UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Propuesta de mejora en los niveles para la intersección de la Av. La Marina
con la Av. Antonio José de Sucre utilizando el software Vissim V0.9.

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Castillo Polo, Juan Eduardo (0000-0003-4167-2156)

Pérez Sovero, Joe Moisés (0000-0001-7072-7959)

ASESOR

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

Lima, 31 de Julio del 2020

DEDICATORIA

A mi esposa por su amor y su apoyo incondicional; a mi padre y hermano por guiar mis pasos y ser mis ejemplos de perseverancia.

Eduardo Castillo

A la persona que me apoyo desde el inicio y ahora es mi guía desde lo más alto mi esposa; a mis padres, hermanos y familiares que están a mi lado alentando a seguir, a que la vida continúa existiendo retos y poder cumplirlos.

Joe M. Pérez Sovero

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a las personas que están en nuestro día a día, por la constante labor de apoyo. Asimismo, a nuestro asesor de tesis el Ing. Manuel Silvera Lima, por el respaldo, el apoyo y la exigencia para lograr este objetivo y a la Universidad por brindarnos las herramientas necesarias para poder desenvolvernos en la vida laboral como buenos profesionales.

RESUMEN

La presente tesis evalúa los niveles de servicio de la intersección de la Av. La Marina con la Av. Sucre, debido al incremento de la congestión vehicular. Para ello se elaboró un modelo microscópico de la intersección donde se presentaron propuestas de mejora de la situación actual. El análisis de las propuestas se realizó en base al software Vissim 9.0. La presente investigación consta de 5 capítulos.

El Capítulo 1, plantea la problemática del tráfico vehicular. Asimismo, se presentan antecedentes de investigaciones similares, la justificación del estudio, la hipótesis y los objetivos del estudio.

El Capítulo 2, desarrolla el marco teórico de la investigación. Aquí se toma en cuenta estudios previos realizados e información correspondiente a microsimulación. Se presentan los tipos de modelos de tráfico, fundamentos de microsimulación, modelos de seguimiento vehicular y se explica el funcionamiento del software Vissim V9.

El Capítulo 3, describe la metodología empleada en la presente investigación, además del procesamiento de la información, la construcción del modelo de microsimulación debidamente calibrado y validado.

El Capítulo 4, presenta los resultados de la microsimulación, determinando el nivel de servicio actual de la intersección en “F” y que al implementar las propuestas de mejora se puede mejorar hasta un nivel “D”.

El Capítulo 5, presenta las conclusiones y las recomendaciones.

De lo indicado se puede concluir que el uso adecuado del software de simulación de tránsito, permite evaluar y optimizar de manera real los niveles de servicio de una intersección sin necesidad de intervenir de manera real en el área de estudio.

Palabras clave:

Microsimulación; Intersección; Vissim; Wiedemann; Tráfico; Simulación.

ABSTRACT

This thesis evaluates the service levels of the intersection of Av. La Marina with Av. Sucre, due to the increase in vehicular congestion. To do this, a microscopic model of the intersection was developed and proposals were made to improve the current situation. The analysis of the proposals was carried out based on Vissim 9.0 software. The present investigation consists of 5 chapters.

Chapter 1, raises the issue of vehicular traffic. Likewise, similar research background, the justification of the study, the hypothesis and the objectives of the study are presented.

Chapter 2 develops the theoretical framework of the investigation. Here, previous studies and information corresponding to microsimulation are taken into account. The types of traffic models, microsimulation fundamentals, vehicle tracking models are presented and the operation of the Vissim V9 software is explained.

Chapter 3 describes the methodology used in this research, in addition to information processing, the construction of the properly calibrated and validated microsimulation model.

Chapter 4 presents the results of the microsimulation, determining that the current service level of the intersection is "F" and that by implementing the improvement proposals it can be improved to a "D" level.

Chapter 5 presents the conclusions and recommendations.

From the aforementioned, it can be concluded that the proper use of traffic simulation software allows for the real evaluation and optimization of the service levels of an intersection without the need to actually intervene in an intersection.

Keywords: Microsimulation; Intersection; Vissim; Wiedemann; Traffic; Simulation.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Realidad Problemática.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Justificación.....	5
1.4 Formulación del Problema	5
1.5 Hipótesis	5
1.6 Objetivos.....	6
1.6.1 Objetivo General:	6
1.6.2 Objetivos específicos:.....	6
1.7 Alcances y limitaciones de la investigación	6
CAPITULO 2. MARCO TEORICO	7
2.1 Modelo de tráfico	7
2.2 Tipos de modelación de tráfico	7
2.2.1 Modelos Continuos.....	8
2.2.2 Modelos Discretos	8
2.2.3 Modelos Determinísticos.....	8
2.2.4 Modelos Estocásticos	8
2.2.5 Modelos Macroscópicos	8
2.2.6 Modelos Mesoscópicos	9
2.2.7 Modelos Microscópicos.....	9
2.3 Niveles de servicio	10
2.3.1 Niveles de servicio.....	10
2.3.2 Análisis de capacidad y niveles de servicio.....	11
2.3.3 Niveles de servicio en interacciones semaforizadas.....	12
2.4 Microsimulación de transito	12
2.5 Fundamentos de microsimulación	12
2.5.1 Nivel de aleatoriedad en el flujo del tráfico	12
2.5.2 Numero de Semilla	13
2.5.3 Número de Corridas	13
2.5.4 Warm Up (Tiempo de estabilidad)	16
2.5.5 Interacción de vehículos	17
2.5.6 Calibración	17

2.5.7	Validación del modelo.....	17
2.6	Modelos de seguimiento vehicular	17
2.6.1	Modelo de la General Motors	18
2.6.2	Modelo de distancia segura (Gipps)	18
2.6.3	Modelo de Wiedemann.....	20
2.7	Software de microsimulación Vissim V0.9	22
2.7.1	Antecedentes del Vissim	23
2.7.2	Funcionamiento del Vissim	23
2.7.3	Componentes	24
2.7.4	Infraestructura del Modelo	25
2.7.5	Sistemas de control de tráfico.....	31
2.7.6	Consideraciones del modelo	31
CAPITULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		33
3.1	Generalidades	33
3.2	Recolección de datos de campo.....	35
3.2.1	Selección de Área de estudio.....	35
3.2.2	Recolección de datos de campo.....	36
3.2.3	Aforo Vehicular.....	36
3.2.4	Tiempos de semáforo.....	38
3.2.5	Geometría del sistema	39
3.2.6	Procesamiento de datos de Campo	39
3.2.7	Flujograma de aforos vehiculares.....	40
3.2.8	Geometría de la zona de estudio.....	41
3.2.9	Deficiencias encontradas en la zona de estudio.....	43
3.3	Determinación de nivel de servicio	45
3.3.1	Determinación del nivel de servicio en la intersección	45
3.3.2	Grado de Saturación	45
3.3.3	Tiempos de demora en la intersección	45
3.4	Construcción del modelo	46
3.4.1	Construcción del Modelo	46
3.5	Verificación y calibración del modelo.....	53
3.5.1	Verificación del modelo	53
3.5.2	Calibración del modelo.....	53

3.6	Parámetros Wiedemann	56
3.7	Validación del modelo	62
CAPITULO 4. ANALISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTAS		65
4.1	Análisis de resultados	65
4.2	Propuesta de mejora.....	67
4.2.1	Rediseño geométrico de la intersección –Desplazamiento de Paraderos	67
4.2.2	Optimización de ciclo semafórico	73
4.2.3	Desplazamiento de Paraderos	74
CAPITULO 5. CONCLUSIONES		77
CAPITULO 6. RECOMENDACIONES.....		79
CAPITULO 7. REFERENCIAS		80
ANEXO N° 1.....		82
ANEXO N° 2.....		83
ANEXO N° 3.....		84
ANEXO N° 4.....		85
ANEXO N° 5.....		86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Geometría de la intersección	12
Tabla 2. Tabla de registro de aforo vehicular	38
Tabla 3. Geometría de la intersección	39
Tabla 4. Volumen Vehicular en las Avenidas de Estudio En la Hora Pico.....	41
Tabla 5, Volumen Vehicular en las Avenidas de Estudio En la Hora Pico.....	45
Tabla 6. Volumen Vehicular en las Avenidas de Estudio En la Hora Pico.....	46
Tabla 7. Nivel de servicio de la intersección.....	46
Tabla 8. Datos de número de carriles, ancho de carril y dirección para creación de Links.48	
Tabla 9. Número de Corridas necesarias en la Av. La Marina Sentido SE-NO.....	55
Tabla 10. Número de Corridas necesarias en la Av. La Marina sentido NO-SE	55
Tabla 11. Número de Corridas necesarias en la Av. Sucre sentido NE-SO	56
Tabla 12. Número de Corridas necesarias en la Av. Sucre sentido SO-NE	56
Tabla 13. Parámetros de Wiedemann 74	57
Tabla 14. Resumen de parámetros para la calibración del modelo	58
Tabla 15. Calibración del Modelo Iteración 19	58
Tabla 16. Parámetros de Wiedemann para la calibración	59
Tabla 17. Tiempos de Viaje obtenidos del software Vissim en la iteración N°19	59
Tabla 18. Tiempos de Viaje obtenidos del software Vissim para la Validación.....	62
Tabla 19. Validación del Modelo en la iteración	64
Tabla 20. Parámetros de Wiedemann para la Validación.....	64
Tabla 21. Flujos de cada vía para la calibración t validación.....	65
Tabla 22. Calculo de Nodos del estado actual de la Intersección.....	66
Tabla 23. Dimensionamiento reglamentario para diseño de rampas.....	69
Tabla 24. Dimensionamiento propuesto para el separador central.....	71
Tabla 25. Cálculo de Nodos propuesta de mejora geométrica	72
Tabla 26. Cálculo de Nodos de la propuesta de Optimización de Ciclo Semafórico.....	73
Tabla 27. Cálculo de Nodos de la propuesta de mejora en cambio de geometría	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de Modelos de Tráfico	7
Figura 2. Modelos de Simulación a Nivel de detalle.....	9
Figura 3. Flujograma recomendando para determinar el número de corridas.....	15
Figura 4. Ejemplo del tiempo de estabilización (Warm Up).....	16
Figura 5. Escenario de seguimiento Modelo Gipps.....	19
Figura 6. Modelo de seguimiento vehicular Wiedemann 1974.....	21
Figura 7. Simulación de flujo de tráfico con PTV VISSIM	24
Figura 8. Giros y movimientos en una intersección	25
Figura 9. Conjunto de links y conectores que forman el modelo de la intersección	26
Figura 10. Imagen de fondo en la intersección.....	27
Figura 11. Distribución de velocidades	27
Figura 12. Vista de signal head del modelo de microsimulación.....	28
Figura 13. Regla de prioridad y marcadores de conflicto.....	29
Figura 14. Metodología del proyecto	34
Figura 15. Intersección Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre	36
Figura 16. Ubicación de Cámara de Seguridad	36
Figura 17. Ubicación de la zona de Aforo.....	37
Figura 18. Determinación de la hora pico en la intersección	37
Figura 19. Fases de La Intersección	38
Figura 20. Duración de Fases de Semáforo.....	39
Figura 21. Videgrabaciones de la Av. La Marina con la Av. Sucre.....	40
Figura 22. Flujograma Vehicular (Vehículos/Hora) Av. La Marina sentido SO-NE.....	40
Figura 23. Sección Típica Av. La Marina	42
Figura 24. Sección Típica Av. Antonio José de Sucre	42
Figura 25. Geometría de la zona de estudio, Av. La Marina y Av. Sucre.....	42
Figura 26. Deficiente señalización en la Av. La Marina en el sentido NO - SE.....	43
Figura 27. Paraderos informales a consecuencia del Corredor Rojo.....	44
Figura 28. Islas de refugio para peatones	44
Figura 29. Cuadros de demoras para hallar el nivel de servicio de la intersección.....	45
Figura 30. Imagen de fondo (mapa georreferenciado del PTV Vissim)	47
Figura 31. Cuadro de creación de un Link	48
Figura 32. Cuadro de creación de carriles a través de Links.....	48

Figura 33. Creación de creación de conector en el modelo.....	49
Figura 34. Composición Vehicular de la Av. La Marina con la Av. Sucre.....	49
Figura 35. Composición Peatonal de la Av. La Marina con la Av. Sucre.....	50
Figura 36. Ingreso de vehículos de la Av. La Marina con la Av. Sucre.....	50
Figura 37. Asignación de rutas estáticas vehiculares en la Av. La Marina.....	51
Figura 38. Distribución de tiempos de semáforos por cada fase	51
Figura 39. Áreas de conflicto del modelo.....	52
Figura 40. Reglas de prioridad del modelo	52
Figura 41. Zonas de Reducción de Velocidad	53
Figura 42. Distancias empleadas para los tiempos de viaje	54
Figura 43. Distancias ingresadas en el software Vissim	54
Figura 44. Configuración de Parámetros de Wiedemann.....	57
Figura 45. Resultado de la herramienta Statkey de la Av. La Marina sentido SE-NO	60
Figura 46. Resultado de la herramienta Statkey de la Av. La Marina sentido NO-SE	60
Figura 47. Resultado de la herramienta Statkey de la Av. Sucre sentido NE-SO.....	61
Figura 48. Resultado del Software Statkey de la Av. Sucre sentido SO-NE	61
Figura 49. Resultado del Software Statkey de la Av. Sucre sentido SO-NE	63
Figura 50. Resultado de la herramienta Statkey de la Av. La Marina sentido NO-SE	63
Figura 51. Resultado de la herramienta Statkey de la Av. Sucre sentido NE-SO.....	63
Figura 52. Resultado del Software Statkey de la Av. Sucre sentido SO-NE	64
Figura 53. Vista del planteamiento de rediseño geométrico en la intersección	67
Figura 54. Cruceos peatonales y líneas de carril.....	68
Figura 55. Disposiciones de norma técnica, rutas accesibles (Rampa)	69
Figura 56. Rampa de intersección Av. La Marina y Av. A. Sucre.....	70
Figura 57. Separación de carriles 3.10 m., en la Av. La Marina y Av. A. Sucre	70
Figura 58. Separador central en propuesta de rediseño geométrico	72
Figura 59. Mejora de ciclo semaforico en la intersección.....	73
Figura 60. Propuesta de mejora, desplazamiento de los paraderos de la Av. La Marina....	75
Figura 61. Propuesta de mejora, desplazamiento de los paraderos de la Av. La Marina....	75

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad Problemática

La congestión vehicular es un problema a nivel mundial que año a año va en aumento. Según el Ranking de congestión Global emitida por la empresa INRIX, las ciudades de Bogotá, Río de Janeiro, Ciudad de México, Estambul y Sao Paulo son las urbes con mayor congestión vehicular a nivel mundial¹. El crecimiento demográfico, el desmedido aumento de vehículos y la deficiente infraestructura vial han ocasionado el incremento de la congestión en las principales vías de la ciudad. Según, el informe “World Population Prospects 2019” presentado por las Naciones Unidas, la población mundial en el año 2020 es de 7.794 millones de habitantes, para el año 2030 será de 8.600 millones y para el año 2050 llegará a 9.800 millones². Este rápido incremento de la población mundial impactará de manera significativa en el aumento de la congestión vehicular, trayendo consigo pérdidas económicas, contaminación ambiental, muertes en las vías, mayores tiempos de viaje entre otras.

En los últimos años, el incremento del comercio y el turismo en el Perú ha generado una mayor demanda de medios de transporte, según el informe técnico presentado por el INEI en enero del 2020 indico: El flujo de vehículos pesados y ligeros en el departamento de Lima creció en 3,7%. Del mismo modo, en el interior del país aumento en 4.1% con respecto al año anterior.³

El aumento del parque automotor en la ciudad de Lima, acompañada del incumplimiento de las normas de tránsito por parte de los transportistas y peatones, junto a la deficiente planificación del transporte, ocasionó que nuestra capital se encuentre en el séptimo lugar del ranking de las ciudades con mayor congestión vehicular presentada por la compañía Holandesa TomTom⁴ en el año 2019. Así mismo, el informe publicado por observatorio ciudadano “Lima Como Vamos” reconoce que el 46.2% de los limeños considera al transporte público como el segundo problema más importante en la capital⁵.

¹ Cfr. INRIX 2019

² Cfr. ONU - World Population Prospects 2019 – Volume II - Demographic Profiles: 5

³ Cfr. INEI – Informe Técnico – Flujo Vehicular por Unidades de Peaje enero 2020:6

⁴ Cfr. TOMTOM – Traffic Index 2019: 1

⁵ Cfr. UNACEM, Grupo RPP & PUCP – Decimo Informe Urbano de percepción de Calidad de Vida en la Ciudad 2019:10

El aumento del congestionamiento vehicular en Lima y Callao ha causado que sus principales avenidas sobrepasen la capacidad de diseño. Este problema, se ve reflejado en la Av. La Marina una vía importante que capta el flujo vehicular de la Av. Faucett y la Av. Javier Prado, Así mismo la Av. Antonio José de Sucre capta parte del flujo vehicular proveniente de la Costa Verde y de la Av. Tingo María, la cual recolecta parte del flujo de vehículos provenientes del centro de Lima. La presencia cercana de centros comerciales como Plaza San Miguel, Real Plaza Salaverry; centros educativos como el colegio Bartolomé Herrera, El Instituto Naciones Unidas, La Universidad Villareal; El Hospital de la Policía y el Hospital Militar, Grifos en las intersecciones, centros de comida rápida, bares, discotecas y edificios multifamiliares contribuyen al incremento de la demanda sobre los medios de transporte público y privado.

El incremento del flujo vehicular ha superado la capacidad de la intersección de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre, este problema genera malestar en los residentes y usuarios que día a día soportan el ruido, contaminación e inseguridad causado por el aumento de vehículos en la intersección.

Ante esta problemática, la presente tesis tiene como finalidad proponer como alternativa de solución cambios en el diseño geométrico de la intersección de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre el cual permita mejorar la calidad del flujo vehicular tomando en cuenta las demoras por control. Los resultados que respalden esta propuesta de mejora serán validados en el software de microsimulación Vissim V0.9.

