	HORA	AUTOS			COMBI			MOTOS			BUS			METROPOLITANO			TOTAL
		⬇️	⬇️	⬇️	⬇️	⬇️	⬇️	⬇️	⬇️	⬇️	⬇️	⬇️	⬇️	⬇️	⬇️	⬇️	
	DIRECCION	22	23	21	22	23	21	22	23	21	22	23	21	22	23	21	
1	06:30-06:45	50	4	5	46	0	0	11	0	1	15	0	0	55	0	0	132
2	06:45-7:00	57	5	7	50	1	0	10	0	2	12	0	0	49	0	0	144
3	07:00-07:15	41	5	8	46	0	0	8	0	5	26	0	0	51	0	0	139
4	07:15-07:30	64	6	9	64	2	0	14	0	3	3	0	0	65	0	0	165
5	07:30-7:45	71	6	6	57	1	0	8	1	0	8	1	0	50	0	0	159
6	07:45-8:00	64	2	6	44	2	0	10	0	0	12	0	0	39	0	0	140
7	08:00-8:15	55	4	8	44	0	0	9	1	2	10	0	1	35	0	0	134
8	08:15-8:30	52	5	5	40	0	0	7	1	1	8	0	1	25	0	0	120
9	08:30-8:45	47	5	3	36	0	0	6	0	1	7	0	0	23	0	0	105
10	8:45-9:00	38	2	2	29	0	0	5	0	1	6	0	0	18	0	0	83

AVENIDA: YAHUAR HUACA (E-O)																		
3																		
It	HORA	AUTOS			COMBI			MOTOS			BUS			BRT			TOTAL	
		➡️	⬆️	➡️	➡️	➡️	➡️	➡️	⬆️	➡️	➡️	➡️	➡️	➡️	➡️	➡️		
	DIRECCION	32	31	33(1)	33	32	31	33(1)	33	32	31	33(1)	33	32	31	33(1)	33	
1	06:30-06:45	38	34	2	1	5	14	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	100
2	06:45-7:00	42	25	1	1	4	11	0	0	2	3	0	0	1	4	0	0	94
3	07:00-07:15	47	19	0	0	7	14	0	0	3	0	0	0	0	6	0	0	96
4	07:15-07:30	69	39	0	2	4	27	0	2	5	5	1	0	1	10	0	0	165
5	07:30-7:45	30	34	2	1	6	13	0	0	6	2	0	0	0	6	0	0	100
6	07:45-8:00	53	34	1	4	2	14	0	0	8	6	0	0	3	6	0	0	131
7	08:00-8:15	44	30	0	3	5	15	0	0	8	3	0	0	1	4	1	0	114
8	08:15-8:30	75	19	6	3	8	16	0	0	8	1	0	0	1	2	1	0	140
9	08:30-8:45	68	17	3	3	7	15	0	0	7	1	0	0	1	2	1	0	125
10	8:45-9:00	54	2	2	2	6	12	0	0	6	1	0	0	1	2	1	0	89

