UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Propuesta de gestión del tránsito para la reducción del congestionamiento en
la Av. Alfredo Benavides entre los tramos Ovalo Higuiereta y Av. Velasco
Astete en el Distrito de Santiago de Surco utilizando el programa de
simulación Synchro 8.0

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Alvarado Azurin, Vanessa Alexandra (0000-0002-7693-5991)

Valle Azalde, Edson Iván (0000-0001-5264-1350)

ASESOR

Silvera Lima, Manuel Elías (0000-0002-8265-9495)

Lima, 05 de setiembre del 2019

DEDICATORIA

A mi esposo Gerard y mi hija Alexandra, por la paciencia, apoyo e incondicional amor, que a pesar de las adversidades siempre me alentaron a cumplir mis metas y seguir creciendo.

Vanessa Alexandra Alvarado Azurín

La presente tesis va dedicada a mi familia por la confianza depositada en mí, y por el apoyo constante para lograr mis objetivos profesionales.

Edson Ivan Valle Azalde

AGRADECIMIENTOS

Un gran agradecimiento a nuestro profesor y asesor de tesis Ing. Manuel Silvera Lima, por darnos el apoyo académico, paciencia y comprensión durante el desarrollo de la tesis. A nuestros padres y familias que son los motivos principales para seguir creciendo y cumplir nuestras metas como profesionales y seres humanos.

RESUMEN

El congestionamiento vehicular se ha convertido en un problema abrumador para los habitantes de la ciudad de Lima. Frente a este problema, existen alternativas de mejoras en el tránsito vehicular que permiten minimizar el tiempo perdido. Este problema se evidencia en muchas avenidas y calles de esta ciudad; sobre todo en horas pico. En ese sentido, la presente tesis, aporta una solución para ser aplicada en la avenida Alfredo Benavides entre los tramos del óvalo Higuiereta y avenida Velasco Astete.

Así mismo, la finalidad es aplicar la gestión de la oferta enmarcados a la optimización y coordinación de fases semafóricas y a la mejora de indicadores de tráfico, como son: los grados de saturación, niveles de servicio, demoras por espera y ciclos semafóricos en las intersecciones. Para este propósito, se utiliza el software para la simulación del tránsito a nivel mesoscópico Synchro 8, el cual permite modelar la situación actual para el análisis de la problemática y posterior propuesta de solución.

En consecuencia, esta tesis evaluará el comportamiento vehicular de la red estudiada mediante la metodología HCM en donde no considera ciclistas y peatones.

Finalmente, la propuesta de solución indica que si es posible optimizar y disminuir el congestionamiento vehicular del tramo en estudio. Esto sin alterar, de sobre manera, la infraestructura o generar mayores costos de implementación a la vía.

Palabras clave: Grado de saturación, niveles de servicio, ciclo semafórico, demoras por control.

ABSTRACT

Traffic congestion has become an overwhelming problem for the population of the city of Lima. Faced with this problem, there are alternatives for improvements in vehicular traffic that minimize the time lost. This problem is evident in many avenues and streets of this city; Especially during rush hour traffic. To that extent, the purpose of this thesis provides a solution to be applied in Alfredo Benavides Avenue between sections of the Higuiereta oval and Velasco Astete avenue.

As well, the purpose is to apply the offer management of the demand framed in the optimization and coordination of traffic light phases and to the improvement of traffic indicators, such as: the saturation degrees, the service levels, waiting delays and traffic light cycles at intersections. For this purpose, we use the software for traffic simulation, the Synchro 8 at mesoscopic level, which allows modeling the existing situation for the analysis of the current problem and subsequent solution proposal.

Consequently, this thesis will evaluate the vehicular behavior of the network studied, through the HCM methodology where it does not consider cyclists and pedestrians.

Finally, the proposed solution indicates that if it is possible to optimize and improve vehicular congestion of the section under study. This without altering, exceedingly, the infrastructure or generating higher costs of implementation on the road.

Keywords: saturation degree, service levels, traffic light cycle, control delays.

TABLA DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCION.....	1
1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.3 ESTADO DEL ARTE	3
1.4 HIPÓTESIS	7
1.5 OBJETIVOS	7
1.5.1 Objetivo General	7
1.5.2 Objetivos específicos.....	7
1.6 LIMITACIONES	7
2. MARCO TEORICO.....	8
2.1 TEORÍA DEL FLUJO VEHICULAR.....	8
2.1.1 Problema del transporte	8
2.1.2 Conflicto del tráfico vehicular.....	11
2.1.3 Modelos de fluido dinámico	12
2.1.5 Teoría del seguimiento vehicular	17
2.2 MODELACIÓN DEL TRÁFICO	19
2.2.1 Modelación macroscópica.....	20
2.2.2 Modelación mesoscópica	20
2.2.3 Modelación microscópica.....	21
2.3 FLUJO DISCONTINUO EN INTERSECCIONES NO SEMAFORIZADAS	22
2.3.1 Capacidad de intersecciones con señal de prioridad.....	22
2.4 SEMAFORIZACIÓN	25
2.4.1 Diseño de semáforos	25
2.4.2 Tipos de SemafORIZACIÓN	25
2.4.3 Cálculos de los tiempos de semáforo.....	26
2.5 METODOLOGÍA HCM 2010.....	28
2.5.1 Paso N° 01: Determinar el grupo de movimientos y grupo de carriles como parte de los conceptos y alcances se tiene en cuenta lo siguiente.	29
2.5.2 Paso N° 02: Determinar la tasa de flujo del grupo de movimiento.....	31
2.5.3 Paso N° 03: Determinar la tasa de flujo de grupo de carriles.	31

2.5.4	Paso N° 04: Determinar los ajustes de la tasa de flujo de saturación.....	31
2.5.5	Paso N° 05: Determinar la proporción que llega durante el verde	38
2.5.6	Paso N° 06: Determinar los intervalos de fase semafórica	38
2.5.7	Paso N° 07: Determinar la capacidad y grado de saturación	39
2.5.8	Paso N° 08: Determinar las demoras	40
2.5.9	Paso N° 09: Determinar los niveles de servicio	43
2.6	SOFTWARE SYNCHRO VERSIÓN 8.0 TRAFFICWARE	44
3.	RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS	47
3.1	INFORMACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	47
3.1.1	Ubicación de la Red de Estudio	48
3.1.2	Características del Tramo Vial	48
3.2	RECOPIACIÓN DE DATOS	50
3.2.1	Geometría del Tramo Vial.....	50
3.2.2	Ciclos semafóricos	51
3.2.3	Aforos de Vehículos mixtos	53
3.2.4	Determinación del volumen vehicular.....	57
3.2.5	Elaboración de flujogramas	60
3.2.6	Determinación de la velocidad de operación.....	60
4.	SYNCHRO 8.0 SIMULACIÓN ACTUAL.....	62
4.1	DESARROLLO Y APLICACIÓN DEL MODELO EN SYNCHRO 8.0	62
4.2	MODELO MESOSCÓPICO DE LA RED ACTUAL EN ESTUDIO	63
5.	ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA EN INTERSECCIONES.....	82
6.	EVALUACIÓN DE RESULTADOS	114
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	117
7.1	CONCLUSIONES	117
7.2	RECOMENDACIONES	119
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
9.	ANEXOS	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Macro simuladores de redes de transporte	20
Tabla 2-2 Meso simuladores de redes de transporte.....	21
Tabla 2-3 Micro simuladores de redes de transporte.....	22
Tabla 2-4 Grupo de carriles típicos para el análisis.....	31
Tabla 2-5 Factor de ajuste por ancho de carril	33
Tabla 2-6 Niveles de servicio por relación volumen –capacidad.....	44
Tabla 3-1 Anchos de Carril en cada intersección	50
Tabla 4-1Indicadores de la simulación actual de las intersecciones de análisis en Synchro 8	80
Tabla 5-1 Consideraciones de distancia de paraderos	99
Tabla 5-2 Consideraciones de ubicación de paraderos.....	100
Tabla 5-3 Indicadores de Mejora.....	113
Tabla 6-1 Comparativo de los Niveles de Servicio	114
Tabla 6-2 Comparativo Niveles de Servicio por intersecciones.....	115
Tabla 6-3 Comparativo de grados de saturacion en la intersección	115
Tabla 6-4 Comparativo de demoras de control de la intersección	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Índice de tráfico mundial	4
Figura 1-2 Gráfico comparativo del tránsito en horas puntas en Lima	5
Figura 2-1 Esquema de Manheim.....	9
Figura 2-2 Intervalos y espaciamiento en una corriente de tráfico.....	15
Figura 2-3 Sistema de análisis de la teoría del seguimiento vehicular.....	18
Figura 2-4 Modelo de tráfico de acuerdo al nivel de estudio	19
Figura 2-5 Modelo de Brechas	23
Figura 2-6 Movimientos secundarios en Intersección en T.....	24
Figura 2-7 Movimientos secundarios en intersección en +	24
Figura 2-8 Intersecciones semaforizadas.....	27
Figura 2-9 Fases y diagramas de fases de una intersección semaforizadas.....	28
Figura 2-10 Metodología del automóvil para intersecciones semaforizadas	29
Figura 3-1 Uso de suelo y zonificación	47
Figura 3-2 Ubicación del área de estudio	48
Figura 3-3 Intersecciones que delimitan el tramo vial	49
Figura 3-4 Ubicación intersección del área de estudio.....	50
Figura 3-5 Ciclo semafórico y maniobras permitidas	53
Figura 3-6 Personal aforando las intersecciones	54
Figura 3-7 Determinación de la hora pico en la Intersección N° 1	55
Figura 3-8 Determinación de la hora pico en la Intersección N° 2	55
Figura 3-9 Determinación de la hora pico en la Intersección N° 3	56
Figura 3-10 Determinación de la hora pico en la Intersección N° 4	56
Figura 3-11 Determinación de la hora pico en la Intersección N° 5	57
Figura 3-12 Volumen vehicular y PHF en la Intersección N° 01.....	58
Figura 3-13 Volumen vehicular y PHF en la Intersección N° 02.....	58
Figura 3-14 Volumen vehicular y PHF en la Intersección N° 03.....	59
Figura 3-15 Volumen vehicular y PHF en la Intersección N° 04.....	59
Figura 3-16 Volumen vehicular y PHF en la Intersección N° 05.....	60
Figura 3-17 Percentil 85 - Velocidad de Operación	61
Figura 4-1 Imagen de la red en estudio	62
Figura 4-2 Longitud de la red a estudiar.....	63
Figura 4-3 Red de estudio en escala insertada.....	63

Figura 4-4 Lane Settings -Configuraciones de carril	64
Figura 4-5 Configuración de volúmenes de tráfico	65
Figura 4-6 Simulation Settings	66
Figura 4-7 Tiempos y ciclo semafórico en la Intersección 02.....	67
Figura 4-8 Tiempos y ciclo semafórico en la Intersección 3.....	68
Figura 4-9 Tiempos y ciclo semafórico en la Intersección 04.....	69
<i>Figura 4-10 Tiempos y ciclo semafórico en la Intersección 5</i>	<i>69</i>
<i>Figura 4-11 Volumen vehicular y maniobras en Intersección Av. Benavides / Ca. Tenaud</i>	<i>71</i>
<i>Figura 4-12: Volumen y maniobras en intersección Av. Benavides/ Ca. García León</i>	<i>71</i>
Figura 4-13: Volumen y maniobras en intersección Av. Benavides / Av. Ayacucho.	72
<i>Figura 4-14 Volumen y maniobras en intersección Av. Benavides / Av. Higuiereta.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 4-15: Volumen y maniobras en intersección Av. Benavides / Av. Astete</i>	<i>73</i>
Figura 4-16 Nivel de servicio en Av. Benavides con Ca. Tenaud	73
<i>Figura 4-17 Nivel de servicio en Av. Benavides con Jr. Enrique León.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 4-18 Nivel de servicio en Av. Benavides con Av. Ayacucho. y Av. Benavides con Av. Higuiereta.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 4-19 Nivel de servicio en Av. Benavides con Av. Velasco Astete.</i>	<i>75</i>
<i>Figura 4-20 Grado de saturación actual en Intersecciones N°1 y 2</i>	<i>76</i>
<i>Figura 4-21 Grado de saturación actual en las Intersecciones N° 3, 4 y 5.....</i>	<i>77</i>
Figura 4-22 Demora actual en Intersecciones N°1 y 2.....	78
. Figura 4-23 Demora actual en Intersecciones N°3, 4 y 5.....	79
Figura 5-1 Comportamientos vehiculares del tránsito de Lima	82
Figura 5-2 Intersección N° 1 con Señal de prioridad	83
Figura 5-3 Intersección N°1 Propuesta de mejora Av. Alfredo Benavides – Jr. Carlos Tenaud	84
Figura 5-4 Propuesta de solución Intersección N°1- Reglaje semafórico Propuesto	85
Figura 5-5 Intersección N°2 Actual Av. Alfredo Benavides – Jr. Enrique León García	86
Figura 5-6 Intersección N°2 Propuesta de mejora Av. Alfredo Benavides – Jr. Enrique León García	87
Figura 5-7 Propuesta de solución Intersección N°1 Reglaje semafórico propuesto Fuente: Synchro 8.0.....	88
Figura 5-8 Señalización de prohibición de giros en Intersección N°2	89

Figura 5-9 Intersección N°3 Actual Av. Alfredo Benavides – Av. Ayacucho.....	90
Figura 5-10 Propuesta de solución Intersección N°3 y reglaje semafórico.....	91
Figura 5-11 Intersección N°4 Actual Av. Alfredo Benavides – Av. Higuera.....	92
Figura 5-12 Propuesta de solución Intersección N°4 y Reglaje semafórico	93
Figura 5-13 Señalización de prohibición de giros en Intersección N°4 y Habilidad de giro en U	94
Figura 5-14 Intersección N°4 Actual Av. Alfredo Benavides – Av. Velasco Astete.....	95
Figura 5-15 Propuesta de solución desvío en intersección N°5	96
Figura 5-16 Propuesta de solución Intersección N°5 y Reglaje semafórico	97
Figura 5-17 Clasificación de Vía.....	98
Figura 5-18 Diseño de paraderos.....	101
Figura 5-19 Ubicación de paraderos de Oeste a Este - Av. Alfredo Benavides.....	101
Figura 5-20 Ubicación de paraderos de Este a Oeste - Av. Alfredo Benavides.....	102
Figura 5-21 Factor de bloqueo de buses en Synchro 8.....	103
Figura 5-22 Determinación de la propuesta de solución	104
Figura 5-23 Nivel de Servicio por acceso de la propuesta de mejora – Intersección N°1	105
Figura 5-24 Nivel de servicio por acceso de la propuesta de mejora Intersección N°2...	105
Figura 5-25 Nivel de servicio por acceso de la propuesta de mejora - Intersección N°3.	106
Figura 5-26 Nivel de servicio por acceso de la propuesta de mejora - Intersección N° 4	106
Figura 5-27 Nivel de servicio por acceso de la propuesta de mejora - Intersección N° 5	107
Figura 5-28 Mejora del grado de saturación Intersección N°1.....	108
Figura 5-29 Mejora del grado de saturación Intersección N°2.....	108
Figura 5-30 Mejora del grado de saturación Intersección N°3.....	109
Figura 5-31 Mejora del grado de saturación Intersección N°4.....	110
Figura 5-32 Mejora del grado de saturación Intersección N°5.....	110
Figura 5-33 Optimización de demoras en intersecciones N° 1 y N°2.....	111
Figura 5-34 Optimización de demoras en intersecciones N° 3 y N°4.....	112
Figura 5-35 Optimización de demoras en intersecciones N° 5	112

1. INTRODUCCION

El congestionamiento vehicular es uno de los principales problemas que afecta a la ciudad de Lima. Esta problemática se evidencia en muchas avenidas y calles de esta ciudad, la cual es consecuencia del incremento continuo del parque automotor, crecimiento urbano sin planificación, problemas de diseño de infraestructura vial y la falta de planificación y gestión del tránsito de las autoridades.

Estudios realizados por la Cámara de Comercio de Lima indican que el incremento vehicular en los últimos 5 años ha aumentado de manera exponencial. Lima y el Callao representan el 66% de todo el parque automotor del Perú con 1'752,919 Vehículos.¹

Por otro lado, la ONG Luz Ámbar, menciona que una de las razones del caos vehicular es la falta de ordenamiento en el sistema de semaforización en las intersecciones.²

En conclusión, el incremento del parque automotor y las deficientes condiciones en regulación, han generado problemas en el funcionamiento del sistema de transporte actual. No obstante, una manera de poder mejorar el congestionamiento vehicular es mediante la gestión de transporte, que nos permite optimizar el flujo de las vías en las que, se soportan en el uso de programas de simulación del tráfico como el Synchro, que se usará en el presente proyecto.

¹Cfr. La Cámara 2018:25

²Ong. Luz Ambar 2019:1

1.1 Realidad problemática

Estudios de la Policía de Tránsito, indican que en Lima se registran 12 distritos con la mayor congestión vehicular ubicando al distrito de Santiago de Surco en el primer lugar.³ Centrando la problemática en el distrito de Surco, se muestra que las avenidas con mayor congestión vehicular, entre las 6:30 am y 9:30 am y 5:00 pm hasta las 8:00 pm, son las siguientes: Av. Benavides entre el Óvalo Higuiereta hasta la Av. Caminos del Inca, Av. Manuel Olguín con av. El Derby, Av. Caminos del Inca con Tomas Marsano y Av. Primavera con Av. Velasco Astete.

Para efectos del desarrollo de esta tesis, se ha seleccionado la Av. Benavides entre los tramos Óvalo Higuiereta y Av. Velasco Astete, ya que es una avenida principal que conecta el distrito de Santiago de Surco con Miraflores. Además, esta avenida es muy transitada debido a la presencia de centros comerciales y universidades. Así mismo la Municipalidad de Lima, el 05 de Setiembre del 2018, entre el tramo mencionado, ha realizado la ampliación de un tercer carril como parte del proyecto de mejoramiento vehicular, debido a la mayor concentración vehicular de buses, micros y custers que vienen de la Panamericana Sur hacia Miraflores o viceversa. El proyecto ha sido paralizado en agosto del presente año, debido a la resolución de los contratos con los ejecutores, por incumplimiento en plazos, y dejando los trabajos sin culminación.

Hasta la fecha la intervención abarca veredas, áreas verdes de la berma central y laterales. Generando que la congestión en dichos tramos de manera sustancial.

Centrando la problemática de la red seleccionada, se realizó el análisis de vehículo libre y, mediante el aplicativo Google Maps, donde se comprueba que, la generación de tráfico en la Avenida Alfredo Benavides, entre los tramos del Óvalo Higuiereta y Avenida Velasco Astete, es denso, por las mañanas entre las 7:05 am hasta las 9:30 am y de 5:50 pm hasta las 8:15 pm, obteniéndose una velocidad promedio 9.5 km/h. (Anexo 1).

Además, en el recorrido realizado, en los tramos en mención, se ha detectado que no existe sincronización semafórica. También, se verifica que las vías muestran giros a la derecha o la izquierda hacia las calles perpendiculares que intersectan a la av. Benavides, lo cual genera que el tránsito vehicular sea más lento. Asimismo, se ha podido visualizar que las señalizaciones verticales y horizontales no son las adecuadas, ya que no especifican los

³ DIARIO CORREO 2018:5

límites de velocidad, restricción de giros en U, señalización de giro izquierda o derecha. Por otra parte, se ha podido identificar la falta de sincronización semafórica y giros a la izquierda que generan grandes colas. En ese sentido, la avenida Benavides muestra una clara necesidad de solución para disminuir la congestión vehicular entre el tramo de Óvalo Higuiereta y Av. Velasco Astete. Todos estos componentes, muestran la importancia de encontrar una solución, ya que es una red importante que conecta a los distritos de Surco y Miraflores.

1.2 Formulación del problema

¿Es posible mejorar la circulación vehicular de la av. Alfredo Benavides entre los tramos Óvalo Higuiereta y avenida Velasco Astete en el distrito de Surco utilizando una simulación con el software Synchro 8?

1.3 Estado del Arte

La importancia de un sistema de vías que permita gran fluidez, siempre será un tema relevante para el desarrollo de las ciudades. Por ello, la ingeniería de tránsito busca aplicar sus conocimientos de oferta y demanda, a través del control del grado de saturación, mejoramiento en la geometría, sincronización semafórica, optimización de ciclos semafóricos, ola verde, entre otros.

Un estudio realizado por la empresa holandesa de GPS Tom Tom, publicado en 5 de junio del 2019, ubica a Lima en el tercer lugar de las ciudades con mayor congestión vehicular entre 403 ciudades de 56 países en el mundo.⁴

En la figura 1-1 se puede observar los resultados del estudio realizado en el año 2018 a través de un GPS, aplicado en ciudades como Mumbai, Bogotá, New Delhi, Moscú entre otras.

⁴ Diario Gestión 2018:06

TOMTOM		Traffic Index 2018		
#	World rank	City	Country	Congestion level
1	1	Mumbai	India	65% ↓ 1%
2	2	Bogota	Colombia	63% ↑ 1%
3	3	Lima	Peru	58% ↑ 8%
4	4	New Delhi	India	58% ↓ 4%
5	5	Moscow region (oblast)	Russia	56% ↓ 1%
6	6	Istanbul	Turkey	53% ↓ 6%
7	7	Jakarta	Indonesia	53% ↓ 8%
8	8	Bangkok	Thailand	53% ↓ 2%
9	9	Mexico City	Mexico	52% – 0%
10	10	Recife	Brazil	49% ↑ 2%
11	11	Bucharest	Romania	48% ↓ 1%
12	12	Saint Petersburg	Russia	47% ↑ 2%
13	13	Kiev	Ukraine	46% ↑ 2%
14	14	Dublin	Ireland	45% ↑ 1%
15	15	Lodz	Poland	44% ↑ 2%
16	16	Novosibirsk	Russia	44% ↑ 4%

Figura 1-1. Índice de tráfico mundial

Fuente: Tom Tom (2018)

Por otro lado, en la figura 1-2 se muestra cómo el incremento de las horas punta ha variado en 10 años. Por ejemplo, en el año 2009, se identificaron los tres volúmenes de tráfico con mayor densidad de carga vehicular, por las mañanas en horas de 7:00 hasta las 9:00 am, de 1:00 a 2:00 pm por las tardes y de 6:00 hasta 8:00 pm. por las noches. Según la estadística del presente año, estas han cambiado, registrándose las nuevas horas punta en las mañanas a partir de las 6:30 hasta las 9:30 am, por las tardes desde las 12:30 m hasta las 2:30 pm y por las noches desde las 5:00 hasta las 9:00 pm.

Figura 1-2 Gráfico comparativo del tránsito en horas puntas en Lima

Fuente: TEC Corporation (2019)

La figura 1-3 muestra los resultados de un estudio realizado por la Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico del Transporte en Lima, en el año 2017 en donde se consideró como muestra representativa la cantidad de viajes por persona en función de su destino y del rango de horas de un día típico. Se puede apreciar que, por la mañana un incremento de viajes al trabajo. Por la tarde y noche, el incremento es por viajes de retorno a casa. Esta información es importante, ya que nos muestra un panorama real del comportamiento del tránsito vehicular.

Figura 1-3 Gráfico de viajes por destino

Fuente: Autoridad Autónoma del Sistema Eléctrico del transporte (2017)

Por otro lado, el uso de softwares como herramienta de simulación de tránsito en redes con problemas de congestión vehicular, se ha convertido en una interesante alternativa, ya que permite anticipar los escenarios para evaluar el impacto de la red al aplicar nuevas propuestas de solución en las intersecciones.

Un ejemplo, es el caso de “Evaluación en la intersección señalizada de Al-Ameer en la ciudad de Samawa” realizado por Hikmatt Building and Construction Engineering Department, University of Technology, Baghdad, Irak, publicado en el año 2018, cuyo objetivo fue evaluar el rendimiento del tráfico de la intersección señalada utilizando la técnica de grabación de video para recopilar los datos de volumen de tráfico. Estos datos extraídos se evaluaron y analizaron en el software SYNCHRO 8.0 para elegir la mejor solución. El resultado del proceso de evaluación mostró que la intersección opera con nivel de servicio (LOS F). Se evaluaron varias estrategias que varían desde la optimización en semaforización hasta las mejoras geométricas de la red. La mejor solución fue la simulación de un paso elevado en la dirección este-oeste, en donde el nivel de servicio mejoró de (LOS F) a (LOS C). Este resultado se considera una solución aceptable y económica para los problemas existentes en la intersección.⁵

La aplicabilidad de las metodologías del HCM 2000 y Synchro 7.0 para analizar intersecciones semaforizadas en Lima propuestas en la Tesis de Jorge Vera Lino, publicada en enero del 2012, por la Pontificia Universidad Católica del Perú, cita lo siguiente: “Es una práctica común que las medidas de eficiencia para la evaluación del comportamiento de intersecciones semaforizadas en la ciudad de Lima sean determinadas empleando como herramientas las metodologías de análisis del HCM 2000 y Synchro 7; las mismas que se fundamentan en los principios de la ingeniería de tráfico y han sido desarrolladas empleando información real de campo. Estas no necesariamente presentarían características similares a las locales, siendo necesario determinar si su aplicación directa sería válida para la obtención de valores representativos de tasas de flujo de saturación, demoras y colas en diferentes redes”.⁶ Esta tesis hace mención al alcance obtenido utilizando Synchro 7, dejando la posibilidad de continuar la investigación para obtener mejoras en otras redes con similar congestión.