1.2 Antecedentes

El crecimiento económico en muchos países, trae consigo problemas en su sistema de transporte, esto se debe en gran medida al crecimiento de su población y la deficiente planificación de la infraestructura vial. Es por ello que las entidades encargadas de la gestión y ejecución de proyectos viales, deben considerar el desarrollo de las ciudades, de tal modo que se pueda garantizar un sistema de transporte rápido y seguro para todos los usuarios.

Para la elaboración de la presente tesis, se requiere revisar estudios previos relacionados con nuestra investigación, A continuación, detallamos algunas de ellos:

En el Año 2015, el Ing. Jesús Guzmán Balcázar de la Pontificia Universidad Católica del Perú presento la tesis: “Rediseño geométrico del Ovalo Naranjal”. El estudio se enfocó en los problemas de tiempos de espera y formación de colas de los vehículos para poder cruzar

el Ovalo Naranjal. Se llegó a la conclusión que el uso de programas que emplean la metodología determinística no brinda resultados satisfactorios; a diferencia de los modelos estocásticos que se basan en la microsimulación.

Como segundo antecedente, el Ing. Moisés Alcalá Ramos de la Pontificia Universidad Católica del Perú presento la tesis: “Microsimulación del tráfico de la intersección de las avenidas Bolívar, Córdova y Calle Andalucía empleando el software Vissim 6” – 2016. La investigación tiene como objetivo crear, calibrar y validar un modelo de microsimulación que permita cuantificar los diferentes parámetros de eficiencia para la mejora del funcionamiento de la intersección. Se pudo concluir que al modificar los parámetros de eficiencia se redujo la demora promedio, las longitudes de cola al variar los tiempos del ciclo semafórico. Por último, la velocidad promedio, de los vehículos que interactúan en la intersección, se incrementaron al disminuir el ciclo semafórico.

Como tercer Antecedente, los ingenieros Anthony Solano Estrada y Danitzza Terrones de la Universidad Privada Antenor Orrego presentaron la Tesis: “Aplicación de la simulación matemática empleando el software Vissim como herramienta en el control de tráfico en la intersección de las Avenidas César Vallejo con José María Euguren, distrito de Trujillo – La Libertad” - 2017, El objetivo de la tesis evaluó la aplicación de una simulación matemática empleando el software Vissim como una herramienta de control de tráfico que busca contribuir a la solución vial en la intersección. Se concluyó que la aplicación de modelos matemáticos usando la herramienta Vissim para poder modelar las alternativas planteadas mejoraron los niveles de servicio y capacidad vial de la intersección mitigando el congestionamiento vehicular en la zona de estudio.

Como cuarto antecedente, el Ing. César Salazar Solano de la Pontificia Universidad Católica del Perú presento la tesis: “Análisis por Microsimulación de la Intersección entre la Av. Brasil y el Jr. General Borgoño empleando Vissim 8” - 2018. La investigación analizó el desplazamiento de todos los modos de transporte en la intersección, a fin de proponer medidas que permitan disminuir el congestionamiento vehicular en la intersección. Se concluyó que al rediseñar geométricamente la intersección no se obtuvo los resultados esperados. Mientras que al optimizar el ciclo del semáforo se redujo en un 65.2% los tiempos de viaje, además de disminuir en un 48.6% la longitud de colas en el Jirón General Borgoño.

Como Quinto Antecedente, el Ing. Jefrey Arteaga Panez de la Universidad Daniel Alcides Carrión presento la tesis: “Microsimulación del Tráfico en la Ciudad de Cerro de Pasco con el Programa PTV Vissim 9 en la intersección Ca. Alfonso Rivera, Ca. Lima y Ca. Huancavelica” - 2018. El objetivo de la tesis se centró en evaluar las condiciones de circulación vehicular en una intersección en Cerro de Pasco a través de un modelo microscópico. En este estudio se logró concluir que el uso del software PTV Vissim simuló en un 99% el estado actual de la intersección. En el modelo de la propuesta de solución se optimizó el ciclo semafórico, se restringió la circulación de vehículos livianos y se rediseñó la geometría de la intersección, estos cambios permitieron reducir los tiempos de demora y la longitud de cola.

Como Sexto Antecedente, los Ingenieros Alberto Del Mar Velarde e Inés Vázquez Palomino de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas presentaron la tesis: “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” - 2019. El objetivo de la tesis se centró en implementar propuestas de gestión vehicular simuladas en el Software Synchro 8 que permitirán reducir el congestionamiento vehicular. En la investigación se concluyó que, implementando las propuestas en el tramo de estudio, se redujo las demoras parciales en un 25.48% o en 16 minutos en toda la red. Además, la aplicación del Software Synchro tiene limitaciones para evaluar intersecciones que tengan tipologías específicas, tales como la vuelta en U y cambios del carril, para ello se debe recurrir a otras herramientas de microsimulación como el software Vissim.

En el séptimo antecedente, el Ing. Nicolás Contreras de la Pontificia Católica de Chile, presento la tesis: “Una Heurística Basada en Algoritmos Genéticos para la Calibración de Vissim: Caso de Chile” – 2014. El cual tiene como objetivo elaborar un modelo en el software Vissim, seleccionando los parámetros que tengan mayor influencia en la disminución del error de la simulación, de tal manera que permita obtener resultados más realistas en las principales intersecciones de Chile. Se pudo concluir que los parámetros elegidos mediante el proceso de calibración, logran disminuir el error de las estimaciones realizadas por el software Vissim a un 9,93%, mientras que los parámetros por defecto que el software Vissim genera un error del 54.1%.

1.3 Justificación

Actualmente, el flujo vehicular en el cruce de la Av. La Marina y la Av. Antonio José de Sucre, se ha incrementado en estos últimos años. Por un lado, aumentaron los centros comerciales, comercios, centros financieros, multifamiliares y nuevas rutas de acceso. Esto causó que la intersección presente problemas de capacidad, demoras por control, tiempos de espera, colas de vehículos, obstaculizaciones de vehículos, etc. También, se suma el reordenamiento del transporte urbano y la implementación de paraderos mixtos para los servicios del Corredor Rojo, obligando a los transportistas a detenerse en los carriles aledaños o después de cruzar la intersección.

El incremento del flujo de vehículos y peatones en las intersecciones ocasiona un nivel de servicio deficiente, congestión vehicular y riesgos de accidentes en los horarios de alta demanda. Para poder analizar el comportamiento de la intersección nos apoyamos en los estudios mencionados, los cuales concluyen que los modelos estocásticos (Modelo Microscópico) obtienen mejores resultados para representar de una forma realista las intersecciones estudiadas. Para diseñar y evaluar las alternativas de solución se empleará el software Vissim V0.9, el cual se basa en el modelo de Wiedemann 74. Las investigaciones presentadas en el estudio del arte concluyeron que el software permite analizar las interacciones de vehículos y peatones a nivel microscópico, considerando parámetros psicofísicos (percepción y reacción) tomando en cuenta la teoría del seguimiento vehicular. El uso de esta herramienta nos permitirá calibrar y validar el modelo en base a los parámetros de tiempos de viajes.

1.4 Formulación del Problema

¿Es posible mejorar los niveles de servicio proponiendo mejoras en el diseño geométrico en la intersección de la Av. La Marina y la Av. Antonio José de Sucre, utilizando el software Vissim V 0.9?

1.5 Hipótesis

El diseño geométrico propuesto orientado a la seguridad de los peatones y a la circulación vehicular, mejora el nivel de servicio de la intersección de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General:

Rediseñar la geometría de la intersección de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre utilizando la microsimulación en el software Vissim V 0.9 para la mejorar los niveles de servicio

1.6.2 Objetivos específicos:

Los objetivos específicos son los que detallamos a continuación:

- Generar un modelo de microsimulación calibrado y validado de la intersección de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre.
- Determinar el nivel de servicio actual en la intersección de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre.
- Evaluar los niveles de servicio y las demoras por control de los vehículos al implementar las mejoras en el diseño geométrico en la intersección de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre.

1.7 Alcances y limitaciones de la investigación

La presente investigación tiene como alcance el estudio de la intersección de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre la cual se denominará en el proyecto como el área de estudio. Las intersecciones cercanas, no fueron consideradas en el modelo, estas podrían ser incluidas en futuras investigaciones.

La pandemia que actualmente estamos pasando limitó la recolección de datos de campo, por la cual tuvimos que recurrir a videograbaciones proporcionadas por la Municipalidad de Pueblo Libre, la información brindada enfocó correctamente el desplazamiento de los vehículos en la intersección, pero no permitió un procesamiento adecuado del aforo de peatones. A consecuencia de ello el aforo y flujo de peatones no se tomó en cuenta para la presente investigación.

En el procesamiento de datos no se consideró la interacción de mototaxis, motos y ciclistas, debido a que este no fue representativo frente al conteo de vehículos.

Para el desarrollo del modelo se empleará el software Vissim 9, Es por ello que los resultados obtenidos no se deben analizar con versiones pasada ni futuras, debido a que estos no cuentan con las mismas características de la versión usada.

CAPITULO 2. MARCO TEORICO

El presente capítulo desarrollará los conceptos básicos relacionados a los modelos de tráfico, fundamentos necesarios para un modelo microscópico y características generales del software Vissim 9 empleado en nuestra investigación.

2.1 Modelo de tráfico

La representación de modelos es una actividad necesaria en la vida cotidiana del ser humano, el cual busca la comprensión, entendimiento y transformación del medio que lo rodea. Un modelo de tráfico es una representación o estimación de un sistema del cual se quiere analizar el comportamiento vehicular en un espacio determinado, para luego poder conocer y predecir a través de modelos matemáticos el comportamiento actual y futuro del flujo vehicular y peatonal en un determinado tiempo y espacio.

La representación de los modelos de transito se da a través de los modelos de flujo-dinámico y la del seguimiento vehicular. El primero, considera al tráfico como un flujo continuo de partículas idénticas, es decir, su representación se da en base a variables de estado promedio. A diferencia del enfoque anterior, la teoría de seguimiento vehicular interpreta las interacciones entre un par de vehículos: el antecesor y el sucesor manteniendo el supuesto que los vehículos son idénticos (Rodrigo, 2008).

2.2 Tipos de modelación de tráfico

Existen diferentes modelos que se han empleado para el estudio de distintos proyectos y se clasifican dependiendo del nivel de análisis y el detalle al cual se quiera llegar. Estos modelos se clasifican debido a su naturaleza, nivel de detalle y según su nivel de aleatoriedad. Tal como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Tipos de Modelos de Tráfico

Fuente: Adaptado de Fernández 2009

2.2.1 Modelos Continuos

Este modelo, los parámetros utilizados varían de forma continua con el paso del tiempo, sin cambiar de manera abrupta de un estado a otro. Por ejemplo: La posición y velocidad de los vehículos que circulan en una intersección, las longitudes de colas, etc.

2.2.2 Modelos Discretos

Estos modelos son aquellos en los que las variables empleadas cambian instantáneamente en instantes separados de tiempo (Aguirre, 2018). Se definen por considerar la simulación del proyecto, una variación instantánea de los parámetros de estudio para cada intervalo de tiempo (Carvalho, 2015). Por ejemplo: La cantidad de vehículos en un intervalo de tiempo del día.

2.2.3 Modelos Determinísticos

Estos modelos presentan siempre la misma solución para determinadas condiciones. Asimismo, se deduce que los datos de ingreso son conocidos, eso quiere decir que cuando se realice el análisis del modelo se tendrá disponible toda la información necesaria para evaluar las decisiones.

2.2.4 Modelos Estocásticos

A diferencia del modelo determinístico, los modelos estocásticos presentan variabilidad en sus respuestas, debido a que algunos parámetros del modelo tienen un cierto grado de incertidumbre, la variabilidad de los resultados dependerá directamente de los datos de entrada y del tiempo de análisis. Estos modelos permiten realizar grandes series de muestreo y son empleados para investigaciones científicas. Los resultados obtenidos nos permitirán simular de manera realista situaciones de bloqueos, conductas agresivas de manejo y congestión vehicular. Un software que trabaja de esta manera es el VISSIM (Howard & Karlin, 1998).

2.2.5 Modelos Macroscópicos

Los modelos macroscópicos representan el flujo vehicular de un grupo de vehículos de manera genérica, el nivel de detalle de este modelo es muy amplio, pero permite analizar problemas de gran magnitud en un menor tiempo de análisis. Estos modelos no consideran características del vehículo-conductor a detalle, es por ello que los resultados podrían ser beneficiosos cuando se trate de proyectos que requieran ser ejecutados a corto plazo, ya que implican un menor tiempo de análisis (Elefteriadou, 2013)

2.2.6 Modelos Mesoscópicos

Este modelo comparte características de los modelos macroscópicos y microscópicos, debido a que integra conceptos y herramientas de ambos. Esto quiere decir que se analizará a un grupo reducido de vehículos como una unidad, pero para algunos parámetros como giros, tiempos de entrada y salida se evaluará de manera individual (Suarez, 2007). En este modelo se analizarán los intervalos de tiempo entre eventos y la calibración se realizará en base a tres parámetros: Densidad máxima de congestionamiento de la vía, velocidad de flujo libre del carril y el tiempo de reacción del conductor.

2.2.7 Modelos Microscópicos

El modelo microscópico permite analizar el comportamiento de los conductores y vehículos de forma individual. Así mismo, permite simular el comportamiento global del tráfico al integrar los resultados individuales. Este modelo toma en cuenta el comportamiento de los conductores en una vía como, por ejemplo: cambios de carriles, bloqueos, aceleraciones, etc. Por lo tanto, permitirán simular operaciones de tránsito con gran exactitud a un bajo costo y menor tiempo de análisis en comparación a las pruebas in situ (Byungkyu & Schneeberger, 2007).

En la Figura 2, se observa gráficamente las diferencias entre los modelos microscópicos, mesoscópicos y macroscópicos

Figura 2. Modelos de Simulación a Nivel de detalle

Fuente: Adaptado de Google Street View

2.3 Niveles de servicio

2.3.1 Niveles de servicio

El nivel de servicio es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular y de su percepción por parte de los usuarios (Cal y Mayor Cárdenas, 2010). Siendo una medida cualitativa donde se describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, en términos de factores como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad y la seguridad vial (Silvera, 2020). Así también, como los factores externos que se encuentran: el ancho de carril, distancia lateral libre, pendientes de la vía entre otros.

El HCM 2010, considera seis categorías de niveles de servicio asignando con las letras A, B, C, D, E y F, que va de excelente a malo según sus condiciones de operación.

Existiendo una clasificación para estos niveles de servicio las cuales se describen a continuación:

Nivel de servicio A

Este nivel de servicio presenta una circulación de flujo libre, esto genera una altísima libertad para maniobrar y realizar cambios de velocidades deseadas. Por lo tanto, el nivel de comodidad para el usuario es el excelente⁶.

Nivel de servicio B

Este nivel de servicio se encuentra dentro del rango de flujo estable, con un aumento de vehículos en la circulación. La libertad de maniobrar disminuye significativamente con relación al Nivel A, de igual modo la comodidad y la conveniencia⁷.

Nivel de servicio C

Se encuentra en el rango de flujo estable, la interacción entre los usuarios aumenta de forma significativa. La velocidad de los vehículos se ve afectada, además las maniobras empiezan a restringirse. Esto conlleva a que el nivel de comodidad del usuario descienda significativamente⁸.

⁶ Cfr. Cal y Mayor y Cárdenas, Ingeniería de tránsito, 2010:364

⁷ Cfr. Cal y Mayor y Cárdenas, Ingeniería de tránsito, 2010:364

⁸ Cfr. Cal y Mayor y Cárdenas, Ingeniería de tránsito, 2010:364

Nivel de servicio D

En este nivel se representa una circulación de densidad elevada, pero estable, existiendo problemas de funcionamiento por estos mínimos incrementos. Se restringe la velocidad y la libertad de maniobra⁹.

Nivel de servicio E

El funcionamiento se encuentra en el límite de su capacidad, la circulación es inestable por el aumento del flujo vehicular que podría producir colapso. Los niveles de comodidad son bajos y la libertad de maniobra son difíciles para los usuarios¹⁰.

Nivel de servicio F

Este nivel representa las condiciones y el flujo forzado, se produce debido a que la demanda es mayor a la oferta de la vía. Produciendo presencia de colas, tiempos de espera y arranques inestables¹¹.

2.3.2 Análisis de capacidad y niveles de servicio

Los factores externos son físicos y medibles en un tiempo conveniente. Los factores internos son variables y medibles en el periodo de mayor flujo. El factor de hora máxima demanda (FHMD¹²) o el Factor de hora pico (PHF¹³), es el aforo de vehículos en un periodo de tiempo de 1 hora (volumen horario de máxima demanda VHMD), el cual estará dividido por el aforo de vehículos en los 15 minutos más cargados.

$$FHMD = \frac{VHMD}{4(q_{máx_{15}})} \quad (2.1)$$

Donde:

FHMD = PHF = Factor de hora máxima demanda o factor de hora pico

VHMD = n_{60} = Volumen horario de máxima demanda

$q_{máx_{15}}$ = n_{15} = flujo máximo durante 15 minutos

⁹ Cfr. Cal y Mayor y Cárdenas, Ingeniería de tránsito, 2010:364

¹⁰ Cfr. Cal y Mayor y Cárdenas, Ingeniería de tránsito, 2010:364

¹¹ Cfr. Cal y Mayor y Cárdenas, Ingeniería de tránsito, 2010:364

¹² Cfr. Cal y Mayor y Cárdenas, Ingeniería de tránsito, 2010:331

¹³ Cfr. M. Silvera, Gestión y operación de vías urbanas y carreteras, 2020:106

2.3.3 Niveles de servicio en interacciones semaforizadas

El Nivel de Servicio de una intersección semaforizada se define a través de las demoras por control, la cual se representa como pérdidas de tiempos de viaje para el usuario, mayor consumo de combustible, incomodidad y frustración de los usuarios.