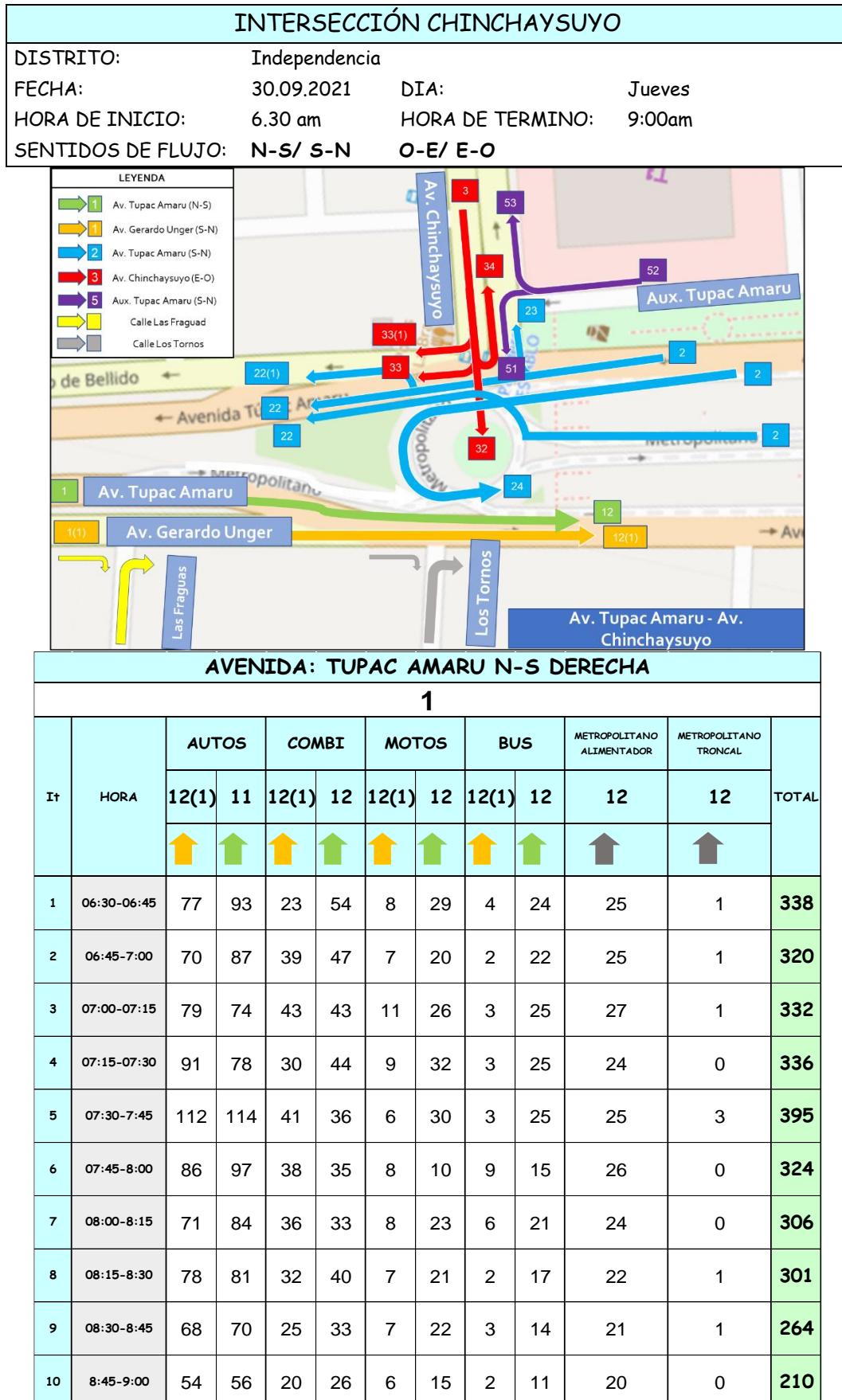


AVENIDA: YAHUAR HUACA (E-O)																	TOTAL		
It	HORA	AUTOS				COMBI				MOTOS				BUS				TOTAL	
		→	↑	↓	↔	→	↑	↓	↔	→	↑	↓	↔	→	↑	↓			
DIRECCION		32	31	33(1)	33	32	31	33(1)	33	32	31	33(1)	33	32	31	33(1)	33		
1	06:30-06:45	38	34	2	1	5	14	0	0	3	0	0	0	0	3	0	0	100	
2	06:45-7:00	42	25	1	1	4	11	0	0	2	3	0	0	1	4	0	0	94	
3	07:00-07:15	47	19	0	0	7	14	0	0	3	0	0	0	0	6	0	0	96	
4	07:15-07:30	69	39	0	2	4	27	0	2	5	5	1	0	1	10	0	0	165	
5	07:30-7:45	30	34	2	1	6	13	0	0	6	2	0	0	0	6	0	0	100	
6	07:45-8:00	53	34	1	4	2	14	0	0	8	6	0	0	3	6	0	0	131	
7	08:00-8:15	44	30	0	3	5	15	0	0	8	3	0	0	1	4	1	0	114	
8	08:15-8:30	75	19	6	3	8	16	0	0	8	1	0	0	1	2	1	0	140	
9	08:30-8:45	68	17	3	3	7	15	0	0	7	1	0	0	1	2	1	0	125	
10	8:45-9:00	54	2	2	2	6	12	0	0	6	1	0	0	1	2	1	0	89	

AVENIDA: LOS ALIOS (O-E)

4

AVENIDA: LOS ALISOS (O-E)																	
HORA	DIRECCION	AUTOS			COMBI			MOTOS			BUS			METROPOLITANO			TOTAL
		↓	↑	↔	↓	↑	↔	↓	↑	↔	↓	↑	↔	↓	↑	↔	
06:30-06:45	42	41	41(1)	43	44	44(1)	42	41	41(1)	43	44	44(1)	42	41	41(1)	43	44(1)
06:45-7:00	5	14	26	38	3	19	0	29	0	16	0	1	0	2	6	2	0
07:00-07:15	2	15	23	41	0	10	0	0	0	0	0	1	1	5	1	0	1
07:15-07:30	4	21	36	62	6	32	0	2	6	1	0	2	1	0	9	1	0
07:30-7:45	8	14	25	26	3	17	0	2	1	0	0	1	0	4	2	0	0
07:45-8:00	10	12	30	40	4	23	0	1	3	1	0	0	1	4	2	0	0
08:00-8:15	6	27	26	35	4	16	0	5	3	2	0	0	0	5	2	0	0
08:15-8:30	10	22	42	43	6	29	0	3	6	1	0	0	0	4	5	0	0
08:30-8:45	9	20	38	39	5	26	0	3	5	1	0	0	0	4	5	1	0
08:45-9:00	5	21	32	35	3	24	0	2	5	1	0	0	0	1	4	5	1



AVENIDA: TUPAC AMARU S-N																		
IT	HORA	AUTOS			COMBI			MOTOS			BUS			METROPOLITANO ALIMENTADOR			MT	TOTAL
		22	22(1)	21	22	22(1)	21	22	22(1)	21	22	22(1)	21	22	22(1)	23		
1	06:30-06:45	57	10	6	19	2	4	15	3	2	5	0	0	24	0	6	30	183
2	06:45-7:00	51	9	4	21	1	3	16	2	1	6	0	0	20	0	7	32	173
3	07:00-07:15	50	6	1	24	0	0	13	0	0	11	1	0	23	0	6	33	168
4	07:15-07:30	55	4	1	19	0	0	9	0	0	10	0	0	21	0	7	37	163
5	07:30-7:45	89	6	1	21	0	0	20	0	0	9	0	0	32	0	11	54	243
6	07:45-8:00	88	7	5	27	0	0	9	1	1	17	0	0	25	0	3	56	239
7	08:00-8:15	71	6	2	24	0	0	15	0	0	14	0	0	22	0	6	37	197
8	08:15-8:30	66	4	4	19	0	0	12	0	0	11	0	0	26	0	6	40	188
9	08:30-8:45	58	4	5	20	0	0	12	0	0	10	0	0	20	0	5	36	170
10	8:45-9:00	45	2	2	13	0	0	7	0	0	6	0	0	16	0	5	31	127

CHINCHAYSUYO													
IT	HORA	AUTOS			COMBI		MOTOS		BUS		METROPOLITANO		TOTAL
		31(1)	31	34	31(1)	31	31(1)	31	31(1)	31	31(1)	31	
1	06:30-06:45	4	22	19	0	3	2	0	0	1	9		60
2	06:45-7:00	3	23	20	0	2	1	1	0	1	12		63
3	07:00-07:15	14	24	10	0	1	1	3	1	1	9		64
4	07:15-07:30	19	30	3	0	2	0	2	0	1	10		67
5	07:30-7:45	15	27	0	1	1	2	0	0	3	10		59
6	07:45-8:00	5	31	0	1	3	4	4	0	1	5		54
7	08:00-8:15	15	28	3	0	4	3	2	0	0	8		63
8	08:15-8:30	18	25	0	0	1	1	2	0	1	7		55
9	08:30-8:45	16	25	0	0	1	1	2	0	0	6		51
10	8:45-9:00	13	21	0	0	1	1	2	0	0	5		43