⁵ MATEC Web of Conferences 162, 01039 (2018)

⁶ Cfr: Vera Lino 2012:1

En ese sentido, los artículos mencionados han tomado como herramienta al software Synchro en problemas de congestión, pero es necesario realizar un análisis real del entorno y adecuar las teorías para proponer las mejoras en una nueva red.

1.4 Hipótesis

La simulación mesoscópica del software Synchro 8.0 basada en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010), permite validar alternativas de solución para reducir la congestión vehicular en la avenida Alfredo Benavides entre los tramos Óvalo Higuiereta y Av. Velasco Astete en el distrito de Surco, a través de la mejora de los niveles de servicio HCM 2010.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Mejorar la circulación vehicular de la Av. Alfredo Benavides entre los tramos Óvalo Higuiereta y Av. Velasco Astete por medio de una propuesta de gestión del tránsito modelada en el software de Synchro 8.0.

1.5.2 Objetivos específicos

- Modelar el comportamiento actual mediante el uso del software SYNCHRO 8.0, en las intersecciones de la Av. Alfredo Benavides entre los tramos Óvalo Higuiereta y Av. Velasco Astete.
- Identificar los principales problemas de red a través de los Niveles de Servicio y grados de saturación.
- Plantear propuestas de solución en los escenarios encontrados.
- Validar las propuestas de solución a través del modelamiento de la red con las mejoras de las propuestas.

1.6 Limitaciones

El proyecto utiliza la metodología del Highway Capacity Manual (HCM) 2010 del Transportation Research Board (TRB), que analiza el comportamiento operacional del vehículo para intersecciones semaforizadas e intersecciones con señalización vertical; por lo que, en esta investigación, no se considerara la evaluación de la presencia de ciclistas y peatones. Asimismo, no se toma en cuenta dentro del análisis el comportamiento operacional de rotondas en la zona de estudio.

2. MARCO TEORICO

Este capítulo tiene como propósito mostrar los conceptos básicos necesarios, enmarcados a la problemática de la presente tesis. Estas definiciones están relacionados a las teorías del flujo vehicular, capacidad y niveles de servicios.

Así mismo, la presente tesis, se basa en la metodología del Highway Capacity Manual (HCM 2010) y en la utilización del software para ingeniería del tránsito SYNCHRO 8.0 que servirán para el modelamiento actual y propuesta de mejoras del tránsito para la problemática de esta tesis.

2.1 Teoría del flujo vehicular

Para poder entender el comportamiento y las características del tránsito de un sistema de transporte, es necesario conocer y analizar los elementos del flujo vehicular. Con ello, se podrá planificar, proyectar y poner en servicio una red de transporte vial. Además, por medio de las leyes de la física y el uso de las matemáticas, se pueden modelar los flujos vehiculares de un sistema y determinar su eficiencia y su viabilidad.

En ese sentido, para el análisis del flujo vehicular es necesario abordar los modelos microscópicos y macroscópicos donde se relacionan las variables necesarias como el volumen, la velocidad, la densidad, el intervalo y el espaciamiento. Estos modelos forman parte del desarrollo de los conceptos relacionados a la capacidad y a los niveles de servicios. (Cal y Mayor, 2006)

2.1.1 Problema del transporte

Para entender las características del flujo vehicular, es necesario conocer el problema del transporte. Según el esquema de Manheim (1984), enfoca la importancia del estudio del tráfico como un fenómeno físico y esta se muestra en la figura siguiente 2-1:⁷

⁷ Cfr: Fernández R. 2008:7

Figura 2-1 Esquema de Manheim
Fuente: Fernández (2008:7).

Siendo:

A: Sistema de actividades según una determinada área geográfica:

- Estas pueden ser: Residencia, trabajo, estudio, esparcimiento.

T: Sistema de transporte en el área geográfica:

- Vías, paraderos, estacionamientos, vehículos, forma de operar el sistema (sentidos de calles, frecuencia de buses).

F: Patrón de viajes en el área geográfica:

- Entre distintos pares origen – destino.
- En diversos medios o modos de transporte (auto, bus, metro, a pie, etc.).
- Por variadas rutas (conjuntos conexos de vías).
- Durante diferentes períodos (punta mañana, tarde, fuera de punta, etc.).

Según la figura 2-1: “El sistema de actividades (A) y el sistema de transporte (T) generan un determinado patrón de transportes (F) en un corto plazo.

Según las características de F, se producirán cambios sobre (T) en un mediano plazo si aumentara la frecuencia del transporte público o si existiera nuevas conexiones viales o

sobre (A), en un largo plazo, si se generan nuevas actividades por ejemplo la creación de una universidad, etc.”⁸

“La importancia del tráfico en el sistema de transporte se puede esquematizar en la siguiente figura. 2-2. Donde, la circulación en una red de tránsito, ocasionan diferentes impactos en los usuarios de un sistema y sobre su entorno. Estos cambios se dan en mediano y largo plazo sobre T y A”.⁹

Figura 2-2 Importancia del tráfico en la dinámica del sistema de transporte

Fuente: Fernández (2008:8)

Siendo:

A: Sistema de actividades según una determinada área geográfica

T: Sistema de transporte en el área geográfica

F: Patrón de viajes en el área geográfica

I: Conjunto de impactos derivados del tráfico:

⁸ Cfr: Fernández 2008: 7-8

⁹ Cfr: Fernández 2008:8

- Congestión: demoras a usuarios, formación de colas y detenciones de vehículos.
- Polución: emisión de contaminantes atmosféricos.
- Riesgo: aumento en la gravedad y número de accidentes.
- Ruido: emisión de vibraciones sonoras y físicas.
- Segregación: aumento del tiempo y distancia de cruce de cauces vehiculares.
- Intimidación: disminución del uso del espacio público para otros fines.
- Intrusión visual: reducción del campo visual por vehículos o infraestructuras.¹⁰

Según este enfoque, la congestión forma parte relevante en el sistema de transporte dentro del conjunto de impactos derivados del tráfico. Esto es determinante en el funcionamiento del sistema y afecta directamente a los usuarios. Así mismo, la congestión se puede manifestar de manera física en demoras, colas y detenciones en el sistema. En ese sentido, se buscará dar énfasis en el entendimiento de los factores de la problemática de la congestión en los siguientes capítulos.

2.1.2 Conflicto del tráfico vehicular

Se producirá conflictos de tráfico cuando dos o más usuarios pretendan usar, de manera simultánea, un mismo recurso de movilización en un sistema de transporte. Estos conflictos se clasifican de la siguiente manera: Conflictos concurrenciales, conflictos direccionales y conflictos funcionales.

- Conflicto Concurrencial: Al interactuar en una misma vía, se concibe un conflicto, cuando el vehículo 1 iguala su velocidad al vehículo 2. Ver figura 2.-3.

Figura 2-3 Gráfica Conflicto Concurrencial

Fuente: Adaptación propia sobre la base de Fernández (2008:11).

¹⁰ Cfr: Fernández 2008:8

- **Conflictos Direccionales:** Se producen por las maniobras que realizan los conductores de un vehículo en intersecciones semaforizadas, con señalización, entradas y salidas de vías expresas o by pass y rotondas. Ver figura 2-4.

Figura 2-4 Gráfica Conflictos Direccionales

Fuente: Adaptación propia sobre la base de Fernández (2008:11).

- **Conflictos funcionales:** Estos conflictos se producen en un mismo terminal, ya sea formal o informal, cuando uno de los vehículos se detiene por un objetivo. Ejemplo: Un bus detenido en un paradero. Ver figura 2-5.

Figura 2-5 Gráfica de Conflictos Funcionales

Fuente: Fernández (2008:11)

2.1.3 Modelos de fluido dinámico

Para la obtener una circulación continua, no necesariamente debemos considerar la vía en forma recta, ya que esta puede presentar curvatura de manera horizontal u otras características como diferencias de ancho. Pero, para poder representar unos kilómetros, esta se puede tomar a lo largo de un solo eje espacial.¹¹

“Para “ver” la circulación (movimiento) se requiere, además, del eje temporal. Entonces, el tráfico se verificará en una “ventana” espacio-temporal. La Figura 2-6, muestra cómo

¹¹ Cfr: Fernández 2008:12

observar el tráfico de un conjunto de vehículos circulando a distintas velocidades en un tramo de longitud L y durante un período T .” (Fernandez 2008:12)

Figura 2-6 Representación del tráfico en el espacio (s) y el tiempo (t)

Fuente: Fernández (2008:12)

De la figura 2-6, se muestran tres tipos de observadores donde se aprecian las diferentes formas de ver el tráfico de un grupo de vehículos en movimiento:

La Observación espacial. El observador 1 en el instante (T_0) visualiza todo el tramo L de manera espacial (Vista desde arriba). En la figura 2-6 observa 4 vehículos en movimiento.

La observación temporal. El observador 2 visualiza posicionándose en un punto (S_0) lo que ocurre en todo el periodo T . En la Figura 2-6 observa 5 vehículos.

La observación en movimiento. El observador 3 entra en la trayectoria vehicular, cuya velocidad es constante y puede visualizar dos vehículos. En el punto A representa un adelantamiento. El punto A representa un adelantamiento. El punto B es un alcance (el vehículo más rápido ajusta su velocidad a la del más lento). Si en B se hubiese producido una colisión por alcance, las curvas se habrían transformado en dos rectas horizontales a partir de ese instante. (Fernández 2008:13)

Del gráfico se pueden obtener diferentes variables las cuales forman parte de este estudio:

2.1.3.1 Variables obtenidas de una observación temporal

- **Flujo (q).** Es una de las principales variables de la observación temporal que hace referencia al volumen. Esta se expresa por el número de vehículos (n)

que pasan por un punto S_0 en un periodo de tiempo T . Su unidad de medida es (veh/h).¹²

$$q = \frac{n}{T} \quad (1.1)$$

- **Velocidad media temporal (vt).** Es el promedio aritmético de velocidades instantáneas de las trayectorias de S-T, de acuerdo al número de vehículos(n) que pasan por el punto S_0 en un periodo de tiempo T . Su unidad de medida es (km/h).¹³

$$vt = \frac{1}{n} \sum_i vi \quad (1.2)$$

- **Intervalo medio (h).** Conocido como headway y es el promedio de intervalos de tiempo hi entre pasadas de puntos homólogos de los vehículos (v.g., parachoques traseros). Su unidad de medida es Segundos (s).

$$h = \frac{1}{n} \sum_i hi = \frac{T}{n} = \frac{1}{q} \quad (1.3)$$

Por consiguiente, el intervalo medio equivale al inverso del flujo que pasa por un punto de la vía en un período T .¹⁴

2.1.3.2 Variables obtenidas de una observación espacial

- **Concentración (k).** Denominado densidad. Es el equivalente espacial del flujo. Corresponde a la cantidad de vehículos (n') observados en el instante t_0 en todo el tramo L . Su unidad de medida es número de vehículos por kilómetro (veh/km).¹⁵

$$k = \frac{n'}{L} \quad (1.4)$$

- **Velocidad media espacial (vs).** Se calcula a partir del promedio de los tiempos t_i de viaje que le toma a cada vehículo recorrer un tramo L , en (km/h).

¹² Fernández R. 2008:13

¹³ Fernández R. 2008:13

¹⁴ Fernández R..2008:13

¹⁵ Fernández R..2008:13

$$vs = \frac{L}{t} = \frac{L}{\frac{1}{n'} \sum_i ti} = \frac{L}{\frac{1}{n'} \sum_i \frac{ti}{L}} = \frac{L}{\frac{1}{n'} \sum_i (\frac{1}{vi})} \quad (1.5)$$

En consecuencia, la velocidad media espacial corresponde a la media armónica de las velocidades instantáneas de los vehículos en el tramo (pendientes de las trayectorias s-t en t_0).¹⁶

- **Espaciamiento promedio (s).** Corresponde al promedio de los espaciamientos s_i observados entre puntos homólogos de los vehículos. Su unidad de medida es (m).

$$s = \frac{1}{n'} \sum_i si = \frac{L}{n'} = \frac{1}{k} \quad (1.6)$$

Es decir, el espaciamiento promedio es el inverso de la concentración de vehículos en un tramo L.

Figura 2-2 Intervalos y espaciamiento en una corriente de tráfico

Fuente: Fernández (2008:14)

En la Figura 2-7 las dimensiones espaciales (L, s_i) y temporales (T, h_i) no son coincidentes. Se ha forzado el dibujo para resumir ambas en una sola figura. La Figura 2-8 se esquematiza otras definiciones.¹⁷

¹⁶ Fernández R..20

¹⁷ Fernández R..20

Figura 2-8 Definiciones de variables entre vehículos

Fuente: Fernández (2008:14)

2.1.4 Variables del estado del tráfico

Dentro del marco del concepto del modelo fluido dinámico, se puede representar el tráfico en un sistema en variables de un fluido continuo. Como se observa en la figura 2-9, esta ecuación relaciona las variables del estado del tráfico.

Figura 2-9 Relación de variables del tráfico

Fuente: Adaptación Propia Basada Fernández (2008)

Entonces se obtiene:

$$q = k \cdot Vs \quad (1.7)$$

Donde:

q: Flujo vehicular

k: Densidad o Concentración

Vs: Velocidad espacial

2.1.5 Teoría del seguimiento vehicular

La teoría del seguimiento vehicular (car following theory) cuenta con varios precursores en la década de 1950. Con el fin de comprender el comportamiento de los conductores, muchos de ellos evaluaron las velocidades, aceleraciones, tiempos de viajes, estado de ánimo de los conductores, percepción-reacción del conductor, etc. Pero no fue hasta 1958 que la General Motors formalizó.¹⁸

(...) “Consiste en una descripción microscópica de cómo se comporta un vehículo al ir tras de otro. El objetivo es que mediante esta descripción se pueda extrapolar el comportamiento macroscópico de toda una corriente de vehículos por una pista. Al igual que los modelos fluido dinámicos, estudia una corriente de tráfico continua y confinada a una pista (sin adelantamiento). Posteriores desarrollos (Gipps, 1981 y Gipps, 1986) levantan esta restricción y permiten describir el adelantamiento entre vehículos.” (Fernández 2008:24)

La teoría del seguimiento vehicular describe el comportamiento del vehículo $n+1$ (sucesor) en función de lo que haga el vehículo n (predecesor). Asume que existe correlación entre los comportamientos del vehículo predecesor y sucesor cuando el espaciamiento entre ambos es menor a los 100-125 metros. En la figura 2-10, se muestra la representación de la teoría de este comportamiento. (FERNÁNDEZ 2008:24),

¹⁸ Cfr: Fernández R. 2008:24

Figura 2-3 Sistema de análisis de la teoría del seguimiento vehicular
Fuente: Adaptación en base Fernández (2008)

Se definen las siguientes variables:

$x_n(t)$ = posición de un vehículo n en el instante t .

$\dot{x}_n(t)$ = velocidad de un vehículo n en el instante t .

$\ddot{x}_n(t)$ = aceleración de un vehículo n en el instante t .

De lo anterior se asumirá que el conductor del vehículo sucesor variará su conducta (respuesta) en forma proporcional al estímulo que recibe, ponderado por su sensibilidad. Es decir:

$$\text{Respuesta} = \text{Sensibilidad} * \text{Estímulo}$$

En un sistema cerrado como el descrito en la Figura 2.1.10, el estímulo lo proporcionará el vehículo predecesor al reducir o aumentar la velocidad relativa a la del sucesor. Es decir, la respuesta del sucesor podría ser tres: mantener su velocidad (v.g., si el predecesor está alejado), reducir su velocidad o aumentarla. Naturalmente, la respuesta no será inmediata, sino que tendrá un rezago temporal. De acuerdo con lo anterior, la formulación matemática del supuesto de comportamiento es la siguiente¹⁹:

$$\ddot{x}_{n+1}(t + T) = \lambda \{ \dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t) \} \quad (1.8)$$

¹⁹ Fernandez 2008:25

Donde:

λ = valor de la sensibilidad (s-1)

T = tiempo percepción-respuesta (s)

Con esta fórmula, se trata de representar el tiempo percepción-respuesta que se tarda un conductor del vehículo sucesor al reaccionar. Esto le toma un lapso de tiempo al conductor, el cual se da de la siguiente manera: Percibir el estímulo, interpretar el estímulo, evaluar una respuesta, ejecutar la respuesta decisiva y, por último, transmitir de manera mecánica la respuesta.²⁰

2.2 Modelación del tráfico

Para la determinación del flujo vehicular es importante considerar que los modelos analíticos se rigen de las variables que caracterizan el movimiento vehicular.

Existen diversos tipos de modelos para las diversas escalas de simulación del tráfico, dentro de ellos se tienen 03 grupos, los modelos macroscópicos, los modelos mesoscópicos y los modelos microscópicos. En la figura 2-11 se puede observar la representación de los modelos de tráfico.

Figura 2-4 Modelo de tráfico de acuerdo al nivel de estudio
Fuente: Gaceta digital UNAM:2016

²⁰ Cfr. Fernandez 2008:25

2.2.1 Modelación macroscópica

Este tipo de modelo tiene como característica, las representaciones del flujo del tránsito continuo, se refiere a la relación entre flujo, velocidad y densidad. Dichas cualidades del modelo disminuyen en detalle, pero son de gran utilidad para el tratamiento de problemáticas mayores en tiempos cortos de ejecución. La metodología de simulación no considera la conducta del seguimiento de vehículos en detalle. La simulación la efectúa como un modelo de tránsito continuo, por lo que sirve para analizar la conducta colectiva del tránsito y las condiciones del flujo en forma dinámica.²¹

En la Figura 2-1, se detalla los simuladores utilizados en diversos países. La última columna, muestra el tipo de aplicación, donde se puede simular autopistas, redes urbanas y rurales. (VALLADARES, 2016)

Tabla 2-1 Macro simuladores de redes de transporte

Fuente: Valladares 2016:17

Simulador	País de origen	Aplicación
AUTOS	Georgia Tech Research Institute, EEUU	Autopistas
TRAF/CORFLO	FHWA, EEUU (contiene NETFLO y FREFLO)	Integrado
EMME 4.2	Transportation Association of Canada, Canada	Integrado
FREFLO	FHWA, EEUU	Autopistas
FREQ	Universidad de California, EEUU	Integrado
KRONOS	Universidad de Minessota, EEUU	Autopistas
METACOR	Centro de Ingeniería de Tráfico y Simulación de Tráfico, Suecia	Integrado
METANET	Universidad Técnica de Múnich, Alemania	Autopistas
NETFLO	FHWA, EEUU	Redes señalizadas
NETVACI	Instituto de Tecnología de Massachusetts, EEUU	Redes señalizadas
PASSER	Instituto de Transporte de Texas, EEUU	Redes señalizadas
TRANSYT-7F	FHWA, EEUU	Redes señalizadas
TRANSYT 15.1	TRL, Reino Unido	Integrado
TRANSCAD	Corporación Caliper, EEUU	Integrado
TEXAS	Universidad de Texas, EEUU	Redes señalizadas
VISUM 15	Universidad de Karlsruhe, Alemania	Integrado

2.2.2 Modelación mesoscópica

El modelo mesoscópico, considera la simulación de vehículos como si fueran uno solo, los movimientos de giro, tiempos de arribo y salida son singularmente determinados por el mecanismo simulado.²²

Se emplean métodos estadísticos con el fin de detallar la probabilidad que un vehículo se ubique en cierto tiempo en una posición determinada.²³

²¹ Cfr. SUÁREZ CASTAÑO, 2007, pág. 25

²² Cfr. SUÁREZ CASTAÑO, 2007, pág. 26

Siete de los meso con mayor uso en el mercado se detallan en la Figura 2-13, la mayoría emplea la asignación dinámica y puede ser simulado en todo tipo de vías. Asimismo, 04 de los simuladores también son utilizados en la micro simulación. (VALLADARES, 2016)

Tabla 2-2 Meso simuladores de redes de transporte

Fuente: Valladares 2016:20

Simulador	País de origen	Aplicación
DYNAMIT	Instituto de Tecnología de Massachusetts, EEUU	Integrado
DYNEMO	Conceptos Innovativos, EEUU	Integrado
DYNASMART	Universidad de Austin Texas, EEUU	Integrado
INTEGRATION	Universidad de Queens, Canadá	Integrado
METROPOLIS	Suecia	Integrado
TRANSMODELER	Corporación Caliper, EEUU	Integrado
VISSIM 8	Universidad de Karlsruhe, Alemania	Integrado

2.2.3 Modelación microscópica

La modelación microscópica, abarca características, por cada vehículo, con es el comportamiento con otros vehículos en el flujo vehicular. Este nivel de detalle sirve para simular las operaciones de transito con mayor detalle, por lo que, hace que las informaciones de ingreso sean mayores, y mayor tiempo en el desarrollo. Este tipo de modelos incorpora el análisis de formación de colas de espera, el análisis de propagación de onda y otras técnicas analíticas. Además, los modelos de simulación microscópicos son estocásticos por naturaleza, emplean los procedimientos Montecarlo para generar aleatoriedad y representar la conducta del conductor en condiciones de tránsito reales.²⁴

Siete de los meso-con mayor uso en el mercado se detallan en la Figura 2-14., la mayoría emplea la asignación dinámica y puede ser simulado en todo tipo de vías. Asimismo, 04 de los simuladores también son utilizados en la micro simulación. (VALLADARES, 2016)

²³ Cfr. FERRER 2017: 51

²⁴ Cfr. SUÁREZ CASTAÑO, 2007, pág. 26

Tabla 2-3 Micro simuladores de redes de transporte

Fuente: Valladares 2016:19

Simulador	País de origen	Aplicación
PARAMICS	The Edinburgh Parallel Computing Centre and Quadstone Ltd., Reino Unido	Integrado
PELOPS	Institut fur Kraftfahwesen Aachen, Alemania	Integrado
PHAROS	Instituto de Simulación y Entrenamiento, EEUU	Redes señalizadas
PLANSIM-T	Universidad de la Colonia, Alemania	Autopistas
PICADY	TRL, Reino Unido	Redes señalizadas
ROADSIM	FHWA, EEUU	Rural
SATURN	TRL y Universidad de Leeds, Reino Unido	Integrado
SIGSIM	Universidad de Newcastle, Reino Unido	Redes señalizadas
SIMCO2	Universidad Técnica de Aachen, Alemania	Autopistas
SIMDAC	ONERA, Francia	Autopistas
SIMNET	Universidad Técnica de Berlín, Alemania	Autopistas
SIMTRAFFIC	Compañía de Software para señales de tráfico, EEUU	Redes señalizadas
SISTM	TRL, Reino Unido	Autopistas
SITRA-B+	ONERA, Francia	Integrado
SITRAS	Universidad de Nueva Gales del Sur, Gales	Integrado
SMARTPATH	Universidad de California Berkley, EEUU	Autopistas
SOUND	Universidad de Tokio, Japón	Integrado
SPEACS	Programa Protetheus, Reino Unido	Autopistas
STEER	Grupo de Control de Redes de la Universidad de York, Reino Unido	Autopistas
TEXAS	Universidad de Texas, EEUU	Redes señalizadas
TEXSIM	Instituto de Transporte de Texas, EEUU	Redes señalizadas
TRAFFICQ	Administración de Vehículos Motorizados (MVA), EEUU	Redes señalizadas
TRANSIMS	Laboratorio Nacional Los Álamos, EEUU	Autopistas
TRANSMODELER	Corporación Caliper, EEUU	Integrado
THOREAU	Corporación MITRE, EEUU	Autopistas
VENDES	Tecnología AEA, EEUU	Redes señalizadas
VISSIM 7	Universidad de Karlsruhe, Alemania	Integrado
WATSIM	Asociación KLD, EEUU	Integrado
WEAVSIM	FHWA, EEUU	Integrado

2.3 Flujo discontinuo en intersecciones no semaforizadas

Una intersección regulada con señal de prioridad posee uno o más accesos por los cuales el flujo no debe detenerse al llegar a la intersección (vía prioritaria), y otros por los cuales los vehículos deben ceder el paso o detenerse ante el flujo prioritario (vía secundaria). (FERNÁNDEZ 2008)

2.3.1 Capacidad de intersecciones con señal de prioridad

Cabe señalar que los vehículos que circulan en la vía con prioridad, no son afectados por la presencia de una intersección. Asimismo, la capacidad de la vía prioritaria será igual a la capacidad de un tramo de circulación continua de similares características.