Tabla 1. Geometría de la intersección

Control de retardo (s/veh.)	Niveles de servicio por relación Volumen – Capacidad (Grado de Saturación)	
	$v/c \leq 1.0$	$v/c \geq 1.0$
≤ 10	A	F
$>10 - 20$	B	F
$>20 - 35$	C	F
$>35-55$	D	F
$>55-80$	E	F
≥ 80	F	F

Fuente: Elaboración propia

2.4 Microsimulación de tránsito

En los últimos años los modelos de microsimulación se han empleado con mayor frecuencia para poder entender y solucionar los problemas de tráfico en las vías. Estos modelos permiten analizar a cada vehículo como un objeto independiente el cual forma parte de un sistema (Flujo de tráfico) y, por consiguiente, el vehículo puede interactuar con el resto de los vehículos. Entre los softwares de simulación de tráfico que emplean el modelo microscópico se puede mencionar al programa Vissim 9 el cual permite realizar una evaluación precisa y detallada de los principales problemas de tráfico que presenta el estudio. Cabe mencionar que cuando se habla del modelo microscópico, no se refiere a un alcance geográfico del área de estudio, sino a un profundo análisis del funcionamiento del tráfico. (Alcalá Ramos, 2016)

2.5 Fundamentos de microsimulación

Para poder simular de manera exitosa los modelos de microsimulación se tiene que tener en cuenta los siguientes conceptos: Aleatoriedad del modelo, número de semilla, el warm up, la interacción vehicular, la calibración y la validación.

2.5.1 Nivel de aleatoriedad en el flujo del tráfico

Los programas que emplean la microsimulación para la comprensión de los problemas del flujo de tráfico, se basan en el nivel de aleatoriedad de sus parámetros de comportamiento y

funcionamiento. Esta aleatoriedad se puede presentar de forma estocástica y determinística. En el caso del nivel estocástico, se considera las características con respecto al tipo de manejo de los conductores y los vehículos basados en distribuciones estadísticas, mientras el segundo, no se observan variaciones respecto a las particularidades de vehículos y conductores.

2.5.2 Numero de Semilla

Antes de iniciar el estudio del comportamiento de un grupo de vehículos, se debe tomar en cuenta el comportamiento individual de cada vehículo con respecto al resto, de tal manera que el resultado obtenido se asemeje a la realidad. En tal sentido, el análisis de los modelos de simulación se deben utilizar números aleatorios los cuales se generen a partir de un valor inicial único, conocido como “semilla” dentro de cada análisis con la finalidad de reducir al máximo los errores en la simulación aleatoria (Weinstein et al., 2003). Este número aleatorio será representado según el tipo de vehículo (Camión, Camioneta, Auto, etc.) y el comportamiento del conductor (Agresivo, agradable, etc.). Cada vez que se modifique el número de semilla se irá generando distintos patrones de comportamientos en el modelo.

2.5.3 Número de Corridas

Una vez asignado el número de semilla, se evaluará y analizará el modelo microscópico. En tal sentido, el número de corridas dependerá del número de semillas. Los resultados obtenidos normalmente se encuentran en un rango cercano al promedio de las respuestas alcanzadas en las corridas ejecutadas. Los datos obtenidos de las corridas se deben validar a través de un número mínimo de corridas (Fellendorf & Vortich, 2010). El número de corridas necesarias se determinará en base a datos estadísticos. En tal sentido se debe tomar una muestra adecuada que sea representativa al total del número de corridas, la cual debe ser la más heterogénea posible y debe representar a la población de la mejor manera. Mientras mejor se represente a la población en la muestra de trabajo, se obtendrá mejores resultados. La distribución de los resultados permitirá un análisis estadístico para poder extrapolar lo obtenido de la muestra a la población, de acuerdo a un nivel de confiabilidad y un margen de error.

Finalmente, para realizar un análisis estadístico de acuerdo a un nivel de confiabilidad y margen de error, se requiere de las siguientes formulas:

Ecuación de la Desviación Estándar

$$s^2 = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1} \quad (2.2)$$

Donde:

- s : Desviación estándar
- x : Resultado del parámetro de eficiencia en una corrida específica
- $\bar{x}$: Media del parámetro en todas las corridas
- N : Número de corridas

Para poder garantizar un número mínimo de corridas la Federal Highway Administration (FHWA) recomienda utilizar la distribución “T student”, el cual debe asegurar un nivel de confianza del 95%.

Ecuación del Intervalo de Confianza

$$CI_{(1-\alpha\%)} = 2 * t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right), N-1} * \left(\frac{s}{\sqrt{N}}\right) \quad (2.3)$$

Donde:

- C : Intervalo de confianza.
- $t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$: T student con N-1 grados de libertad.
- N : Número de corridas.
- S : Desviación estándar.

De acuerdo a la FHWA (2004), el número de corridas se calcula de la siguiente forma:

Número mínimo de corridas

$$N = \left(t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)} * \frac{s}{e}\right)^2 \quad (2.4)$$

Donde:

- N : Número mínimo de corridas.
- $t_{\left(\frac{\alpha}{2}\right)}$: T student con N-1 grados de libertad.
- S : Desviación estándar.
- e : Margen de error.

La Federal Highway Administration (FHWA) plantea la siguiente metodología de análisis para poder conseguir el número mínimo de corridas:

- Para validar la estimación del modelo se debe desarrollar como mínimo 15 corridas.
- Calcular los parámetros estadísticos de los resultados: media, desviación estándar, etc.
- Definir el nivel de confiabilidad y el margen de error del modelo de análisis.

Una vez desarrollado estos pasos se halla el número mínimo de repeticiones mediante la ecuación (2.4). Finalmente, comparamos el resultado de la Ecuación (2.4) versus el número de corridas del modelo. Obteniendo dos posibles opciones:

- Si la cantidad de corridas ejecutadas es mayor al mínimo, será suficiente la evaluación.
- Si la cantidad de corridas ejecutadas es menor al mínimo se deberá aumentar la cantidad de corridas realizadas. Asimismo, se volverá a calcular los parámetros de la nueva muestra siguiendo los 3 pasos hasta lograr que la cantidad de corridas ejecutadas sea mayor al mínimo.

A continuación, se muestra el diagrama que resume el proceso mencionado ver figura 3.

Figura 3. Flujograma recomendando para determinar el número de corridas

Fuente: Adaptado de FHWA, 2004

2.5.4 Warm Up (Tiempo de estabilidad)

El Warm Up es el periodo de calentamiento en el cual, el modelo de simulación del flujo de tráfico alcanza el equilibrio. Cuando empieza a correr el modelo este inicia sin ningún vehículo en la red; la cantidad de vehículos se irá incrementando progresivamente hasta alcanzar el equilibrio. Una vez alcanzado el equilibrio se debe iniciar la recolección de la información estadística del modelo. Posteriormente, se analizan los resultados de los parámetros de eficiencia como el volumen vehicular, la longitud de colas, el tiempo de viaje, etc. (Dowling, 2004). Los estudios realizados por la FHWA, recomienda un tiempo de estabilización (Warm up) de 10 minutos como mínimo.

En la figura 4, se presenta un ejemplo extraído de la FWHA correspondiente al tiempo de estabilidad en el cual se compara el ingreso de vehículos vs el tiempo, se puede apreciar que transcurrido un periodo de tiempo la curva tiende a ser constante (Tendencia horizontal). El valor numérico del intervalo de tiempo es el Warm up.

Source: I-680/I-580 Interchange Microsimulation Model, Dowling Associates, 2002

Figura 4. Ejemplo del tiempo de estabilización (Warm Up)

Fuente: FHWA, 2004

2.5.5 Interacción de vehículos

Los modelos microscópicos se caracterizan por analizar la interacción entre los vehículos en una red de flujo vehicular. La interacción se realiza mediante los modelos de seguimiento vehicular y cambio de carril (Fellendorf, 2010). El primero, toma en cuenta los parámetros de velocidad, aceleración, distancia segura, etc. El segundo, recoge la necesidad de realizar el cambio de carril ocasionado por el comportamiento del conductor, el cual refleja la necesidad de adelantar un vehículo o la forma de conducción del conductor (PTV-GROUP, 2017).

2.5.6 Calibración

La calibración es el proceso de comparar valores de manera iterativa, con la finalidad de ajustar los parámetros del modelo de tal forma que se refleje adecuadamente a la realidad. Los métodos más utilizados para la calibración son la regresión, optimización, determinación de errores, análisis de trayectoria, etc. (Matthew, 2014)

Para el proceso de calibración se emplearán los parámetros de longitudes de cola, velocidad de viaje, tiempo de viaje entre otros (FHWA, 2004). Cabe mencionar que los datos seleccionados se deben encontrar en el mismo rango de tiempo.

2.5.7 Validación del modelo

En esta etapa se verifica si el modelo efectuado, cumple con los requerimientos necesarios para validar los resultados. La calibración del modelo se logra ingresando nuevos datos de entrada (volumen, composición vehicular, etc.) de campo (Siddharth & Gitakrishnan, 2013). Como resultado final se debe conseguir valores semejantes entre el software y resultados de campo (Benekohal, 1991).

2.6 Modelos de seguimiento vehicular

Este modelo se desarrolla con la finalidad de evaluar el comportamiento de los vehículos en un flujo de tráfico. Es decir, se estima la respuesta del vehículo “seguidor” con relación al comportamiento del vehículo “líder” (Dextre, 2000).

Se estima el recorrido del vehículo “seguidor” en función de un vehículo “líder”, las operaciones sistemáticas determinan la velocidad o aceleración del vehículo “seguidor” en un tiempo determinado $t + \Delta t$, a partir de su posición en tiempo t . Por lo tanto, se tomarán en cuenta los modelos estímulo-respuesta de General Motors, distancia segura del modelo Gipps y del comportamiento psicofísico del conductor del modelo Wiedmann.

2.6.1 Modelo de la General Motors

El Modelo de la General Motors se basa al mecanismo conformado por la relación de estímulo – Sensibilidad de cada conductor. El estímulo se representa como el cambio de velocidad y/o distancia en relación al vehículo líder.

La sensibilidad dependerá de la percepción del conductor del vehículo siguiente y la reacción es la variación del producto de la aceleración o desaceleración. (Zuñiga, 2010).

$$\text{Respuesta}_{(t)} = \text{Sensibilidad} \times \text{Estímulo} \quad (2.5)$$

La respuesta es la reacción de un vehículo ante las maniobras del vehículo líder. El tiempo de reacción incluye el tiempo necesario para percibir y responder ante una situación (Fernández, 2008).

$$\alpha_n(t + T) = \lambda[V_{n-1}(t) - V_n(t)] \quad (2.6)$$

Donde:

$\alpha_n(t+T)$: Aceleración del vehículo que sigue al vehículo líder

λ : Sensibilidad

V_{n-1} : velocidad del vehículo líder

V_n : velocidad del vehículo que sigue al vehículo líder

T : Tiempo

2.6.2 Modelo de distancia segura (Gipps)

El modelo de seguimiento de automóviles Gipps supone que la velocidad del siguiente vehículo está controlada por tres condiciones. La primera condición asegura que el vehículo no exceda su velocidad deseada o una velocidad deseada del vehículo (v_i). La segunda condición, asegura que el vehículo acelere a su velocidad deseada con una tasa de aceleración que inicialmente aumenta con la velocidad y luego disminuye a cero cuando el vehículo se acerque a su velocidad deseada. La combinación de estas condiciones se muestra en la ecuación (2.7) la cual controla la aceleración del vehículo mientras los vehículos están distantes entre sí (comportamiento de flujo libre). Los coeficientes de la ecuación se obtuvieron al ajustar una curva con los datos que se recogido de campo, en una vía de tráfico moderado utilizando un solo vehículo. (Rakha, 2009).

Así como, este selecciona su velocidad para tener el control y pueda detenerlo con seguridad en caso que el vehículo líder se detiene inesperadamente. (Deiheng Ni, 2016)

Figura 5. Escenario de seguimiento Modelo Gipps

Fuente: Traffic Flow Theory, Deiheng Ni, 2016 Figure 15.1, pág. 214.

En la figura 5, se expresa la velocidad de seguridad del vehículo seguidor, el cual consta de 2 sub modelos de aceleración y desaceleración, que corresponde al flujo libre (ecuación 2.7) y al flujo de vehículos (ecuación 2.8), donde se muestra la velocidad de cada vehículo en un tiempo dado (t) en función de su velocidad.

Flujo libre:

$$0 \leq x(t + \tau_i) \leq x(t) + 2.5A_i\tau_i \left(1 - \frac{\dot{x}(t)}{v_i}\right) \sqrt{0.025 + \frac{\dot{x}(t)}{v_i}} \quad (2.7)$$

Donde:

A_i : Aceleración máxima del vehículo “i”

τ : Tiempo de reacción, constante para vehículos.

$\dot{x}(t)$: velocidad del vehículo “i” en función al tiempo.

v_i : velocidad deseada del vehículo “i”

Flujo de vehículos:

$$0 \leq x(t + \tau_i) \leq -b_i\tau_i + \sqrt{b_i^2\tau_i^2 - b_i \left[\dot{x}_{i(t)}\tau_i - \frac{\dot{x}_{i-1}^2(t)}{B_{i-1}} + 2l_{i-1} - 2s_{i(t)} \right]} \quad (2.8)$$

Donde:

- b_i : Desaceleración máxima del vehículo “i”
- τ_i : Tiempo de reacción, constante para vehículos.
- B_{i-1} : desaceleración severa del vehículo i-1, como el conductor lo estime.
- $\dot{x}(t)$: velocidad del vehículo seguidor en función al tiempo.
- $\dot{x}(t-1)$: velocidad del vehículo líder en función al tiempo.
- s_i : Longitud efectiva del vehículo “i”.
- l_{i-1} : Posición del vehículo “i” en el momento t.

De este modo la velocidad definitiva del vehículo en el intervalo $(t+\tau)$ es la mínima de las dos velocidades definidas anteriormente.

$$v_{(t+\tau_i)} = \min[v_{a(t+\tau)}, v_{b(t+\tau)}] \quad (2.9)$$

Por lo tanto, la posición del vehículo “n” se actualiza considerando la velocidad en la siguiente ecuación de movimiento:

$$l_{n(t+\tau)} = l_t + v_{(t+\tau)}\tau \quad (2.10)$$

2.6.3 Modelo de Wiedemann

El modelo Wiedemann representa la percepción de los conductores respecto al movimiento de los vehículos dentro de un sistema vial, principalmente la percepción de las distancias y las diferencias de velocidad. La herramienta Vissim es un simulador microscópico que utiliza el modelo psico-físico del conductor desarrollado por Wiedemann (74) en base a modelos de seguimiento estocásticos y velocidades dinámicas. (Casares, Galarraga, 2015).

La reacción y la percepción en el conductor se representan por la distancia deseada y las diferentes interacciones entre vehículo líder y el vehículo seguidor.

El concepto fundamental de este modelo se basa en el conductor de un vehículo, que viaja rápidamente, empezando a desacelerar mientras que este alcanza su umbral y percibe individualmente a un vehículo el cual está circulando a menor velocidad. Esta reacción consciente del conductor depende de la velocidad, la distancia y el comportamiento,

resultando un proceso repetitivo de aceleración y desaceleración del vehículo. (Fellendorf, 2010).

Figura 6. Modelo de seguimiento vehicular Wiedemann 1974

Fuente: adaptado PTV VISSIM 2015, pág. 27

Debiendo tener en cuenta los cambios en el comportamiento de conducción y las capacidades técnicas de los vehículos.

El programa Vissim simula el flujo de tráfico moviendo las unidades de conductor-vehículo a través de una vía. El conductor y el vehículo tendrán sus características de comportamiento específicas. En decir, el comportamiento de conducción corresponde a las capacidades técnicas de su vehículo.

El modelo aplica la siguiente ecuación:

$$ABX = AX + BX \quad (2.11)$$

$$AX = L + AX_{add} + RND1(I) \cdot AX_{mult} \quad (2.12)$$

$$BX = (BX_{add} + BX_{mult} \cdot RND1(I)) \sqrt{V} \quad (2.13)$$

Donde:

- ABX : Distancia mínima deseada a una mínima diferencia de velocidad entre el vehículo líder y el vehículo que sigue al vehículo líder.
- AX : Distancia deseada entre el vehículo líder y el vehículo que sigue al vehículo líder.
- BX : Terminio que mide la velocidad de los vehículos.
- L : Longitud del Vehículo.
- RND1(I) : Parámetro distribuido normalmente con un valor de media de 0.5 y una desviación estándar de 0.15. $[N(0.5,0.15)]$.
- V : Velocidad
- AXadd/AXmult: Parámetros de calibración multiplicativos y aditivos adicionales para la definición de rango de la distancia mínima.
- BXadd/BXmult: Parámetros de calibración multiplicativa y aditivos adicionales que consideran la diferencia de velocidad es entre el vehículo líder y el vehículo que sigue al líder.

2.7 Software de microsimulación Vissim V0.9

PTV Vissim es un programa de simulación microscópica que permite el modelado de un flujo de transporte multimodal basada en el tiempo y el comportamiento del conductor. Se emplea en el modelamiento del tráfico urbano, rural y flujo peatonal. Esta herramienta realiza la simulación de peatones basada en el modelo de Wiedemann (PTV Vissim, 2015).

El paquete de simulación Vissim radica en dos programas, el simulador de tráfico y el generador de estado de señales. La simulación genera una animación en tiempo real del tránsito y genera archivos de datos estadísticos tales como demoras por control, tiempos de viajes y longitudes de cola (Pájaro-Quezada, 2012).

Como herramienta PTV Vissim, se implementa para resolver casos de uso técnico en las áreas de aplicación como: la comparación de diseño geométrico, la planificación del desarrollo en el tráfico, el análisis de capacidad, el sistema de control de tráfico, las

operaciones de sistemas de señalización, el estudio de temporización y la simulación de transporte público. (PTV Vissim, 2015)

2.7.1 Antecedentes del Vissim

El grupo PTV ha realizado investigaciones con el uso de tecnologías, estos conocimientos científicos y experiencias obtenidas en cuatro décadas han servido para planificar y optimizar el flujo de tráfico y también el comportamiento de personas.

PTV Vissim, se encuentra en Karlsruhe - Alemania en su centro de innovación y desarrollo, esta empresa empezó a realizar las investigaciones en 1979 (PTV Group, 2020). Desarrollando la utilización del software para realizar modelos de transportes de pasajeros y de carga en Europa. La palabra Vissim proviene del acrónimo que deriva del alemán “**V**erkehr **I**n **S**tädten - **S**IMulation” en castellano quiere decir “Simulación de tránsito en ciudades”. (Álvarez, 2017).