AVENIDA: TUPAC AMARU S-N (AUXILIAR)												
5												
It	HORA	AUTOS		COMBI		MOTOS		BUS		METROPOLITANO		TOTAL
		53	51	53	51	53	51	53	51	53	51	
1	06:30-06:45	16	2	5	1	1	0	4	0	0	0	29
2	06:45-7:00	20	1	11	1	4	0	4	0	0	0	41
3	07:00-07:15	25	0	22	1	6	1	3	0	0	0	58
4	07:15-07:30	33	0	25	0	6	0	4	0	0	0	68
5	07:30-7:45	32	0	23	0	3	0	7	0	0	0	65
6	07:45-8:00	35	1	25	0	5	0	3	0	0	0	69
7	08:00-8:15	30	0	24	0	3	0	6	0	0	0	63
8	08:15-8:30	25	0	21	0	4	0	4	0	0	0	54
9	08:30-8:45	24	0	19	0	3	0	4	0	0	0	50
10	8:45-9:00	21	0	16	0	4	0	5	0	0	0	46

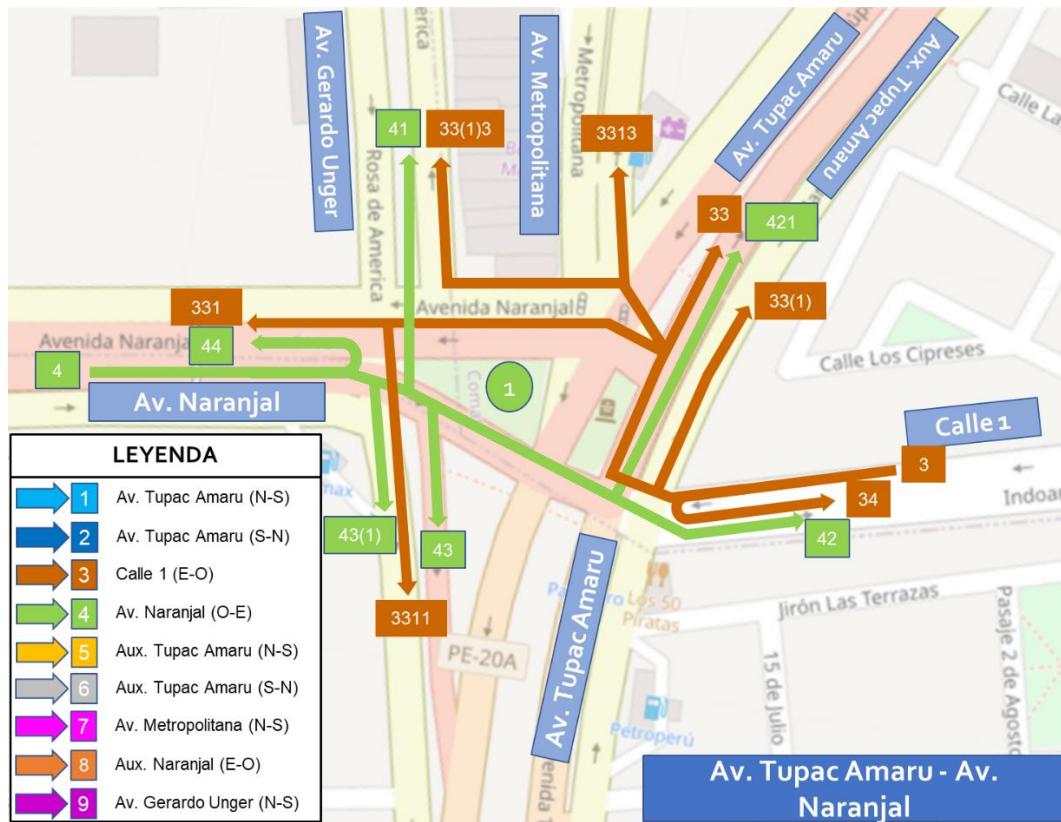
OTROS																	
6																	
It	HORA	AUTOS			COMBI			MOTOS			BUS			TOTAL			
		La fraguas	Los Tornos														
1	06:30-06:45	12	31	5	4	2	3	2	0	0	0	1	0	0	0	0	60
2	06:45-7:00	11	31	6	3	1	2	3	0	0	0	1	0	0	0	0	58
3	07:00-07:15	23	30	13	1	0	1	7	1	0	0	0	0	0	1	0	77
4	07:15-07:30	21	28	14	4	0	0	11	1	0	2	0	0	0	1	0	82
5	07:30-7:45	9	21	11	10	0	0	11	0	0	2	2	0	0	0	0	66
6	07:45-8:00	8	14	14	13	0	1	5	0	0	1	1	0	0	0	0	57
7	08:00-8:15	13	20	11	6	0	0	7	0	0	1	1	0	0	0	0	59
8	08:15-8:30	11	18	11	7	0	0	7	0	0	1	1	0	0	0	0	56
9	08:30-8:45	10	16	10	6	0	0	6	0	0	1	1	0	0	0	0	50
10	8:45-9:00	8	11	12	4	0	0	5	0	0	0	1	0	0	0	0	41