Para poder estimar la capacidad de este tipo de intersecciones, se basan en dos tipos enfoques, que se detallan:

- Modelos de brecha
- Modelos de regresión lineal

a) Modelos de brechas

Refiere al conductor de la cola, que se genera de un acceso secundario, que observa el flujo prioritario buscando un espacio entre los vehículos, apropiado para cruzar en forma segura. (FERNANDEZ, 2008), Esto lo podemos observar en la Figura 2-15.

Figura 2-5 Modelo de Brechas
Fuente: Fernández 2008:57

Como se aprecia en la imagen, el vehículo trabaja como “tapón” en los vehículos que se encuentran detrás del mismo. Asimismo, este espacio se mide en unidades de tiempo y es la brecha o gap (g). Si la brecha es mayor o igual que un cierto valor –llamado brecha crítica– el vehículo cruza y el segundo vehículo de la cola toma posición para buscar una brecha apropiada. El proceso se repite mientras existan vehículos en cola. Naturalmente, la posibilidad de encontrar brechas para cruzar dependerá de la magnitud del flujo por la vía prioritaria.²⁵

A continuación, se definen las variables para estos modelos y sus unidades.

Q_p = flujo por la vía prioritaria [veh/h]

Q_p = capacidad de la vía prioritaria [veh/h]

²⁵ Cfr. Fernández 2008: 56

g = brecha observada en la vía prioritaria

$[s]$ = brecha crítica: brecha aceptada el 50% de las veces para cruzar

$[s]$ = tiempo de avance de la cola: tiempo que le toma al segundo vehículo avanzar hasta la línea de detención $[s]$

b) Modelos de regresión lineal

A diferencia de los modelos de brechas, los modelos de regresión lineal no se derivan de principios básicos, sino que constituyen una aproximación empírica al tema. Permiten estimar la capacidad de cada movimiento secundario que se produce en una intersección, en vez de hacerlo para el acceso completo (Figura 2-16 y 2-17). (FERNÁNDEZ, 2008)

Figura 2-6 Movimientos secundarios en Intersección en T
Fuente: Fernández 2008:62

Figura 2-7 Movimientos secundarios en intersección en +
Fuente: Fernández 2008:63

2.4 Semaforización

Los semáforos son dispositivos electrónicos, que sirven para la facilitar la circulación de vehículos, a través de las indicaciones visuales de luces de colore rojo, amarillo y verde. Asimismo, la principal finalidad es de permitir el paso, me manera alternada, al flujo de transito que se cruzan, permitiendo un uso ordenado y seguro del espacio disponible.²⁶

2.4.1 Diseño de semáforos

Para la realización de diseños de semáforos es importante saber la terminología o parámetros de tiempo, que se detallan:²⁷

- Ciclo: Fase completa de la secuencia semafórica.
- Fase: Es la combinación del movimiento del tráfico, como parte del ciclo semafórico específico.
- Intervalo: Etapa en tiempo, donde las indicaciones del semáforo se mantienen constantes.
- Duración de ciclo: Tiempo completo del ciclo semafórico, es representado por el símbolo C y la unidad es segundos.
- Tiempo de verde: Es el tiempo del ciclo cuando el indicador muestra verde, su símbolo es g y la unidad es en segundos.
- Intervalo todo rojo: Es la exposición en tiempo de la indicación en rojo para todo el transito que está en espera de circulación.
- Intervalo de cambio y limpieza: Es el intervalo de señales amarillo más todo rojo que ocurre entre fases, para proveer de limpieza en la intersección antes de que los movimientos de conflicto se realicen, está dado en segundos y su símbolo es Y.
- Intervalo de despeje: Tiempo de exposición de la indicación ámbar del semáforo.

2.4.2 Tipos de Semaforización

En la actualidad los semáforos tienen la capacidad de distribuir el tiempo según los tipos de controladores que posean, estos se pueden determinar cómo:²⁸

²⁶ Cfr Cal y Mayor, 1994, pág. 386

²⁷ Cfr Alonso y Galván, 2016, pág. 20

²⁸ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 10

- Los semáforos con control de tiempo fijo (prefijados): Son las secuencias de fase que están mostradas en orden reiterativo. Esta fase detalla intervalos fijos que sostienen la longitud del ciclo constante.
- Los semáforos con control totalmente actuado: Se determina aquellos semáforos con control por detectores vehiculares que mantienen la distribución de ciclos en todas las vías de la intersección. Las fases están controlada a un tiempo de verde mínimo, asimismo, este se activa en función al flujo vehicular. Cabe resaltar que las longitudes de ciclo son variables.
- Los semáforos con control semi-actuado: Este tipo de semáforos que cuentan con detectores (mayormente en vía secundaria), en el caso de vías principales no cuentan con detectores. Cabe resaltar, que las disposiciones de los movimientos de giros afectan la capacidad y operación de la intersección. Estos presentan dos tipos de movimientos de giro: los giros permitidos, son aquellos que entran en conflicto con peatones, bicicletas o circulación opuesta de vehículos, mientras que los giros protegidos son aquellos que se realizan sin conflicto.

2.4.3 Cálculos de los tiempos de semáforo

Para la obtención de un mínimo de demoras, cada fase debe incluir el mayor número posible de movimientos simultáneos. Así se logrará admitir un mayor volumen de vehículos en la intersección. Este debe ser un objetivo permanente que no debe olvidarse. En general, el número de fases diferentes debe reducirse al mínimo, considerando la seguridad y la eficiencia. La selección de los movimientos dentro de cada fase debe tender a reducir a un mínimo la frecuencia y gravedad de los puntos de conflicto. Igualmente, la secuencia de las fases debe tratar de reducir las demoras. (Cal y Mayor, 1994)

Como se acaba de mencionar, una fase comienza con la pérdida del derecho de paso, final de verde, de los movimientos de los que están en conflicto con los que ganan el derecho. Esto es, la fase comienza con el ámbar que previene para detener los movimientos de los que lo tenían. Por lo tanto, una fase consta de un intervalo ámbar, uno todo rojo y uno verde. Las Figuras 2-8 y 2-9 muestran una intersección de cuatro accesos operada con un semáforo de dos fases. En ella se observa en forma esquemática los conceptos de longitud de ciclo, intervalos y fases. (Cal y Mayor, 1994)

La distribución de los tiempos de cada fase debe estar en relación directa con los volúmenes de tránsito de los movimientos correspondientes. En otras palabras, la duración

de cada fase y del ciclo dependerán de la demanda. Si los intervalos entre los vehículos que entran por la intersección, durante la hora de máxima demanda, es aproximadamente igual en los carriles críticos de las calles que intersecan, la subdivisión del tiempo total del ciclo con indicación verde, será aproximadamente correcta si los lapsos correspondientes a cada calle se hacen directamente proporcionales a los volúmenes de tránsito en los carriles crítico. (Cal y Mayor, 1994)

Figura 2-8 Intersecciones semaforizadas

Fuente: Cal y Mayor, 1994, pág. 398

Figura 2-9 Fases y diagramas de fases de una intersección semaforizadas

Fuente: Cal y Mayor, 1994, pág. 398

2.5 Metodología HCM 2010.

El Highway Capacity Manual (HCM), es una publicación que hizo el National Research Council en Estados Unidos, por medio de Transportation Research Board (TRB), el cual provee técnicas para la estimación de capacidad de vía y determinar niveles de servicio en carreteras e intersecciones.²⁹

Nos describe tres metodologías para la evaluación de la eficiencia de una intersección semaforizada, con señalización de pare y rotondas.³⁰ Sin embargo, para el desarrollo del presente trabajo, se orientará a la metodología de automóvil, la que se fundamentará en los análisis de condición de tráfico constante en una intersección semaforizada. Como se detalla en la figura 2-21, se detallan los 10 pasos que involucran la metodología de automóvil.

²⁹ Cfr. Alonso y Galván 2016:25

³⁰ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 21

Figura 2-10 Metodología del automóvil para intersecciones semaforizadas

Fuente: TRB - HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 32

2.5.1 Paso N° 01: Determinar el grupo de movimientos y grupo de carriles como parte de los conceptos y alcances se tiene en cuenta lo siguiente.

La metodología para intersecciones con semaforización emplea los conceptos de grupos de movimiento para detallar y evaluar la intersección. Asimismo, las dos designaciones de grupo tienen significados muy parecidos. En efecto, las diferencias solo surgen cuando un carril compartido se encuentra en un acceso con dos o más carriles. De tal modo, que la designación de grupo de movimiento aplicado para especificar datos de entrada. Por el contrario, la designación de grupo de carril es aplicado para la descripción de los cálculos relacionados con la metodología.³¹

Para la determinación de los grupos de movimiento en una intersección, se debe considerar las siguientes reglas:

³¹ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 33

- Un movimiento de giro que es servido por uno o más carriles exclusivos y ningún carril compartido, deben ser asignados como un grupo de movimiento.
- Cualquier carril no asignado a un grupo, por la regla anterior, debe de mezclarse dentro de un grupo de movimiento.

El concepto de grupo de carriles es válido solo cuando existe un carril compartido en un acceso que tiene dos o más carriles. Muchos de los procedimientos en la metodología necesitan alguna indicación sobre el carril compartido sirve a una combinación de vehículos o funciona como un carril exclusivo para girar. Dicho problema se resuelve cuando se calcula la proporción de giros en el carril compartido. Si la proporción es igual a 1.0; vale decir, 100%, se validará que el carril compartido funciona como un carril de giro exclusivo.

Para la determinación de grupo de carriles en el acceso a la intersección, se deben de considerar las siguientes reglas, que se detallan:

- Uno o más carriles con giro exclusivo a la izquierda serán considerados como grupo aislado de carriles. Se aplicará de la misma forma para carriles con giro a la derecha.
- Algunos carriles compartidos deben ser designados como grupo de carriles separados.
- Los carriles que no son de giro exclusivo o compartido deben ser combinados en un solo grupo de carril.

Las reglas mencionadas nos brindan diversas posibilidades de grupos de carriles en el acceso a la intersección:

- Carril o carriles exclusivos de giro a la izquierda
- Carril o carriles exclusivos directos
- Carril o carriles exclusivos de giro a la derecha
- Carril compartido de giro a la izquierda y directo
- Carril compartido de giro a la izquierda y giro a la derecha
- Carril compartido de giro a la derecha y directo
- Carril compartido de giro a la izquierda, directo y giro a la derecha

Esta metodología puede emplearse en una combinación lógica del grupo de carriles. En la figura 2.5-2, se detallan algunos grupos de movimientos comunes y grupos de carriles comunes.

Tabla 2-4 Grupo de carriles típicos para el análisis

Fuente: TRB - HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 34

NÚMERO DE CARRILES	MOVIMIENTO POR CARRILES	MOVIMIENTO EN GRUPOS (MG)	GRUPO DE CARRILES (LG)
1	Left, thru., & right:	MG 1:	LG 1:
2	Exclusive left: Thru. & right:	MG 1: MG 2:	LG 1: LG 2:
2	Left & thru.: Thru. & right:	MG 1: MG 2:	LG 1: LG 2:
3	Exclusive left: Exclusive left: Through: Through: Thru. & right:	MG 1: MG 2: MG 3:	LG 1: LG 2: LG 3:

2.5.2 Paso N° 02: Determinar la tasa de flujo del grupo de movimiento.

Para el desarrollo del presente paso, aplica si un giro es usado para uno o más carriles exclusivos y carriles no compartidos, por consiguiente, el flujo de movimientos es asignado a ese grupo de movimientos. Para los flujos aproximados que no han sido asignados a un grupo de movimientos, se le asignará a un grupo de movimientos. El valor del flujo (RTOR) se obtiene del giro a la derecha, separado de si este giro se presenta en un carril compartido o a un carril exclusivo. En una intersección existente, el número RTOR deberá ser determinado mediante observaciones de campo.³² Asimismo, cabe señalar que la obtención del valor de la tasa de flujo en los grupos de movimiento, será recabado en los aforos vehiculares, que se realizaran por un periodo de ¼ de hora.

2.5.3 Paso N° 03: Determinar la tasa de flujo de grupo de carriles.

El paso menciona qué, si no existen carriles compartidos en ingreso de una intersección, o si solo presenta un solo carril, se establece una correspondencia uno a uno entre grupo de carriles y grupos de movimientos. De tal modo, que el flujo del grupo de carriles es igual a la tasa flujo de grupo de movimientos.³³

2.5.4 Paso N° 04: Determinar los ajustes de la tasa de flujo de saturación.

Para la determinación de la tasa de flujo de saturación, la variable de entrada empleada para este cálculo es el flujo base de saturación, que está dentro del flujo de saturación

³² Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 34

³³ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 34

ajustado ya que este detalla el uso de varios factores que ajustan la base del flujo de saturación para las condiciones particulares que estén presentes en una intersección.

La ecuación x determina el flujo de saturación por carril y por grupo de carriles³⁴

$$S = S_0 * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_{LT} * f_{RT} * f_{Lpb} * f_{Rpb} \quad (1.9)$$

Donde:

S = Ajuste de la tasa de flujo de saturación

S_0 = Tasa de flujo de saturación base. (veh/hr/carril)

f_w = Factor de ajuste por ancho de carril

f_{HV} = Factor de ajuste por vehículos pesados

f_g = Factor de ajuste por pendiente en el acceso

f_p = Factor de ajuste por Estacionamiento adyacente al grupo

f_{bb} = Factor de Ajuste para bloqueo de buses que se detienen en una intersección

f_a = Factor de Ajuste por tipo de área

f_{LU} = Factor de ajuste por utilización de carril

f_{LT} = Factor de ajuste por giro a la izquierda en un grupo de carril

f_{RT} = Factor de ajuste por giro a la derecha en un grupo de carril

f_{Lpb} = Factor ajuste por peatones con giro a la izquierda

f_{Rpb} = Factor de ajuste por peatones y bicicletas para grupos con giro a la derecha

2.5.4.1 Flujo de saturación base (S_0).

El flujo base de saturación representa el flujo promedio esperado mediante el cual los carriles tienen condiciones geométricas y de tráfico que corresponden al valor de 1.0 para cada factor de ajuste.

Para la terminación del flujo saturación base, es representada como el flujo promedio esperado, en la que el carril presenta condiciones geométricas y de circulación, equivalente a un valor de 1.0 para cada factor de ajuste. Generalmente, se procede a tipificar una tasa

³⁴ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 35

de saturación base, para particularizar a las demás intersecciones semaforizadas en la zona donde se ubica la intersección del estudio.³⁵ Asimismo, de darse condiciones ideales, como ancho de carriles con 3.66 m, sin presencia de bloqueo de autobuses detenidos en una intersección, sin presencia de vehículos pesados, sin presencia de estacionamientos, con pendiente del 0%, sin presencia de giros vehiculares³⁶, la presente metodología sugiere que el valor de saturación base de 1900 vehículos por hora por carril (veh/h/carril).³⁷

2.5.4.2 Factor de ajuste por ancho de carril (f_w)

Para la determinación del factor por ancho de carril, considera el impacto negativo que presentan los carriles angostos en el flujo de saturación, asimismo permiten aumentar el flujo en los carriles anchos. Asimismo, se debe tener en cuenta que el ancho estándar del carril es de 12ft (3.66m), dicho factor debe de emplearse con cuidado en carriles que sobrepasen los 16ft (4.88m) o dicha evaluación se realizaran como dos carriles estrechos. No se deben den emplear en la estimación de tasa de flujo de saturación para un grupo de carriles con un ancho promedio menor a 8ft (2.44m). Se muestra en la tabla 2.5 los valores para los factores.

Tabla 2-5 Factor de ajuste por ancho de carril

Fuente: TRB-HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18:36

Ancho promedio del carril (ft)	Factor de ajuste (f_w)
< 10.0 ^a	0.96
≥ 10.0 - 12.9	1.00
> 12.9	1.04
Nota: ^a factores aplicados a anchos promedios de 8 ft a más	

2.5.4.3 Factor de ajuste por vehículos pesados (f_{HV}).

El factor de ajuste por vehículos pesados (f_{HV}), se refiere al espacio adicional que es ocupado por los vehículos pesados, y por las diferencias en su capacidad operativa, a diferencia con los vehículos de pasajeros. Este factor no menciona a la parada de buses locales en el área de intersección.³⁸ Los valores del presente factor se calculan con la siguiente ecuación.

³⁵ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 35-36

³⁶ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 14

³⁷ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 76

³⁸ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 36

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV}(E_T + 1)} \quad (1.10)$$

Donde:

P_{HV} = Porcentaje de vehículos pesados.

E_T = Número de autos equivalente por cada vehículo pesado. $E_T = 2.0$

2.5.4.4 Factor de ajuste por pendiente en el acceso (f_g).

El factor de ajuste por pendiente en el acceso (f_g) abarca los efectos de las pendientes y rampas de aproximación en el rendimiento del vehículo. Se aplica para las pendientes que van desde el 6.0% hasta +10.00%. Respecto a la cuesta arriba maneja un valor positivo a comparación de la cuesta abajo que tiene un valor negativo.³⁹ Los valores se calculan mediante la ecuación 1.11.

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200} \quad (1.11)$$

³⁹ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 36

Donde:

- Pg. = Pendiente aproximada para el grupo de movimiento que corresponda (%)

2.5.4.5 Factor de ajuste por Estacionamiento adyacente al grupo (f_p).

Para el cálculo de factor de ajuste por estacionamiento, se deberá considerar:⁴⁰

En primer lugar el factor de corrección, considera el efecto de rozamiento que un carril de estacionamiento influya sobre el flujo de los grupos de carriles adyacente al carril de estacionamiento. Además, revisa el bloqueo ocasional de un carril colindante por los vehículos que ingresan y salen del espacio de estacionamiento. De no existir estacionamiento, el factor tiene un valor de 1.00. Si hay presencia de estacionamiento, el valor se determinara mediante la ecuación 1.12.

$$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18 Nm}{3600}}{N} \quad (1.12)$$

Donde:

Nm= Cantidad de maniobras de estacionamiento adyacente grupo de carriles (maniobras/hr)

N = Número de carriles en el grupo de carriles (carriles)

Donde la cantidad de maniobras de estacionamiento corresponden a las áreas de aparcamiento directamente adyacentes al grupo de carriles y dentro de 250 ft (76.2 mt) arriba de la línea de parada. Asimismo, se considera un límite superior funcional de 180 maniobras/horas, también un valor mínimo de f_p , en la fórmula mencionada, es 0.050. Se asume que cada maniobra (dentro o fuera) es aplicada en el bloqueo del tráfico en el carril adyacente a la maniobra de parque por un tiempo promedio de 18 segundos.

Este factor es aplicado solo a grupos de carriles adyacentes al estacionamiento. Para calles de un solo sentido, con un grupo de carriles, la cantidad de carriles empleados es el total para ambos lados del grupo de carriles. En calles de un solo sentido, con dos o más grupos de carriles, este factor se determina independientemente por cada grupo de carriles y se basa en el número de maniobras adyacentes al grupo.

⁴⁰ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 36-37

2.5.4.6 Factor de Ajuste para bloqueo de buses (f_{bb})

Para la determinación del factor de ajuste de bloqueo de buses (f_{bb}), se debe tener en cuenta la siguiente ecuación 1.13

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4 Nb}{3600}}{N} \geq 0.050 \quad (1.13)$$

Donde:

N = Número de carriles en un grupo de carriles

Nb = Tasa de parada de buses en el sujeto enfocado (buses/h).

Este factor, cuenta el impacto de los buses de tránsito local que se detienen para subir o bajar pasajeros en un paradero de autobuses del lado cercano o lejano, que se ubique entre los 250ft (76.2 mt) de la línea de parada, ya sea antes o después de la intersección. Este factor solo deberá usarse cuando las paradas de los autobuses bloqueen el flujo vehicular en el grupo de carriles. Además, se debe tener en consideración un límite superior funcional para la ecuación antes mencionada, donde el valor es 250 buses/hora y un límite mínimo de 0.050 buses/hr. El factor empleado se asumirá como un tiempo promedio de bloqueo de 14.4 segundos durante el periodo de verde.⁴¹

2.5.4.7 Factor de Ajuste por tipo de área (f_a)

La determinación de ajuste por tipo de área (f_a) representa la ineficiencia de las intersecciones en los CDB, con relación con las de otros lugares. De emplearse tiene un valor de 0,90. El uso del factor se determina por cada tipo de caso. No es limitante a las áreas designadas de CBD, tampoco requiere ser empleado para denominar a áreas de CBD. Sin embargo, se debe emplear en áreas, donde el diseño geométrico y el tráfico o los flujos de peatones, o ambos, son tales que los avances del vehículo se incrementan significativamente.⁴²

⁴¹ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 37

⁴² Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 38

2.5.4.8 Factor de Ajuste por uso de carril (f_{LU})

El factor de ajuste por uso del carril, es empleado para la estimación del flujo de saturación de un grupo de carriles con más de un carril exclusivo. De darse el caso, que el grupo de carriles tiene un carril compartido o un carril exclusivo, este factor es 1.0.⁴³

2.5.4.9 Factor de Ajuste por giro a la izquierda en un grupo de carril (f_{LT})

El factor de ajuste de giro a la izquierda (f_{LT}), tiene esta finalidad principal reflejar el efecto de la geometría de la trayectoria de giro a la izquierda sobre el flujo de saturación. El valor de este factor de ajuste se calcula con la ecuación 1.14⁴⁴

$$f_{LT} = \frac{1}{EL} \quad (1.14)$$

Donde:

ER = Número equivalente de vehículos que evitan el giro a la izquierda; ER = 1.05

El movimiento de giro a la izquierda supone una reducción de la velocidad del vehículo, lo cual influye directamente en la duración de los ciclos semafóricos; asimismo, el saldo de la capacidad de la intersección, genera embotellamientos que producen demoras. El movimiento de giro, sea protegido o permitido, determina el factor de corrección de 0.95 para un carril ya sea exclusivo o permitido, y de 0.92 para dos o más carriles. De presentarse una intersección con forma de T, el factor será 0.85 para un carril exclusivo o compartido y 0.75 para dos o más carriles.

2.5.4.10 Factor de Ajuste por giro a la derecha en un grupo de carril (f_{RT})

El factor de ajuste de giro a la derecha (f_{RT}), tiene esta finalidad principal reflejar el efecto de la geometría de la trayectoria de giro a la derecha sobre el flujo de saturación. El valor de este factor de ajuste se calcula con la ecuación 1.15⁴⁵

$$f_{RT} = \frac{1}{ER} \quad (1.15)$$

Donde:

ER = Número equivalente de vehículos que evitan el giro a la derecha; ER = 1.18

⁴³ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 38

⁴⁴ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 38

⁴⁵ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 38

Para movimientos de giro a la derecha, debe de considerarse la demora en espacios con conflicto, ya sea por el tránsito de peatones y ciclistas. Asimismo, este movimiento puede ejecutarse de manera protegida o permitida. De darse el caso, que el giro es protegido para un carril exclusivo o compartido, se determina el empleo directo del factor de ajuste con una valoración de 0.85, si se trata de dos o más carriles se considera 0.75.

2.5.5 Paso N° 05: Determinar la proporción que llega durante el verde

El retraso por control y el tamaño de la cola en una intersección semaforizadas dependen en gran medida a la proporción de vehículos que llegan durante la señal del semáforo en verde y rojo. El retraso y el tamaño de la cola son menores cuando llega una mayor proporción de vehículos durante la indicación verde. Para la determinación del valor de cantidad de vehículos que llegan en verde P , se necesita tener el tiempo de verde efectivo y la duración del clico. Esto se determina mediante la Ecuación 1.16⁴⁶

$$P = Rp * \left(\frac{g}{c}\right) \quad (1.16)$$

Donde:

P = Proporción de vehículos que llegan durante el verde

RP = Relación en pelotón.