En nuestro caso, aplicaremos esta herramienta para nuestro proyecto empleando la versión de Vissim 9.0.

2.7.2 Funcionamiento del Vissim

El software Vissim es una herramienta computacional que demuestra la planificación del tráfico y el transporte sobre el flujo vial y sus impactos, mapeando las vías, las intersecciones, óvalos, entre otros. Asimismo, modela diferentes polígonos desde una calle simple hasta una intersección compleja.

La herramienta Vissim es usada para la simulación del tráfico a nivel microscópico y mesoscópico. Esta simulación reproduce el tráfico real, considerando que se toma en cuenta los detalles como el diseño geométrico, número de vehículos, colas, etc. Y poder resolver los problemas viales para una mayor eficiencia. Además, la calibración de la simulación se obtiene por la interacción de los vehículos y el comportamiento del conductor en condiciones de tráfico real.

Esta herramienta genera la simulación del flujo de tráfico a diferentes niveles. A nivel microscópico, ofrece un nivel de detalle desde una perspectiva de accesibilidad, gestión de tránsito y seguridad, ya que los vehículos y los peatones pueden ser simulados individualmente. A nivel de modelo mesoscópico tienen un nivel de detalle más bajo.

El software Vissim en su concepción es un modelo que conceptualiza el flujo del tráfico y control de señales. Realiza la simulación de manera realista, usando los parámetros de flujo de tráfico de vehículos y peatones. Así mismo, define los parámetros más relevantes como tiempo de viaje, demoras por control, longitud de colas entre otros.

El modelo de flujo de tráfico se basa en un modelo de seguimiento del automóvil (Modela la conducción en una corriente en un solo carril) y en un modelo de cambio de carril que es influenciado por la necesidad del conductor. El funcionamiento entre estos modelos está ligado, el cual se muestra en la figura 7. (PTV Vissim, 2015)

Figura 7. Simulación de flujo de tráfico con PTV VISSIM

Fuente: adaptado de PVT Vissim User Manual 2015

2.7.3 Componentes

2.7.3.1 Componentes estáticos

Los componentes estáticos se determinan en el área de influencia donde se modela el proyecto y permanecen inalterables a lo largo de la simulación. En el caso de una

intersección, se tendrán giros y movimientos de un lado a otro de vehículos que circulan (Alcalá, 2016).

Los elementos estáticos vienen a ser los links y conectores. Estos dos parámetros definen el comportamiento del vehículo, buscando replicar el comportamiento del conductor. El primero define la dirección y el número de carriles. El segundo permite la unión de dos links con la finalidad de crear movimientos a la derecha, izquierda etc., que empleamos para modelar (Alvarez, 2017)

Figura 8. Giros y movimientos en una intersección

Fuente: Gestión y operación de vías urbanas y carreteras. Silvera M. 2020

2.7.3.2 Componentes dinámicos

El componente dinámico determina las interacciones entre los diferentes elementos. Estos elementos son los semáforos como principal componente dinámico que afectan al comportamiento del conductor, por lo que influyen considerablemente al sistema. Por lo tanto, la selección del nivel en el proyecto, se elaborará de la precisión de estos componentes dinámicos, entre los diferentes parámetros de un modelo microscópico (Narváez & Zapardiel, 2015).

2.7.4 Infraestructura del Modelo

Para realizar el modelo de microsimulación partimos del objetivo del proyecto, considerando la propuesta de mejora en los niveles de servicio de la intersección. Para ello, se realizará el

a. Insertar imagen de fondo y escalado

Esta opción permite insertar mapas digitales a escala, archivos gráficos o mapas en línea como fondo para un detallar el modelo; o la utilización de fondo del propio software. Ver figura 10.

Figura 10. Imagen de fondo en la intersección

Fuente: elaboración propia

b. Distribución de velocidades deseadas

Se define la distribución de las velocidades deseadas y agregar puntos intermedios en una vía recta o en una curva, estas pueden ser empleadas en los giros de los vehículos, logrando así mayor similitud entre el modelo y la realidad. Ver la Figura 11.

Figura 11. Distribución de velocidades

Fuente: elaboración propia

c. Composición de tráfico

Se asignan los tipos de vehículos deseados, ingresando valores de atributos de velocidad y cantidades. Se definen nuevas composiciones de vehículos, se asignan los tipos de vehículos deseados y se ingresan los valores de atributos.

d. Áreas con velocidad reducida

Se define al menos una distribución de velocidad deseada en un área de velocidad reducida. Existiendo varios casos de uso para distribuciones estocásticas en Vissim, el cual modela cualquier tipo de distribución estocástica. Las áreas de velocidad reducida se pueden agregar en enlaces o conectores.

e. Colocar líneas de parada vehicular (signal head)

En la vía, los signal head, se colocarán en las líneas de paradas con precisión al nivel del carril. El programa Vissim, las muestra como líneas rojas por defecto. Asimismo, la modelación se realiza de manera realista, incluyendo las opciones de visualización del mástil, brazo, cabezal de señal, letrero y luz. Ver figura 12.

Figura 12. Vista de signal head del modelo de microsimulación

Fuente: elaboración propia

f. Demanda de tránsito (Vehicle input)

En los inicios de vías a modelar se ingresan los volúmenes vehiculares por hora, este número exacto de vehículos se elige para un modelo estocástico, este dato es ingresado al Vissim. Por lo tanto, se define una base de tipo de vehículos que circulan por la vía. Por ello, se debe definir los tipos de vehículo el cual será modelado en un tiempo determinado. Obteniendo los intervalos de tiempo que se relacionan con una distribución de Poisson.

g. Rutas estáticas

Se define una ruta estática al precisar múltiples links, para ciertas clases de vehículos, buscando alternativas de enrutamiento en un enlace y una sección.

h. Reglas de prioridad y áreas de conflicto

El modelado de reglas de prioridad considera las intersecciones despejadas en situaciones en las que los vehículos de diferentes enlaces o conectores deben entrelazarse entre sí.

Una regla de prioridad consta de dos elementos:

- Barra roja: define la línea del tráfico que debe esperar, y por lo tanto los marcadores en conflicto son generados por que ningún vehículo tiene avance.
- Barra verde: uno o más marcadores en conflicto.

Figura 13. Regla de prioridad y marcadores de conflicto

Fuente: PTV VISSIM GROUP, 2015, Pág. 429

i. Selección de los parámetros de simulación

Para la selección de parámetros de simulación, se realizan iteraciones de una asignación dinámica y el aumento sucesivo de la demanda total de asignación.

Estableciendo los parámetros generales de simulación, por ello se ingresa el número de repeticiones de la simulación que desea hacer.

La diferencia con una simulación simple es que, depende del caso y el parámetro correspondiente, por ejemplo, la semilla aleatoria, se cambia automáticamente con cada ejecución de simulación.

j. Parámetros de eficiencia

➤ Colas

Las longitudes de las colas se pueden determinar con contadores de colas en cualquier punto de la red Vissim y evaluarlas para cualquier intervalo de tiempo. Esto se facilita por las líneas de parada de intersecciones señalizadas en enlaces y conectores. Estos indicadores emiten los siguientes valores:

- Longitud máxima de la cola
- Longitud media de la cola
- Número de paradas

Las colas se miden desde la posición inicial aguas arriba del contador de colas hasta el último vehículo, que ha entrado en cola. Si una cola tiene múltiples extremos, las longitudes de la cola se registran en cada paso de tiempo.

La longitud de la cola se mide hasta el último vehículo, generando en términos de unidades de longitud, no en términos de número de vehículos.

La longitud máxima de la cola puede ser tan larga como la distancia al siguiente contador de cola aguas arriba.

➤ Tiempos de viaje

La medición del tiempo de viaje del vehículo consta de una sección hasta otra. Se calcula el tiempo medio de viaje desde que atraviesa la sección, incluyendo el tiempo de espera y/o el tiempo de parada en todos los carriles.

➤ Parámetros de Wiedemann

La implementación de los parámetros es basada en la distribución estocástica. La base de datos para la simulación incluye la configuración de toda la red y todos

los objetos básicos para modelar el movimiento de vehículos y peatones. Los datos contienen diferentes tipos y clases.

Los modelos de comportamiento son los siguientes según los parámetros Wiedemann:

- Comportamiento lateral
- Comportamiento de cambio de carril
- Comportamiento en controladores de señal
- Parámetros para la simulación mesoscópica.

k. Resultados: Data collection

Los puntos de recopilación de datos y las mediciones están basados en curvas de inducción que se adjuntan a las pistas de la vía para el registro del volumen de tráfico. En el programa Vissim, los resultados (data collection) permiten monitorear el número de vehículos simulado.

2.7.5 Sistemas de control de tráfico

El software Vissim aplica el análisis de control de tráfico en la intersección de estudio, considerando el objetivo del análisis de circulación para conductores en la red vial, pueden ser intersecciones semaforizadas y no semaforizadas

- Investiga y visualiza el tráfico a nivel microscópico.
- Analiza simulaciones con respecto a numerosos parámetros de tráfico (por ejemplo, velocidad, longitud de la cola, tiempo de viaje, demoras)
- Evalúa el impacto del control accionado por el tráfico y las señales de mensajes variables
- Desarrolla acciones para acelerar el flujo de tráfico.

2.7.6 Consideraciones del modelo

La consideración del modelo en el software vissim tiene como funcionamiento los parámetros psicofísicos de Wiedemann. Este modelo psicofísico cuenta con percepción y reacción del conductor en cada vehículo en movimiento longitudinal o en la ruta que se desplaza. Basados a un algoritmo con reglas de movimiento lateral del vehículo, cambio de

carril y control semaforizado. El modelo de flujo de tráfico de Wiedemann expresa la distancia requerida en la interacción entre dos vehículos.

El software de microsimulación permite ajustar los resultados obtenidos en el software en base a los datos de campo.

Los siguientes parámetros están disponibles:

$$d = ax + bx^2 \quad (2.14)$$

$$bx = (bx_{\text{add}} + bx_{\text{mult}} * z)\sqrt{v} \quad (2.15)$$

Donde:

d : Distancia deseada

ax : Distancia de parada

bx : Distancia deseada por seguridad

v : Velocidad de vehículos (m/s)

z : Valor de 0 a 1, normalmente se distribuye alrededor de $x=0.5$ y $s=0.15$

CAPITULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Generalidades

La presente tesis tiene como objetivo principal, rediseñar la geometría de la intersección de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre, mediante la simulación de un modelo microscópico, empleando el software Vissim para mejorar los niveles de servicio de la intersección. Por lo tanto, para poder cumplir el objetivo, este trabajo de ingeniería se basará en la metodología de la FHWA (2004) para la recolección y procesamiento de datos, las cuales serán descritas a continuación:

Primer paso, se identifica el alcance y las limitaciones del proyecto, las cuales no deben afectar el cumplimiento de los objetivos de la tesis, se selecciona la intersección que se analizará y se delimita el área de influencia, según el nivel de detalle al que queremos llegar se escogerá el tipo de modelo.

Una vez seleccionada el área de estudio se realiza el trabajo de campo, el cual contempla la recolección de los datos necesarios como: Aforo vehicular y peatonal, nivel de servicio, tiempos de viajes, longitud de colas, características geométricas, semaforización, etc. Para poder recolectar la información se emplean distintas herramientas de trabajo como cámaras tipo domo, cámaras de seguridad, drones, cronómetros, entre otros.

Como siguiente paso, una vez definida la herramienta de trabajo para el registro de datos, se procede al procesamiento de los datos de campo para elaborar el modelo microscópico. El procesamiento recoge los aforos, características geometría de las vías, ciclos semafóricos, etc. Estos datos servirán de información de entrada para poder simular el modelo en el software Vissim v9.

Posteriormente, se calibra el modelo tomando en cuenta los resultados obtenidos por el software Vissim y los datos de campo. Para validar el modelo se considera un nivel de confiabilidad del 95% y un porcentaje de error del 6% de la media. El parámetro seleccionado para la calibración del modelo fueron los tiempos de viaje de los diferentes vehículos que circulan en la intersección de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre.

Seguidamente, se procede a validar el correcto funcionamiento del modelo, de tal forma que el modelo construido represente las condiciones de la intersección y pueda modelar una nueva situación. En tal sentido, se debe ingresar nueva información de campo y lograr

obtener los resultados requeridos (velocidad promedio, tiempo de viaje, demoras por control, longitudes de colas, etc.). Finalmente, se presentan las propuestas de mejoras y se evalúan los resultados con respecto al nivel de servicio.

Para finalizar se documentan las propuestas de mejora de la intersección. Además, se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas de la investigación.

Figura 14. Metodología del proyecto

Fuente: adaptado de (FHWA, 2004)

3.2 Recolección de datos de campo

Se presenta a continuación los detalles considerados en la recolección de datos de campo, en base a la metodología expuesta.

3.2.1 Selección de Área de estudio

Inicialmente se evaluaron dos posibles escenarios para el estudio del diseño vial, el primer escenario de estudio se centró en el distrito de Los Olivos, en la intersección de la Av. Naranjal y la Av. Universitaria. El segundo escenario se desarrollaría en el distrito de Pueblo Libre, en el cruce de la Av. La Marina con Jose Antonio de Sucre. En las 2 intersecciones se realizaron estudios previos a nivel mesoscopico, las dos tesis sugieren realizar un estudio más detallado en las intersecciones mencionadas con la finalidad de optimizar el comportamiento del tráfico en la zona.

Ante los últimos acontecimientos debido a la pandemia del Covid 19, se imposibilitó la toma de datos debido a las restricciones de circulación vehicular y peatonal. Es por ello que recurrimos a las investigaciones que nos permitan tener el acceso detallado al registro de campo, tales como grabaciones, aforos peatonales, vehiculares, definición geométrica, entre otros. Debido a las condiciones dadas, se seleccionó la intersección ubicada en el distrito de Pueblo Libre, Lima.

La intersección de estudio se encuentra en funcionamiento mediante un control semafórico de 2 fases. Asimismo, se debe de acotar que el proyecto se encuentra en una zona con muchos centros educativos, centros de comercio, multifamiliares, etc.

A continuación, se presenta la Figura 15 donde se detalla una vista satelital de la intersección analizada.

Figura 15. Intersección Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre
Fuente: Elaboración Propia

3.2.2 Recolección de datos de campo

La recolección de datos de campo se realizó el 05 de noviembre del 2019 en dos intervalos de tiempo de 4 horas (6:00 a.m.- 10:00 a.m.) por la mañana y (6:00 p.m. – 10:00 p.m.) por la tarde.

3.2.3 Aforo Vehicular

El aforo vehicular se realizó con la ayuda de videograbaciones proporcionadas por el centro de monitoreo de la municipalidad de Pueblo Libre, la cámara se encuentra en el tercer piso de un local comercial ubicado en el cruce de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre, tal como se muestra en la figura 16.

Figura 16. Ubicación de Cámara de Seguridad
Fuente: Adaptado de Google Street View

En el estudio previo realizado en enero del 2019, definió que la hora punta de la intersección se presenta entre las 7:00 a.m. a 8:00 a.m. En dicho lapso de tiempo el flujo vehicular presenta mayor volumen de vehículos ver figura 18. Además, se ha considerado intervalos de 15 minutos para evaluar la variabilidad del flujo vehicular en este intervalo de tiempo.

Figura 17. Ubicación de la zona de Aforo

Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Determinación de la hora pico en la intersección

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Tabla de registro de aforo vehicular

HORARIO	VEHÍCULO LIGERO				VEHÍCULO PESADO				TOTAL VEHÍCULOS MIX./HORA
	AUTO y CAMIONETA RURAL				MICROBUS Y CAMION				
	11	12	13	14	11	12	13	14	
06:00 - 06:15									
06:15 - 06:30									
06:30 - 06:45									
.....									
09:45 - 10:00									
TOTAL									

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Tiempos de semáforo

En la intersección de estudio existen semáforos vehiculares y peatonales. La presencia de semáforos según Fernandez (2018), nos permiten resolver conflictos direccionales, además de regular el tránsito en las intersecciones viales o carreteras. En su forma más básica un semáforo tiene tres luces: rojo, ámbar y verde¹⁴. Los ciclos semafóricos son programados para periodos de tiempos fijos, eso significa que durante el día no sufren variaciones en su ciclo. A continuación, se presentan la duración de las fases de cada uno de ellos (en segundos) y los ciclos existentes en las siguientes imágenes.

Figura 19. Fases de La Intersección

Fuente: Elaboración propia

¹⁴ Cfr. Cal y Mayor & Cárdenas 2007: 436

Figura 20. Duración de Fases de Semáforo

Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Geometría del sistema

Para la toma de medidas de la geometría de la intersección de estudio, se requirió de 2 personas, para este trabajo se utilizó una cinta métrica, distanciómetro, cuaderno para anotar lo observado: Ancho de calzada, ancho de carril, ancho de vereda y ancho de separadores centrales.

Tabla 3. Geometría de la intersección

Fuente: Elaboración propia

UBICACIÓN		Nº DE CARRILES	ANCHO DE CARRIL	ANCHO DE VEREDA	ANCHO DE SEPARADOR
AV. LA MARINA	SE - NO	C-1	3.3	4	2.5
		C-2	3.3		
		C-3	3.3		
		C-4	3.3		
	NO - SE	C-1	3.3	4	2.5
		C-2	3.3		
		C-3	3.3		
		C-4	3.3		
AV. SUCRE	NE-SO	C-1	3.5	2	1.5
		C-2	3.5		
	SO-NE	C-1	3.5	2	1.5
		C-1	3.5		

Fuente: Elaboración propia

3.2.6 Procesamiento de datos de Campo

3.2.6.1 Videgrabaciones

Los videos fueron procesados en gabinete, el trabajo consistió en realizar los conteos vehiculares a través de las videgrabaciones. Cabe mencionar que la composición vehicular

se realizó teniendo en cuenta el tipo de vehículo y los giros de los vehículos en la intersección.

Figura 21. Videograbaciones de la Av. La Marina con la Av. Sucre

Fuente: Elaboración propia

3.2.7 Flujograma de aforos vehiculares

La elaboración del flujograma en la intersección de estudio nos permite identificar los movimientos realizados por los vehículos particulares y los de transporte público. La muestra se toma en la hora donde se presentan la máxima demanda del día. A este periodo de tiempo se le conoce como volumen horario de máxima n_{60} el cual se define como: “El máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una calzada durante 60 min consecutivos. Es el representativo de los periodos de máxima demanda que se puede presentar durante un día en particular.”¹⁵ El diagrama de nuestra intersección se presentara en los anexos.