**AVENIDA: TUPAC AMARU N-S**

It	HORA	AUTOS				COMBI				MOTOS				BUS				METROPOLITANO				TOTAL
		↑	↖	↗	↑↖	↑	↖	↗	↑↖	↑	↖	↗	↑↖	↑	↖	↗	↑↖	↑	↖	↗	↑↖	
		12	11	13	131	12	11	13	131	12	11	13	131	12	11	13	131	12	11	13	131	
1	06:30-06:45	79	73	18	11	27	23	1	1	27	7	1	2	18	5	0	1	6	0	0	0	300
2	06:45-7:00	75	81	20	10	31	24	1	2	28	6	0	1	23	5	0	1	8	0	0	0	316
3	07:00-07:15	89	64	25	11	30	27	1	3	30	6	1	1	20	5	0	0	7	0	0	0	320
4	07:15-07:30	85	93	22	13	36	29	0	1	39	14	2	2	29	7	0	0	7	0	0	0	379
5	07:30-7:45	86	78	23	11	36	32	1	3	33	9	2	1	18	9	0	1	9	0	0	0	352
6	07:45-8:00	108	79	29	16	38	29	1	4	36	3	0	2	22	5	1	1	7	0	0	0	381
7	08:00-8:15	112	66	26	16	37	25	0	5	30	1	1	2	22	2	0	1	11	0	0	0	357
8	08:15-8:30	96	59	25	17	41	34	0	1	29	4	3	2	19	12	1	0	11	0	0	0	354
9	08:30-8:45	87	54	23	15	37	31	0	1	26	4	3	2	17	11	1	0	10	0	0	0	322
10	08:45-9:00	70	43	18	12	30	25	0	1	21	3	2	2	14	9	1	0	8	0	0	0	259

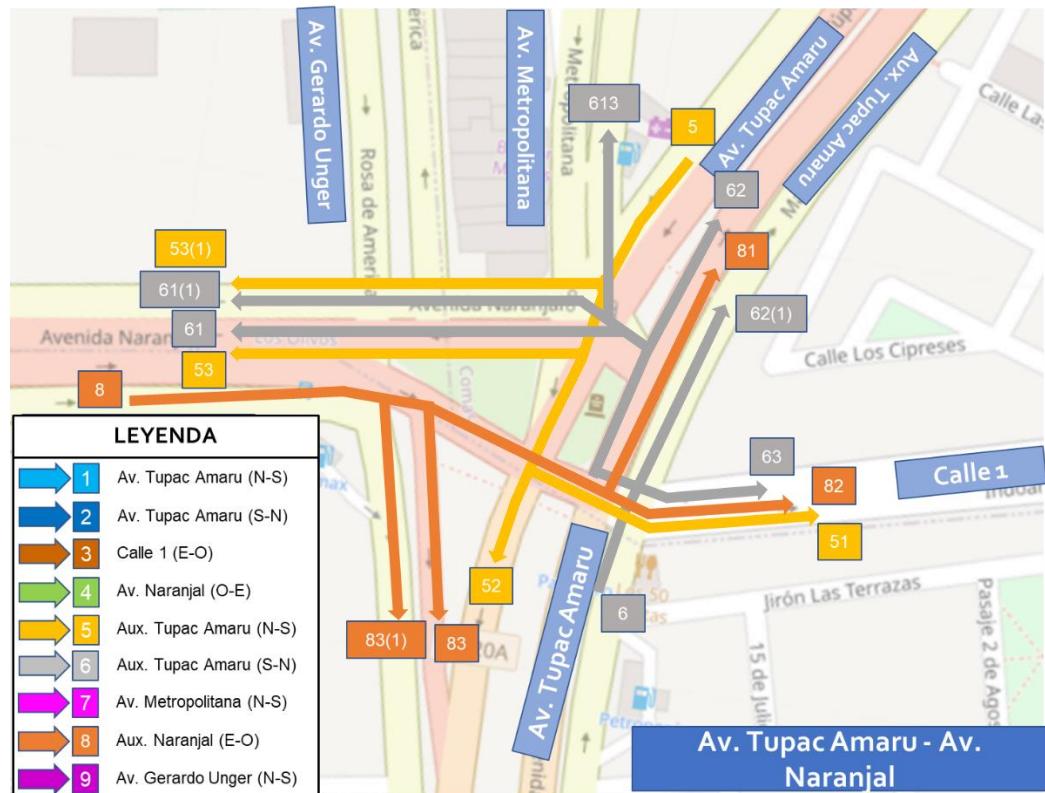
IT	HORA	AVENIDA: TUPAC AMARU S-N										METROPOLITANO ALIMENTADOR						TOTAL			
		AUTOS			COMBI			MOTOS			BUS			METROPOLITANO ALIMENTADOR			TOTAL				
		22	21	22(1)	21(1)3	213	22	21	22(1)	21(1)3	213	22	21	22(1)	21(1)3	213	22	21	22(1)	21(1)3	213
1	06:30-06:45	69	9	1	0	5	7	17	2	0	0	0	12	1	0	0	0	0	0	19	8
2	06:45-7:00	81	15	1	2	5	10	17	1	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	7
3	07:00-07:15	77	14	0	0	6	9	21	3	0	0	0	10	1	0	1	0	0	0	23	9
4	07:15-07:30	83	16	1	2	8	13	19	1	0	0	0	17	2	0	1	0	8	14	0	0
5	07:30-07:45	99	15	2	2	7	11	20	3	0	0	0	8	2	0	0	6	9	0	0	6
6	07:45-8:00	84	14	1	0	6	10	23	5	0	0	0	17	1	0	1	0	7	7	0	0
7	08:00-8:15	84	16	1	1	6	12	30	5	0	0	0	17	1	0	1	0	5	14	0	0
8	08:15-8:30	81	14	0	1	7	12	23	2	0	0	0	10	2	0	0	3	18	1	0	0
9	08:30-8:45	74	13	0	1	6	11	21	2	0	0	0	9	2	0	0	3	16	1	0	0
10	08:45-9:00	59	10	0	1	5	9	17	2	0	0	0	7	2	0	0	2	13	1	0	0