C = Ciclo semafórico (S)

g = Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles

2.5.6 Paso N° 06: Determinar los intervalos de fase semafórica

Para la determinación de la duración de intervalos del semáforo, dependerá del tipo de control empleado en la intersección. De darse el caso, que el semáforo posea periodos establecidos, la duración de esta fase se información conocida que podrá ser modificado de acuerdo a un sistema específico, por lo que, este paso no se considera. Si el semáforo es activado, el periodo de fase estará constituido por cinco periodos de tiempo. El primero, es el tiempo perdido mientras la cola reacciona al cambio de la señal de indicación a verde. El segundo, representa el tiempo necesario para liberar la cola de vehículos. El tercero, representa el tiempo de indicación verde extendido por vehículos que ingresan al azar. Este termina cuando existe una brecha en el tráfico o el verde se extiende hasta el límite

⁴⁶ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 39

máximo; es decir, máximo verde. El cuarto, menciona al intervalo de cambio de color ámbar. Finalmente, el quinto período es el intervalo de separación de color rojo. Por lo tanto, una fase de activación, se determina mediante la ecuación 1.17⁴⁷

$$Dp = l_1 + g_s + g_e + Y + R_c \quad (1.17)$$

Donde:

Dp = Duración de la fase (s)

l_1 = Tiempo perdido en la fase de inicio debido al arranque; $l_1 = 2.0$ (s)

g_s = Tiempo de servicio de cola (s)

g_e = Tiempo de amplitud de la indicación verde (s)

Y = Intercambio del ámbar (s)

R_c = Intervalo de despeje en rojo (s)

Asimismo, para la determinación del verde efectivo, se debe considerar la siguiente ecuación 1.18

$$g = Dp + l_1 + l_2 = g_s + g_e + e \quad (1.18)$$

Donde:

l_2 = Tiempo perdido de despeje; $l_2 = Y + R_c - e$

e = Extensión del tiempo de verde efectivo; $e = 2.0$

2.5.7 Paso N° 07: Determinar la capacidad y grado de saturación

Para la determinación de capacidad y grado de saturación, se tendrá en consideración lo detallado:⁴⁸

La capacidad de un determinado grupo de carriles funciona a un movimiento de tráfico, donde no está permitidos el giro a la izquierda. Vale decir, la configuración de la intersección semaforizadas está relacionado directamente sobre la capacidad de la vía, la que se halla mediante la Ecuación 1.19.

⁴⁷ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 39

⁴⁸ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 41

$$c = NS\left(\frac{g}{c}\right) \quad (1.19)$$

c = Capacidad (veh/hora/acceso)

S = Tasa de flujo de saturación ajustado (veh/h/lv)

g = Tiempo de verde efectivo de la fase

C = Longitud del ciclo semafórico

N = Número de carriles para el grupo de movimiento o grupo de carril

La presente ecuación, no puede emplearse para el cálculo de la capacidad de un carril compartido en un grupo de carriles, tampoco para grupo de carriles con movimientos de giro a la izquierda permitido, ya que estos carriles cuentan con otros factores que intervienen en su capacidad. La relación volumen-capacidad para un grupo de carriles, es definida como el volumen del grupo de carriles sobre su capacidad. Esta se resuelve a través de la ecuación 1.19.

$$X = \left(\frac{v}{c}\right) \quad (1.20)$$

Donde:

X = Relación volumen - capacidad

v = Flujo de demanda (veh/h/acceso)

c = Capacidad (veh/hora/acceso)

2.5.8 Paso N° 08: Determinar las demoras

Para la determinación del cálculo de demora calculada, es presentada por la demora de control promedio, que son experimentados por todos aquellos vehículos que arriban durante el período de análisis. Asimismo, incluye el retraso en la colocación incurrido por estos vehículos que aún están en la cola después, que finalice el período de análisis. Para realizar el cálculo del retraso del control de un grupo, se deberá resolver mediante la ecuación⁴⁹:

$$d = d_1 + d_2 + d_3 \quad (1.21)$$

⁴⁹ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 46

d = Demora total del sistema(s/veh).

d_1 = Demora uniforme (s/veh).

d_2 = Demora incremental (s/veh).

d_3 = Demora por cola inicial (s/veh).

2.5.8.1 Demora uniforme (d_1)

Para la estimación de la demora uniformes y flujo estable. Se basa en el primer término de la formulación de la demora de WEBSTER'S, y es validado como procedimiento de cálculo de la demora para casos idealizados de demoras uniformes. Nótese que los valores de X más allá de 1.0 no son usados en el cálculo de d_1 . Cabe mencionar, que todas las variables están previamente definidas. Para realizar el cálculo de demoras se debe resolver la siguiente formula.⁵⁰

$$d_1 = \frac{0.5C (1 - g/c)^2}{1 - [\min(1, x) g/c]} \quad (1.22)$$

Donde:

- d_1 = Demora uniforme, asumiendo llegadas uniformes (s/veh)
- C = Ciclo semafórico (s)
- g = Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles (s)
- X = Relación volumen-capacidad v/c para el grupo de carriles

2.5.8.2 Demora incremental (d_2)

La ecuación 1.21 estima el incremento de demora debido a arribos no uniformes y fallas temporales de ciclo (demoras aleatorias) así como las causadas por sustanciales períodos de sobre saturación (demora por sobre - saturación). Esto es sensible al grado de saturación del grupo de vías (X), la duración del período de análisis (T), la capacidad del grupo de vías (c) y el tipo de control de señal reflejado por el parámetro de control (K). La fórmula asume que no hay demanda no servida causada por filas residuales en el comienzo del período de análisis (T).

⁵⁰ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 46

Si este no es el caso se podrá consultar el apéndice final para el procedimiento que considera el efecto de una fila inicial sobre la demora.⁵¹

Finalmente, el término de incremento de demora es válido para todos los valores de X, incluyendo sobre - saturaciones altas en los grupos de vías. La expresión para d_2 es:

$$d_2 = 900T \left[(X - 1)^2 + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8kIX}{cT}} \right] \quad (1.23)$$

Donde:

d_2 = Demora incremental (s/veh).

T = Duración del periodo de análisis (Se considera 0.25 horas si los aforos son cada 15 minutos)

X = Relación volumen – capacidad

k = Factor de demora incremental que depende de la forma de control de la intersección. Para intersecciones semaforizadas con giros permitidos, se recomienda un valor de $k = 0.5$

I = Factor de ajuste por presencia de intersecciones aguas arriba.

c = Capacidad (veh/hora/acceso)

Factor de ajuste por presencia de intersecciones aguas arriba

Específicamente este factor sirve para estimar el valor aleatorio del número de vehículos que arriban a la zona de estudio por efecto de la administración de la intersección aguas arriba. Los valores de este factor varían entre 0.09 y 1.00 siendo el valor 1.00 apropiado para una intersección aislada. Se considera intersección aislada aquella que presenta una distancia de 0.6 millas (965 metros).

$$I = 1.0 - 0.91X^{2.68} \geq 0.09 \quad (1.24)$$

I = Factor de ajuste por presencia de intersecciones aguas arriba.

X = Relación volumen – capacidad

⁵¹ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 47

2.5.8.3 Demora por cola inicial (d_3)

Si ningún grupo de carriles tiene una cola inicial, el retraso inicial de la cola d_3 es igual a 0.0 s / veh. Si hay una cola inicial para cualquier grupo de carriles en la intersección, la ecuación 18 a través de la ecuación 1.24 se usa para calcular el retraso inicial de la cola para cada grupo de carriles⁵²

$$d_3 = \frac{3600}{vT} \left[t_A \frac{Q_b + Q_e - Q_{ev}}{2} + \frac{Q_e^2 - Q_{ev}^2}{2c} - \frac{Q_b^2}{2c} \right] \quad (1.25)$$

$$\text{Si } v \geq c \text{ entonces: } Q_e = Q_b + t_A(v - c)$$

$$Q_{ev} = T(v - c) \quad \text{Donde: } t_A = T$$

$$\text{Si } v < c \text{ entonces: } Q_{ev} = 0.0$$

$$t_A = Q_b / (c - v)$$

Donde:

d_3 = Demora por cola inicial (s/veh).

c = Capacidad (veh/hora/acceso)

v = Flujo de demanda (veh/h/acceso)

T = Duración del periodo de análisis (horas)

t_A = Tiempo de espera de la demanda insatisfecha en el periodo de análisis (horas)

Q_b = Cola inicial al comienzo del período de análisis (veh)

Q_e = Cola al final del período de análisis (veh)

Q_{ev} = Cola ajustada al final del período de análisis (veh)

2.5.9 Paso N° 09: Determinar los niveles de servicio

Para la determinación de la calidad del flujo vehicular, se emplea el concepto de nivel de servicio, denominada como una medida cualitativa que nos describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, así como, la percepción por los conductores y/o pasajeros. Dichas condiciones se describen en términos de factores tales como velocidad y el tiempo

⁵² Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 54

de recorrido, la libertad de maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.⁵³ En la tabla 1.1 se detalla las condiciones de estos niveles de saturación.⁵⁴

Tabla 2-6 Niveles de servicio por relación volumen –capacidad

Fuente: TRB - HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 6

DEMORA POR CONTROL (s/veh)	NIVEL DE SERVICIO (NS) - RELACIÓN V/C	
	≤ 1.0	> 1.0
≤ 10	A	F
> 10 - 20	B	F
> 20 - 35	C	F
> 35 - 55	D	F
> 55 - 80	E	F
> 80	F	F

Finalmente, es importante detallar que la aplicación del Paso N° 10, no está contemplado en el proyecto de tesis.

2.6 Software Synchro versión 8.0 TRAFFICWARE

Synchro, es el software de análisis y optimización, gestión y sistemas de tráfico macroscópica de Trafficware, es compatible con la 6ª edición del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM), 2010 y 2000 para intersecciones señalizadas, intersecciones no señalizadas y rotondas. Adicionalmente, en contraste con la Metodología HCM, Synchro

⁵³ Cfr. Transportation Research Board (TRB) – HCM 2010: Vol. 3, Cap. 18: 54

implementa el Método de Utilización de la Capacidad de la Intersección (ICU Method), ejecuta el cálculo de las demoras a través del Método de Demora Percentil y estima de forma directa el Factor de Progresión (PF), tomando en cuenta la demora por bloqueo a causa de la interacción de colas. Así mismo, cuenta con una interfaz amigable que facilita la visualización y el ingreso de datos.

Asimismo, el programa Synchro 8.0 incluye:

- Synchro, un análisis macroscópico y programa de optimización;
- SimTraffic, un potente y fácil de usar aplicación de software de simulación de tráfico;
- 3D Viewer, una vista tridimensional de simulaciones SimTraffic;
- SimTraffic CI, una aplicación que interactúa con una interfaz de controlador (IC) del dispositivo conectado a un controlador para simular el funcionamiento del controlador con simulado tráfico.

Adicionalmente se señalan las características del programa:

- CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO: Relación V/C y Nivel de Servicio ICU
- FLUJO DE SATURACION: Flujo de Saturación ideal y Flujo de saturación real
- TIEMPOS DE DEMORA: Demora por control

Finalmente, entre las principales funciones de Synchro se debe destacar las siguientes:⁵⁵

- Análisis de la capacidad en intersecciones semaforizadas y no semaforizadas.
- Análisis operacional de las intersecciones controladas por paradas.
- Simplifica el análisis de intersecciones en base a la capacidad y a la optimización del tiempo de semaforización.
- Optimiza la duración del ciclo, división y compensación de tiempos de fases.
- Coordina los semáforos mediante la optimización de fases y longitud del ciclo.
- Modela y simula macroscópicamente el tramo vial.

⁵⁵ Cfr. Del Mar Velarde & Vásquez Palomino-2019, Pag.58

- Modela y simula mesoscópicamente con Sim traffic.
- Realiza trabajos con diversos tipos de semáforos.
- Simula y evalúa el comportamiento de intersecciones sin semáforos y con semáforos, de manera simultánea.
- Importa archivos de bit map o jpeg para ser empleados como fondo de mapa.
- Interacción óptima, de modo que, al realizar cambios en los datos de entrada, los resultados se actualizan automáticamente.
- Presenta ventanas emergentes de HCM 2010 para informar al usuario del por qué la intersección es incompatible con el HCM 2010.
- Genera planes de sincronización semafórica.
- Presenta planes de operación mediante diagramas de tiempo-espacio.

El proyecto de investigación que estamos desarrollando, hará uso del software Synchro 8.0, la que nos ayudará a simular y validar las propuestas de mejoras, detalladas en los objetivos específicos.

3. RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

El presente capítulo presenta información importante referente al área de estudio. Por lo que, detallan características a grandes rasgos de la red vial, que es objeto de investigación. Además, la evaluación y análisis de la información servirá para el procesamiento de la data, la cual nos servirá para proporcionar los datos que se necesitara para el programa de simulación.

3.1 Información del Área de Estudio

Santiago de Surco tiene una zonificación urbana establecida. El uso de suelo es definido por el tipo de actividad urbana localizada en un espacio determinado. Para el caso de estudios apreciamos distintas clasificaciones:

- E1: Instituciones Educativas
- E2: Instituciones Superiores Tecnológicas
- RDB: Residencial de densidad baja
- CZ: Comercio Zonal

Figura 3-1 Uso de suelo y zonificación

Fuente: IMP 2007

Como aprecia en la figura 3.1, el uso de suelo establecido por la municipalidad, en la mayoría de la zona de estudio es Comercio Zonal, alguno de los modelos de comercio son;

mercados, entidades del estado, centros bancarios, edificios de oficinas y multifamiliares, entre otros, reflejando el crecimiento de edificaciones urbanas de uso público, que pueden alterar las condiciones de tráfico, asimismo teniendo en cuenta que son puntos de concentración de público en general.

3.1.1 Ubicación de la Red de Estudio

El área de estudio se ubica en el distrito de Santiago de Surco, departamento de Lima, país Perú. En la zona urbana denominada Lima Sur⁵⁶. Santiago de Surco se ubica a Latitud: 12°8'47"Sur y Longitud: 77°0'24" Oeste⁵⁷, En la Figura 3.1 se demuestra la ubicación de la zona en estudio.

Figura 3-2 Ubicación del área de estudio

Fuente: Adaptación propia en base al Internet 2019

3.1.2 Características del Tramo Vial

El tramo vial, está conformada por dos vías, comprendida desde la cuadra 36 hasta la cuadra 46 de la Av. Alfredo Benavides con sentido de NO-SE. La longitud del tramo es de 1.21 km. La misma presenta características particulares en ambas vías.

- En primer lugar, la Av. Alfredo Benavides es de doble sentido y cuenta con diferentes cantidades de carriles, desde el acceso del ovalo higuiereta, por el by pass y la vía superior, ingresa con 8 carriles, 4 por cada lado, disminuyendo a la altura de la Calle Juan Carlos Tenaud a 3 carriles.

⁵⁶ Cfr. Municipalidad de Metropolitana de Lima 2012-2025, 2013: 17

⁵⁷ Cfr. Oficina de Programación Multianual de Inversiones 2020-2022 – OPMI, 2019:6

- En segundo lugar, a la altura de la intersección de la Av. Benavides y Calle José Enrique León García, los carriles disminuyen a 3 carriles, 2 por cada lado hasta la intersección con la Av. Ayacucho, debido a que el tercer carril esta inoperativo por la presencia de árboles que impiden la circulación regular. En red de la Av. Benavides con las intersecciones de la Av. Higuiereta hasta la Av. Velasco Astete, presentan 6 carriles, 3 por cada lado. Esta característica se extiende hasta concluir el tramo en estudio. La Figura 3-3 detalla la longitud de la red.

Figura 3-3 Intersecciones que delimitan el tramo vial

Fuente: Google Maps 2019

Además, el tramo vial presenta cinco intersecciones a nivel que son parte del estudio; cuatro de ellas presenta forma de X (4 ramales) y una de tipo T (3 ramales).

- Intersección N° 1: Conformada por el cruce entre la Av. Alfredo Benavides y Av. Calle Juan Carlos Tenaud. Es de tipo T o Y .
- Intersección N° 2: Conformada por el cruce entre la Av. Alfredo Benavides y Av. Calle José Enrique León García. Es de tipo X o cruz.
- Intersección N° 3: Conformada por el cruce entre la Av. Alfredo Benavides y Av. Ayacucho. Es de tipo T o Y.
- Intersección N° 4: Conformada por el cruce entre la Av. Alfredo Benavides y Av. Higuiereta. Es de tipo X o cruz.

- Intersección N° 5: Conformada por el cruce entre la Av. Alfredo Benavides y Av. Velasco Astete. Es de tipo X o cruz.

La selección de las cinco intersecciones corresponde, a la cercanía entre cada una de ellas, semaforización en 4 intersecciones, en el caso de la intersección N° 01 corresponde al acceso desde el by pass hacia la Av. Benavides. En la Figura 3-4 se detalla los puntos de influencia.

Figura 3-4 Ubicación intersección del área de estudio

Fuente: Google Maps 2019

3.2 Recopilación de Datos

Como parte primordial en la investigación, está la etapa de recopilación de datos, ya que nos permitirá consolidar la información requerida previo a la aplicación de la metodología HCM 2010 en el software de simulación. Por lo que, se detallaran en los siguientes acápite los procedimientos aplicados para recolección de la data.

3.2.1 Geometría del Tramo Vial

La información respecto a la geometría del tramo vial, son provenientes de la municipalidad de Santiago de Surco y la verificación in situ a través del levantamiento topográfico de la zona. La medición y verificación de los anchos de carril se detallan en la Tabla 3.1.

Tabla 3-1 Anchos de Carril en cada intersección

INTERSECCIÓN N° 1 NO SEMAFORIZADA											
	Av. Alfredo Benavides								Calle Juan Carlos Tenaud			
	NO-SE				SE-NO				NE-SO		SO-NE	
# DE CARRILES	C-1	C-2	C-3	C-4	C-1	C-2	C-3	C-4	C-1	C-2	C-1	C-2
TIPO DE CARRIL
ANCHO DE CARRIL (m)	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.5	3.5	3.5	3.5

INTERSECCIÓN N° 2											
	Av. Alfredo Benavides								Calle Enrique León García			
	NO-SE				SE-NO				NE-SO		SO-NE	
# DE CARRILES	C-1	C-2			C-1	C-2			C-1	C-2	C-1	C-2
TIPO DE CARRIL
ANCHO DE CARRIL (m)	3.1	3.1			3.1	3.1			3.4	3.4	3.4	3.4

INTERSECCIÓN N° 3											
	Av. Alfredo Benavides								Av. Ayacucho			
	NO - SE				SE - NO			SO-NE		NE-SO		
# DE CARRILES	C-1	C-2	C-3		C-1	C-2	C-3	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
TIPO DE CARRIL
ANCHO DE CARRIL (m)	3.1	3.1	4.1		3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1

INTERSECCIÓN N° 4											
	Av. Alfredo Benavides								Av. Higuera			
	NO - SE				SE - NO				NE-SO		SO-NE	
# DE CARRILES	C-1	C-2	C-3		C-1	C-2	C-3		C-1	C-2	C-3	C-4
TIPO DE CARRIL
ANCHO DE CARRIL (m)	3.1	3.1	3.1		3.1	3.1	3.1		3.2	3.2	3.2	3.2

INTERSECCIÓN N°5											
	Av. Benavides								Av. Velasco Astete			
	NO-SE				SE-NO				NE-SO		SO-NE	
# DE CARRILES	C-1	C-2	C-3		C-1	C-2	C-3		C-1	C-2	C-3	C-4
TIPO DE CARRIL
ANCHO DE CARRIL (m)	3.1	3.1	3.1		3.1	3.1	3.1		3.2	3.2	3.2	3.2

Fuente: Elaboración Propia 2019

3.2.2 Ciclos semafóricos

En referencia a la medición de los ciclos semafóricos de las intersecciones, se llevaron a cabo el día miércoles 17 de julio del 2019; entre las horas 18:30 y 20:30 horas. El reglaje semafórico se llevó a cabo de manera simultánea, en cada uno de los accesos de las cuatro

intersecciones semaforizadas, por un lapso de 15 minutos, las cuales fueron registradas mediante contómetros de mano y filmaciones.

En la figura 3.5, se detalla los tiempos de rojo, ámbar y verde para las fases que nos determinan el movimiento de las intersecciones N° 2, 3, 4 y 5.

Figura 3-5 Ciclo semafórico y maniobras permitidas

Fuente: Elaboración Propia 2019

3.2.3 Aforos de Vehículos mixtos

Para la realización de los registros de datos en las 5 intersecciones, se contemplaron los aforos manuales, donde se contemplaron las siguientes condiciones:

- Se consideró el registro de tráfico de Waze, una aplicación social de tránsito automotor que trabaja en tiempo real y con navegación asistida por GPS. A través de la exploración de este aplicativo se logró identificar las horas aproximadas de mayor carga vehicular. De los días miércoles y jueves de los días 10 y 11 de Julio del 2019. Dicha información se encuentra en el Anexo N° 1.
- Se programó el inicio de los conteos el día miércoles 17 de Julio del 2019. El tiempo de aforo fue en la mañana desde las 6:00 hasta las 9:00 horas, y por la noche desde las 17:00 hasta las 20:00
- Se consideraron 02 personas para el aforo en cada intersección, en total se contaron con 10 aforadores para las 05 intersecciones. Adicionalmente, se incluyeron 03 personas para la supervisión de los aforos en las intersecciones y 03 personas para el reglaje semafórico.

Figura 3-6 Personal aforando las intersecciones

Fuente: Elaboración Propia 2019

Con la obtención de datos reales sobre el movimiento de unidades vehiculares en el sistema vial, se logró la identificación de la hora punta, según el resultado del conteo vehicular en cada intersección, definida, en todas ellas, entre las 18:30 y 19:30 horas, ya que abarcan mayor flujo vehicular. Las Figuras 3-7; 3-8; 3-9; 3-10 y 3-11, indican gráficamente la hora pico en cada una de las intersecciones que forman parte de la investigación.

Los gráficos de barras nos muestran un comportamiento casi constante en horario de hora punta para luego descender y luego mantenerse en un volumen vehicular continuo después de la hora pico hasta la finalización del conteo.

Figura 3-7 Determinación de la hora pico en la Intersección N° 1

Fuente: Elaboración propia 2019

Figura 3-8 Determinación de la hora pico en la Intersección N° 2

Fuente: Elaboración propia 2019

Figura 3-9 Determinación de la hora pico en la Intersección N° 3

Fuente: Elaboración propia 2019

Figura 3-10 Determinación de la hora pico en la Intersección N° 4

Fuente: Elaboración propia 2019

Figura 3-11 Determinación de la hora pico en la Intersección N° 5

Fuente: Elaboración propia 2019

3.2.4 Determinación del volumen vehicular

Los aforos realizados comprenden la composición de los vehículos, volúmenes totales, movimientos de direcciones, entre otros. El cual nos permitió calcular los datos de principales para el software de simulación, así como para la elaboración de los flujogramas.

Los gráficos de barras que se detallan en las Figuras 3-12; 3-13; 3-14, 3-15 y 3-16 nos muestran de manera gráfica y numérica la cantidad de vehículos que circula por cada acceso de las cuatro intersecciones durante la hora punta.

En el Anexo N° 02, se detallan los cuadros de aforos de las 05 intersecciones. Así como, el resultado en la hora de máxima demanda(η_{60}) en cada periodo de 15 minutos, definido como el de mayor carga (η_{15}), además, se mencionan el factor de hora pico PHF, y los porcentajes de vehículos livianos y pesados. Los vehículos considerados tienen diversas clasificaciones, como los autos, camionetas, microbuses, buses conforman el grupo de vehículos ligeros, mientras que los camiones están incluidos como vehículos pesados. Finalmente, es importante indicar que durante el aforo no se consideraron bicicletas y motocicletas.

Figura 3-12 Volumen vehicular y PHF en la Intersección N° 01

Fuente: Elaboración propia 2019

Figura 3-13 Volumen vehicular y PHF en la Intersección N° 02

Fuente: Elaboración propia 2019

Figura 3-14 Volumen vehicular y PHF en la Intersección N° 03

Fuente: Elaboración propia 2019

Figura 3-15 Volumen vehicular y PHF en la Intersección N° 04

Fuente: Elaboración propia 2019

Figura 3-16 Volumen vehicular y PHF en la Intersección N° 05

Fuente: Elaboración propia 2019

3.2.5 Elaboración de flujogramas

Los flujogramas de cada intersección se detallan en el Anexo N° 03, nos muestran los sentidos y movimientos realizados por todos los vehículos mixtos (livianos y pesados), correspondientes a la hora de mayor demanda.

3.2.6 Determinación de la velocidad de operación

Para determinar la velocidad de operación, es importante considerar la medición del tiempo de 200 vehículos en todo el tramo de la vía en estudio, lo cual permite calcular la velocidad de marcha de cada uno de los vehículos y definir el intervalo de clase. Luego de ellos, se obtuvo la velocidad máxima de circulación por medio del percentil 85, que indica la distribución de las velocidades que funcionan los vehículos en libre tránsito y sin restricción del tipo ambiental.

Se tomo datos en el tramo de vía en estudio el día miércoles 17 de Julio entre las 18:30 a 19:00, durante el procesamiento de la información de halló que la velocidad máxima de operación es de 33 km/h. Finalmente, el cuadro de recolección de datos y cálculo se encuentra en el Anexo N° 04, las mismas que se representan en la Figura 3-17.

Figura 3-17 Percentil 85 - Velocidad de Operación

Fuente: Elaboración propia 2019

4. SYNCHRO 8.0 SIMULACIÓN ACTUAL

El Synchro 8.0 es un software para modelación del tráfico y sirve como herramienta para poder representar, de manera virtual, el sistema actual de una red o un grupo de intersecciones en simultáneo. Para poder lograr representar los escenarios reales de la red, será necesario realizar un levantamiento de información por medio de aforos, los cuales se ingresarán al programa y formarán parte de la información básica para representar el modelo. Por otro lado, el Synchro 8.0 permite optimizar y administrar de manera eficiente los escenarios que se quieran evaluar, ya que posee indicadores para evaluar resultados y proponer posteriores mejoras o propuestas de solución.