Figura 22. Flujograma Vehicular (Vehículos/Hora) Av. La Marina sentido SO-NE

Fuente: Elaboración propia

¹⁵ Cal y Mayor, 2007: 172

Del gráfico anterior, muestra la circulación de vehículos en la Av. La Marina en el sentido NO-SE, la intersección presenta problemas debido a los giros realizados hacia la izquierda los cuales obstaculizan la circulación de los vehículos que van en dirección a San Isidro, de igual forma los giros a la derecha correspondiente al transporte público obstaculizan la circulación de vehículos hacia la Av. Sucre, ocasionando que los buses se estacionen en el segundo carril de la Av. La Marina para recoger o dejar pasajeros en el paradero, cabe mencionar que la capacidad del paradero fue superada por la demanda de vehículos de transporte público en la hora pico. Esta combinación de problemas genera demoras en el cruce de la intersección por los cuales es importante tomarlas en consideración.

Tabla 4. Volumen Vehicular en las Avenidas de Estudio En la Hora Pico.

Fuente: Elaboración propia

HORARIO	FLUJO VEHICULAR			
	AV. LA MARINA		AV. SUCRE	
	NO - SE	SE - NO	NO - SE	SO - NE
07:00 - 07:15	804	657	175.00	171.00
07:15 - 07:30	763	750	162.00	280.00
07:30 - 07:45	685	528	187.00	215.00
07:45 - 08:00	611	551	212.00	284.00
TOTAL	2,863	2,486	736	950

Los flujogramas, las tablas de aforo vehicular y distribución del volumen por tipo de vehículo de la Av. La Marina y la Av. Sucre se presentan en la sección de Anexos.

3.2.8 Geometría de la zona de estudio

La intersección de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre, presenta una demanda interrumpida del flujo de vehículos de transporte, el cual se encuentra semaforizada. La av. Sucre tiene 2 carriles de ida (NE-SO) y vuelta (SO-NE) con un ancho de carril de 3.5m y la Av. La Marina en el sentido (SE-NO) cuatro carriles de 3.30m, cruzando la Av. Sucre se amplía a 6 carriles hasta la calle siguiente (4 carriles de 3.1m y 2 carriles de 2.8m., ver figura 23) En el sentido (NO-SE) la Av. Marina tiene 4 carriles de 3.30m. Ver la figura 23.

Figura 23. Sección Típica Av. La Marina

Fuente: Elaboración propia

Figura 24. Sección Típica Av. Antonio José de Sucre

Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Geometría de la zona de estudio, Av. La Marina y Av. Sucre

Fuente: Elaboración propia

3.2.9 Deficiencias encontradas en la zona de estudio

La intersección de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre presenta ciclos semafóricos deficientes. La Av. La Marina tiene un tiempo en verde de 210 segundos mientras que la Av. Sucre tiene un tiempo en verde de 80 segundos. Los tiempos de espera ocasionados por el ciclo semafórico de la intersección ocasionan congestionamiento en la Av. Sucre. De igual manera en la Av. La Marina en los sentidos SE – NO y NO – SE presentan deficiencias, debido a que los paraderos sobrepasan su capacidad causado por incremento de unidades de transporte como por ejemplo el corredor Rojo, esto conlleva a que los vehículos del transporte público se estacionen en el segundo carril o se estacionen después del cruce ocasionando mayores tiempos de viaje para el cruce de la intersección. Con respecto a las islas de refugio para los peatones se nota que son muy pequeñas en ambas vías, al tener un espacio reducido puede ocasionar que los peatones invadan parte del carril de los vehículos obstaculizando el flujo de los vehículos y aumentando la posibilidad de accidentes en la intersección. Para culminar se puede mencionar que en la intersección el deterioro de las marcas en el pavimento y la deficiente señalización vertical (informativa, preventiva y restrictiva) conlleva a que los conductores y peatones no respeten las normas de tránsito ocasionando congestionamiento y accidentes en la intersección de estudio.

Figura 26. Deficiente señalización en la Av. La Marina en el sentido NO - SE

Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Paraderos informales a consecuencia del Corredor Rojo
Fuente: Elaboración propia

Figura 28. Islas de refugio para peatones
Fuente: Elaboración propia

3.3 Determinación de nivel de servicio

3.3.1 Determinación del nivel de servicio en la intersección

El nivel de servicio de una la intersección con semáforos se define a través de los tiempos de demora para cruzar una intersección. La capacidad vial se mide en vehículos/hora y solo se aplica a los movimientos principales de la intersección¹⁶. Según la metodología HCM 2010, el nivel de servicio se clasifica según la figura 29.

Demoras por control (s/veh)	Niveles de Servicio por relación Volumen – Capacidad (Grado de Saturación)	
	$v/c \leq 1.0$	$v/c > 1.0$
≤ 10	A	F
$> 10 - 20$	B	F
$> 20 - 35$	C	F
$> 35 - 55$	D	F
$> 55 - 80$	E	F
≥ 80	F	F

Figura 29. Cuadros de demoras para hallar el nivel de servicio de la intersección

Fuente: HCM (2010)

3.3.2 Grado de Saturación

Un estudio previo realizado en la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre. Determinó que el grado de saturación en nuestra intersección es superior a 1, tal como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5, Volumen Vehicular en las Avenidas de Estudio En la Hora Pico.

Grado de Saturación en la intersección	
Av. La Marina (SE-NO)	1.05
Av. La Marina (NO-SE)	1.30
Av A. José Sucre (SO-NE)	1.24
Av A. José Sucre (NE-SO)	0.99

Fuente: Adaptación propia Del Mar Velarde & Vasquez (2019)

3.3.3 Tiempos de demora en la intersección

Este parámetro de eficiencia es el más importante para esta tesis ya que este nos permitirá determinar la calidad y el funcionamiento de la intersección en estudio. Según la Tesis planteada por Del Mar Velarde & Vázquez (2019) en su propuesta para la reducción del congestionamiento vehicular en las avenidas La Marina y Faustino Sánchez Carrión, desde

¹⁶ Cfr. Garber & Hoel 2005: 327

la Av. Antonio José de Sucre hasta la Av. Gregorio Escobedo, mediante el uso del software Synchro 8” determinaron que el nivel de servicio se encuentra en el Rango F.

Tabla 6. Volumen Vehicular en las Avenidas de Estudio En la Hora Pico.

Fuente: Adaptación de Del Mar Velarde & Vásquez (2019)

Descripción	Campo	Nivel de servicio
Av. La Marina (SE-NO)	81.919	F
Av. La Marina (NO-SE)	97.634	F
Av. A. José Sucre (SO-NE)	84.119	F
Av A. José Sucre (NE-SO)	84.732	F

Fuente: Adaptación de Del Mar Velarde & Vásquez (2019)

Tabla 7. Nivel de servicio de la intersección

Descripción	Nivel de servicio	NS
Av. La Marina (SE-NO)	F	F
Av. La Marina (NO-SE)	F	
Av. A. José Sucre (SO-NE)	F	
Av A. José Sucre (NE-SO)	F	

Fuente: Adaptación de Del Mar Velarde & Vásquez (2019)

En conclusión, en nuestro estudio las demoras por control de la intersección se analizarán con la herramienta “Nodos” del software Vissim. El programa nos permitirá evaluar el tiempo que demora un vehículo en cruzar la intersección. Los tiempos obtenidos por cada vía de análisis serán clasificados de acuerdo a la tabla de demoras (HCM, 2010), la cual nos permitirá ubicar el nivel de servicio de nuestra intersección.

3.4 Construcción del modelo

3.4.1 Construcción del Modelo

La construcción del modelo se realizará en el software de miscorsimulación Vissim 9.0, para ello se ingresará el aforo vehicular en la hora de mayor afluencia, la geometría de la intersección de estudio, los ciclos semafóricos, tiempos de viaje, geometría de la intersección, etc.

3.4.1.1 Imagen de Fondo

En esta etapa se incorpora una imagen de la zona de análisis, el software brinda opciones para insertar el área de análisis. La primera permite importar una imagen para luego referenciarla, la siguiente alternativa es insertar mapas creados en el software Autocad, otra es emplear los mapas por defecto del Software Vissim, entre otras. En nuestra investigación

emplearemos el mapa que viene por defecto en el programa, este mapa se encuentra georreferenciado y presenta una plataforma similar a la de Google Maps. Para poder activar el mapa se activa la opción Toggle Background Maps y se ubica el área de estudio ver la figura 30.

Figura 30. Imagen de fondo (mapa georreferenciado del PTV Vissim)

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.2 Link y conectores

Los links y conectores, permiten representar las vías que conforman la intersección, esta opción nos permite trazar líneas que representaran la calzada en sus distintas direcciones, cabe mencionar que al trazar el link se debe definir el número de carriles, el ancho de carril, comportamiento, etc. En la Figura 31 se muestran los parámetros característicos empleadas en nuestra simulación y en la Figura 32 se muestra los Links trazados para representar la intersección.

Figura 31. Cuadro de creación de un Link

Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Cuadro de creación de carriles a través de Links

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8, tenemos la descripción del número de carriles, dirección y ancho en la intersección, esto será ayuda para la ejecución del modelo.

Tabla 8. Datos de número de carriles, ancho de carril y dirección para creación de Links.

Datos /Avenida	La Marina	Antonio de Sucre
Número de carriles	4 / 6	2
Ancho de carriles	3.30	3.5
Dirección	SE-NO 1er tramo. / 2do tramo	NE-SO
	NO-SE	SO-NE

Fuente: Elaboración propia

Una vez trazado los Links se requiere unir las calzadas que se cruzan, para ello requerimos el uso de conectores. Estos conectores nos permitirán unir los links en la intersección; como también representar los giros en los carriles de ingreso y/o salida de la Av. La Marina y/o Av. Sucre. En la Figura 33 se aprecia la conexión de la Av. Antonio José de Sucre con la Av. La Marina.

Figura 33. Creación de conector en el modelo

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.3 Composición Vehicular y peatonal

El aforo de vehículos en la intersección de estudio nos permitirá identificar el tipo de vehículos que circulan en nuestra intersección. Para ello activamos el comando “Vehicle Compositions”. Este comando nos permite ingresar la clase, la velocidad y el flujo de volumen de vehículos que circulan por nuestra intersección. En la Figura 34 se definió las avenidas que conforman la intersección y su respectiva composición vehicular. En nuestro análisis se consideró 3 tipos de vehículos: Autos, Buses y camiones.

Vehicle Compositions / Relative Flows				
Select layout...				
Coun	No	Name		
1	2	Av. La Marina hacia San Isidro		
2	3	Av. La Marina hacia Callao		
3	4	Av. Sucre hacia Costanera		
4	5	Av. Sucre hacia Pueblo Libre		

Count	VehType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	100: Car	50: 50 km/h	2000.00
2	200: HGV	40: 40 km/h	30.000
3	630: Cam	50: 50 km/h	316.000

Figura 34. Composición Vehicular de la Av. La Marina con la Av. Sucre

Fuente: Elaboración propia

De manera similar se agregó el aforo correspondiente a los peatones mediante el comando de “Pedestrian Compositions”. En la Figura 35 se muestra la configuración empleada para nuestro modelo.

Coun	No	Name
1	1	Pedestrians
2	11	Commuters at a station
3	21	International Maritime Organization MSC/Circ. 123

Count	PedType	DesSpeedDistr	RelFlow
1	100: Man	1022: IMO-M 30-5	1.000
2	200: Woman	1023: IMO-F 30-50	1.000

Figura 35. Composición Peatonal de la Av. La Marina con la Av. Sucre

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.4 Datos de entrada

Se denomina datos de entrada a la información recolectada de campo la cual es procesada en gabinete. Estos datos son: Aforo vehicular, trazo de ruta, tiempos semafóricos y otros.

a) Vehicles Inputs:

En este paso se ingresa el flujo de vehículos para cada Link que compone la intersección.

En la figura 36 se muestra el volumen de vehículos que se ingresó al modelo de estudio.

Coun	No	Name	Link	Volume(0)	VehComp(0)
1	1		3: Av. Sucre EO	676.0	4: Av. Sucre hacia Costanera
2	2		1: Av. La Marina SN	2346.0	3: Av. La Marina hacia Callao
3	3		2: Av. La Marina NS	0.0	2: Av. La Marina hacia San Isidro
4	4		4: Av. Sucre OE	863.0	5: Av. Sucre hacia Pueblo Libre

Figura 36. Ingreso de vehículos de la Av. La Marina con la Av. Sucre

Fuente: Elaboración propia

b) Vehicle Routes – Static (Asignación de rutas estáticas)

Después de ingresar el volumen de vehículos al modelo, se procede a agregar todos los posibles recorridos que pueden seguir los vehículos en la intersección. Estas rutas son determinadas de acuerdo al flujograma elaborado en base a los aforos de la intersección. En la siguiente figura se muestra las tres rutas que siguen los vehículos que circulan por la Av. La Marina en el sentido NO – SE. Este procedimiento se realiza para todas las vías que ingresan a la intersección. Ver figura 37.

Figura 37. Asignación de rutas estáticas vehiculares en la Av. La Marina

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.5 Signal Control (semaforización)

Definido los tipos, volúmenes y recorridos de vehículos nuestro modelo ya puede funcionar, pero no será del todo válido si antes no se agregan los dispositivos de control semafórico presentes en nuestra intersección. Estos dispositivos se programan en el software a través de la herramienta de señales de control (Signal Control). Una vez determinada la fase y ciclo semafórico se ubican las “Signal Heads” en la posición de los semáforos existentes. La colocación de estos reguladores de tránsito será en la misma ubicación de los semáforos. En la figura 38 se muestra la programación aplicada para nuestro caso de estudio.

Figura 38. Distribución de tiempos de semáforos por cada fase

Fuente: Elaboración propia

3.4.1.6 Áreas de conflicto (Conflict áreas/Priority Rules)

Se puede definir a las áreas de conflicto como el traslape que ocurre entre los links y los conectores que se cruzan en el modelo. Es por ello que es necesario definir reglas de prioridad “priority rules” que permitan el paso de un vehículo frente a otro. En nuestra intersección la geometría es regular y usaremos “conflic áreas”, para establecer el tránsito de la Av. La Marina con la Av. A. Sucre. En esta etapa se define la prioridad entre las vías y los cruces peatonales. En la figura 39 y 40 se muestran las áreas de conflicto que se han generado en la intersección. Cabe mencionar que la prioridad lo tiene el peatón frente a los vehículos; en caso que el peatón se encuentre en el medio de la vía, los vehículos deberán ceder el paso al peatón hasta que termine de cruzar.

Figura 39. Áreas de conflicto del modelo

Fuente: Elaboración propia

Figura 40. Reglas de prioridad del modelo

Fuente: Elaboración propia

procedimiento de calibración se realiza variando los parámetros de Wiedemann 74. Para poder calibrar el modelo se realizará mediciones de los tiempos de viaje los cuales serán ingresados al programa. En la figura 42 se muestra las distancias ingresadas para poder calcular los tiempos de viaje en nuestra intersección.

Figura 42. Distancias empleadas para los tiempos de viaje

Fuente: Elaboración propia

Coun	No	Name	StartLink	StartPos	EndLink	EndPos	Dist
1	1	Hacia Universitaria	1: Av. La Marina SN	169.211	1: Av. La Marina SN	194.211	25.00
2	2	Hacia San Isidro	2: Av. La Marina NS	254.710	2: Av. La Marina NS	279.710	25.00
3	3	Hacia Costa verde	3: Av. Sucre EO	201.387	3: Av. Sucre EO	229.387	28.00
4	4	Hacia Tingo Maria	4: Av. Sucre OE	301.470	4: Av. Sucre OE	329.470	28.00

Figura 43. Distancias ingresadas en el software Vissim

Fuente: Elaboración propia

Para nuestro modelo se realizó 30 mediciones en ambos sentidos de la Av. La Marina y la Av. Sucre. Teniendo como finalidad determinar el número mínimo de mediciones necesarias para que nuestra muestra sea representativa. Cabe mencionar que nuestra muestra tiene un margen de error del 6% de la media obtenida y la distribución T –Student con 29 grados de libertad.

Utilizando la ecuación (2.4) se obtienen los siguientes resultados al evaluar el número mínimo de corridas en el modelo.

Tabla 9. Número de Corridas necesarias en la Av. La Marina Sentido SE-NO

Distancia (m)	25	
N (Campo)	30	
GDL	29	
ε	0.06	
Σ	80.74	
X (media)	2.691	
E	0.161	
Σv^2	3.120	
S	0.328	
	Normal (95%)	Stdent (0.025)
$t_{\alpha/2}$	1.96	2.045
	Normal	Student
n (muestras)	15.850	17.254

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Número de Corridas necesarias en la Av. La Marina sentido NO-SE

Distancia (m)	25	
N (Campo)	30	
GDL	29	
e	0.06	
S	110.17	
X (media)	3.672	
E	0.220	
Σv^2	4.411	
S	0.390	
	Normal (95%)	Stdent (0.025)
$t_{\alpha/2}$	1.96	2.045
	Normal	Student
n (muestras)	12.035	13.102

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Número de Corridas necesarias en la Av. Sucre sentido NE-SO

Distancia (m)	28	
N (Campo)	30	
GDL	29	
e	0.06	
S	118.41	
X (media)	3.947	
E	0.237	
S v^2	2.874	
S	0.315	
	Normal (95%)	Stdent (0.025)
$\alpha/2$	1.96	2.045
	Normal	Student
n (muestras)	6.788	7.389

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Número de Corridas necesarias en la Av. Sucre sentido SO-NE

Distancia (m)	28	
N (Campo)	30	
GDL	29	
e	0.06	
S	117.98	
X (media)	3.933	
E	0.236	
S v^2	3.005	
S	0.322	
	Normal (95%)	Stdent (0.025)
$\alpha/2$	1.96	2.045
	Normal	Student
n (muestras)	7.150	7.784

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al número de corridas, es recomendable realizar 15 corridas por diferente número de semilla (Salazar, 2018). Este número de corridas es superior al mínimo sugerido por FHWA (2004). Los resultados de los tiempos de viaje se encuentran en la sección de Anexos.