NARANJAL SUR

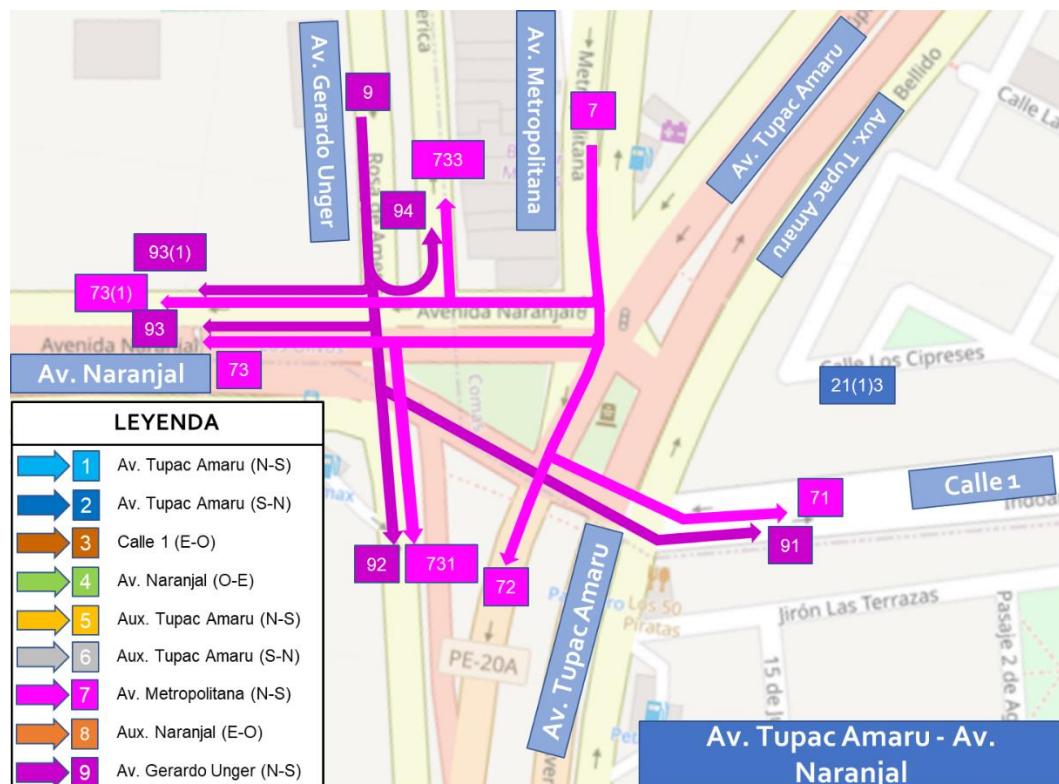
4



		AVENIDA: TUPAC AMARU N-S (AUXILIAR)										5							
Ít	HORA	AUTOS			COMBI			MOTOS			BUS			METROPOLITANO			TOTAL		
		↑	↓	↔	↑	↓	↔	↑	↓	↔	↑	↓	↔	↑	↓	↔			
1	06:30-06:45	11	148	28	0	0	1	0	0	2	18	5	0	0	1	0	0	214	
2	06:45-7:00	8	155	31	0	0	4	1	0	3	15	8	0	0	1	1	0	0	227
3	07:00-07:15	10	146	32	0	0	3	0	0	2	20	6	0	0	1	0	0	0	220
4	07:15-07:30	17	199	26	0	0	2	0	0	2	17	3	0	0	0	0	0	0	266
5	07:30-7:45	12	172	48	0	0	5	0	0	1	20	9	0	0	1	1	0	0	269
6	07:45-8:00	10	157	46	0	0	3	1	0	3	17	8	0	0	1	0	0	0	246
7	08:00-8:15	6	146	39	0	0	7	0	0	2	23	8	1	0	1	0	0	0	233
8	08:15-8:30	8	163	58	4	0	6	1	0	0	25	8	0	2	0	0	0	0	275
9	08:30-8:45	7	148	53	4	0	5	1	0	0	23	7	0	2	0	0	0	0	250
10	8:45-9:00	6	118	42	3	0	4	1	0	0	18	6	0	2	0	0	0	0	200

IT	HORA	AUTOS				COMBI				MOTOS				BUS				TOTAL	
		↓	↙	↖	↗	↓	↙	↖	↗	↓	↙	↖	↗	↓	↙	↖	↗		
1	06:30-06:45	2	4	15	3	4	4	0	0	7	0	0	0	6	5	4	0	0	54
2	06:45-7:00	5	7	20	4	5	4	0	0	16	0	0	0	5	7	5	0	0	80
3	07:00-07:15	6	3	16	3	5	3	0	1	12	0	0	0	4	5	8	0	0	67
4	07:15-07:30	2	6	17	3	5	6	0	0	22	0	0	0	6	8	9	0	0	86
5	07:30-7:45	3	6	21	5	7	4	0	0	18	0	0	0	7	4	5	0	0	81
6	07:45-8:00	13	6	22	4	7	3	0	1	8	0	0	0	8	7	5	0	0	86
7	08:00-8:15	12	4	20	4	5	2	0	1	11	0	0	0	5	5	6	0	0	75
8	08:15-8:30	6	3	19	5	4	1	0	0	5	0	0	0	3	2	1	0	0	50
9	08:30-8:45	5	3	17	5	4	1	0	0	5	0	0	0	3	2	1	0	0	47
10	8:45-9:00	4	2	14	4	3	1	0	0	4	0	0	0	2	2	1	0	0	38

NARANJAL SUR (AUXILIAR)																		
8																		
It	HORA	AUTOS				COMBI				MOTOS				BUS				TOTAL
		←	↖	↙	↗	←	↖	↙	↗	←	↖	↙	↗	←	↖	↙	↗	
		82	81	83(1)	83	82	81	83(1)	83	82	81	83(1)	83	82	81	83(1)	83	
1	06:30-06:45	9	8	5	0	0	0	3	0	0	0	2	1	1	0	0	0	29
2	06:45-7:00	9	12	4	0	0	0	4	0	0	0	1	2	1	0	0	0	33
3	07:00-07:15	10	8	5	0	1	4	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	30
4	07:15-07:30	10	10	4	0	0	0	3	0	0	0	1	2	2	0	0	0	32
5	07:30-7:45	12	11	5	0	1	5	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	39
6	07:45-8:00	13	11	6	0	0	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	34
7	08:00-8:15	12	9	12	0	1	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	39
8	08:15-8:30	12	13	5	0	1	3	0	0	0	2	1	0	1	0	0	0	38
9	08:30-8:45	11	12	5	0	1	3	0	0	0	2	1	0	1	0	0	0	36
10	8:45-9:00	9	10	4	0	1	2	0	0	0	2	1	0	1	0	0	0	30