Para efectos del desarrollo de la problemática de la presente tesis y, posterior propuesta de solución, será necesario explicar paso a paso la elaboración del modelo actual representándolo en el Synchro 8.0.

4.1 Desarrollo y aplicación del modelo en Synchro 8.0

Como primer paso, debemos obtener una imagen satelital de la red en estudio para poder realizar el trazado de las intersecciones, para ello usaremos una imagen de la plataforma del Google Earth. En la figura 4-1, se puede visualizar las características de las vías como los números de carril, bermas centrales, jardines entre otras.

Figura 4-1 Imagen de la red en estudio

Fuente: Google Earth 2019

Por medio de la imagen obtenida se puede determinar las longitudes de las intersecciones. Esto permitirá escalar la imagen posteriormente en el programa Synchro 8. En este caso, la red en estudio cuenta con una longitud total de 1,209.00 metros. En la figura 4-2 se muestra la red escalada para ser insertada en el programa.

Figura 4-2 Longitud de la red a estudiar

Fuente: Google Earth 2019

4.2 Modelo mesoscópico de la red actual en estudio

En este paso, se procederá a insertar la imagen en el programa para escalarla y proceder a realizar del dibujo de la red. Para ellos, será necesario ingresar a la opción File-Select Backgrounds. En la figura 4-3 se muestra la imagen insertada y escalada donde se procede trazar las vías que, por defecto, muestran 2 carriles.

Figura 4-3 Red de estudio en escala insertada

Fuente: Google Earth 2019

Luego de trazar la red y sus intersecciones, se procederá a llenar la data procesada de los aforos obtenidos en cada una de las cinco intersecciones. Para ello, debemos dar click en cada una de las intersecciones e ingresar a la opción Lane Settings (F3) y denominar el nombre de las vías e indicar el número de carriles y tipo de maniobra de circulación. Luego se colocarán los volúmenes de vehículos que circulan por cada tipo de movimiento. Como se puede apreciar en la figura 4-4, se han colocado los aforos en cada dirección. A sí mismo, en esta ventana se muestran las características de las vías obtenidas de los trazos realizados, como las longitudes entre intersecciones que aparecen por efecto del mismo programa

LANE SETTINGS	EBU	EBL	EBT	EBR	WBU	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (HRL)	↔↔				↔↔↔				↔					
Traffic Volume (vph)	194	1418	16		2	26	1027	28	34	71	30	0	0	0
Street Name	Av. Benavides				Av. Benavides				CA. LEÓN GARCÍA				CA. LEÓN GARCÍA	
Link Distance (m)	190.2				338.6				157.3				156.3	
Links Speed (km/h)	50				50				50				50	
Set Arterial Name and Speed	EB				WB				NB				SB	
Travel Time (s)	13.7				24.4				11.3				11.3	
Ideal Satd. Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lane Width (m)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Grade (%)	0				0				0				0	
Area Type CBD	☐				☐				☐				☐	
Storage Length (m)	0.0				35.0				0.0				0.0	
Storage Lanes (#)	—				1				—				—	
Right Turn Channelized	None				None				None				None	
Curb Radius (m)	—				—				—				—	
Add Lanes (#)	—				—				—				—	
Lane Utilization Factor	0.95	0.95	0.95	0.95	0.91	1.00	0.91	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Right Turn Factor	0.999				1.000				0.997				0.970	
Left Turn Factor (prot)	0.995				0.950				1.000				0.988	
Saturated Flow Rate (prot)	2587				1683				2800				1699	
Left Turn Factor (perm)	0.547				0.400				1.000				0.988	
Right Ped Bike Factor	1.000				1.000				1.000				1.000	
Left Ped Factor	1.000				1.000				1.000				1.000	
Saturated Flow Rate (perm)	2650				708				2800				1699	
Right Turn on Red?	☐				☐				☐				☐	
Saturated Flow Rate (RTOR)	0				0				0				0	
Link Is Hidden	☐				☐				☐				☐	
Hide Name in Node Title	☐				☐				☐				☐	

Figura 4-4 Lane Settings -Configuraciones de carril

Fuente: Synchro 8.0

En la siguiente configuración, se procederá a ingresar la opción “Volume Settings” (F4) – Configuraciones de volúmenes de tráfico. En esta ventana, se ingresarán los valores obtenidos de los Peak Hour Factor (PHF) denominado factor de hora pico producto del

análisis de los aforos. Así mismo, se colocarán los porcentajes de vehículos pesados (Heavy Vehicles). Estas configuraciones se muestran en la figura 4-5.

VOLUME SETTINGS	EBU	EBL	EBT	EBR	WBU	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	11	194	1418	16	2	26	1027	28	34	71	30	0	0	0
Traffic Volume (vph)	11	194	1418	16	2	26	1027	28	34	71	30	0	0	0
Conflicting Peds. (#/hr)	0	0	—	0	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0
Conflicting Bicycles (#/hr)	—	—	—	0	—	—	—	0	—	—	0	—	—	0
Peak Hour Factor	0.88	0.94	0.75	0.94	0.90	0.80	0.75	0.90	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Heavy Vehicles (%)	0	0	4	0	2	0	4	7	0	0	0	0	0	0
Bus Blockages (#/hr)	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
Adj. Parking Lane?	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒
Parking Maneuvers (#/hr)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0
Traffic from mid-block (%)	—	—	0	—	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—
Link OD Volumes	—	—	EB	—	—	—	WB	—	—	—	—	—	—	—
Adjusted Flow (vph)	12	206	1891	17	2	32	1369	31	42	89	38	0	0	0
Traffic in shared lane (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lane Group Flow (vph)	0	0	2126	0	0	34	1400	0	0	169	0	0	0	0

Figura 4-5 Configuración de volúmenes de tráfico

Fuente: Synchro 8.0

El paso siguiente, se refiere a la configuración Simulation Settings (F10) referente a las características de las bermas centrales para la geometría de la vía a simular, tal como lo muestra la figura 4-6.

SIMULATION SETTINGS	EBU	EBL	EBT	EBR	WBU	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)														
Traffic Volume (vph)	11	194	1418	16	2	26	1027	28	34	71	30	0	0	0
Storage Length (m)	—	0.0	—	0.0	—	35.0	—	0.0	0.0	—	0.0	0.0	—	0.0
Storage Lanes (#)	—	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Taper Length (m)	—	—	—	—	—	7.5	—	—	—	—	—	—	—	—
Lane Alignment	R-NA	Left	Left	Right	R-NA	Left	Left	Right	Left	Left	Right	Left	Left	Right
Lane Width (m)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Enter Blocked Intersection	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No	No
Median Width (m)	—	—	3.0	—	—	—	3.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—
Link Offset (m)	—	—	0.0	—	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—
Crosswalk Width (m)	—	—	4.8	—	—	—	4.8	—	—	4.8	—	—	4.8	—
TWLT Median	—	—	☐	—	—	—	☐	—	—	☐	—	—	☐	—
Headway Factor	1.09	1.09	1.44	1.09	1.09	1.09	1.31	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09	1.09
Turning Speed (km/h)	15	25	—	15	15	25	—	15	25	—	15	25	—	15
Mandatory Distance (m)	—	—	213.3	—	—	—	213.3	—	—	213.3	—	—	213.3	—
Positioning Distance (m)	—	—	416.7	—	—	—	416.7	—	—	416.7	—	—	416.7	—
Mandatory Distance 2 (m)	—	—	277.8	—	—	—	277.8	—	—	277.8	—	—	277.8	—
Positioning Distance 2 (m)	—	—	555.6	—	—	—	555.6	—	—	555.6	—	—	555.6	—

Figura 4-6 Simulation Settings

Fuente: Synchro 8.0

El siguiente paso a seguir, será la configuración actual de los ciclos semafóricos. Para ello, se ingresará en la opción “Timings Settings” (F5) - Ajustes de tiempo. En esta opción se editarán las fases encontradas, los tiempos de verde y ámbar para cada semáforo en las cuatro intersecciones. Las cuales, se muestran en las siguientes imágenes de la situación actual modeladas en Synchro 8.

En la figura 4-7 se puede apreciar los tiempos en la intersección N°2 en Av. Benavides con la Calle León García, el cual tiene un ciclo semafórico de real de 155 segundos en la hora pico. La primera fase es para el recorrido vehicular en ambos sentidos de la Av. Benavides y tiene un tiempo de 111 segundos. La segunda, es una fase protegida para giros a la izquierda desde la av. Benavides hacia la calle León García en dirección de Este a Sur y tiene un tiempo de 14 segundos. La última fase es protegida para la calle León García en dirección de Sur a Norte y tiene un tiempo 35 segundos.

Figura 4-7 Tiempos y ciclo semafórico en la Intersección 02

Fuente: Synchro 8.0

En la siguiente figura 4-8 se muestra la intersección N°3 en Av. Benavides con la Av. Ayacucho, la cual tiene un ciclo semafórico real de 106 segundos en la hora pico. Esta intersección cuenta con tres fases semafóricas. La primera fase, es para el recorrido de los carriles de la av. Benavides en ambos sentidos con 38 segundos. La segunda fase es protegida para el ingreso desde la Av. Benavides hacia la Av. Ayacucho en dirección de este a sur con un tiempo de 35 segundos. La tercera fase es protegida para ingreso desde la Av. Ayacucho hacia la Av. Benavides en dirección de Sur a norte con un tiempo de 33 segundos.

Figura 4-8 Tiempos y ciclo semafórico en la Intersección 3

Fuente: Synchro 8.0

La figura 4-9 corresponde a la intersección N°4 en A. Benavides cruce con la Av. Higuereta y el ciclo semafórico es de 160 segundos en la hora pico. Esta intersección es controlada por tres fases semafóricas. La primera, es para la Av. Benavides para la circulación de sus dos sentidos y tiene 81 segundos. La segunda fase, cuenta con 32 segundos y controla los vehículos que giran a la izquierda hacia la av. Higuereta desde la Av. Benavides en dirección de oeste a este.

La tercera fase, controla los vehículos que ingresan desde el Jirón Manuel Herrera con dirección a la Av. Higuereta de sur a Norte y los vehículos que ingresan a la Av. Benavides desde la av. Higuereta en dirección de Norte a Sur. Esta última fase tiene un tiempo de 42 segundos en la hora pico.

Figura 4-9 Tiempos y ciclo semafórico en la Intersección 04
Fuente: Synchro 8.0

Por último, analizamos la intersección N° 5 en Av. Benavides cruce con Av. Velasco Astete. Esta intersección tiene como ciclo semafórico un total de 155 segundos. Además, cuenta con 3 fases. La primera fase, tiene 100 segundos y controla a la av. Benavides en ambos sentidos. La segunda fase, corresponde a una fase protegida de giro a la izquierda desde la av. Benavides hacia la Av. Velasco Astete con dirección de oeste a este y tiene una duración de 10 segundos. La última fase en esta intersección, cuenta con 45 segundos y controla los dos sentidos de la Av. Velasco Astete.

Figura 4-10 Tiempos y ciclo semafórico en la Intersección 5

Fuente: Synchro 8.0

Como se puede evidenciar, los ciclos semafóricos en las cuatro intersecciones analizadas no se encuentran optimizados y, mucho menos, sincronizados. Según el HCM 2010 recomiendan generar ciclos semafóricos de 120 segundos como máximo y vemos que esta vía supera los ciclos recomendados. Por lo cual, corresponderá realizar un ajuste al modelo.

Por otro lado, a este problema, se suman los tiempos de parada que realizan los buses en las intersecciones para recoger pasajeros. También, el problema generado por las fases protegidas de giros a la izquierda evidencia colas prolongadas hacia la av. Benavides en ambos sentidos. Entonces, corresponderá seguir analizando el modelo para identificar los niveles de servicios para proponer mejoras posteriormente.

4.2.1 Cálculo del nivel de servicio real modelado en Synchro 8.0

Los niveles de servicio son una medida cualitativa y se utilizan para evaluar la calidad del flujo de vehículos o personas. Los factores que determinan estos valores están relacionados con las condiciones de operación como la velocidad, el tiempo de recorrido, la libertad para las maniobras, las interrupciones a la circulación, la seguridad vial entre otras.

Entonces, para poder determinar los valores de los niveles de servicio de las intersecciones en estudio será necesario introducir la data del aforo vehicular y de los flujogramas en cada una de las intersecciones en nuestro modelo elaborado en Synchro 8.0.

De este modo, se podrán observar cada una de las maniobras que se generan en las mismas. También, se muestran las cantidades de vehículos que transitan en la red en estudio. En las siguientes figuras se pueden apreciar los volúmenes y maniobras en cada intersección.

Figura 4-11 Volumen vehicular y maniobras en Intersección Av. Benavides / Ca. Tenaud

Fuente: Synchro 8.0

Figura 4-12: Volumen y maniobras en intersección Av. Benavides/ Ca. García León

Fuente: Synchro 8.0

Figura 4-13: Volumen y maniobras en intersección Av. Benavides / Av. Ayacucho.

Fuente: Synchro 8.0

Figura 4-14 Volumen y maniobras en intersección Av. Benavides / Av. Higuiereta.

Fuente: Synchro 8.0

Figura 4-15: Volumen y maniobras en intersección Av. Benavides / Av. Astete

Fuente: Synchro 8.0

Con la información ingresada al programa, el Synchro procesará y analizará los niveles de servicios obtenidos en los accesos e intersecciones. Este resultado nos permitirá visualizar la problemática del sistema vial actual. En las siguientes figuras, Synchro muestra los valores de los niveles de servicio en los carriles de entrada de cada intersección. Así mismo, por medio de la metodología del HCM se da prioridad al nivel de servicio global de la intersección.

Figura 4-16 Nivel de servicio en Av. Benavides con Ca. Tenaud

Fuente: Synchro 8.0

Figura 4-17 Nivel de servicio en Av. Benavides con Jr. Enrique León.

Fuente: Synchro 8.0

Figura 4-18 Nivel de servicio en Av. Benavides con Av. Ayacucho. y Av. Benavides con Av. Higuera

Fuente: Synchro 8.0

Figura 4-19 Nivel de servicio en Av. Benavides con Av. Velasco Astete.

Fuente: Synchro 8.0

Referente a los niveles de servicio obtenidos en cada una de las intersecciones representan al orden de E y F. Entonces, se puede determinar lo siguiente:

Nivel de servicio F: El indicador representa condiciones de flujo forzado. Esta situación se evidencia cuando la cantidad de vehículos que intentan pasar en la intersección excede a la capacidad a la que fue diseñada la vía. Es así, que se pueden evidenciar colas prolongadas, maniobras extremadamente lentas y paradas y arranques inestables.

Nivel de Servicio E: Este indicador evidencia que el funcionamiento de la vía está al límite de su capacidad. Las velocidades son muy bajas y las maniobras para circular son difíciles y se consiguen forzando al peatón o conductor a ceder el paso. Así mismo, se puede relacionar con ciclos semafóricos muy largos para la vía.

Nivel de Servicio D: Este indicador muestra una circulación vehicular de densidad elevada pero estable. Probablemente, La velocidad y libertad de maniobra de los vehículos estén restringidas, y el conductor y los peatones experimenten un nivel de comodidad y conveniencia bajo.

4.2.2 Cálculo del grado de saturación actual modelado en Synchro 8

Según lo obtenido en el modelamiento de la situación actual de la vía, las intersecciones muestran un grado de saturación mayor a 1 y esto se evidencia por los niveles de servicio obtenidos con valor F. Por otro lado, los niveles de servicio obtenidos con valor E presentan una relación de volumen-capacidad menores a 1. De igual forma los valores de E están al límite de su capacidad, lo cual representa un problema para la intersección.

A continuación, se mostrarán los grados de saturación obtenidos de cada acceso representados en las Figura 4-20 y 4-21 para las cinco intersecciones analizadas.

Figura 4-20 Grado de saturación actual en Intersecciones N°1 y 2

Fuente: Synchro 8.0

Figura 4-21 Grado de saturación actual en las Intersecciones N° 3, 4 y 5

Fuente: Synchro 8.0

4.2.3 Cálculo de la demora actual modelado en Synchro 8

En todas las intersecciones analizadas se evidencian demoras por operación. Estas están relacionadas a los ciclos semafóricos mal distribuidos, giros protegidos a la izquierda y por la obstrucción de los buses a un carril de la vía. Todo esto genera, que los niveles de servicio sean desfavorables para la vía.

Figura 4-22 Demora actual en Intersecciones N°1 y 2

Fuente: Synchro 8.0

Como se puede apreciar en la Figura 4-22, la intersección N° 1 tiene señal de Pare, por lo tanto, no está semaforizada. Los vehículos que ingresan a la Av. Benavides desde la Calle Tenaud y Calle Galeano, deben parar y esperar que exista una brecha para poder circular. Sin embargo, debido a la congestión que existe en la zona, muchos vehículos tratan de ingresar por esa vía y generan conflictos por el desorden, lo cual evidencia colas prolongadas desfavorables para la Av. Benavides.

Las siguientes intersecciones analizadas están semaforizadas y, además, se encuentran sometidas por fases protegidas para giros a la izquierda en ambos sentidos. Estas fases no se encuentran coordinadas al flujo del volumen real, por lo que se generan colas de espera interrumpiendo uno de los carriles de circulación de la vía principal que es la Av. Benavides. Estas demoras se pueden evidenciar en el modelo actual representadas en la Figura 4-23.

. Figura 4-23 Demora actual en Intersecciones N°3, 4 y 5

Fuente: Synchro 8.0

Entonces, en la situación actual, recorrer esta vía de 1.20 km en hora pico, a una velocidad promedio de 7 km/h toma un tiempo aproximado de 11 minutos. Sin embargo, realizando la prueba de circulación de vehículo libre se tomó como recorrido total un tiempo de 19 minutos desde la Av. Velasco Astete hacia el Óvalo Higuiereta y, de 24 minutos, desde el Óvalo Higuiereta hasta la Av. Velasco Astete. Cabe señalar, que existen policías de tránsito

en la zona que generan que la situación mejore, pero no debería ser parte de la solución del problema.

4.2.4 Indicadores obtenidos del modelo de la red actual en Synchro 8

Por medio de la simulación mesoscópica, de la red actual en el software Synchro 8, se obtienen los indicadores para analizar la problemática. En ese sentido, se pueden verificar que los accesos cuentan con grados de saturación mayores a 1, las demoras que se generan, para que cada vehículo pase por la intersección, alcanzan un tiempo prolongado. Por otro lado, se evidencian que los demás accesos, están al límite de su capacidad. Entonces es necesario evaluar cada una de las intersecciones para, a partir de allí, proponer mejoras en el nuevo modelo de solución. En la Tabla 4-1, se muestran los indicadores evaluados en el Synchro 8, y se pueden verificar los niveles de servicio, grados de saturación por acceso, ciclos semafóricos y demoras en las cinco intersecciones evaluadas.

Tabla 4-1 Indicadores de la simulación actual de las intersecciones de análisis en Synchro 8

Fuente: Elaboración propia 2019

	INTERSECCIÓN N°1				INTERSECCIÓN N°2			
MODELO ACTUAL	→	←	↑	↓	→	←	↑	
Nombre de la Intersección	Av. Alfredo Benavides	Av. Alfredo Benavides	Ca. Tenaud	Jr. Galeano	Av. Alfredo Benavides	Av. Alfredo Benavides	Ca. León García	
NIVEL DE SERVICIO DEL ACCESO	U	U	U	U	F	C	E	
NIVEL DE SERVICIO INTERSECCIÓN	U				F			
GRADO DE SATURACIÓN	0.35	0.21	0.28	0.17	1.21	0.77	0.53	
CICLO SEMAFÓRICO (S)	SEÑAL DE PARE				155			
DEMORA DE LA INTERSECCIÓN (S)	U				246.3			
	INTERSECCIÓN N°3				INTERSECCIÓN N°4			
MODELO ACTUAL	→	←	↑	↓	→	←	↑	↓
Nombre de la Intersección	Av. Alfredo Benavides	Av. Alfredo Benavides	Av. Ayacucho	Av. Ayacucho	Av. Alfredo Benavides	Av. Alfredo Benavides	Jr. Manuel Herrera	Av. Higuera
NIVEL DE SERVICIO DEL ACCESO	F	E	D	F	F	E	E	F
NIVEL DE SERVICIO INTERSECCIÓN	F				F			
GRADO DE SATURACIÓN	1.21	0.54	0.25	1.04	0.87	1.02	0.25	0.89
CICLO SEMAFÓRICO (S)	106				160			
DEMORA DE LA INTERSECCIÓN (S)	252.2				202.8			
	INTERSECCIÓN N°5							
MODELO ACTUAL	→	←	↑	↓				
Nombre de la Intersección	Av. Alfredo Benavides	Av. Alfredo Benavides	Av. Velasco Astete	Av. Velasco Astete				
NIVEL DE SERVICIO DEL ACCESO	F	E	E	F				
NIVEL DE SERVICIO INTERSECCIÓN	F							
GRADO DE SATURACIÓN	1.1	1.07	0.92	1.09				
CICLO SEMAFÓRICO (S)	160							
DEMORA DE LA INTERSECCIÓN (S)	202.8							

Luego de haber modelado la red en estudio, con los parámetros ingresados, y haber calibrado el modelo de la situación actual en las intersecciones en el software Synchro 8, procedemos a evaluar los indicadores obtenidos. Para ello, es necesario conocer los conceptos explicados en capítulos anteriores para relacionarlos de manera eficiente y ver las posibilidades de mejora. Cabe resaltar, que el Synchro 8, se basa en la metodología del HCM 2010, por lo tanto, existen parámetros que el programa recomienda para mejorar el modelo. Sin embargo, es de mucha importancia que el modelador conozca los conceptos y tenga la capacidad de poder generar mejoras con criterio para que las propuestas de soluciones se puedan ser aplicadas.

El Synchro evalúa las intersecciones y propone algunas optimizaciones, pero es el usuario quien define la mejora final. En ese sentido, se ha propuesto analizar una a una las intersecciones y proponer alternativas para mejorar las. En el siguiente capítulo, analizaremos las intersecciones para proponer mejoras y evaluarlas en el synchro 8.

5. ANÁLISIS Y PROPUESTA DE MEJORA EN INTERSECCIONES

5.1 Intersección N°1 Avenida Alfredo Benavides cruce con Calle Carlos Tenaud y Jr. Galeano

Las calles Jr. Galeano y Carlos Tenaud intersectan a la Av. Alfredo Benavides y cuenta con dos carriles, los cuales ingresan a la avenida principal. También, cuentan con una señalización de pare, la cual no es respetada por los conductores. Según la simulación realizada en Synchro, estas intersecciones no representan ningún problema para la red. Sin embargo, la realidad es otra, ya que se evidencia que el ingreso de vehículos de estos accesos en hora punta, generan el bloqueo de uno de los carriles de la avenida principal. Este problema sucede en sentidos de Este a Oeste y de Oeste a Este.

Algunos de los comportamientos evidenciados y, que generan congestión, son los siguientes: Cuando los buses se detienen a recoger pasajeros hay automóviles que se encuentran detrás. Estos intentan cambiar de posición para pasar al bus estacionado, invadiendo el carril contiguo forzando al conductor de ese carril a detenerse para que le ceda el paso. Otra maniobra observada, se genera cuando algunos buses no respetan el carril derecho exclusivo para transporte público e invaden el segundo carril y, además, recogen pasajeros. Es común observar que al existir congestión los conductores no respetan las señales de prioridad e incluso semáforos debido al desorden. Entonces, para el Synchro representar estos tipos de comportamientos, son complicados, ya que este software fue diseñado para carreteras y autopistas con normativa de tránsito de Estados Unidos.

Figura 5-1 Comportamientos vehiculares del tránsito de Lima

Fuente: Internet 2019

Pese a que no puede ser representada este problema evidenciado, en el modelo de simulación actual, sabemos que el problema existe. Por lo tanto, se ha propuesto colocar un elemento de control en reemplazo de la señal de PARE existente y, que permita regular, de manera eficaz, la circulación en esta intersección.

Figura 5-2 Intersección N° 1 con Señal de prioridad

Fuente: Synchro 8.0

Primero, se analizaron los volúmenes de vehículos-hora que ingresan a la Avenida Benavides por la Calle Galeano y Jr. Tenaud, siendo de 216 y 131 respectivamente. La Calle Galeano representa la mayor cantidad de vehículos que ingresan a la vía principal. Entonces, como posible solución, se propone colocar un semáforo con prioridad de paso para la Av. Principal.