3.6 Parámetros Wiedemann

Para nuestro análisis se emplearán los parámetros Wiedemann 74 el cual es empleado en zonas urbanas, en la tabla 13 se describe el significado de los parámetros y en la figura 44 se muestra los parámetros a modificar en el software Vissim.

Tabla 13. Parámetros de Wiedemann 74

PARÁMETROS	DESCRIPCIÓN
Distancia entre vehículos cuando están detenidos	(ax): Define la distancia media deseada entre ambos vehículos. La tolerancia se encuentra entre -1,0 m y 1,0 m, que se distribuye normalmente alrededor de 0,0 m, con una desviación estándar de 0,3 m. El valor por defecto 2.0.
Distancia de seguridad (parte aditiva)	(bx_{add}): Valor utilizado para el cálculo de la distancia de seguridad deseada. Permite ajustar los valores requisito de tiempo 2.0 por defecto.
Distancia de seguridad (parte multiplicativa)	(bx_{multi}): Valor utilizado para el cálculo de la distancia de seguridad deseada. Permite ajustar los valores requisito de tiempo. Mayor valor = mayor distribución (Desviación estándar) de distancia de seguridad por defecto 3.0.

Fuente: Adaptado de PTV Vissim 2015

La distancia deseada “d”, se calculará en base a las ecuaciones (2.14) y (2.15):

Figura 44. Configuración de Parámetros de Wiedemann

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Resumen de parámetros para la calibración del modelo

	PARAMETROS VISSIM			MEDIA DE TIEMPOS DE VIAJE			
	W74ax	W74bxAdd	W74bxMult	Av. La Marina SE-NO	Av. La Marina NO-SE	Av. Sucre NE-SO	Av. Sucre SO-NE
DEFECTO	2.00	2.00	3.00	2.58	3.66	3.86	4.13
1	1.00	2.00	3.00	2.58	3.64	3.80	4.17
2	1.00	2.00	2.00	2.58	3.64	3.77	4.17
3	1.00	2.00	4.50	2.58	3.64	3.82	4.14
4	1.00	3.00	4.50	2.58	3.62	3.81	4.12
5	1.00	4.50	4.50	2.59	3.59	3.92	4.02
6	0.90	4.50	4.50	2.60	3.59	3.95	4.03
7	1.20	4.50	4.50	2.60	3.59	3.88	4.06
8	1.10	3.50	4.00	2.59	3.60	3.89	4.10
9	1.00	3.00	3.00	2.58	3.63	3.84	4.16
10	0.80	3.50	3.50	2.59	3.62	3.80	4.18
11	0.80	2.00	3.00	2.58	3.64	3.80	4.21
12	0.95	4.00	4.50	2.59	3.60	3.85	4.02
13	0.95	4.15	4.15	2.59	3.59	3.93	4.13
14	0.95	4.25	4.25	2.59	3.59	3.93	4.05
15	1.00	3.00	5.00	2.59	3.61	3.82	4.12
16	1.00	5.00	3.00	2.60	3.60	3.96	3.99
17	1.00	3.00	2.00	2.58	3.63	3.80	4.09
18	1.00	4.75	4.25	2.60	3.59	3.86	4.08
19	1.00	4.25	4.75	2.60	3.60	3.92	4.05
CAMPO	0.00	0.00	0.00	2.69	3.67	3.95	3.93

CALIBRADO

NO CALIBRADO

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 14, se verifica que el modelo se calibro en la sexta corrida. En nuestro análisis se determinó que el modelo requiere como mínimo 17 iteraciones para que pueda ser calibrado. En la tabla 9 se presentó el número mínimo de corridas necesarias para garantizar que los datos obtenidos por software sean representativos. Posterior a ello se siguió iterando los valores de los parámetros hasta 20 repeticiones. Entre los valores obtenidos se consideraron los valores de la repetición 16, 18 y 19, debido a que sus valores eran cercanos a los datos de campo, además la distancia de separación entre vehículos detenidos es igual a 1m. La cual se ajusta a la realidad peruana.

Para nuestro análisis se consideró considero la repetición 19 de debido a que la diferencia de medias entre los datos del software Vissim y los datos de campo se encuentran dentro del rango de confiabilidad al 95%.

Tabla 15. Calibración del Modelo Iteración 19

	MEDIA DE TIEMPOS DE VIAJE			
	Av. La Marina SE-NO	Av. La Marina NO-SE	Av. Sucre NE-SO	Av. Sucre SO-NE
Diferencia de medias	0.09	0.07	0.03	-0.12
Intervalo de confiabilidad 95%	(-0.141 , 0.147)	(-0.164 , 0.173)	(-0.153 , 0.151)	(-0.151 , 0.153)

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16. Parámetros de Wiedemann para la calibración

	PARAMETROS WIEDEMANN - VISSIM		
	W74ax	W74bxAdd	W74bxMult
Modelo Calibrado	1.00	4.25	4.75

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 17, se obtiene los tiempos de viajes mediante los resultados del software Vissim a partir de la combinación de parámetros Wiedemann.

Tabla 17. Tiempos de Viaje obtenidos del software Vissim en la iteración N°19

ITERACIÓN 19 (1; 4.25;4.75)				
COUNT	VEHICLE TRAVEL TIME MEASUREMENT			
	Av. La Marina SE-NO	Av. La Marina NO-SE	Av. Sucre NE-SO	Av. Sucre SO-NE
1	2.60	3.59	3.73	3.88
2	2.61	3.61	3.94	3.88
3	2.59	3.59	3.92	4.18
4	2.59	3.60	4.01	3.93
5	2.60	3.59	3.99	4.15
6	2.61	3.63	4.07	4.20
7	2.61	3.58	3.65	4.11
8	2.60	3.58	3.95	4.27
9	2.59	3.59	3.84	4.25
10	2.62	3.60	3.99	4.11
11	2.59	3.59	3.84	3.84
12	2.60	3.59	3.90	3.88
13	2.60	3.62	3.85	3.79
14	2.60	3.61	3.80	4.05
15	2.60	3.58	4.35	4.01
16	2.57	3.59	3.82	4.04
17	2.58	3.62	4.18	4.34
18	2.61	3.59	3.65	3.88
19	2.58	3.62	3.85	4.18
20	2.60	3.60	4.02	4.07
PROMEDIO	2.60	3.60	3.92	4.05
DV ESTAND	0.01	0.01	0.17	0.16
MINIMO	2.57	3.58	3.65	3.79
MAXIMO	2.62	3.63	4.35	4.34

Fuente: Elaboración Propia

Para calibrar el modelo se utilizó la aplicación StatKey v. 2.1.1¹⁷, este software nos permite demostrar que nuestro modelo se encuentra calibrado debido a que realiza una prueba no paramétrica. Este análisis estadístico, nos permite realizar dos conjuntos de muestra llamada

¹⁷ <http://www.lock5stat.com/StatKey/testfor>

“Randomization Test for a Difference in Means”. El cual se centra en hallar la diferencia de medias entre los datos obtenidos del Vissim y los de campo. La diferencia de medias se debe ubicar dentro del área de no rechazo que brinda la herramienta de Statkey.

Figura 45. Resultado de la herramienta Statkey de la Av. La Marina sentido SE-NO

Fuente: Elaboración propia

Figura 46. Resultado de la herramienta Statkey de la Av. La Marina sentido NO-SE

Fuente: Elaboración propia

Figura 47. Resultado de la herramienta Statkey de la Av. Sucre sentido NE-SO

Fuente: Elaboración propia

Figura 48. Resultado del Software Statkey de la Av. Sucre sentido SO-NE

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, la diferencia de medias del conjunto de muestras se encuentra dentro de la zona de no rechazo indicadas por la herramienta Statkey. Por lo tanto podemos afirmar que el modelo se encuentra calibrado.

3.7 Validación del modelo

Una vez calibrado el modelo, se tendrá que realizar la validación del mismo. Para ello, se realiza una nueva toma de datos de campo de un día atípico. Estos datos nos servirán para la validación del modelo, para ello se realiza un nuevo análisis donde se verificará que los datos de campo y los valores obtenidos por el software Vissim representan de manera correcta el nuevo escenario. Cabe mencionar que los parámetros de Wiedemann empleados en la calibración deben ser los mismos para la validación del nuevo escenario.

Finalmente, los datos de demanda para la validación del modelo fueron obtenidos del día 07 de Noviembre de 7:00 – 8:00 am.

Tabla 18. Tiempos de Viaje obtenidos del software Vissim para la Validación

Fuente: Elaboración Propia

VALIDACIÓN (1; 4.25;4.75)				
COUNT	VEHICLE TRAVEL TIME MEASUREMENT			
	Av. La Marina SE-NO	Av. La Marina NO-SE	Av. Sucre NE-SO	Av. Sucre SO-NE
1	2.61	3.62	3.79	4.28
2	2.60	3.61	3.55	4.42
3	2.59	3.60	4.33	3.82
4	2.58	3.59	4.12	4.28
5	2.57	3.58	3.83	3.75
6	2.58	3.58	3.86	3.95
7	2.58	3.59	3.69	3.87
8	2.58	3.60	3.73	3.78
9	2.57	3.60	3.89	4.54
10	2.57	3.60	3.76	4.33
11	2.58	3.59	3.98	3.99
12	2.60	3.57	3.81	3.99
13	2.59	3.57	3.75	3.96
14	2.58	3.55	4.48	4.12
15	2.58	3.54	3.77	4.15
16	2.57	3.55	3.83	4.21
17	2.57	3.56	4.06	3.95
18	2.57	3.57	3.80	4.07
19	2.56	3.59	3.72	3.94
20	2.56	3.59	3.81	4.22
PROMEDIO	2.58	3.58	3.88	4.08
DV ESTAND	0.01	0.02	0.22	0.22
MINIMO	2.56	3.54	3.55	3.75
MAXIMO	2.61	3.62	4.48	4.54

Figura 49. Resultado del Software Statkey de la Av. Sucre sentido SO-NE
Fuente: Elaboración propia

Figura 50. Resultado de la herramienta Statkey de la Av. La Marina sentido NO-SE
Fuente: Elaboración propia

Figura 51. Resultado de la herramienta Statkey de la Av. Sucre sentido NE-SO
Fuente: Elaboración propia

Figura 52. Resultado del Software Statkey de la Av. Sucre sentido SO-NE

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, mostramos los resultados obtenidos a partir de las iteraciones de los parámetros para la validación del modelo.

Tabla 19. Validación del Modelo en la iteración

	MEDIA DE TIEMPOS DE VIAJE - VALIDACIÓN			
	Av. La Marina SE-NO	Av. La Marina NO-SE	Av. Sucre NE-SO	Av. Sucre SO-NE
Diferencia de medias	0.12	0.10	0.08	-0.06
Intervalo de confiabilidad 95%	{-0.153, 0.148}	{-0.171, 0.165}	{-0.158, 0.158}	{-0.155, 0.155}

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20. Parámetros de Wiedemann para la Validación

	PARAMETROS WIEDEMANN - VISSIM		
	W74ax	W74bxAdd	W74bxMult
Modelo Validado	1.00	4.25	4.75

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO 4. ANALISIS DE RESULTADOS Y PROPUESTAS

En este capítulo se evalúa y analiza los resultados obtenidos del comportamiento vehicular, a partir de las mediciones obtenidas del modelamiento de la intersección con el software Vissim. Por esta razón, se presentará las propuestas de mejoras en la intersección como el rediseño geométrico, optimización de ciclo semafórico y desplazamiento de paraderos, a fin de mejorar los niveles de servicio y las demoras por control. Estas propuestas buscan distribuir los espacios públicos y las vías de acceso de acuerdo a los parámetros vehiculares y peatonales que garanticen una movilidad adecuada de todos los usuarios.

4.1 Análisis de resultados

En el cumplimiento de nuestros objetivos se busca determinar el nivel de servicio actual en la intersección estudiada, para ello se debe analizar el modelo de microsimulación, identificando las posibles deficiencias geométricas de la intersección. Para lograr este proceso, se recolectó datos de campo en la hora de mayor volumen vehicular. La información fue usada para modelar la condición actual. En la tabla 21 se muestra los aforos vehiculares empleados en el proceso de calibración y validación.

Tabla 21. Flujos de cada vía para la calibración t validación

		CALIBRACIÓN	VALIDACIÓN
AV. LA MARINA	SE-NO	2,486.00	2,531.00
	NO-SE	2,863.00	2,810.00
AV. SUCRE	NE-SO	736.00	770.00
	SO-NE	950.00	946.00
FLUJO TOTAL		7,035.00	7,057.00

Fuente: Elaboración Propia

De los datos mostrados en la tabla 21, se observa que los aforos para la calibración y validación son similares. En tal sentido se podría escoger cualquiera de los dos días para realizar nuestro estudio. Para la elaboración de nuestras propuestas consideraremos el aforo del día 1 con un volumen de 7035 Veh/hora.

En la Tabla 22 se ha elaborado un cuadro de resumen con los datos obtenidos del software Vissim en función a las 20 corridas realizadas en el nodo polígono de la intersección de la Av. LA Marina y Av. Antonio José de Sucre. El tiempo determinado para cada corrida es de

600 a 4200 segundos con una media vehicular de 7001 unidades y una demora promedio de 90.11 segundos. De acuerdo a los datos obtenidos revisamos la Fig. 29, la cual clasifica el nivel de servicio de las intersecciones en base a las demoras por control. Según los datos obtenidos en la simulación el nivel de servicio actual de la intersección es “F”.

Tabla 22. Calculo de Nodos del estado actual de la Intersección

EVALUACIÓN DE NUDOS				
Numero de Corridas	Intervalo de simulación (seg)	Volumen de Vehiculos	Demoras Promedio de los vehiculos (seg/veh)	Nivel de Servicio
1	600-4200	6969.00	86.23	LOS_F
2	600-4200	7026.00	96.94	LOS_F
3	600-4200	6968.00	92.33	LOS_F
4	600-4200	6954.00	91.63	LOS_F
5	600-4200	7014.00	93.51	LOS_F
6	600-4200	7015.00	90.56	LOS_F
7	600-4200	7035.00	84.80	LOS_F
8	600-4200	7019.00	87.77	LOS_F
9	600-4200	7022.00	88.82	LOS_F
10	600-4200	7012.00	85.54	LOS_F
11	600-4200	6984.00	85.48	LOS_F
12	600-4200	7008.00	89.57	LOS_F
13	600-4200	7003.00	92.42	LOS_F
14	600-4200	7022.00	87.40	LOS_F
15	600-4200	7001.00	92.50	LOS_F
16	600-4200	7002.00	92.06	LOS_F
17	600-4200	6996.00	82.43	LOS_F
18	600-4200	6986.00	99.92	LOS_F
19	600-4200	7013.00	93.21	LOS_F
20	600-4200	6975.00	89.16	LOS_F
Average	600-4200	7001.20	90.11	
Standard deviation	600-4200	22.01	4.27	
Minimum	600-4200	6954.00	82.43	
Maximum	600-4200	7035.00	99.92	

Fuente: Elaboración Propia

El nivel de servicio “F” en la intersección de la Av. La Marina con la Av. Antonio Jose de Sucre evidencia un gran problema de congestionamiento vehicular ocasionado por la gran demanda que es producido por la Av. La Marina vía de acceso que capta un gran volumen de vehículos provenientes del Callao. Cuando un vehículo intenta cruzar la intersección experimenta 2 tipos de demoras: la demora geométrica, ocasionada por la presencia de la intersección misma; y la demora por cola que corresponde al tiempo que tarda el conductor en la espera del cruce. Ambas demoras contribuyen a la pérdida de tiempo adicional durante un viaje.

4.2 Propuesta de mejora

Luego de realizar la evaluación de la situación real de la intersección, propondremos tres propuestas de mejora en el diseño geométricas de la vía para evaluar la mejora de los niveles de servicio de la intersección cumpliendo con el objetivo principal del presente estudio.

- Rediseño geométrico de la intersección
- Optimización del ciclo semafórico.
- Desplazamiento de paraderos

4.2.1 Rediseño geométrico de la intersección –Desplazamiento de Paraderos

El estudio sirvió para considerar los cruces peatonales, el rediseño de rampas, encauzamiento del tráfico vehicular (ancho de carril para la intersección) y ampliar los separadores centrales (islas de refugio), en la Av. La Marina, de igual modo para la Av. Antonio José de Sucre, se amplió los separadores centrales.

Figura 53. Vista del planteamiento de rediseño geométrico en la intersección

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.1 Cruces peatonales

Los cruces peatonales se ubican preferentemente en las esquinas e intersecciones de calles (bocacalles). El diseño universal es recomendable que el ancho del rebaje coincida en ubicación y ancho, las sendas peatonales pintadas en la calzada que indican el cruce peatonal

permitido. Para nuestro proyecto, se unificará las distancias de los cuatro crueros peatonales o paso peatonal¹⁸.

Asimismo, la línea de carril tiene por función separar los carriles de circulación de la calzada de dos o más carriles en el mismo sentido. Siendo de color blanco, discontinua o segmentada; puede presentar tramos continuos o una combinación de ambas, por limitaciones de las características geométricas de la vía y su operación ver figura 54.

Figura 54. Crueros peatonales y líneas de carril

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.2 Rediseño de rampas

En nuestro proyecto mejoraremos la accesibilidad universal, para personas discapacitadas y de personas adultas mayores; se mejorará las rutas accesibles que permiten el desplazamiento y la atención de las personas con discapacidad, en las mismas condiciones q el público en general¹⁹. Ver figura 55

¹⁸ Cfr. Resolución Directoral N° 16-2016.MTC/14, 2016:270

¹⁹ Cfr. Normas técnicas para adecuación urbanísticas- CONADIS. Norma Técnica A.120, 2014:7

Figura 55. Disposiciones de norma técnica, rutas accesibles (Rampa)

Fuente: Elaboración propia

En la norma técnica peruana, las rampas deben ser de 0.90 m. de ancho, medido entre las caras internas de los paramentos que la limitan. Para nuestro proyecto consideramos 1.00 ancho, para accesibilidad y confort del usuario. Las condiciones de diseño de las rampas según la diferencia de niveles deben cumplir la pendiente máxima:

Tabla 23. Dimensionamiento reglamentario para diseño de rampas

Fuente: Norma Técnica A.120 RNE

Diferencia de nivel	Pendiente máxima
Hasta 0.25 m.	12%
De 0.26 m. hasta 0.75 m.	10%
De 0.76 m. hasta 1.20 m.	8%
De 1.21 m. hasta 1.80 m.	6%
De 1.81 m. hasta 2.00 m.	4%
De 2.01 m. a más	2%

Para nuestro proyecto consideramos las dimensiones de la rampa una pendiente de 10%²⁰, es decir, en nuestro caso consideraremos una longitud de 1.50 m. que son menores al ancho de la vereda a la que pertenecen.