IT	HORA	73(1)	733	731	71	72	73	73(1)	733	731	71	72	73	73(1)	733	731	71	72	AUTOS		COMBI		MOTOS		BUS		METROPOLITANO	TOTAL
																			↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓		
1	06:30-06:45	13	9	10	3	8	4	1	0	0	0	0	0	10	5	6	0	1	0	1	0	0	0	0	0	5	77	
2	06:45-7:00	21	23	9	5	6	3	0	2	0	0	0	0	9	5	3	0	0	1	2	0	0	0	0	0	2	91	
3	07:00-07:15	14	26	12	3	8	3	1	2	0	0	1	0	9	6	3	0	1	2	3	1	0	0	0	0	4	99	
4	07:15-07:30	8	28	10	3	10	3	1	3	0	0	0	0	8	6	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5	89	
5	07:30-7:45	23	27	8	3	9	3	3	4	1	0	1	0	14	7	4	0	2	1	2	1	0	0	0	0	5	118	
6	07:45-8:00	30	24	16	6	7	4	2	7	0	0	3	1	12	5	5	0	1	1	3	3	1	0	0	0	4	135	
7	08:00-8:15	10	31	14	4	12	5	1	1	0	0	1	5	6	4	0	2	1	1	1	1	0	0	0	5	106		
8	08:15-8:30	5	29	11	5	11	2	0	2	0	0	0	0	3	7	6	0	1	0	0	1	0	0	0	2	87		
9	08:30-8:45	5	26	10	5	10	2	0	2	2	0	0	0	3	6	5	0	1	0	0	1	0	0	0	2	80		
10	08:45-9:00	4	21	8	4	8	2	0	2	2	0	0	0	2	5	4	0	1	0	0	1	0	0	0	2	66		

		GERARDO UNGER																				
		9																				
It	HORA	AUTOS					COMBI					MOTOS					BUS					TOTAL
		↑	↖	↗	↙	↔	↑	↖	↗	↙	↔	↑	↖	↗	↙	↔	↑	↖	↗	↙		
		92	91	93	93(1)	94	92	91	93	93(1)	94	92	91	93	93(1)	94	92	91	93	93(1)	94	
1	06:30-06:45	51	12	4	36	1	1	0	0	4	0	7	1	0	4	16	1	0	0	1	0	139
2	06:45-7:00	55	14	6	41	1	2	0	0	3	0	4	1	0	5	13	1	0	0	2	1	149
3	07:00-07:15	61	15	4	42	2	2	0	0	3	0	3	1	0	4	15	1	0	0	2	0	155
4	07:15-07:30	65	15	8	40	1	1	0	0	10	0	9	1	0	8	21	3	0	0	3	0	185
5	07:30-7:45	67	17	3	53	2	4	0	1	3	0	8	0	1	4	12	2	0	0	3	1	181
6	07:45-8:00	79	21	4	46	2	2	0	0	1	0	2	1	0	3	18	2	0	1	3	0	185
7	08:00-8:15	83	21	5	49	2	3	0	1	2	0	1	1	0	4	24	3	0	1	2	0	202
8	08:15-8:30	71	18	6	55	4	4	0	0	2	0	8	0	0	2	19	3	0	1	5	0	198
9	08:30-8:45	65	16	5	50	4	4	0	0	2	0	7	0	0	2	17	3	0	1	5	0	181
10	8:45-9:00	52	13	4	40	3	3	0	0	2	0	6	0	0	2	14	2	0	1	4	0	146

**ANEXO B: Registros de Tiempos de Viaje**

INTERSECCIÓN ALISOS				
DISTRITO:	Independencia			
FECHA:	30.09.2021	DIA:		Jueves
HORA DE INICIO:	7.00 am	HORA DE TERMINO:		8:00am
SENTIDOS DE FLUJO:	TÚPAC AMARU N-S			

AVENIDA ALISOS				
Numero	1° Punto	2° Punto	Vehiculo	Semaforo
1	45.41	50.37	Auto	R
2	50.10	0.00	Auto	R
3	9.51	0.00	Auto	V
4	5.19	8.94	Auto	V
5	8.57	0.00	Auto	V
6	9.87	17.87	Auto	V
7	8.73	14.16	Auto	V
8	7.34	11.68	Auto	V
9	6.62	10.85	Motocicleta	V
10	28.97	36.10	Combi	V
11	28.22	34.32	Combi	V
12	7.25	11.47	Auto	V
13	10.31	16.46	Bus	V
14	10.69	16.44	Auto	V
15	24.12	0.00	Auto	V
16	23.97	0.00	Auto	V
17	11.65	16.34	Auto	V
18	10.81	15.50	Combi	V
19	10.79	15.60	Auto	V
20	18.85	0.00	Auto	V
21	59.37	0.00	Auto	R
22	12.03	16.50	Combi	V
23	15.44	20.16	Auto	V
24	18.75	0.00	Auto	V
25	66.75	0.00	Auto	R
26	64.84	72.12	Combi	R
27	59.44	0.00	Auto	R
28	52.22	66.42	Auto	R
29	57.97	64.63	Auto	R
30	59.68	68.63	Auto	R
31	37.09	46.50	Auto	V
32	22.62	30.21	Combi	V
33	12.38	0.00	Auto	V
34	12.18	17.03	Auto	V
35	27.68	33.84	Bus	V
36	9.91	15.41	Auto	V
37	11.31	17.41	Auto	V
38	28.87	35.52	Auto	V
39	9.87	15.46	Auto	V
40	88.09	95.10	Combi	R
41	11.40	0.00	Auto	V
42	89.54	95.76	Auto	R
43	88.10	95.38	Motocicleta	R
44	88.65	94.09	Combi	R
45	88.55	95.15	Auto	R
46	14.07	19.13	Motocicleta	V
47	20.66	25.04	Motocicleta	V
48	79.25	83.88	Motocicleta	R
49	88.39	0.00	Motocicleta	R
50	91.10	97.82	Auto	R