Figura 5-3 Intersección N°1 Propuesta de mejora Av. Alfredo Benavides – Jr. Carlos Tenaud

Fuente: Synchro 8.0

Según el programa, nos sugiere dos fases. La fase 1, corresponde al tránsito de las calles Carlos Tenaud y Galeano las cuales tendrán un tiempo de 20 segundos de verde. Y para la fase 2, corresponderá al tránsito de la Av. Benavides con un tiempo de 60 segundos de verde. Teniendo en cuenta la realidad del comportamiento vehicular de nuestro país, estos tiempos generarían largas colas. Por lo tanto, calibramos el modelo a un ciclo semafórico de 110 segundos. Otorgándole mayor tiempo de pase a la Av. Benavides con 90 segundos de verde que corresponde a la segunda fase y 20 segundos de verde para la primera fase. Con esta propuesta, la intersección muestra un nivel de servicio satisfactorio de Valor B y las colas generadas en 30 segundos no son considerables. La figura 5-4 se muestra las fases con los tiempos propuestos para esta intersección.

Figura 5-4 Propuesta de solución Intersección N°1- Reglaje semafórico Propuesto

Fuente: Synchro 8.0

5.2 Intersección N°2 Avenida Alfredo Benavides cruce con Jirón Enrique León García.

Esta intersección es semaforizada, la Av. Benavides llega con dos carriles de Oeste a Este y con 3 carriles más uno de giro exclusivo a la izquierda en el sentido de Este a Oeste. La calle León García cuenta con dos carriles. En sentido de Norte a Sur la calle es de subida desde Benavides y, en sentido de Sur a Norte es de doble sentido.

Según el análisis del tráfico, se pudo observar que los tiempos en el semáforo para giros protegidos eran muy cortos y generaban colas para la avenida principal en ambos sentidos. Cabe señalar, que actualmente este semáforo cuenta con tres fases, lo cual lo hace una intersección muy cortante, ya que no permite el tránsito fluido debido a los giros a la izquierda de ambos sentidos.

A continuación, en la figura 5-5 se muestra la intersección actual con los giros y sentidos de la calle en mención.

Figura 5-5 Intersección N°2 Actual Av. Alfredo Benavides – Jr. Enrique León García

Fuente: Synchro 8.0

Entonces, como propuesta de solución, se ha evaluado eliminar los giros a la izquierda en ambos sentidos y, adicionalmente, se ha propuesto generar un Re-ruteo para los vehículos que quieran realizar el giro en dirección de oeste a este; desviándolos por una calle anterior Victorio Mosto, girando hacia la izquierda por el Jr. Fernando Castrat, para luego ingresar a la calle Enrique León García.

En ese sentido, se pudo visualizar que es mejor aumentar la capacidad de esa calle León García, por lo que se propone cambiar el sentido de la calle en dirección de sur a norte. Esta trayectoria, permite desviar a los vehículos para que crucen la av. Benavides de Sur a Norte. A continuación, en la Figura 5-6 se muestra la propuesta de solución para esta intersección.

Figura 5-6 Intersección N°2 Propuesta de mejora Av. Alfredo Benavides – Jr. Enrique León García

Fuente: Synchro 8.0

Adicionalmente, se ha propuesto optimizar el ciclo del semáforo, ya que no existirán giros a la izquierda. En ese sentido, las fases de los semáforos se reducirán a 2 permitiendo gestionar mejor el tiempo en esta intersección. El ciclo semafórico se optimizó a 90 segundos, otorgándole 69 segundos a la fase 1 Av. Benavides; y 21 segundos a la fase 2 Jr. Enrique León García. A continuación, se muestra en nuevo ciclo semafórico en este cruce.

Figura 5-7 Propuesta de solución Intersección N°1 Reglaje semafórico propuesto Fuente: Synchro 8.0

Finalmente, los vehículos que pretendían girar a la izquierda desde la Av. Benavides en dirección de Este a Oeste, tienen como alternativa usar la intersección anterior que corresponde a la Av. Ayacucho. Así mismo, para mejorar esta intersección, se han prohibido los giros a la izquierda y los giros en U con señalización. A continuación, en la Figura 5-8 se muestran la propuesta de señalización de prohibición en la intersección.

Figura 5-8 Señalización de prohibición de giros en Intersección N°2

Fuente: Elaboración propia 2019

5.3 Intersección N° 3 Avenida Alfredo Benavides cruce con Av. Ayacucho

Esta intersección es de tipo “T” y cuenta con tres accesos. Además, Está semaforizada con 3 fases. La primera fase, pertenece a la avenida principal en sus dos sentidos. La segunda fase, permite el giro a la izquierda desde la Av. Alfredo Benavides hacia la Av. Ayacucho en dirección de Este a Sur con 3 carriles y uno exclusivo para giro a la izquierda (en dirección a la Av. Tomás Marsano). Y la última fase, permite la circulación desde av. Ayacucho hacia la Av. Benavides de Sur al Oeste y Este llega. El ciclo semafórico en esta intersección es de 106 segundos. Tal como se muestra en la figura 5-9, se aprecia el volumen importante de vehículos que giran a la izquierda.

Figura 5-9 Intersección N°3 Actual Av. Alfredo Benavides – Av. Ayacucho

Fuente: Synchro 8.0

Esta intersección, tiene la particularidad de desviar el transporte público que viene de dirección este al sur para ingresar a la Av. Ayacucho hacia la Av. Tomas Marsano en Surco. Por ello, necesariamente este semáforo debe tener 3 fases y no sería viable eliminar los giros a la izquierda.

Entonces, se propone mejorar el ciclo semafórico actual y coordinar las fases del semáforo con las otras intersecciones. El nuevo ciclo coordinado será de 90 segundos y otorgará 36 segundos a la fase 1, 33 segundos a la fase 2 y 21 segundos a la fase 3. En la figura 5-10, se muestra el nuevo reglaje semafórico.

Figura 5-10 Propuesta de solución Intersección N°3 y reglaje semafórico

Fuente: Synchro 8.0

5.4 Intersección N° 4 Avenida Alfredo Benavides cruce con Av. Higuera

Esta intersección es en cruz, y tiene un volumen importante de vehículos que giran a la izquierda desde la Av. Benavides en sentido de Oeste a Este. Es por ello, que los semáforos, en esta intersección, cuentan con 3 fases. También, se puede apreciar que las fases de estos semáforos no coordinan con las fases del semáforo de la Av. Ayacucho, generando colas que obstruyen ambas intersecciones. Esta intersección cuenta con un ciclo semafórico de 160 segundos. A continuación, se muestra la Figura 5-11, de la intersección indicando los giros que actualmente están permitidos.

Figura 5-11 Intersección N°4 Actual Av. Alfredo Benavides – Av. Higuera

Fuente: Synchro 8.0

Para mejorar el flujo vehicular en este punto, se propone optimizar el ciclo semafórico y coordinar las fases del semáforo. Adicionalmente, Se va a eliminar el giro a la izquierda desde la Av. Alfredo Benavides hacia la Av. Higuera de Oeste a Norte, para lograr que la tercera fase sea exclusiva de giro a la izquierda para el acceso que viene de Av. Higuera hacia Av. Alfredo Benavides en dirección de Norte a con un tiempo de 20 segundos. En ese sentido, las fases 1, correspondiente a la Av. Alfredo Benavides, quedará con 60 segundos de verde. Con respecto a la fase 2, esta será de 10 segundos y será para el flujo vehicular que viene de la calle Enrique Salazar Barreto en dirección a la Av. Higuera. En la siguiente figura 5.-12, se aprecia la propuesta de mejora en esta intersección.

Figura 5-12 Propuesta de solución Intersección N°4 y Reglaje semafórico

Fuente: Synchro 8.0

Siguiendo con la propuesta de solución, los vehículos que ya no podrán girar en esta intersección, lo harán a 200 m. más adelante, ya que se habilitará un giro en U. El cual, será permitido, y, este, no generará colas según el análisis en el programa. En ese sentido, en la figura 5-13, se visualiza la propuesta de solución y la señalización para esta intersección.

Figura 5-13 Señalización de prohibición de giros en Intersección N°4 y Habilitación de giro en U

Fuente: Synchro 8.0

5.5 Intersección N° 5 Avenida Alfredo Benavides cruce con Av. Velasco Astete

Esta intersección es tipo cruz y cuenta con reglaje semafórico de 155 segundos. Además, las fases del semáforo son tres. La primera fase controla los dos sentidos de la Av. Alfredo Benavides. La segunda controla los giros a la izquierda de la avenida principal hacia la Av. Velasco Astete en ambos sentidos. Por último, la tercera fase controla el tránsito de la Av. Velasco Astete en sus dos sentidos. Analizando los movimientos de esta intersección, se puede apreciar que los tiempos del semáforo favorecen la formación de colas para giros a la izquierda. Lo cual, genera congestión para toda la intersección. La siguiente figura, muestra los movimientos que realizan los vehículos en esta intersección.

Figura 5-14 Intersección N°4 Actual Av. Alfredo Benavides – Av. Velasco Astete

Fuente: Synchro 8.0

Como propuesta de solución, se realizó el análisis para evitar los giros a la izquierda de los 232 vehículos que vienen de la Av. Alfredo Benavides e ingresan a la Av. Velasco Astete. Prohibiendo ese importante giro, se evita que se generen colas y se bloquee la intersección. De este modo, se buscó realizar un re- ruteo para el volumen de vehículos que realiza ese giro. En ese sentido, se propone re alizar un desvío antes de llegar a la intersección, tomando la calle Rey de Bajamonde hasta el cruce de la calle Ricardo Aranda. Cabe señalar, que actualmente estas calles transitan en sentido contrario. Por ello, se propone cambiar el sentido de este tramo de las dos calles para poder generar la solución. En la siguiente figura se muestra la alternativa de solución propuesta para esta intersección.

Figura 5-15 Propuesta de solución desvío en intersección N°5

Fuente: Synchro 8.0

Así mismo, se propone optimizar los tiempos de las fases del semáforo y realizar las coordinaciones con los semáforos de las otras intersecciones para generar tránsito fluido. El tiempo establecido para el ciclo total de esta intersección será de 90 segundos. Las fases semafóricas serán 2. La primera, controla la avenida Alfredo Benavides en sus dos sentidos otorgando un tiempo de verde de 65 segundos.

Figura 5-16 Propuesta de solución Intersección N°5 y Reglaje semafórico

Fuente: Synchro 8.0

5.6 Reorganización de paraderos en la vía en estudio

Si bien ya se ha generado la propuesta de solución para cada una de las intersecciones, corresponde ahora realizar el reordenamiento de los paraderos de buses de transporte público. Esta propuesta es necesaria para que el modelo tenga una aplicación ajustada a la realidad, ya que los buses de transporte público son parte de la problemática actual. Su reordenamiento es necesario, ya que estos se detienen en todas las intersecciones y bloquean los accesos. En ese sentido, se usará la RESOLUCIÓN DE GERENCIA N°090-2019-MML/GTU Evaluación e implementación de paraderos de transporte público de la Municipalidad Metropolitana de Lima aprobada el 10 de julio del 2019.

Esta resolución brinda los parámetros necesarios para la colocación y diseño de paraderos según el tipo de vía. En este caso, corresponde determinar las características de la vía a la que pertenece la Av. Alfredo Benavides.

Según la figura 5-17 se muestra la clasificación de la vía en estudio y este pertenece al Tipo de Vía Arterial. “Las Vías Arteriales forman parte del Sistema Vial Urbano de Lima y permiten la integración entre las vías Colectoras con las Vías Expresas. La función que cumplen es la permitir el “paso” de manera preferente y un bajo nivel de “accesibilidad”. Son aquéllas que llevan importantes volúmenes de tránsito entre áreas de generación de tránsito y a velocidades medias de circulación. La accesibilidad hacia las áreas adyacentes se realiza a grandes distancias, en las cuales es posible la construcción de pasos a desnivel, intercambios, así como también intersecciones a nivel adecuadamente diseñados. Las intersecciones con las vías expresas, necesariamente deben considerar intersecciones a desnivel”.⁵⁸

Figura 5-17 Clasificación de Vía

Fuente: Sistema Vial Metropolitano de Lima

Luego de la clasificación obtenida, procedemos a realizar la verificación para determinar el número de paraderos que necesita esta vía arterial. Según las recomendaciones de la Resolución municipal, esta debería tener paraderos cada 500 metros como máximo.

⁵⁸ REGLAMENTO DE LA ACTUALIZACIÓN DEL PLAN VIAL DEL 2010- 2

Actualmente, los paraderos no están definidos. Por ello, los buses se detienen en cada esquina e intersecciones de la vía, generando congestión. Asimismo, de acuerdo a la revisión de los manuales internacionales se observa que la distancia entre paraderos en zonas urbanas mayormente varía entre los 200 y 500Km, sin embargo, estos valores son flexibles y ajustables a la clasificación de la vía y al entorno donde se ubica el paradero. En la tabla se aprecia las distancias recomendables.⁵⁹

Tabla 5-1 Consideraciones de distancia de paraderos

Fuente: Resolución de Gerencia N°090 -2019-MML/GTU

CATEGORÍA	DISTANCIA ENTRE PARADEROS (m)
Vías Expresas	400-500
Vías arteriales - colectoras	300-500
Vías locales (1 carril)	250-500
Vías locales (2+ carriles)	200-400

La vía en estudio cuenta con 1200 metros de extensión, por lo que le correspondería cuatro paraderos como máximo a cada 300 metros. En ese sentido, se ha propuesto ubicar estratégicamente 4 paraderos en cada sentido de la vía para evitar congestionamiento en las intersecciones. Siguiendo las recomendaciones de esta resolución, se muestra el diseño y las características mínimas para el diseño de un paradero en vías arteriales.

- **Ubicación del Paradero:** Siguiendo la recomendación de esta resolución, se ha optado colocar los paraderos después de las intersecciones, por las ventajas que se detallan en la siguiente Tabla 5-2.

⁵⁹ Resolución de Gerencia N°090 -2019-MML/GTU

Tabla 5-2 Consideraciones de ubicación de paraderos

Fuente: Resolución de Gerencia N°090 -2019-MML/GTU

LOCALIZACIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Antes del cruce (AC)	<ul style="list-style-type: none"> - Minimiza la interferencia cuando el tráfico es pesado en el lado opuesto de la intersección. - Los pasajeros acceden a los vehículos mas cercanos al paso de peatones - Intersección disponible para ayudar a alejarse del bordillo. - Mas probable que se produzca una doble detención. - Los autobuses pueden atender a los pasajeros mientras están detenidos en un semáforo en rojo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Conflictos con los vehículos que giran a la derecha. - Restan visibilidad de los dispositivos de control de tráfico en las aceras y los peatones que cruzan. - Aumenta los problemas de distancia para cruzar peatones.
Después del cruce (DC)	<ul style="list-style-type: none"> - Evita conflictos con vehículos en giro a la derecha. - Minimiza los problemas de la distancia visual en los accesos a la intersección. - Anima a los peatones a cruzar detrás del autobús. - Requiere distancias de desaceleración mas cortas para los autobuses. 	<ul style="list-style-type: none"> - Bloqueo de intersecciones por vehículos en cola. - Aumenta los problemas de distancia visual para el cruce de peatones. - Puede aumentar el numero de accidentes en la parte trasera, ya que los conductores no esperan que los autobuses paren nuevamente después de detenerse en un semáforo en rojo. - No se recomienda en vías con alta frecuencia de vehículos de transporte publico.
Mitad de cuadra (MC)	<ul style="list-style-type: none"> - Minimiza los problemas de distancia visual para vehículos y peatones. - Las áreas de espera para pasajeros experimentan menos congestión peatonal. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere distancia adicional para restricciones de no estacionamiento. - Alienta a los clientes a cruzar la calle a media cuadra - Aumenta la distancia a pie para los clientes que cruzan en las intersecciones.

- **Tipo de Paradero:** Para este proyecto, se ha seleccionado el diseño de paradero DP-15 con parada de buses después del cruce peatonal, ya que corresponde a la geometría actual de la vía y se puede adaptar fácilmente. A continuación, se muestra la figura 5-18 el diseño de los paraderos a utilizarse en la vía en estudio.

Figura 5-18 Diseño de paraderos

Fuente: Resolución de Gerencia N°090 -2019-MML/GTU

5.7 Reubicación de paraderos en la vía de estudio

Los paraderos estarán ubicados a cada 300 m aproximadamente. Además, el carril derecho será de uso obligatorio de buses para el transporte público. Para ello, se señalizará el carril derecho “SOLO BUS”. En la Figuras 5-19 y 5-20 se muestran los paraderos distribuidos en la red vial.

Figura 5-19 Ubicación de paraderos de Oeste a Este - Av. Alfredo Benavides

Fuente: Adaptación del Google Earth 2019

Figura 5-20 Ubicación de paraderos de Este a Oeste - Av. Alfredo Benavides

Fuente: Adaptación del Google Earth 2019

- **Factor de bloqueo de buses “BUS BLOCKAGE” en Synchro:** Previamente, se requiere editar el factor de bloqueo de buses en el Synchro en la opción “BUS BLOCKAGE”. En nuestro modelo de solución, Este factor determina el bloqueo de un carril por parada de buses en las intersecciones. Para el modelo de mejora, este valor será igual a 0, ya que los buses estarán designados a detenerse solo en paraderos autorizados, por lo tanto, no existirá bloqueo en las intersecciones. Este procedimiento se realiza en cada intersección del modelo de mejora. En la Figura 5-21 se muestra el procedimiento.

VOLUME SETTINGS	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑
Traffic Volume (vph)	0	1702	0	0	1040	586	0	112	27	386	0	136
Conflicting Peds. (#/hr)	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0
Conflicting Bicycles (#/hr)	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0
Peak Hour Factor	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94
Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Heavy Vehicles (%)	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Bus Blockages (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adj. Parking Lane?	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Parking Maneuvers (#/hr)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Traffic from mid-block (%)	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—
Link OD Volumes	—	EB	—	—	WB	—	—	—	—	—	—	—
Adjusted Flow (vph)	0	1811	0	0	1106	623	0	119	29	411	0	145
Traffic in shared lane (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	—	—
Lane Group Flow (vph)	0	1811	0	0	1729	0	0	148	0	370	186	0

Figura 5-21 Factor de bloqueo de buses en Synchro 8

Fuente: Synchro 8

5.8 Determinación de niveles de servicio de accesos con las propuestas de mejoras modelado en Synchro 8.

Luego de haber analizado, modelado y generado las propuestas de solución en el Synchro, el siguiente paso será aplicar una herramienta de optimización para que el programa pueda procesar toda la información y nos brinde las mejores alternativas en sincronización semafórica. La opción mencionada es “Optimize”. En esta opción, colocaremos los tiempos de los ciclos semafóricos máximos que queremos que evalúe el programa y nos muestre la mejor opción para nuestro modelo. En este caso seguiremos la recomendación del HCM 2010 referente a los ciclos semafóricos máximos a 120 segundos.

El programa interactuó y optimizó toda la red en sus dos sentidos, proponiendo el ciclo semafórico ideal de 90 segundos para cada intersección. En la figura 5-22 siguiente se muestra este procedimiento obtenido.

Figura 5-22 Determinacion de la propuesta de solución

Fuente: Synchro 8

Luego de procesar la información, se obtendrán los niveles de servicio actualizados del modelo con las propuestas de solución para cada intersección.

5.8.1 Intersección N°1 Avenida Alfredo Benavides cruce con Calle Carlos Tenaud y Jr. Galeano.

Luego de proponer la semaforización en esta intersección, se obtuvo una mejora sostenible en el modelo simulado. El nivel de servicio corresponde al orden de B que se observa en la Figura 5-23, este indicador representa una circulación del flujo vehicular estable y con gran posibilidad de generar maniobras cómodamente. La velocidad de circulación está dentro de los desplazamientos permitidos para la vía mayores a 30km/h y menores a 60 km/h,

Figura 5-23 Nivel de Servicio por acceso de la propuesta de mejora – Intersección N°1

Fuente: Synchro 8

5.8.2 Intersección N°2 Avenida Alfredo Benavides cruce con Calle Carlos Tenaud y Jr. Galeano.

Para esta intersección, se ha logrado mejorar de un nivel de servicio inicial F a un nivel de orden B. Esto se logró, debido a que se eliminó la fase para giros a la izquierda y se implementó el re ruteo por una calle paralela. Con esta propuesta los niveles por acceso mejoran sustancial mente en la Av. Alfredo Benavides, pasando de F a D en el sentido de Oeste a Este y de D en A en el sentido de Este a Oeste. En la siguiente figura 5-24, se muestra el nivel de servicio obtenido en la propuesta de mejora.

Figura 5-244 Nivel de servicio por acceso de la propuesta de mejora Intersección N°2

Fuente: Synchro 8

5.8.3 Intersección N°3 Avenida Alfredo Benavides cruce con Av. Ayacucho

Esta intersección mejoró debido a la sincronización de los semáforos. Inicialmente el nivel de servicio en esta intersección era de F, con la sincronización pasó al valor de C. Se muestran los niveles de servicio mejorados en cada acceso en la figura 5-25.

Figura 5-25 Nivel de servicio por acceso de la propuesta de mejora - Intersección N°3

Fuente: Synchro 8

5.8.4 Intersección N°4 Avenida Alfredo Benavides cruce con Av. Higuiereta

Esta intersección muestra una mejora debido a la sincronización de los semáforos y a la eliminación de giros a la izquierda desde la Av. Alfredo Benavides hacia la Av. Higuiereta. La intersección pasó de tener un nivel de servicio F a un nivel de servicio B. De igual forma, el ciclo semafórico de esta intersección se encuentra optimizado a 90 segundos. En la figura 5-26 se detalla la mejora.

Figura 5-26 Nivel de servicio por acceso de la propuesta de mejora - Intersección N° 4

Fuente: Synchro 8

5.8.5 Intersección N°5 Avenida Alfredo Benavides cruce con Av. Velasco Astete

De igual manera, se ha producido una mejora evidente cambiando las fases del semáforo y eliminando los giros a la izquierda. En consecuencia, la intersección pasó de un Nivel de Servicio F a un valor C. El ciclo semafórico de esta intersección está ajustada a 90 segundos. En la figura 5-27 se detalla la mejora.

Figura 5-277 Nivel de servicio por acceso de la propuesta de mejora - Intersección N° 5

Fuente: Synchro 8

5.9 Cálculo del grado de saturación en la propuesta de mejora modelado en Synchro 8

Una vez concluido el modelamiento de la red, Synchro formula un reporte con indicadores para el análisis. En ese sentido, permite seguir evaluando la red hasta encontrar el equilibrio óptimo en todas las intersecciones. En este caso, se han obtenido grados de saturación menores a uno, ya que el programa realiza la optimización y balanceo basada en las fórmulas del HCM 2010.

5.9.1 Intersección N° 1 Mejora del grado de saturación en Av. Benavides cruce con Calle Carlos Tenaud / Jr. Galeano

Como resultado, se puede apreciar que en la Intersección N°1 cuenta con grados de saturación menores a 1. Este indicador demuestra que existe una mejora respecto a lo anteriormente había.

Figura 5-28 Mejora del grado de saturación Intersección N°1

Fuente: Synchro 8

5.9.2 Intersección N° 2 Mejora del grado de saturación en Av. Benavides cruce con Calle León García

En esta intersección, se muestra que la relación volumen-capacidad arroja valores menores a 1. Lo cual, indica que la vía se comportará de manera adecuada y el tránsito será fluido.

Figura 5-29 Mejora del grado de saturación Intersección N°2

Fuente: Synchro 8

5.9.3 Intersección N° 3 Mejora del grado de saturación en Av. Benavides cruce con Av. Ayacucho

Esta intersección cuenta con 3 fases semafóricas. A pesar de ello, su flujo de saturación es menor a uno. En consecuencia, se asume que el programa ha realizado el balanceo adecuado y esto demuestra que la red se encuentra optimizada.

Figura 5-30 Mejora del grado de saturación Intersección N°3

Fuente: Synchro 8

5.9.4 Intersección N° 4 Mejora del grado de saturación en Av. Benavides cruce con Av. Higuera

Al igual que la intersección N°3 Av. Ayacucho, Esta intersección tiene 3 fases semafóricas. Nuevamente, se demuestra que el flujo de saturación es obtenido es menor a uno. Esto se relaciona al nivel de servicio obtenido igual a B. A continuación, se visualiza los valores obtenidos en esta intersección.

Figura 5-31 Mejora del grado de saturación Intersección N°4

Fuente: Synchro 8

5.9.1 Intersección N° 4 Mejora del grado de saturación en Av. Benavides cruce con Av. Higuera

En esta última intersección, los valores de grado de saturación iniciales eran muy desfavorables. Sin embargo, las mejoras propuestas arrojan indicadores satisfactorios para el modelo, logrando obtener valores menores a 1. Esta intersección pasó de tener un nivel de servicio F a un nivel C. A continuación, se muestran los valores obtenidos luego de las sincronizaciones y mejoras realizadas.