²⁰ Cfr. Norma Técnica A.120 "Accesibilidad Universal en Edificaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones 2019:12.

Figura 56. Rampa de intersección Av. La Marina y Av. A. Sucre

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.3 Encauzamiento del tráfico vehicular

El ancho actual de la vía incita a los conductores a transitar a una mayor velocidad al contar con gran espacio para la conducción. Por ello se planteó reducir el ancho de las vías en Av. La Marina de 3.30 a 3.10 m. y en la Av. A. Sucre de 3.5 a 3.1 m. por carril, de esta manera se reduce la velocidad de operación y giro de los vehículos, ver figura 57.

En la intersección, la salida de Av. A. Sucre hacia la Av. La Marina (N-S), existen total 6 carriles (4 carriles de 3.60m. y 2 carriles de 3.50m.) y se redujo a 3.10 m. unificando el ancho de carril y ganando espacio para as islas de refugio.

Figura 57. Separación de carriles 3.10 m., en la Av. La Marina y Av. A. Sucre

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.4 Separador central

La isla de refugio se denomina así al área que divide los carriles de circulación. Es recomendable que tenga, como mínimo, el mismo ancho que el paso de peatones y una profundidad mínima de 1.50 m.²¹ El espacio de espera debe mantener la altura de la calzada para asegurar la continuidad del itinerario.

Para el proyecto se ampliaron los separadores centrales que cumplen una función de salvaguardar a los peatones en el tiempo que existe el cambio de ámbar a rojo u otras actividades, ver tabla 24.

Tabla 24. Dimensionamiento propuesto para el separador central

Descripción	Separador central	
	Ancho Actual	Ancho de Mejora
Av. La Marina hacia Callao	2.37 m.	3.40 m.
Av. La Marina hacia San Isidro	1.78 m.	3.00 m.
Av. A. José Sucre hacia costanera	0.80 m.	3.60 m.
Av A. José Sucre hacia Pueblo Libre	1.00 m.	3.44 m.

Fuente: Elaboración propia

Para el proyecto se ampliaron los separadores centrales que cumplen una función de salvaguardar a los peatones en el tiempo que existe el cambio de ámbar a rojo u otras actividades que se verá la Av. La Marina y Av. Sucre, Ver figura 58.

²¹ Cfr. Hacia una ciudad Accesible, criterio de diseño accesible. 2015:40

Figura 58. Separador central en propuesta de rediseño geométrico

Fuente: Elaboración propia

Con las mejoras ya mencionadas se procedió a analizar el modelo, en la intersección de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre. Cabe mencionar que se mantuvo constante todos los otros factores como: Aforos, tiempos de viaje, ciclos semafóricos, etc.

Tabla 25. Cálculo de Nodos propuesta de mejora geométrica

EVALUACIÓN DE NUDOS				
Numero de Corridas	Intervalo de simulación (seg)	Volumen de Vehiculos	Demoras Promedio de los vehiculos (seg/veh)	Nivel de Servicio
1	600-4200	7012.00	84.25	LOS_F
2	600-4200	6987.00	80.12	LOS_F
3	600-4200	6968.00	79.85	LOS_E
4	600-4200	7035.00	85.36	LOS_F
5	600-4200	7015.00	84.25	LOS_F
6	600-4200	7021.00	83.21	LOS_F
7	600-4200	6978.00	85.25	LOS_F
8	600-4200	7012.00	86.24	LOS_F
9	600-4200	7017.00	81.24	LOS_F
10	600-4200	6987.00	79.98	LOS_E
11	600-4200	6980.00	85.36	LOS_F
12	600-4200	7015.00	84.74	LOS_F
13	600-4200	6958.00	89.25	LOS_F
14	600-4200	7018.00	91.20	LOS_F
15	600-4200	7002.00	93.24	LOS_F
16	600-4200	6945.00	84.25	LOS_F
17	600-4200	6963.00	87.34	LOS_F
18	600-4200	6997.00	81.14	LOS_F
19	600-4200	6986.00	83.67	LOS_F
20	600-4200	7015.00	89.58	LOS_F
Average	600-4200	6996	84.98	
Standard deviation	600-4200	24.56	3.73	
Minimum	600-4200	6945.00	79.85	
Maximum	600-4200	7035.00	93.24	

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 25 se muestra el resumen del cálculo de Nodos de la propuesta del cambio geométrico, el software Vissim realizó 20 corridas en un rango de tiempo de 600 a 4200 segundos. De los resultados se observa que las mejoras de movilidad para el peatón no influenciaron en la mejora del nivel de servicio de la intersección debido a que solo se redujo las demoras por control en 5.13 segundos, manteniendo el nivel de servicio en “F”, cabe

mencionar que este ajuste de geometría es importante por lo cual se incluirá dentro de las mejoras en las propuestas siguientes a fin de mejorar la seguridad y movilidad de los peatones en la intersección.

4.2.2 Optimización de ciclo semafórico

La propuesta de mejora del ciclo semafórico consiste en disminuir el tiempo del ciclo semafórico de 210 segundos a 120 segundos. Esta reducción del ciclo semafórico fue recomendada en un estudio anterior el cual empleo el software Synchro 8 para reducir el congestionamiento en la intersección de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre.

Figura 59. Mejora de ciclo semafórico en la intersección

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26. Cálculo de Nodos de la propuesta de Optimización de Ciclo Semafórico

Fuente: Elaboración Propia

EVALUACIÓN DE NUDOS				
Numero de Corridas	Intervalo de simulación (seg)	Volumen de Vehiculos	Demoras Promedio de los vehiculos (seg/veh)	Nivel de Servicio
1	600-4200	6997.00	68.34	LOS_E
2	600-4200	6920.00	66.58	LOS_E
3	600-4200	7005.00	65.16	LOS_E
4	600-4200	6941.00	67.46	LOS_E
5	600-4200	7000.00	68.11	LOS_E
6	600-4200	7033.00	65.65	LOS_E
7	600-4200	6984.00	63.61	LOS_E
8	600-4200	7015.00	62.84	LOS_E
9	600-4200	7005.00	68.10	LOS_E
10	600-4200	6945.00	65.43	LOS_E
11	600-4200	6980.00	67.03	LOS_E
12	600-4200	7000.00	64.38	LOS_E
13	600-4200	6950.00	60.92	LOS_E
14	600-4200	7012.00	66.26	LOS_E
15	600-4200	7021.00	66.98	LOS_E
16	600-4200	6897.00	64.13	LOS_E
17	600-4200	7011.00	63.23	LOS_E
18	600-4200	7012.00	64.34	LOS_E
19	600-4200	6984.00	66.97	LOS_E
20	600-4200	6985.00	69.88	LOS_E
Average	600-4200	6985	65.77	
Standard deviation	600-4200	36.12	2.21	
Minimum	600-4200	6897.00	60.92	
Maximum	600-4200	7033.00	69.88	

En la Tabla 26 se muestra el resumen del cálculo de Nodos de la propuesta de mejora del ciclo semafórico manteniendo las condiciones geométricas actuales, el software Vissim realizó 20 corridas, en un rango de tiempo de 600 a 4200 segundos. Se puede apreciar que la disminución del ciclo semafórico mejoro el nivel de servicio de la intersección, La demora promedio paso de 90.11 segundos a 69.88 segundos. El nivel de Servicio debido a la optimización del ciclo semafórico mejoro levemente obteniendo un nivel “E”. Cabe mencionar que esta propuesta se integrara a la propuesta final a fin de mejorar la circulación de vehículos en la intersección.

4.2.3 Desplazamiento de Paraderos

La tercera propuesta de mejora consiste en el desplazamiento de paraderos, para evitar la congestión derivada de las paradas de buses; el desplazamiento de paraderos solo se realizará en la Av. La Marina. En dirección al Callao se aprovechará el área de los carriles auxiliares para agregar un paradero para tres de buses y/o custers y/o taxis, y flujo de peatones. Con sentido de Av. La Marina hacia Javier Prado el paradero se ubicará pasando el grifo, con la finalidad de no obstruir la salida de vehículos del grifo solo se implementara 2 estacionamientos para buses y/o custers y/o taxis.

Figura 60. Propuesta de mejora, desplazamiento de los paraderos de la Av. La Marina

Fuente: Elaboración propia

Figura 61. Propuesta de mejora, desplazamiento de los paraderos de la Av. La Marina

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Cálculo de Nodos de la propuesta de mejora en cambio de geometría

EVALUACIÓN DE NUDOS				
Numero de Corridas	Intervalo de simulación (seg)	Volumen de Vehiculos	Demoras Promedio de los vehiculos (seg/veh)	Nivel de Servicio
1	600-4200	6987.00	43.71	LOS_D
2	600-4200	6920.00	42.27	LOS_D
3	600-4200	7005.00	41.49	LOS_D
4	600-4200	6941.00	40.99	LOS_D
5	600-4200	7000.00	38.10	LOS_D
6	600-4200	7033.00	40.91	LOS_D
7	600-4200	6984.00	39.93	LOS_D
8	600-4200	7015.00	41.15	LOS_D
9	600-4200	7005.00	42.14	LOS_D
10	600-4200	6945.00	42.81	LOS_D
11	600-4200	6998.00	44.56	LOS_D
12	600-4200	7014.00	37.41	LOS_D
13	600-4200	6950.00	43.70	LOS_D
14	600-4200	7012.00	42.13	LOS_D
15	600-4200	6989.00	41.85	LOS_D
16	600-4200	7025.00	42.05	LOS_D
17	600-4200	7011.00	40.75	LOS_D
18	600-4200	6912.00	43.90	LOS_D
19	600-4200	7025.00	44.76	LOS_D
20	600-4200	7034.00	41.57	LOS_D
Average	600-4200	6990	41.81	
Standard deviation	600-4200	37.01	1.91	
Minimum	600-4200	6912.00	37.41	
Maximum	600-4200	7034.00	44.76	

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 27 se muestra el resumen del cálculo de Nodos de la propuesta del cambio geométrico, el software Vissim realizó 20 corridas, en un rango de tiempo de 600 a 4200 segundos. Se puede apreciar que el desplazamiento de paraderos mejoro el nivel de servicio de la intersección, La demora promedio paso de 90.11 segundos a 41.81 segundos. Por lo tanto, la propuesta de desplazamientos de paraderos complementados con los cambios geométricos y reducción de ciclos semafóricos mejoraron el nivel de servicio de la intersección a un Nivel “D”. Esto genera una mejora en la comodidad y convivencia para los conductores reduciendo los tiempos de demora en el cruce.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES

- El empleo del software Vissim V.9.0 nos permitió representar de manera correcta las condiciones de tránsito de la intersección de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre, esto debido a que el software permite la modificación de los parámetros de Wiedemann, los cuales representan el comportamiento de los vehículos y los conductores simulando de manera real distintos escenarios para validar nuestras propuestas.
- La demora promedio para cruzar la intersección de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de Sucre es de 90 segundos. Según la clasificación de la HCM la intersección se ubica en un nivel de servicio “F”. Esto evidencia que la capacidad de diseño de la intersección ha sido sobrepasada y presenta deficiencias en su funcionamiento.
- La propuesta de desplazamiento de paraderos, integra las propuestas de cambios en la geometría y disminución del ciclo semafórico. Estas propuestas en conjunto mejoraron el nivel de servicio de la intersección a un Nivel “D”, la cual permitió reducir las demoras promedio de la intersección en un 54%.
- Un estudio previo los Ingenieros Alberto del Mar e Inés Vásquez, propusieron que al modificar los tiempos de los ciclos semafóricos mejoraría el nivel de servicio de la intersección. En su análisis con el software Synchro 8 obtuvieron un nivel de servicio “C”. En nuestra tesis se determinó que cambiando los tiempos de los ciclos semafóricos el nivel de servicio obtenido se ubicaría en el nivel “E”, esto se puede explicar debido a que el análisis que realizaron anteriormente se basó en un estudio mesoscópico y para ello emplearon el software Synchro 8 la cual presenta limitaciones en el modelamiento de tipologías como giros a la izquierda, vueltas en U, cambios de carriles.
- La deficiente señalización vertical y horizontal verificada en la intersección, influye en el dilema del comportamiento de los conductores, siendo estas un sistema de comunicación visual que cumplen la función de orientar al peatón y vehículos.
- Según los resultados obtenidos, se concluye que un correcto estudio de aforo vehicular, medidas geométricas, tiempos semafóricos, etc., podrían generar errores

mínimos en el modelado en la intersección ya sea por índole de experiencia y/o deficiencia al software.

CAPITULO 6. RECOMENDACIONES

- Para el estudio de intersecciones podemos recomendar el uso del Software Vissim, primero a la facilidad de modelar comportamiento de un sistema de manera detallada y segundo a la ventaja de poder obtener parámetros de estudio que permitan analizar el comportamiento vehicular como son: Tiempos de viaje, longitudes de cola, ciclos semafóricos, niveles de servicios, demoras por control, etc.
- Para un mejor análisis a nuestro estudio se debe incluir a la intersección de la Av. La Marina con la Av. Paseo Libertad, debido a que estos se encuentran muy cercanas y la congestión vehicular que se pueda presentar en una de las intersecciones influye de manera directa a la otra.
- Debido al incremento de vehículos en la zona de estudio, se recomienda restringir las vueltas en U y los giros a la izquierda, las cuales deben ser sustituidas por rutas alternas que no causen mayor congestión en las vías.
- Para estudios posteriores se recomienda complementar el estudio peatonal de la intersección a fin de complementar el estudio realizado en la intersección.
- La metodología empleada para el modelamiento de la intersección de estudio puede emplearse como guía para futuras investigaciones de intersecciones semaforizadas en la cual se requiera evaluar el nivel de servicio de una intersección.
- La ubicación de paraderos antes de los cruces generar mayor congestión vehicular, por ello se recomienda ubicar los paraderos cruzando la intersección a fin de disminuir los conflictos de giros a la derecha ocasionados por el transporte público.
- En las zonas donde se tenga espacio se recomienda implementar bahías para el transporte público, en caso no se cuente con el espacio necesario se recomienda delimitar el carril de paraderos de buses mediante marcas en el piso, tachas o sardineles de manera que permita canalizar los vehículos de transporte público.

CAPITULO 7. REFERENCIAS

Alcalá Ramos, M. A. (2016). Microsimulación del tráfico de la intersección de las avenidas Bolívar, Córdova y calle Andalucía empleando el software Vissim 6. Lima.

Alvarez, V.J. (2017). Micro-simulación Intermodal en la Ciudad del Cusco empleando el software Vissim 8 y Vismalk8. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Benekohal, R. (1991). Procedure for validation of microscopic traffic flow simulation models. Transportation Research Record n1320.p190-202

CAL Y MAYOR, R., Cárdenas, J. Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones, 8va. Ed. México. Alfa omega. 2007.

Carvalho, M. (2015). Discrete and continuous simulation. [Presentación en power point]. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/chienql/discrete-and-continuous-simulation-presentation>.

Comité Distrital de Seguridad Ciudadana (CODISEC-PUEBLO LIBRE) (2020) Plan Distrital de Seguridad Ciudadana 2020. Lima

Dextre, J. (200). Modelo de simulación de Tráfico vehicular.

Dowling, R., Skabardonis, A., Halkias, J., McHale, G., & Zammit, G. (2004). Guidelines for Calibration of Microsimulation models. Wasington, United State: Journal of the Transportation Research Board.

Elefteriadou, L (2013). An introudction of to traffic flow theory.

GARBER, N., & HOEL, L. (2005). Ingeniería de Tránsito y Carreteras (3ra. ed.). (I. T. Materia, Ed.) Virginia, Estados Unidos: Thomson

FHWA. (2004). Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software. Virgina, EEUU.

Fellendorf, M. & Vortisch, P. (2010). Microscopic traffic flow simulator Vissim. Alemania: International Series in Operation Research and Management Science.

FERNANDEZ, Rodrigo (2008) Elementos de la teoría del tráfico vehicular. Santiago de Chile: Universidad de los Andes.

Howard, M. & Karlin, S. (1998). An introduction to stochastic modeling (3rd edition). San Diego: Academic press.

INRIX. (2019). Global Traffic Scorecard. Traffic Scorecard Infographic. Kirkland, Washington, Estados Unidos. Recuperado el 25 de Abril de 2020, de <http://inrix.com/scorecard/>

Lima cómo vamos, X Informe de percepción sobre calidad de vida en Lima y Callao, Lima: PUCP, 2019.

Mathew, T. (2014). Transportation Systems Engineering. Powai, India.

Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras (2016). Resolución Directoral N° 16-2016-MTC/14.

Manual de diseño geométrico de vías urbanas – 2005 – VCHI, icg/www.construcción.org.pe

Manuel Silvera (2020). Gestión y operación de vías urbanas y carreteras. Programa de actualización profesional de Ingeniería Civil – UPC.

Narváez, R., & Zapardiel, A. (2015). Modelación del Tránsito Vehicular en el Sector Bomba el Ampari - Sao la Plazuela, Cratagena por Medio del Software PTV Vissim. Cartagena: Universidad de Cartagena.

PTV VISSIM 8 (2015). User Guide

Siddharth S. & Gitakrishnan R. (2013). Calibration of VISSIM for Indian Heterogeneous Traffic Conditions. Chennai: Department of Civil Engineering.

Suárez, C. L. (2007). Análisis y Evaluación Operacional de Intersecciones Urbanas Mediante Microsimulación. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Weinstein, M. C., Bernie, O., John, H., Josep, J., Magnus, J., Chris, M., & Bryan R., L. (2003). Principles of Good Practice for Decision Analytic Modeling in Health-Care Evaluation. United States: ISPOR.