AVENIDA ALISOS				
Numero	1° Punto	2° Punto	Vehiculo	Semáforo
51	85.35	91.26	Bus	R
52	83.44	89.91	Auto	R
53	83.29	89.35	Auto	R
54	82.46	89.35	Combi	R
55	83.44	0.00	Auto	R
56	83.13	88.78	Auto	R
57	81.69	88.16	Auto	R
58	77.89	0.00	Auto	R
59	77.51	82.72	Auto	R
60	76.91	0.00	Auto	R
61	79.12	0.00	Auto	R
62	9.87	15.40	Auto	V
63	20.22	26.16	Combi	V
64	9.28	13.95	Combi	V
65	11.32	15.92	Auto	V
66	17.22	0.00	Auto	V
67	10.72	17.00	Bus	V
68	11.56	17.38	Auto	V
69	30.98	39.04	Combi	V
70	11.19	16.31	Auto	V
71	12.44	16.94	Combi	V
72	24.41	31.91	Combi	V
73	13.16	20.13	Bus	V
74	79.13	87.16	Bus	R
75	64.89	72.93	Bus	R
76	11.94	17.44	Auto	V
77	12.97	18.28	Motocicleta	V
78	14.10	0.00	Auto	V
79	71.75	0.00	Auto	R
80	69.65	0.00	Auto	R
81	73.49	79.62	Auto	R
82	69.82	75.76	Auto	R
83	61.20	67.06	Auto	R
84	22.59	28.53	Combi	V
85	29.81	35.32	Combi	V
86	16.41	0.00	Motocicleta	V
87	6.75	11.21	Auto	V
88	7.06	11.03	Motocicleta	V
89	7.53	11.25	Combi	V
90	68.18	74.09	Auto	R
91	53.38	57.57	Motocicleta	R
92	63.44	70.41	Auto	R
93	21.43	28.15	Combi	V
94	22.25	28.42	Combi	V
95	9.44	0.00	Auto	V
96	9.12	0.00	Motocicleta	V
97	9.59	15.93	Bus	V
98	8.47	14.01	Metropolitano	V
99	15.47	20.58	Combi	V
100	10.16	15.57	Auto	V

AVENIDA ALISOS				
Numero	1° Punto	2° Punto	Vehiculo	Semaforo
101	15.59	0.00	Auto	V
102	18.47	25.53	Met	V
103	8.19	13.81	Auto	V
104	8.50	13.62	Auto	V
105	7.94	12.66	Auto	V
106	8.41	12.63	Auto	V
107	9.84	16.03	Metropolitano	V
108	9.28	14.18	Auto	V
109	61.66	68.31	Metropolitano	R
110	57.16	63.25	Metropolitano	R
111	21.46	0.00	Auto	V
112	63.85	0.00	Auto	R
113	10.97	16.72	Metropolitano	V
114	11.37	17.06	Metropolitano	V
115	10.47	16.59	Combi	V
116	6.75	10.32	Combi	V
117	7.91	13.60	Auto	V
118	7.69	11.63	Auto	V
119	7.06	11.84	Metropolitano	V
120	84.84	91.00	Combi	R
121	87.03	93.12	Bus	R
122	72.54	0.00	Bus	R
123	35.56	41.65	Auto	R
124	12.72	18.38	Auto	V
125	8.69	13.78	Auto	V
126	18.84	26.06	Bus	V
127	6.79	11.29	Metropolitano	V
128	14.76	20.79	Combi	V
129	7.35	12.31	Auto	V

INTERSECCIÓN CHINCHAYSUYO			
DISTRITO:	Independencia		
FECHA:	30.09.2021	DIA:	Jueves
HORA DE INICIO:	7.00 am	HORA DE TERMINO:	8:00am
SENTIDOS DE FLUJO:	<b>TÚPAC AMARU N-S</b>		

TUPAC AMARU			
Numero	1° Punto	2° Punto	Vehiculo
1	292.62	301.15	Bus
2	272.96	281.99	Auto
3	292.80	302.45	Combi
4	345.75	355.53	Auto
5	249.18	258.01	Auto
6	315.22	321.59	Auto
7	248.87	257.50	Auto
8	387.29	395.41	Combi
9	291.87	301.15	Combi
10	311.37	319.52	Bus
11	320.25	328.16	Auto
12	332.37	341.87	Bus
13	318.17	327.28	Auto
14	354.53	362.81	Combi
15	344.02	352.37	Combi
16	260.53	269.94	Auto
17	299.72	310.32	Auto
18	345.35	355.61	Combi
19	306.19	316.57	Auto
20	300.18	308.81	Auto
21	338.78	349.53	Auto
22	262.45	271.83	Bus
23	241.72	249.54	Auto
24	230.28	239.82	Auto
25	315.41	325.00	Combi
26	224.63	234.06	Auto
27	250.75	260.54	Bus
28	245.84	255.03	Combi
29	260.06	269.26	Auto
30	240.57	249.51	Combi
31	235.18	244.09	Auto
32	308.87	318.34	Combi
33	312.41	320.51	Auto
34	278.28	288.00	Auto
35	343.88	352.13	Bus
36	304.59	313.74	Auto
37	317.97	327.54	Auto
38	321.60	342.60	Combi
39	238.91	247.51	Auto
40	330.70	340.18	Auto
41	346.65	356.59	Combi
42	254.72	264.31	Auto
43	242.35	249.21	Auto
44	251.00	258.81	Combi
45	259.56	269.09	Auto
46	247.15	256.62	Combi
47	312.62	320.81	Auto
48	291.76	301.03	Combi
49	252.88	261.91	Auto
50	312.32	320.38	Auto