Figura 5-32 Mejora del grado de saturación Intersección N°5

Fuente: Synchro 8

5.10 Cálculo de las demoras en la propuesta de mejora modelado en Synchro 8

La propuesta de mejora, modelada en Synchro 8, evidencia cambios positivos en las intersecciones. Esto es generado por la optimización de los ciclos y la coordinación de los semáforos para obtener un flujo continuo. Así mismo, se han realizado cambios de sentido de algunas calles para implementar re-ruteos por calles paralelas a la Av. Benavides para evitar giros a la izquierda en las intersecciones. Todas estas modificaciones, evidencian que existe una mejora importante en las cinco intersecciones analizadas. En ese sentido, las demoras obtenidas serán menores a las que inicialmente se encontraron. A continuación, se muestran las demoras obtenidas en las cinco intersecciones.

En las intersecciones N° 1 y N°2 se aprecian que las demoras de 9.8 y 10.2 segundos respectivamente. Se muestra la figura 5-33, indicando lo mencionado.

Figura 5-33 Optimización de demoras en intersecciones N° 1 y N°2

Fuente: Synchro 8

En la figura 5-34, se aprecian las siguientes dos intersecciones N°3 y N°4 donde las demoras son de 25.9 y 16.6 segundos respectivamente. A comparación con las demoras iniciales, estas han reducido el tiempo de espera en cada intersección.

Figura 5-34 Optimización de demoras en intersecciones N° 3 y N° 4

Fuente: Synchro 8

Para la última intersección, se aprecia una mejora en el tiempo de espera. Esta muestra 23.2 segundos.

Figura 5-35 Optimización de demoras en intersecciones N° 5

Fuente: Synchro 8

5.11 Tabla de indicadores obtenida de la propuesta de mejora modelado en Synchro 8

Luego de proponer las mejoras en las 5 intersecciones, el Synchro nos muestra los resultados de la optimización realizada. Estos se dan por medio de indicadores, los cuales son propios para cada intersección. Estos indicadores permiten comparar los cambios realizados. Los valores obtenidos para poder evaluar son: niveles de servicio de cada intersección y del acceso, grados de saturación y las demoras por intersección. A continuación, se detalla los indicadores resultantes de la propuesta de solución.

Tabla 5-3 Indicadores de Mejora

Fuente: Elaboración propia 2019

	INTERSECCIÓN N°1				INTERSECCIÓN N°2			
MODELO PROPUESTA DE MEJORA	➡	⬅	⬆	⬇	➡	⬅	⬆	
Nombre de la Intersección	Av. Alfredo	Av. Alfredo Benavides	Ca. Tenaud	Jr. Galeano	Av. Alfredo Benavides	Av. Alfredo Benavides	Ca. León García	
NIVEL DE SERVICIO DEL ACCESO	B	A	C	C	A	A	D	
NIVEL DE SERVICIO INTERSECCIÓN	A				B			
GRADO DE SATURACIÓN	0.7	0.35	0.43	0.39	0.66	0.58	0.64	
CICLO SEMAFÓRICO (S)	90				90			
DEMORA DE LA INTERSECCIÓN (S)	9.8				10.2			
	INTERSECCIÓN N°3				INTERSECCIÓN N°4			
MODELO PROPUESTA DE MEJORA	➡	⬅	⬆	⬇	➡	⬅	⬆	⬇
Nombre de la Intersección	Av. Alfredo Benavides	Av. Alfredo Benavides	Av. Ayacucho	Av. Ayacucho	Av. Alfredo Benavides	Av. Alfredo Benavides	Jr. Manuel Herrera	Av. Higuera
NIVEL DE SERVICIO DEL ACCESO	C	A	D	D	A	B	E	D
NIVEL DE SERVICIO INTERSECCIÓN	C				B			
GRADO DE SATURACIÓN	0.93	0.43	0.66	0.91	0.62	0.88	0.81	0.72
CICLO SEMAFÓRICO (S)	90				90			
DEMORA DE LA INTERSECCIÓN (S)	25.9				16.6			
	INTERSECCIÓN N°5							
MODELO PROPUESTA DE MEJORA	➡	⬅	⬆	⬇				
Nombre de la Intersección	Av. Alfredo Benavides	Av. Alfredo Benavides	Ca. León García	Ca. León García				
NIVEL DE SERVICIO DEL ACCESO	A	C	D	E				
NIVEL DE SERVICIO INTERSECCIÓN	C							
GRADO DE SATURACIÓN	0.79	0.93	0.71	0.80				
CICLO SEMAFÓRICO (S)	90							
DEMORA DE LA INTERSECCIÓN (S)	23.2							

6. EVALUACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo, se evaluarán los cambios realizados y las resultantes obtenidas producto de la propuesta de mejora para cada intersección de la red en estudio. Esta se hará por medio de indicadores obtenidos de la simulación en el Software Synchro 8.

6.1 Evaluación de Niveles de Servicio en los accesos

En esta sección, se comparan los niveles de servicio de los accesos. Esto con el objetivo de contrastar las mejoras obtenidas del modelo de la propuesta de mejora. A continuación, se adjunta tabla 6-1 comparativa de todos los accesos evaluados y comparados.

Tabla 6-1 Comparativo de los Niveles de Servicio

Fuente: Elaboración propia 2019

COMPARATIVO DE NIVELES DE SERVICIO POR ACCESOS								
NIVEL DE SERVICIO DEL ACCESO	Accesos Modelo Actual				Accesos Modelo Propuesta de Mejora			
	➡	⬅	⬆	⬇	➡	⬅	⬆	⬇
Intersección N°1	U	U	U	U	B	A	C	C
Intersección N°2	F	C	E		A	A	D	
Intersección N°3	F	E	D	F	C	A	D	D
Intersección N°4	F	E	E	F	A	B	E	D
Intersección N°5	F	E	E	F	A	C	D	E

Cabe resaltar que algunos de los accesos no han cambiado sus niveles de servicio, a pesar de las mejoras realizadas. Esto se debe, a que la capacidad del acceso no ha variado y, las mejoras en sincronización y optimización de ciclos semafóricos, no impactan sobre la infraestructura. Para lograr un cambio significativo en estos accesos, será necesario modificar la geometría. Sin embargo, algunos de estos ya no tienen capacidad para ser ampliarlas.

6.2 Evaluación de Niveles de servicio en las intersecciones

Los indicadores muestran categóricamente, los cambios favorables en los niveles de servicio en todas las intersecciones. En el modelo real, los accesos muestran niveles de servicio en el orden de D, E y F. En comparación, con la propuesta de mejora, se obtienen niveles de servicio favorables en las intersecciones y estos son de orden B, C y D. A continuación, se adjunta tabla 6-2 comparativa de todas las intersecciones evaluadas y comparadas.

Tabla 6-2 Comparativo Niveles de Servicio por intersecciones

Fuente: Elaboración propia 2019

COMPARATIVO DE NIVELES DE SERVICIO POR INTERSECCIÓN		
NIVEL DE SERVICIO DE LA INTERSECCIÓN	Nivel de Servicio Modelo Actual	Nivel de servicio propuesta de Mejora
Intersección N°1	U	A
Intersección N°2	F	B
Intersección N°3	F	C
Intersección N°4	F	B
Intersección N°5	F	C

6.3 Evaluación de los grados de saturación

En la tabla 6-3, se observa que los grados de saturación obtenidos en el modelo de mejora para las intersecciones son favorables. No obstante, algunos accesos se encuentran en el límite de su capacidad, ya que la geometría de la vía no puede ser modificada.

Tabla 6-3 Comparativo de grados de saturacion en la intersección

Fuente: Elaboración propia 2019

COMPARATIVO DE DEMORAS DE LA INTERSECCIÓN		
INTERSECCIÓN	Demora del Modelo Actual	Demora de la propuesta de Mejora
Intersección N°1	U	9.8
Intersección N°2	246.3	10.2
Intersección N°3	252.2	25.9
Intersección N°4	202.8	16.6
Intersección N°5	202.8	23.2

6.4 Evaluación de la demora por control en intersecciones

Este indicador, es el más resaltante debido a la sincronización y optimización semafórica realizada. Las demoras por control, se han reducido eficazmente con los cambios generados en las intersecciones producto de la eliminación de giros y re ruteos paralelos. Esta reducción, equivale al 72.5% del valor inicial. De esta manera, los usuarios tienen un ahorro de 818 segundos por vehículo, lo cual se traduce a un ahorro de 13.63 minutos en el recorrido total. Se adjunta tabla 6-4 que sustenta lo mencionado.

Tabla 6-4 Comparativo de demoras de control de la intersección

Fuente: Elaboración propia 2019

COMPARATIVO DE DEMORAS DE LA INTERSECCIÓN		
INTERSECCIÓN	Demora del Modelo Actual	Demora de la propuesta de Mejora
Intersección N°1	U	9.8
Intersección N°2	246.3	10.2
Intersección N°3	252.2	25.9
Intersección N°4	202.8	16.6
Intersección N°5	202.8	23.2

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Para el presente trabajo se realizaron dos simulaciones a través del software de modelamiento Synchro 8. En la primera simulación, se detallaron las condiciones reales de la red vial en estudio y la segunda simulación se presenta la propuesta de solución del modelo, la misma que fue desarrollada en cada intersección del estudio. Como parte de recolección de información en la simulación real, se recopilaron aforos de vehículos, reglaje semafórico, anchos de carriles y velocidades de operación, el día miércoles 17 de Julio del 2019 desde las 17:00 hasta las 20:00 horas.
- Durante el análisis del funcionamiento en la red vial actual, se identificaron que los accesos de las cuatro intersecciones cuentan con grados de saturación mayores a 1.00 estando al límite de su capacidad. Asimismo, los ciclos semafóricos existentes llegan, en algunos casos, hasta los 155 segundos; las cuales, generan interferencias en cada intersección, siendo un ciclo recomendado de 120 segundos según el HCM 2010. Además, se evidenció que los conductores realizan maniobras no permitidas como giros en U, reflejado en los flujogramas de las intersecciones. Por otro lado, se reflejan demoras, debido a los tiempos de parada originados por los buses en las intersecciones para el recojo de pasajeros. Finalmente, se detectó que las fases protegidas de giros a la izquierda evidencia colas prolongadas hacia la Av. Benavides en ambos sentidos.
- La propuesta de solución de la red vial, han generado que los Niveles de servicio mejoren de un valor F a valor B ó C, a través de la gestión y demanda, que se detallan en cada intersección:
- Intersección N° 1: Al ser una intersección no semaforizada, se ha propuesto incorporar un dispositivo de control, tipo semáforo con prioridad de paso, la que tendrá un ciclo de 110 segundos, siendo distribuido con 90 segundos en la segunda fase y 20 segundos en la primera fase.
- Intersección N° 2: Se ha propuesto eliminar la fase para giros a la izquierda y vuelta en U, y se incorporó una ruta alternativa de desvío por la calle anterior Victorio Mosto, girando hacia la izquierda por el Jr. Fernando Castrat, para luego

ingresar a la calle Enrique León García. Asimismo, el ciclo semafórico se optimizó a 90 segundos, otorgándole 69 segundos a la fase 1 y 21 segundos a la fase 2.

- Intersección N° 3: Se ha propuesto, mejorar el ciclo semafórico actual, mediante la coordinación semafórica con las demás intersecciones. El nuevo ciclo coordinado presentará 90 segundos y otorgará 36 segundos a la fase 1, 33 segundos a la fase 2 y 21 segundos a la fase 3. Se reubicaron los paraderos para disminuir la congestión debido a los buses parados.
- Intersección N° 4: Se ha propuesto eliminar la fase para giros a la izquierda y en U, estas maniobras se podrán realizar a 200m. de la intersección. Asimismo, se propone optimizar el ciclo semafórico y coordinar las fases del semáforo. Con 60 segundos de verde en la fase 1, 10 segundos en la fase 2 y en la fase 3 de 20 segundos.
- Intersección N° 5: Se ha propuesto eliminar la fase para giros a la izquierda y en U, y se incorporó rutas alternativas desviándolos antes de llegar a la intersección, tomando la calle Rey de Bajamonde hasta el cruce de la calle Ricardo Aranda. Asimismo, se propone optimizar el ciclo semafórico a 90 segundos. Las fases semafóricas serán 2.
- La simulación en el software SYNCHRO 8 nos ayuda a modelar la situación actual para determinar las debilidades de la red.
- La metodología del HCM 2010, emplea procedimientos con ciertas limitaciones en la evaluación de sistemas viales complejos como es el caso peruano. Por ser un modelo determinístico, es recomendable analizar las particularidades de la red vial antes de aplicarlo.

7.2 Recomendaciones

- Al aplicar el HCM, se deben considerar factores alineados a la realidad del transporte vial limeño, ya que este manual fue diseñado para carreteras en Estados Unidos y, es allí, que muchos de estos factores utilizados en las fórmulas están alineados a su propia realidad. Por ello, se recomienda a los interesados a realizar una propuesta de análisis para adecuar las fórmulas del HCM al modelo del tránsito en el Perú.
- Al utilizar el SYNCHRO 8.0, existieron algunas limitaciones, dentro de las cuales, es poder representar la ubicación de los paraderos y las transiciones de números de carriles de la vía. Esto se debe a que el software realiza la simulación de un conjunto de intersecciones, mas no de elementos específicos. Entonces, para poder representar un análisis más puntual, será necesario utilizar otro tipo de software que permita realizar micro simulaciones localizadas para dar mayor detalle de los elementos que componen la red.
- El SYNCHRO 8.0 fue diseñado con normas americanas; por lo que no considera algunos comportamientos reales de los usuarios de nuestra ciudad. Por ejemplo, no representa los vehículos que invaden las intersecciones producto de las colas. Tampoco, representa las maniobras de cambio de carril que realizan los buses o vehículos en marcha. Por lo tanto, ajustar estos comportamientos al modelo real en el programa, no serán posibles. Se recomienda, calibrar el modelo verificando los factores propios del software y ajustarlos a la realidad encontrada.
- Se recomienda considerar todos los factores como los aforos peatonales, aforos de motos, bicicletas y considerar los vehículos que se estacionan dentro de la red, lo cual, no formaron parte de esta investigación. Esto es importante si se desea representar modelos de análisis de micro simulación para investigaciones de tesis futuras.
- La información obtenida de la presente tesis, servirá como data importante para ser utilizada en el análisis de la problemática del congestionamiento vehicular en el Ovalo Higuiereta. Así mismo, forma parte de la propuesta de mejora del tránsito para ser replicada en otras redes viales con problemas y características similares. Se

recomienda a los interesados a continuar la investigación a favor de mejorar las redes viales de nuestra ciudad.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (TRB), Transportation Research Board. (2010). *High Capacity Manual 2010 Vol. 3*. High Capacity Manual 2010 Vol. 3.
- Agustín, M. T. (2014). *SISTEMA DE OPTIMIZACIÓN DE TRÁFICO VEHICULAR APLICADO A LA GLORIETA SANTA FE*. Guanajuato Gto., México: Centro de Investigación en Matemáticas A.C.
- Alonso, C. M., & Galván Aldoradin, C. J. (2016). *Propuesta de Mejora de congestión vehicular usando metodología HCM 2010 en las intersecciones de la Av. 26 de Noviembre, entre la Av Pachacutec y la Av. Salvador Allende, en el distrito de V.M.T. Lima : UPC*.
- Burga Andaviza, A. S. (2018). *Modelación de sistema vial en campus UDEP, incluyendo ciclovía*. Piura: Universidad de Piura.
- Cal y Mayor Reyes Spíndola, R. y. (1994). *Ingeniería de Tránsito*. Mexico: Ediciones Alfaomega.
- CÁMARA, L. (2018). AUMENTO CONTINUO DEL PARQUE AUTOMOTOR, UN PROBLEMA QUE URGE SOLUCIONAR. *LA CÁMARA*, 25.
- Caruajulca, A. (19 de 05 de 2018). <https://diariocorreop.pe>. Obtenido de Tráfico en Lima: Conozca los 45 puntos críticos que aquejan a la ciudadanía (INFOGRAFÍA): <https://diariocorreop.pe>
- Del Mar Velarde, A. M., & Vásquez Palomino, I. E. (2019). *Propuesta para la reducción del congestionamiento vehicular en las avenidas La Marina y Faustino Sánchez Carrión, desde la Av. Antonio José de Sucre hasta la Av. Gregorio Escobedo, mediante el uso del software Synchro 8*. lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).
- Ergün, A. S. (2015). *Efficiency analysis of the dynamic traffic control for an urban highway*. Turkey: EURASIP Journal on Wireless Communications.
- FERNÁNDEZ, R. (2008). *Elementos de la Teoría del Tráfico Vehicular*. Santiago de Chile: Universidad de los Andes.

- Gaceta digital UNAM. (2016). *MODELO DE FLUJO VEHICULAR MEJORA LA CIRCULACIÓN*. Obtenido de <http://www.gaceta.unam.mx/20160202/modelo-de-flujo-vehicular-mejora-la-circulacion/>
- Imanuel, B. H. (2018). *Traffic congestion analysis using travel time ratio and degree of saturation on road sections in Palembang, Bandung, Yogyakarta, and Surakarta*. Indonesia: MATEC Web of Conferences.
- Index, T. T. (2019). *Full Ranking 2018*. Obtenido de https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking: <https://www.tomtom.com>
- Kumar, S. V. (2018). Study of Traffic Flow at a Three Legged Busy. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, (pág. Sci. Eng. 396 012015). India.
- Lee, A. C. (2018). *Traffic condition with road upgrading during construction and operation stages based on level of-service*. Malaysia: Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 344 012018.
- Lino, F. J. (2012). *Aplicabilidad de las Metodologías del HCM 2000 y Synchro 7.0 para Analizar las Intersecciones Semaforizadas de Lima (Tesis de Ingeniería)*. Lima: PUCP.
- Mayor, C. y. (2006). INGENIERÍA DE TRÁNSITO . 245,246,247.
- Municipalidad de Metropolitana de Lima. (2013). *Plan Regional de Desarrollo Concertado de Lima (2012-2015)*. Lima: Municipalidad de Metropolitana de Lima.
- Oficina de Programación Multianual de Inversiones 2020-2022 – OPMI. (2019). *Diagnosticos de Brechas*. Lima : Municipalidad de Santiago de Surco.
- PTV Group. (2016). *PTV Viswalk*. Obtenido de The mind of movement:: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-uk/products/ptv-viswalk/>
- SUÁREZ CASTAÑO, L. A. (2007). *ANÁLISIS Y EVALUACIÓN OPERACIONAL DE INTERSECCIONES URBANAS MEDIANTE MICROSIMULACIÓN*. Medellin, Colombia: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- Trafficware corporation. (30 de 07 de 2019). *Synchro Studio*. Obtenido de <https://www.trafficware.com/synchro.html>

- VALLADARES MEJÍA, A. D. (2016). *Comparación de un enfoque macroscópico y otro microscópico al estimar las demoras por la congestión urbana*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Zuo1, Y. .. (Diciembre de 2016). *The effect of curb parking on road capacity and traffic safety*. republic of china.

9. ANEXOS

I. ANEXO N° 1

REGISTRO DEL TRAFICO –WAZE

II. ANEXO N° 2

DATOS DE AFORO DE VEHÍCULOS

CODIFICACIÓN DE SENTIDOS DE FLUJO: AV. ALFREDO BENAVIDES – CL. CARLOS TENAUD

INTERSECCIÓN N° 1

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Calle Juan Tenaud
 Fecha : 17-Jul-19
 Día : Miércoles

Sentido : O-E
 H. Inicial : 1700
 H. Final : 2000

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTOS Y CAMIONETA				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MX./HORA
	11	12	13	14	11	12	13	14	11	12	13	14	
1700 - 17:15	95	21	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	138
17:15 - 17:30	93	22	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	138
17:30 - 17:45	155	23	0	0	26	0	0	0	11	0	0	0	215
17:45 - 18:00	195	22	0	0	30	0	0	0	7	0	0	0	254
18:00 - 18:15	235	14	0	0	26	0	0	0	3	0	0	0	278
18:15 - 18:30	225	18	0	0	33	0	0	0	3	0	0	0	279
18:30 - 18:45	327	28	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	383
18:45 - 19:00	338	29	0	0	42	0	0	0	0	0	0	0	409
19:00 - 19:15	342	35	0	0	44	0	0	0	1	0	0	0	422
19:15 - 19:30	348	38	0	0	37	0	0	0	1	0	0	0	424
19:30 - 19:45	280	27	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	339
19:45 - 20:00	265	25	0	0	30	0	0	0	1	0	0	0	321
TOTAL	2898	302	0	0	40	0	0	0	27	0	0	0	3600
η ₆₀	1355	130	0	0	151	0	0	0	2	0	0	0	1638

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
11	1508
12	0
13	0
14	0
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.966	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	1638
Total de Vehículos Ligeros	1636
Total de Vehículos Pesados	2
% de Vehículos Ligeros	99.88%
% de Vehículos Pesados	0.12%

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Calle Juan Tenaud
 Fecha : 17-Jul-19
 Día : Miércoles

Sentido : E-O
 H. Inicial : 1700
 H. Final : 2000

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTOS Y CAMIONETA				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MX./HORA
	21	22	23	24	21	22	23	24	21	22	23	24	
1700 - 17:15	90	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	105
17:15 - 17:30	91	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	109
17:30 - 17:45	117	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	137
17:45 - 18:00	126	0	0	0	22	0	0	0	2	0	0	0	150
18:00 - 18:15	106	0	0	0	32	0	0	0	5	0	0	0	143
18:15 - 18:30	185	0	0	0	35	0	0	0	3	0	0	0	223
18:30 - 18:45	222	0	0	0	23	0	0	0	23	0	0	0	268
18:45 - 19:00	225	0	0	0	39	0	0	0	39	0	0	0	303
19:00 - 19:15	232	0	0	0	40	0	0	0	40	0	0	0	312
19:15 - 19:30	245	0	0	0	38	0	0	0	38	0	0	0	321
19:30 - 19:45	210	0	0	0	27	0	0	0	2	0	0	0	239
19:45 - 20:00	178	0	0	0	25	0	0	0	1	0	0	0	204
TOTAL	2027	0	0	0	334	0	0	0	153	0	0	0	2514
η ₆₀	924	0	0	0	140	0	0	0	140	0	0	0	1204

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
21	1204
22	0
23	0
24	0
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.938	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	1204
Total de Vehículos Ligeros	1064
Total de Vehículos Pesados	140
% de Vehículos Ligeros	88.37%
% de Vehículos Pesados	11.63%

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Calle Juan Tenaud
 Fecha : 17-Jul-19
 Día : Miércoles

Sentido : S-N
 H. Inicial : 1700
 H. Final : 2000

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTOS Y CAMIONETA				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MX./HORA
	31	32	33	34	31	32	33	34	31	32	33	34	
1700 - 17:15	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
17:15 - 17:30	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
17:30 - 17:45	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26
17:45 - 18:00	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
18:00 - 18:15	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
18:15 - 18:30	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
18:30 - 18:45	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
18:45 - 19:00	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32
19:00 - 19:15	0	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38
19:15 - 19:30	0	33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
19:30 - 19:45	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
19:45 - 20:00	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
TOTAL	0	323	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	323
η ₆₀	0	131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	131

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
31	0
32	131
33	0
34	0
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.862	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	131
Total de Vehículos Ligeros	131
Total de Vehículos Pesados	0
% de Vehículos Ligeros	100.00%
% de Vehículos Pesados	0.00%

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Jiron Galeano
 Fecha : 17-Jul-19
 Día : Miércoles

Sentido : N-S
 H. Inicial : 1700
 H. Final : 2000

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTO Y CAMIONETA RURAL				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MX./HORA
	41	42	43	44	41	42	43	44	41	42	43	44	
1700 - 17:15	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21
17:15 - 17:30	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
17:30 - 17:45	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25
17:45 - 18:00	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
18:00 - 18:15	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
18:15 - 18:30	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
18:30 - 18:45	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
18:45 - 19:00	0	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55
19:00 - 19:15	0	52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52
19:15 - 19:30	0	64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64
19:30 - 19:45	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
19:45 - 20:00	0	48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48
TOTAL	0	450	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	450
η ₆₀	0	216	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	216

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
41	0
42	216
43	0
44	0
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.844	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	216
Total de Vehículos Ligeros	216
Total de Vehículos Pesados	0
% de Vehículos Ligeros	100.00%
% de Vehículos Pesados	0.00%

CODIFICACIÓN DE SENTIDOS DE FLUJO: AV. ALFREDO BENAVIDES – CL. ENRIQUE LEÓN GARCIA

INTERSECCIÓN N° 2

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Av. Enrique Leon Garcia
 Fecha : 17-Jul-19
 Día : Miércoles