INTERSECCIÓN NARANJAL				
DISTRITO:	Independencia			
FECHA:	30.09.2021	DIA:		Jueves
HORA DE INICIO:	7.00 am	HORA DE TERMINO:		8:00am
SENTIDOS DE FLUJO:	TÚPAC AMARU N-S			

AVENIDA NARANJAL				
Numero	1° Punto	2° Punto	Vehiculo	Semaforo
1	10.09	0.00	Auto	V
2	10.16	13.32	Combi	V
3	9.65	12.87	Motocicleta	V
4	11.94	15.22	Auto	V
5	9.47	12.63	Auto	V
6	8.41	11.47	Motocicleta	V
7	9.08	14.25	Motocicleta	V
8	8.03	10.94	Combi	V
9	6.01	9.11	Auto	V
10	9.62	13.34	Combi	V
11	5.62	8.43	Motocicleta	V
12	7.04	0.00	Auto	V
13	7.22	10.13	Combi	V
14	7.25	10.78	Auto	V
15	7.75	10.86	Combi	V
16	7.47	47.28	Auto	R
17	14.63	19.82	Bus	V
18	11.78	16.44	Auto	V
19	10.15	13.78	Auto	V
20	10.19	14.35	Auto	V
21	12.19	16.51	Combi	V
22	9.84	13.47	Bus	V
23	9.50	13.06	Combi	V
24	12.06	19.59	Motocicleta	V
25	10.28	45.88	Bus	R
26	11.01	41.43	Auto	V
27	8.90	12.12	Auto	V
28	10.44	16.16	Auto	V
29	11.96	0.00	Combi	V
30	9.41	13.82	Auto	V
31	9.81	13.25	Bus	V
32	5.66	7.99	Motocicleta	V
33	7.35	11.79	Motocicleta	V
34	7.62	0.00	Auto	V
35	7.38	10.85	Motocicleta	V
36	11.46	50.87	Combi	R
37	9.59	0.00	Combi	V
38	9.10	12.39	Motocicleta	V
39	9.01	12.75	Auto	V
40	10.85	0.00	Combi	V
41	11.68	17.65	Bus	V
42	8.10	11.04	Auto	V
43	7.66	10.60	Motocicleta	V
44	7.59	10.65	Auto	V
45	10.62	14.81	Auto	V
46	10.10	14.20	Auto	V
47	9.46	44.83	Motocicleta	R
48	10.13	0.00	Auto	V
49	7.81	11.81	Combi	V
50	8.56	0.00	Auto	V

AVENIDA NARANJAL				
Numero	1° Punto	2° Punto	Vehiculo	Semaforo
51	11.97	16.38	Bus	V
52	7.56	10.68	Combi	V
53	6.75	9.91	Auto	V
54	7.41	0.00	Auto	V
55	7.12	0.00	Auto	V
56	6.75	10.77	Combi	V
57	8.09	13.24	Bus	V
58	8.03	13.06	Bus	V
59	8.44	0.00	Auto	V
60	9.25	0.00	Auto	V
61	8.53	13.41	Auto	V
62	7.42	0.00	Auto	V
63	9.22	0.00	Auto	V
64	8.60	0.00	Auto	V
65	9.35	14.11	Combi	V
66	10.31	16.84	Bus	V
67	8.46	12.59	Motocicleta	V
68	10.01	17.75	Combi	V
69	8.96	13.25	Auto	V
70	12.86	21.54	Bus	V
71	8.10	0.00	Auto	V
72	8.09	12.87	Auto	V
73	10.57	14.62	Combi	V
74	11.78	18.06	Bus	V
75	7.56	11.95	Auto	V
76	7.94	12.44	Motocicleta	V
77	7.69	12.56	Auto	V
78	7.09	11.50	Auto	V
79	9.34	52.08	Bus	R
80	47.60	55.48	Combi	R
81	42.87	48.27	Auto	R
82	9.85	15.94	Auto	V
83	10.10	15.47	Combi	V
84	18.22	0.00	Combi	V
85	9.72	15.18	Combi	V
86	8.72	0.00	Auto	V
87	9.94	14.65	Combi	V
88	8.06	12.75	Auto	V
89	5.97	10.44	Auto	V
90	6.41	0.00	Auto	V
91	45.75	51.94	Bus	R
92	12.44	17.91	Bus	V
93	8.13	12.72	Bus	V
94	8.47	12.87	Auto	V
95	8.62	13.12	Motocicleta	V
96	9.66	47.91	Combi	V
97	12.43	18.29	Bus	V
98	7.50	11.72	Auto	V
99	9.50	0.00	Auto	V
100	8.35	14.98	Auto	V

AVENIDA NARANJAL				
Numero	1° Punto	2° Punto	Vehiculo	Semaforo
101	9.59	14.46	Combi	V
102	7.35	12.06	Auto	V
103	55.25	62.01	Auto	R
104	14.75	19.34	Combi	V
105	15.31	0.00	Auto	V
106	6.87	11.43	Motocicleta	V
107	6.62	0.00	Auto	V
108	7.50	11.91	Combi	V
109	8.44	12.41	Combi	V
110	9.34	13.44	Combi	V
111	8.59	12.34	Auto	V
112	8.66	14.22	Auto	V
113	8.72	0.00	Auto	V
114	9.53	15.28	Bus	V
115	8.78	14.74	Auto	V
116	7.35	11.94	Bus	V
117	7.59	12.25	Auto	V
118	6.94	0.00	Auto	V
119	9.78	48.12	Auto	V
120	8.62	12.47	Auto	V
121	8.22	13.81	Auto	V
122	8.25	12.19	Combi	V