Sentido : O-E
 H. Inicial : 1700
 H. Final : 2000

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTOS Y CAMIONETA				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MIX/HORA
	11	12	13	14	11	12	13	14	11	12	13	14	
17:00 - 17:15	150	0	0	0	29	0	0	0	1	0	0	0	180
17:15 - 17:30	155	1	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	184
17:30 - 17:45	145	3	36	6	32	0	0	0	2	0	0	0	224
17:45 - 18:00	194	1	38	9	29	0	0	0	1	0	1	0	273
18:00 - 18:15	222	0	32	5	36	0	0	0	3	0	0	0	298
18:15 - 18:30	231	0	40	5	29	0	0	0	1	0	0	0	306
18:30 - 18:45	299	5	47	4	28	0	0	0	0	0	0	0	383
18:45 - 19:00	314	4	51	1	42	0	0	0	0	0	0	0	412
19:00 - 19:15	318	3	54	5	44	0	0	0	1	0	0	0	425
19:15 - 19:30	334	4	42	1	37	0	0	0	1	0	0	0	419
19:30 - 19:45	289	0	36	1	32	0	0	0	0	0	0	0	358
19:45 - 20:00	260	1	33	0	36	0	0	0	1	0	0	0	331
TOTAL	2911	22	409	37	402	0	0	0	11	0	1	0	3793
η ₆₀	1265	16	194	11	151	0	0	0	2	0	0	0	1639

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
11	1418
12	16
13	194
14	11
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.800	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	1639
Total de Vehículos Ligeros	1637
Total de Vehículos Pesados	2
% de Vehículos Ligeros	99.88%
% de Vehículos Pesados	0.12%

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Av. Enrique Leon Garcia
 Fecha : 17-Jul-19
 Día : Miércoles

Sentido : E-O
 H. Inicial : 1700
 H. Final : 2000

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTOS Y CAMIONETA				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MIX/HOR
	21	22	23	24	21	22	23	24	21	22	23	24	
17:00 - 17:15	100	1	0	0	22	0	0	0	1	0	0	0	124
17:15 - 17:30	110	2	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	132
17:30 - 17:45	126	6	0	0	22	0	0	0	1	0	0	0	155
17:45 - 18:00	132	3	1	0	18	0	0	0	2	0	0	0	156
18:00 - 18:15	124	5	3	1	19	0	0	0	5	1	0	0	158
18:15 - 18:30	120	2	1	2	20	0	0	0	3	0	0	0	148
18:30 - 18:45	210	8	5	0	23	0	0	0	1	0	0	0	247
18:45 - 19:00	231	7	8	2	39	0	0	0	4	2	0	0	293
19:00 - 19:15	221	7	7	0	40	0	0	0	3	0	0	0	278
19:15 - 19:30	217	4	6	0	38	0	0	0	0	0	0	0	265
19:30 - 19:45	167	7	0	0	29	0	0	0	2	0	0	0	205
19:45 - 20:00	155	7	0	0	26	0	0	0	1	0	0	0	189
TOTAL	1913	59	31	5	316	0	0	0	23	3	0	0	2350
η ₆₀	879	26	26	2	140	0	0	0	8	2	0	0	1083

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
21	1027
22	28
23	26
24	2
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.880	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	1083
Total de Vehículos Ligeros	1073
Total de Vehículos Pesados	10
% de Vehículos Ligeros	99.08%
% de Vehículos Pesados	0.92%

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Av. Enrique Leon Garcia
 Fecha : 17-Jul-19
 Día : Miércoles

Sentido : S-N
 H. Inicial : 1700
 H. Final : 2000

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTOS Y CAMIONETA				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MIX/HORA
	31	32	33	34	31	32	33	34	31	32	33	34	
17:00 - 17:15	6	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
17:15 - 17:30	5	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
17:30 - 17:45	11	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24
17:45 - 18:00	10	5	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
18:00 - 18:15	12	7	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
18:15 - 18:30	17	10	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32
18:30 - 18:45	17	5	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
18:45 - 19:00	17	8	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37
19:00 - 19:15	19	10	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38
19:15 - 19:30	18	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32
19:30 - 19:45	13	11	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
19:45 - 20:00	11	9	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
TOTAL	156	85	75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	316
η ₆₀	71	30	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
31	71
32	30
33	34
34	0
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.820	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	135
Total de Vehículos Ligeros	135
Total de Vehículos Pesados	0
% de Vehículos Ligeros	100.00%
% de Vehículos Pesados	0.00%

CODIFICACIÓN DE SENTIDOS DE FLUJO: AV. ALFREDO BENAVIDES – AV. AYACUCHO

INTERSECCIÓN N° 3

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Av. Ayacucho
 Fecha : 17-Jul-19
 Día : Miércoles

Sentido : O-E
 H. Inicial : 17:00
 H. Final : 20:00

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTOS Y CAMIONETA				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MX/HORA
	11	12	13	14	11	12	13	14	11	12	13	14	
17:00 - 17:15	239	2	0	0	21	1	0	0	1	0	0	0	264
17:15 - 17:30	234	5	0	0	26	2	0	0	0	0	0	0	267
17:30 - 17:45	236	4	0	0	24	1	0	0	0	0	0	0	265
17:45 - 18:00	242	9	0	0	20	2	0	0	0	0	0	0	273
18:00 - 18:15	245	8	0	0	21	2	0	0	3	0	0	0	279
18:15 - 18:30	268	6	0	0	22	2	0	0	1	0	0	0	299
18:30 - 18:45	294	10	0	0	27	1	0	0	0	0	0	0	332
18:45 - 19:00	313	9	0	0	41	1	0	0	0	0	0	0	364
19:00 - 19:15	320	8	0	0	42	2	0	0	1	0	0	0	373
19:15 - 19:30	329	12	0	0	35	2	0	0	1	0	0	0	379
19:30 - 19:45	290	7	0	0	26	1	0	0	2	0	0	0	326
19:45 - 20:00	286	4	0	0	23	1	0	0	2	0	0	0	316
TOTAL	3296	84	0	0	328	18	0	0	11	0	0	0	3737
η ₆₀	1256	39	0	0	145	6	0	0	2	0	0	0	1448

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
11	1403
12	45
13	0
14	0
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.800	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	1448
Total de Vehículos Ligeros	1446
Total de Vehículos Pesados	2
% de Vehículos Ligeros	99.86%
% de Vehículos Pesados	0.14%

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Av. Ayacucho
 Fecha : 17-Jul-19
 Día : Miércoles

Sentido : E-O
 H. Inicial : 17:00
 H. Final : 20:00

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTOS Y CAMIONETA				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MX/HORA
	21	22	23	24	21	22	23	24	21	22	23	24	
17:00 - 17:15	50	0	38	0	23	0	1	0	0	0	0	0	112
17:15 - 17:30	62	0	41	0	26	0	0	0	0	0	0	0	129
17:30 - 17:45	70	0	36	0	24	0	0	0	0	0	0	0	130
17:45 - 18:00	82	0	42	0	21	0	0	0	0	0	0	0	145
18:00 - 18:15	95	0	38	0	34	0	3	0	5	0	2	0	177
18:15 - 18:30	101	0	45	0	38	0	4	0	1	0	3	0	192
18:30 - 18:45	185	0	88	0	20	0	2	0	1	0	1	0	297
18:45 - 19:00	195	0	68	0	37	0	7	0	5	0	0	0	312
19:00 - 19:15	185	0	76	0	36	0	2	0	1	0	0	0	300
19:15 - 19:30	188	0	47	0	35	0	3	0	0	0	0	0	273
19:30 - 19:45	140	0	40	0	29	0	3	1	4	0	1	0	218
19:45 - 20:00	132	0	42	0	18	0	1	0	1	0	0	0	194
TOTAL	1485	0	601	0	341	0	26	1	18	0	7	0	2479
η ₆₀	753	0	279	0	128	0	14	0	7	0	1	0	1182

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
21	888
22	0
23	294
24	0
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.880	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	1182
Total de Vehículos Ligeros	1174
Total de Vehículos Pesados	8
% de Vehículos Ligeros	99.32%
% de Vehículos Pesados	0.68%

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Av. Ayacucho
 Fecha : 17-Jul-19
 Día : Miércoles

Sentido : S-N
 H. Inicial : 17:00
 H. Final : 20:00

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTOS Y CAMIONETA				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MX/HORA
	31	32	33	34	31	32	33	34	31	32	33	34	
17:00 - 17:15	0	28	31	1	0	2	1	0	0	0	0	0	63
17:15 - 17:30	0	32	30	0	0	1	1	0	0	0	0	0	64
17:30 - 17:45	0	38	27	1	0	3	1	0	0	0	0	0	70
17:45 - 18:00	0	40	23	1	0	2	2	0	0	2	0	0	70
18:00 - 18:15	0	43	28	1	0	5	2	0	0	1	1	0	81
18:15 - 18:30	0	55	32	2	0	3	3	0	0	0	0	0	95
18:30 - 18:45	0	66	41	0	0	2	3	0	0	3	0	0	115
18:45 - 19:00	0	76	55	1	0	1	2	0	0	0	1	0	136
19:00 - 19:15	0	72	49	1	0	5	4	0	0	2	2	1	136
19:15 - 19:30	0	67	35	2	0	4	3	0	0	1	0	0	112
19:30 - 19:45	0	58	28	1	0	2	2	0	0	1	0	0	92
19:45 - 20:00	0	54	26	1	0	1	2	0	0	1	0	1	86
TOTAL	0	629	405	12	0	31	26	0	0	11	4	2	1120
η ₆₀	0	281	180	4	0	12	12	0	0	6	3	1	499

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
31	0
32	299
33	195
34	5
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.800	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	499
Total de Vehículos Ligeros	489
Total de Vehículos Pesados	10
% de Vehículos Ligeros	98.00%
% de Vehículos Pesados	2.00%

CODIFICACIÓN DE SENTIDOS DE FLUJO: AV. ALFREDO BENAVIDES – AV. HIGUERETA

INTERSECCIÓN N° 4

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Av. Higuera
 Fecha : 17-Jul-19
 Día : Miércoles

Sentido : O-E
 H. Inicial : 17:00
 H. Final : 20:00

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTOS Y CAMIONETA				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MIX./HORA
	11	12	13	14	11	12	13	14	11	12	13	14	
17:00 - 17:15	271	0	27	0	24	0	0	0	0	0	0	0	322
17:15 - 17:30	273	0	29	1	28	0	1	0	1	0	0	0	333
17:30 - 17:45	275	0	31	0	30	0	0	0	0	0	0	0	336
17:45 - 18:00	285	0	28	0	26	0	0	0	0	0	0	0	339
18:00 - 18:15	286	0	31	0	20	0	0	0	1	0	0	0	338
18:15 - 18:30	298	0	30	1	22	0	0	0	0	0	0	0	351
18:30 - 18:45	337	0	34	1	28	0	1	0	3	0	0	0	404
18:45 - 19:00	342	0	56	0	40	0	2	0	0	0	0	0	440
19:00 - 19:15	340	0	51	2	47	0	0	0	3	0	0	0	443
19:15 - 19:30	361	0	32	3	39	0	0	0	2	0	0	0	437
19:30 - 19:45	320	0	30	0	29	0	0	0	0	0	0	0	379
19:45 - 20:00	300	0	29	1	25	0	0	0	0	0	0	0	355
TOTAL	3688	0	408	9	358	0	4	0	10	0	0	0	4477
η ₆₀	1380	0	173	6	154	0	3	0	8	0	0	0	1724

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
11	1542
12	0
13	176
14	6
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.930	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	1724
Total de Vehículos Ligeros	1716
Total de Vehículos Pesados	8
% de Vehículos Ligeros	99.54%
% de Vehículos Pesados	0.46%

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Av. Higuera
 Fecha : 17-Jul-19
 Día : Miércoles

Sentido : E-O
 H. Inicial : 17:00
 H. Final : 20:00

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTOS Y CAMIONETA				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MIX./HORA
	21	22	23	24	21	22	23	24	21	22	23	24	
17:00 - 17:15	152	20	0	0	21	0	0	0	3	0	0	0	196
17:15 - 17:30	163	26	0	0	19	1	0	0	1	0	0	0	210
17:30 - 17:45	165	22	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	210
17:45 - 18:00	178	21	0	0	21	1	0	0	2	0	0	0	223
18:00 - 18:15	198	15	0	0	26	0	0	0	2	0	0	0	241
18:15 - 18:30	210	20	0	0	20	0	0	0	2	1	0	0	253
18:30 - 18:45	225	27	0	0	22	0	0	0	2	0	0	0	276
18:45 - 19:00	228	29	0	0	44	0	0	0	4	0	0	0	305
19:00 - 19:15	224	30	0	0	37	0	0	0	1	0	0	0	292
19:15 - 19:30	215	34	0	0	38	0	0	0	0	0	0	0	287
19:30 - 19:45	196	24	0	0	30	1	0	0	1	0	0	0	252
19:45 - 20:00	185	23	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	237
TOTAL	2339	291	0	0	330	3	0	0	18	1	0	0	2982
η ₆₀	892	120	0	0	141	0	0	0	7	0	0	0	1160

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
21	1040
22	120
23	0
24	0
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.930	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	1160
Total de Vehículos Ligeros	1153
Total de Vehículos Pesados	7
% de Vehículos Ligeros	99.40%
% de Vehículos Pesados	0.60%

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Jr. Manuel Herrera
 Fecha : 17-Jul-19
 Día : Miércoles

Sentido : S-N
 H. Inicial : 17:00
 H. Final : 20:00

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTOS Y CAMIONETA				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MIX./HORA
	31	32	33	34	31	32	33	34	31	32	33	34	
17:00 - 17:15	13	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
17:15 - 17:30	15	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
17:30 - 17:45	12	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
17:45 - 18:00	15	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
18:00 - 18:15	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
18:15 - 18:30	12	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
18:30 - 18:45	17	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
18:45 - 19:00	31	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37
19:00 - 19:15	24	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
19:15 - 19:30	40	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50
19:30 - 19:45	32	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37
19:45 - 20:00	29	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
TOTAL	251	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	311
η ₆₀	112	27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	139

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
31	112
32	27
33	0
34	0
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.695	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	139
Total de Vehículos Ligeros	139
Total de Vehículos Pesados	0
% de Vehículos Ligeros	100.00%
% de Vehículos Pesados	0.00%

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Av. Higuera
 Fecha : 17-Jul-19
 Día : Miércoles

Sentido : N-S
 H. Inicial : 17:00
 H. Final : 20:00

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTO Y CAMIONETA RURAL				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MIX./HORA
	41	42	43	44	41	42	43	44	41	42	43	44	
17:00 - 17:15	0	23	78	0	0	3	1	0	0	0	1	0	106
17:15 - 17:30	0	26	76	0	0	0	2	0	0	1	0	0	105
17:30 - 17:45	0	25	65	0	0	1	4	0	0	0	0	0	95
17:45 - 18:00	0	18	69	0	0	2	3	0	0	0	0	0	92
18:00 - 18:15	0	21	71	0	0	0	4	0	0	1	2	0	99
18:15 - 18:30	0	22	86	0	0	1	2	0	0	0	1	0	112
18:30 - 18:45	0	13	96	0	0	0	1	0	0	0	2	0	112
18:45 - 19:00	0	58	105	1	0	0	1	0	0	1	1	0	167
19:00 - 19:15	0	41	95	2	0	1	2	0	0	0	0	0	141
19:15 - 19:30	0	22	82	0	0	0	1	0	0	0	0	0	105
19:30 - 19:45	0	19	80	0	0	2	0	0	0	0	0	0	101
19:45 - 20:00	0	12	87	1	0	1	1	0	0	0	0	0	102
TOTAL	0	300	990	4	0	11	22	0	0	3	7	0	1337
η ₆₀	0	134	378	3	0	1	5	0	0	1	3	0	525

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
41	0
42	136
43	386
44	4
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.786	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	525
Total de Vehículos Ligeros	521
Total de Vehículos Pesados	4
% de Vehículos Ligeros	99.24%
% de Vehículos Pesados	0.76%

CODIFICACIÓN DE SENTIDOS DE FLUJO: AV. ALFREDO BENAVIDES – AV. VELASCO ASTETE

INTERSECCIÓN N° 5

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Av. Velasco Astete Sentido : O-E
 Fecha : 17-Jul-19 H. Inicial : 17:00
 Día : Miércoles H. Final : 20:00

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTOS Y CAMIONETA				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MX./HORA
	11	12	13	14	11	12	13	14	11	12	13	14	
17:00 - 17:15	291	15	39	0	21	0	0	0	1	0	0	0	367
17:15 - 17:30	295	21	35	0	20	0	0	0	2	0	0	0	373
17:30 - 17:45	280	16	40	0	19	0	0	0	2	0	0	0	357
17:45 - 18:00	296	20	49	0	24	0	0	0	4	2	2	0	397
18:00 - 18:15	298	19	43	0	20	0	0	0	2	0	2	0	384
18:15 - 18:30	310	20	48	0	25	0	1	0	2	0	1	0	407
18:30 - 18:45	349	25	56	0	29	0	0	0	5	0	0	0	464
18:45 - 19:00	364	22	65	1	41	0	0	0	1	0	0	0	494
19:00 - 19:15	362	24	62	0	49	0	0	0	2	0	1	0	490
19:15 - 19:30	358	28	58	2	40	0	0	0	0	2	0	0	488
19:30 - 19:45	300	21	20	0	35	0	0	0	0	0	0	0	376
19:45 - 20:00	290	22	46	0	26	0	1	0	1	1	3	0	390
TOTAL	3793	253	551	3	349	0	2	0	22	5	9	0	4987
η ₆₀	1433	99	231	3	159	0	0	0	8	2	1	0	1936

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
11	1600
12	101
13	232
14	3
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.850	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	1936
Total de Vehículos Ligeros	1925
Total de Vehículos Pesados	11
% de Vehículos Ligeros	99.43%
% de Vehículos Pesados	0.57%

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Av. Velasco Astete Sentido : E-O
 Fecha : 17-Jul-19 H. Inicial : 17:00
 Día : Miércoles H. Final : 20:00

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTOS Y CAMIONETA				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MX./HORA
	21	22	23	24	21	22	23	24	21	22	23	24	
17:00 - 17:15	226	14	13	0	12	0	0	0	0	0	0	0	265
17:15 - 17:30	231	13	11	0	11	0	0	0	1	0	0	0	267
17:30 - 17:45	216	15	10	0	14	2	0	0	0	0	0	0	257
17:45 - 18:00	225	16	15	0	13	1	0	0	0	0	0	0	270
18:00 - 18:15	233	18	19	0	15	1	1	0	0	0	0	0	287
18:15 - 18:30	230	16	21	0	19	0	0	0	2	0	0	0	288
18:30 - 18:45	274	14	33	3	21	0	0	0	1	0	0	0	346
18:45 - 19:00	275	19	18	0	43	0	0	0	3	1	1	0	360
19:00 - 19:15	275	29	11	1	37	0	0	0	1	0	0	0	353
19:15 - 19:30	281	20	14	0	38	0	0	0	0	0	0	0	353
19:30 - 19:45	261	17	10	0	30	0	0	0	1	0	0	0	319
19:45 - 20:00	259	16	8	0	31	0	0	0	0	0	0	0	314
TOTAL	2986	207	183	4	284	4	1	0	9	1	1	0	3680
η ₆₀	1105	82	76	4	139	0	0	0	5	1	1	0	1413

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
21	1249
22	83
23	77
24	4
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.850	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	1413
Total de Vehículos Ligeros	1406
Total de Vehículos Pesados	7
% de Vehículos Ligeros	99.50%
% de Vehículos Pesados	0.50%

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Av. Velasco Astete Sentido : S-N
 Fecha : 17-Jul-19 H. Inicial : 17:00
 Día : Miércoles H. Final : 20:00

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTOS Y CAMIONETA				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MX./HORA
	31	32	33	34	31	32	33	34	31	32	33	34	
17:00 - 17:15	107	13	24	2	1	0	0	0	1	0	0	0	148
17:15 - 17:30	109	10	26	3	0	0	0	0	1	0	0	0	149
17:30 - 17:45	105	14	20	2	1	0	0	0	1	0	0	0	143
17:45 - 18:00	111	8	19	2	0	0	0	0	1	0	1	0	142
18:00 - 18:15	104	11	21	3	3	0	0	0	1	0	0	0	143
18:15 - 18:30	102	10	29	1	3	0	2	0	1	0	0	0	148
18:30 - 18:45	129	16	32	0	1	0	2	0	2	0	0	0	182
18:45 - 19:00	75	13	18	2	1	0	0	0	2	0	2	0	113
19:00 - 19:15	157	21	22	1	0	0	0	0	1	0	1	0	203
19:15 - 19:30	93	7	36	1	4	0	0	0	1	0	0	0	142
19:30 - 19:45	81	5	26	2	1	0	0	0	1	0	1	0	117
19:45 - 20:00	85	6	22	0	1	0	0	0	1	0	0	0	115
TOTAL	1258	134	295	19	16	0	4	0	14	0	5	0	1745
η ₆₀	454	57	108	4	6	0	2	0	6	0	3	0	640

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
31	466
32	57
33	113
34	4
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.788	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	640
Total de Vehículos Ligeros	631
Total de Vehículos Pesados	9
% de Vehículos Ligeros	98.59%
% de Vehículos Pesados	1.41%

Intersección : Av. Alfredo Benavides & Av. Velasco Astete Sentido : N-S
 Fecha : 17-Jul-19 H. Inicial : 17:00
 Día : Miércoles H. Final : 20:00

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO AUTO Y CAMIONETA RURAL				VEHÍCULO LIGERO BUSES Y MICROBUSES				VEHÍCULO PESADO CAMIONES				TOTAL VEHÍCULOS MX./HORA
	41	42	43	44	41	42	43	44	41	42	43	44	
17:00 - 17:15	90	21	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	115
17:15 - 17:30	82	23	6	0	2	2	0	0	2	0	0	0	117
17:30 - 17:45	89	21	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	115
17:45 - 18:00	86	33	8	1	2	0	0	0	3	2	0	0	135
18:00 - 18:15	84	26	10	2	3	1	0	0	1	0	0	0	127
18:15 - 18:30	98	35	5	0	2	0	0	0	2	0	0	0	142
18:30 - 18:45	106	33	6	0	0	1	0	0	2	1	0	0	149
18:45 - 19:00	134	22	4	0	0	1	0	0	2	1	0	0	164
19:00 - 19:15	123	13	9	1	2	0	0	0	0	0	0	0	148
19:15 - 19:30	117	10	10	1	0	0	0	0	1	0	0	0	139
19:30 - 19:45	100	5	6	0	3	1	1	0	2	1	0	0	119
19:45 - 20:00	96	8	6	2	0	1	0	0	0	0	0	0	113
TOTAL	1205	250	77	7	15	7	1	0	16	5	0	0	1583
η ₆₀	480	78	29	2	2	2	0	0	5	2	0	0	600

MOV.	η ₆₀ (Veh. Mixtos / h)
41	487
42	82
43	29
44	2
FACTOR DE HORA PICO (PHF)	
PHF = η ₆₀ / (4 * η ₁₅) =	
0.800	

RESUMEN	
Total de Vehículos Mixtos	600
Total de Vehículos Ligeros	593
Total de Vehículos Pesados	7
% de Vehículos Ligeros	98.83%
% de Vehículos Pesados	1.17%

III. ANEXO N° 3

FLUJOGRAMAS DE CADA INTERSECCIÓN

FLUJOGRAMA - INTERSECCIÓN N° 1 - NO SEMAFORIZADA

Av. Alfredo Benavides & Calle Juan Carlos Tenaud

FLUJOGRAMA - INTERSECCIÓN N° 3

Av. Alfredo Benavides & Av. Ayacucho

FLUJOGRAMA - INTERSECCIÓN N° 4

Av. Alfredo Benavides & Av. Higuiereta

FLUJOGRAMA - INTERSECCIÓN N° 5

Av. Alfredo Benavides & Av. Velasco Astete

IV. ANEXO N° 4

DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN

MUESTRA DE 200 VEHÍCULOS

Velocidad	Nº Vehículos	Velocidad	Nº Vehículos
10	4	36	1
11	3	37	3
12	3	38	4
13	2	39	2
14	5	40	1
15	7	41	2
16	8	42	1
17	4	43	0
18	5	44	1
19	3	45	1
20	4	46	1
21	0	47	2
22	0	48	2
23	3	49	3
24	5	50	1
25	8	51	2
26	11	52	1
27	8	53	1
28	8	54	1
29	13	55	0
30	17	56	0
31	10	57	0
32	10	58	0
33	9	59	0
34	10	60	0
35	10	65	0

Intervalo de clase (km/h)	Punto medio	Frecuencia absoluta	Frecuencia Relativa (%)	Velocidades (km/h)
10 a 12	11	10	5	5
12.5 a 17	15	26	13	18
17.5 a 23	19	15	7.5	25.5
23.5 a 30	27	70	35	60.5
30.5 a 35	33	49	24.5	85
35.5 a 38	37	8	4	89
38.5 a 43	41	6	3	92
43.5 a 49	47	10	5	97
49.5 a 56	53	6	3	100
56.5 a 65	59	0	0	100

V. ANEXO N° 5

FOTOGRAFÍAS DE LAS INTERSECCIONES