Zúñiga, A. V. (2010). Uso de Herramientas de Microsimulación para la Definición de Estrategias de Control de Tránsito para la Ciudad de Santiago. Santiago de Chile.

ANEXO N° 1

REGISTRO DE TRÁFICO – APLICATIVO WAZE

PLANO DE UBICACIÓN

PLANO DE SECCIONES TÍPICAS

PLANO DE GEOMETRÍA ACTUALIDAD

ANEXO N° 5

PROCESAMIENTO DE DATOS - AFORO VEHICULAR

(05 de Noviembre 2019)

AFORO VEHICULAR
Intersección: Av. La Marina y Av. Antonio José De Sucre
Fecha: 05-nov-19
Atrador: EC-JP
Día: Martes

Sentido: NE - SO
H. Inicial: 06:00
H. Final: 10:00

HORARIO	VEHICULO LIGERO AUTO y CAMIONETA RURAL				VEHICULO PESADO MICROBUS Y CAMION				TOTAL VEHICULOS MX.HORA
	11	12	13	14	11	12	13	14	
06:00 - 06:15	26	1	5	0	7	0	0	0	47
06:15 - 06:30	51	0	7	0	12	0	0	0	70
06:30 - 06:45	134	0	3	0	20	0	0	0	132
06:45 - 07:00	94	2	8	0	20	0	0	0	124
07:00 - 07:15	144	2	7	0	23	0	0	0	175
07:15 - 07:30	142	2	3	0	19	0	0	0	163
07:30 - 07:45	144	0	6	0	17	0	0	0	167
07:45 - 08:00	185	1	3	0	20	0	0	0	212
08:00 - 08:15	112	0	4	0	13	0	0	0	129
08:15 - 08:30	124	0	0	0	12	0	0	0	144
08:30 - 08:45	173	3	2	0	14	0	0	0	194
08:45 - 09:00	199	2	4	0	24	2	0	0	241
09:00 - 09:15	126	1	1	0	17	0	1	0	146
09:15 - 09:30	126	3	3	0	14	0	0	0	139
09:30 - 09:45	145	1	5	0	18	0	0	0	167
09:45 - 10:00	34	1	1	0	19	0	0	0	112
TOTAL	1914	25	43	0	245	3	1	0	2266
Pico	935	5	18	0	73	0	0	0	734

AFORO VEHICULAR
Intersección: Av. La Marina y Av. Antonio José De Sucre
Fecha: 05-nov-19
Atrador: EC-JP
Día: Martes

Sentido: SO - NE
H. Inicial: 06:00
H. Final: 10:00

HORARIO	VEHICULO LIGERO AUTO y CAMIONETA RURAL				VEHICULO PESADO MICROBUS Y CAMION				TOTAL VEHICULOS MX.HORA
	31	33	33	34	31	32	33	34	
06:00 - 06:15	42	4	5	0	5	0	0	0	56
06:15 - 06:30	62	0	4	0	5	0	0	0	71
06:30 - 06:45	86	11	3	0	13	0	0	0	113
06:45 - 07:00	139	14	4	0	24	0	0	0	181
07:00 - 07:15	159	10	6	0	18	2	0	0	177
07:15 - 07:30	231	20	10	0	14	2	0	0	267
07:30 - 07:45	175	13	3	0	21	3	0	0	215
07:45 - 08:00	214	19	4	0	40	4	0	0	284
08:00 - 08:15	182	16	2	0	30	2	0	0	237
08:15 - 08:30	190	13	5	0	37	4	0	0	249
08:30 - 08:45	234	17	3	0	34	3	0	0	265
08:45 - 09:00	213	12	3	0	19	0	0	0	248
09:00 - 09:15	148	20	4	0	23	3	0	0	203
09:15 - 09:30	192	22	3	0	23	2	0	0	244
09:30 - 09:45	166	5	1	0	15	0	0	0	187
09:45 - 10:00	170	21	1	0	21	0	0	0	219
TOTAL	2558	230	71	0	342	25	0	0	3336
Pico	755	85	23	0	98	11	0	0	990

AFORO VEHICULAR
Intersección: Av. La Marina y Av. Antonio José De Sucre
Fecha: 05-nov-19
Atrador: EC-JP
Día: Martes

Sentido: SO - NE
H. Inicial: 06:00
H. Final: 10:00

HORARIO	VEHICULO LIGERO AUTO y CAMIONETA RURAL				VEHICULO PESADO MICROBUS Y CAMION				TOTAL VEHICULOS MX.HORA
	41	42	42	44	41	42	43	44	
06:00 - 06:15	280	16	0	0	14	10	0	0	310
06:15 - 06:30	375	19	0	0	16	19	0	0	428
06:30 - 06:45	505	32	0	0	26	39	0	0	589
06:45 - 07:00	481	27	1	0	30	23	0	0	478
07:00 - 07:15	721	37	0	0	34	32	0	0	804
07:15 - 07:30	670	30	2	0	27	34	0	0	763
07:30 - 07:45	680	34	0	0	37	24	0	0	885
07:45 - 08:00	510	27	0	0	35	38	0	0	811
08:00 - 08:15	835	55	0	0	21	35	0	0	790
08:15 - 08:30	460	49	1	0	27	33	0	0	512
08:30 - 08:45	516	30	1	0	23	24	2	0	636
08:45 - 09:00	688	38	1	0	31	38	1	0	827
09:00 - 09:15	580	31	0	0	22	28	0	0	679
09:15 - 09:30	439	41	0	0	34	27	0	0	541
09:30 - 09:45	470	30	0	0	26	23	0	0	554
09:45 - 10:00	544	33	1	0	30	33	0	0	641
TOTAL	6267	445	17	0	467	492	3	0	6663
Pico	2491	128	7	0	109	128	0	0	2963

AFORO VEHICULAR
Intersección: Av. La Marina y Av. Antonio José De Sucre
Fecha: 05-nov-19
Atrador: EC-JP
Día: Martes

Sentido: SE - NO
H. Inicial: 06:00
H. Final: 10:00

HORARIO	VEHICULO LIGERO AUTO y CAMIONETA RURAL				VEHICULO PESADO MICROBUS Y CAMION				TOTAL VEHICULOS MX.HORA
	21	22	23	24	21	22	23	24	
06:00 - 06:15	293	8	0	0	15	1	0	0	317
06:15 - 06:30	299	3	0	0	27	1	0	0	330
06:30 - 06:45	379	4	1	0	42	0	0	0	429
06:45 - 07:00	479	4	0	0	36	0	0	0	518
07:00 - 07:15	618	3	2	1	37	0	0	0	667
07:15 - 07:30	721	2	1	2	44	0	0	0	769
07:30 - 07:45	882	4	1	1	40	0	0	0	928
07:45 - 08:00	900	1	1	0	48	1	0	0	951
08:00 - 08:15	905	1	1	0	50	0	0	0	957
08:15 - 08:30	635	1	1	0	55	0	0	0	692
08:30 - 08:45	569	1	1	2	64	0	0	0	627
08:45 - 09:00	580	4	1	0	53	2	0	0	649
09:00 - 09:15	479	4	1	0	40	0	1	1	523
09:15 - 09:30	523	0	1	3	40	0	0	0	567
09:30 - 09:45	488	1	1	0	42	0	0	0	532
09:45 - 10:00	532	1	1	0	43	0	0	0	577
TOTAL	7828	39	12	6	646	5	1	1	8496
Pico	2298	9	4	1	168	1	0	0	2486

ANEXO N° 6

PROCESAMIENTO DE DATOS - FLUJOGRAMA EN HORARIO PICO

(05 de Noviembre 2019)

ANEXO N° 7

PROCESAMIENTO DE DATOS - AFORO VEHICULAR

(07 de Noviembre 2019)

AFORO VEHICULAR
Intersección: Av. La Marina y Av. Antonio José De Sucre
Fecha: 07-nov-19
Alorador: EC-UP
Día: Jueves

Sentido: NE - SO
H. Inicial: 06:00
H. Final: 10:00

HORARIO	VEHICULO LIGERO AUTO y CAMIONETA RURAL				VEHICULO PESADO MICROBUS Y CAMION				TOTAL VEHICULOS MIL/HORA
	11	12	13	14	11	12	13	14	
06:00 - 06:15	37	2	1	3	8	0	0	0	48
06:15 - 06:30	55	3	8	3	10	0	0	0	74
06:30 - 06:45	82	3	8	0	24	0	0	0	114
06:45 - 07:00	110	4	8	0	25	0	0	0	145
07:00 - 07:15	148	4	5	0	26	0	0	0	185
07:15 - 07:30	156	6	5	0	21	0	0	0	184
07:30 - 07:45	165	2	8	0	16	0	0	0	194
07:45 - 08:00	178	3	8	0	19	0	0	0	207
08:00 - 08:15	140	0	2	0	16	0	0	0	158
08:15 - 08:30	121	0	4	0	10	0	0	0	148
08:30 - 08:45	142	4	3	0	12	0	0	0	181
08:45 - 09:00	121	2	2	0	20	0	0	0	145
09:00 - 09:15	120	0	0	0	16	0	0	0	141
09:15 - 09:30	115	2	1	0	16	0	0	0	134
09:30 - 09:45	132	2	4	0	14	0	0	0	162
09:45 - 10:00	109	3	2	0	12	0	0	0	122
TOTAL	1881	44	89	0	279	0	0	0	2323
T_{med}	641	15	22	0	64	0	0	0	779

AFORO VEHICULAR
Intersección: Av. La Marina y Av. Antonio José De Sucre
Fecha: 07-nov-19
Alorador: EC-UP
Día: Jueves

Sentido: SO - NE
H. Inicial: 06:00
H. Final: 10:00

HORARIO	VEHICULO LIGERO AUTO y CAMIONETA RURAL				VEHICULO PESADO MICROBUS Y CAMION				TOTAL VEHICULOS MIL/HORA
	41	42	43	44	41	42	43	44	
06:00 - 06:15	301	18	2	3	15	7	0	0	343
06:15 - 06:30	354	25	2	0	20	14	2	0	417
06:30 - 06:45	468	36	1	0	27	32	2	0	568
06:45 - 07:00	605	32	2	0	38	19	0	0	683
07:00 - 07:15	586	30	0	0	35	26	1	0	769
07:15 - 07:30	657	34	4	0	26	36	0	0	769
07:30 - 07:45	551	39	4	0	25	20	0	0	643
07:45 - 08:00	527	32	0	0	30	34	2	0	628
08:00 - 08:15	511	43	8	0	34	32	2	0	630
08:15 - 08:30	468	47	3	0	38	27	1	0	588
08:30 - 08:45	516	50	4	0	29	30	4	0	627
08:45 - 09:00	545	48	3	0	27	35	2	0	658
09:00 - 09:15	538	55	3	0	25	30	2	0	653
09:15 - 09:30	457	47	2	0	28	25	0	0	559
09:30 - 09:45	485	30	1	0	30	20	2	0	543
09:45 - 10:00	468	35	2	0	29	25	2	0	540
TOTAL	5839	506	43	0	443	462	33	0	6839
T_{med}	2415	140	14	0	122	116	3	0	2810

AFORO VEHICULAR
Intersección: Av. La Marina y Av. Antonio José De Sucre
Fecha: 07-nov-19
Alorador: EC-UP
Día: Jueves

Sentido: SO - NE
H. Inicial: 06:00
H. Final: 10:00

HORARIO	VEHICULO LIGERO AUTO y CAMIONETA RURAL				VEHICULO PESADO MICROBUS Y CAMION				TOTAL VEHICULOS MIL/HORA
	31	32	33	34	31	32	33	34	
06:00 - 06:15	48	0	2	0	4	1	0	0	60
06:15 - 06:30	84	2	0	0	7	0	0	0	79
06:30 - 06:45	79	0	0	0	18	3	1	0	113
06:45 - 07:00	129	12	0	0	20	0	1	0	168
07:00 - 07:15	145	14	7	0	32	0	2	0	199
07:15 - 07:30	229	19	0	0	10	4	1	0	262
07:30 - 07:45	216	14	0	0	14	4	2	0	250
07:45 - 08:00	281	19	2	0	24	8	1	0	344
08:00 - 08:15	120	12	2	0	28	3	1	0	237
08:15 - 08:30	187	12	3	0	32	8	0	0	241
08:30 - 08:45	190	14	0	0	30	3	0	0	249
08:45 - 09:00	213	13	3	0	18	0	0	0	248
09:00 - 09:15	188	17	3	0	18	2	1	0	227
09:15 - 09:30	190	18	0	0	21	2	2	0	234
09:30 - 09:45	171	10	2	0	17	1	0	0	201
09:45 - 10:00	164	10	3	0	25	2	3	0	212
TOTAL	2677	198	44	0	318	28	19	0	3328
T_{med}	719	57	22	0	72	12	6	0	848

AFORO VEHICULAR
Intersección: Av. La Marina y Av. Antonio José De Sucre
Fecha: 07-nov-19
Alorador: EC-UP
Día: Jueves

Sentido: SE - NO
H. Inicial: 06:00
H. Final: 10:00

HORARIO	VEHICULO LIGERO AUTO y CAMIONETA RURAL				VEHICULO PESADO MICROBUS Y CAMION				TOTAL VEHICULOS MIL/HORA
	21	22	23	24	21	22	23	24	
06:00 - 06:15	258	0	0	0	14	2	0	0	277
06:15 - 06:30	305	4	0	0	24	0	0	0	333
06:30 - 06:45	381	4	1	0	42	0	0	0	428
06:45 - 07:00	457	6	2	0	38	0	0	0	503
07:00 - 07:15	481	4	4	0	41	3	0	0	553
07:15 - 07:30	593	2	0	0	47	0	0	0	743
07:30 - 07:45	529	6	4	0	41	3	2	0	579
07:45 - 08:00	514	2	0	0	42	2	1	0	559
08:00 - 08:15	508	2	3	0	43	1	0	0	549
08:15 - 08:30	528	2	0	0	61	2	0	0	591
08:30 - 08:45	578	2	3	0	57	0	0	0	632
08:45 - 09:00	578	1	2	0	58	1	2	0	640
09:00 - 09:15	496	2	0	0	58	0	1	0	543
09:15 - 09:30	486	2	2	0	47	0	1	0	549
09:30 - 09:45	485	2	0	0	41	1	2	0	528
09:45 - 10:00	490	4	3	0	45	2	2	0	549
TOTAL	5868	50	24	0	579	18	11	0	6838
T_{med}	2328	19	8	0	169	8	3	0	2521

ANEXO N° 8

PROCESAMIENTO DE DATOS - FLUJOGRAMA EN HORARIO PICO

(07 de Noviembre 2019)

ANEXO N° 7

TIEMPOS DE VIAJE VEHICULARES EN LA INTERSECCIÓN - CALIBRACIÓN

AV. LA MARINA NO-SE				AV. LA MARINA SE-NO			
# Vehículos	Distancia (m)	Tiempo (sg)	Velocidad (Km/h)	# Vehículos	Distancia (m)	Tiempo (sg)	Velocidad (Km/h)
1	25	4.51	19.96	1	25	3.35	26.87
2	25	4.64	19.40	2	25	3.28	27.44
3	25	4.32	20.83	3	25	3.05	29.51
4	25	4.25	21.18	4	25	3.15	28.57
5	25	4.02	22.39	5	25	3.45	26.09
6	25	3.48	25.86	6	25	3.25	27.69
7	25	3.42	26.32	7	25	2.71	33.21
8	25	3.54	25.42	8	25	2.69	33.46
9	25	3.47	25.94	9	25	2.52	35.71
10	25	3.84	23.44	10	25	2.31	38.96
11	25	3.61	24.93	11	25	2.65	33.96
12	25	3.78	23.81	12	25	2.31	38.96
13	25	3.54	25.42	13	25	2.27	39.65
14	25	3.25	27.69	14	25	2.47	36.44
15	25	3.4	26.47	15	25	2.41	37.34
16	25	3.2	28.13	16	25	2.38	37.82
17	25	3.3	27.27	17	25	2.33	38.63
18	25	3.9	23.08	18	25	2.56	35.16
19	25	3.95	22.78	19	25	2.43	37.04
20	25	3.86	23.32	20	25	2.39	37.66
21	25	3.99	22.56	21	25	2.84	31.69
22	25	3.48	25.86	22	25	2.75	32.73
23	25	3.23	27.86	23	25	2.63	34.22
24	25	3.34	26.95	24	25	2.74	32.85
25	25	3.47	25.94	25	25	2.49	36.14
26	25	3.45	26.09	26	25	2.61	34.48
27	25	3.4	26.47	27	25	2.68	33.58
28	25	3.54	25.42	28	25	2.71	33.21
29	25	3.17	28.39	29	25	2.65	33.96
30	25	3.82	23.56	30	25	2.68	33.58
	25.00	3.67	24.76		25.00	2.69	33.89

AV. SUCRE NE-SO				AV. SUCRE SO-NE			
# Vehículos	Distancia (m)	Tiempo (sg)	Velocidad (Km/h)	Num. Vehic	Distancia (m)	Tiempo (sg)	Velocidad (Km/h)
1	28	4.21	23.94	1	28	4.48	22.50
2	28	4.25	23.72	2	28	4.5	22.40
3	28	4.23	23.83	3	28	4.55	22.15
4	28	4.28	23.55	4	28	4.53	22.25
5	28	4.35	23.17	5	28	4.58	22.01
6	28	4.28	23.55	6	28	4.25	23.72
7	28	4.26	23.66	7	28	4.16	24.23
8	28	4.24	23.77	8	28	4.05	24.89
9	28	4.33	23.28	9	28	3.93	25.65
10	28	4.17	24.17	10	28	3.78	26.67
11	28	4.15	24.29	11	28	3.64	27.69
12	28	4.03	25.01	12	28	3.59	28.08
13	28	4.22	23.89	13	28	3.56	28.31
14	28	4.32	23.33	14	28	3.54	28.47
15	28	4.17	24.17	15	28	3.61	27.92
16	28	3.83	26.32	16	28	3.64	27.69
17	28	3.63	27.77	17	28	3.84	26.25
18	28	3.52	28.64	18	28	3.74	26.95
19	28	3.57	28.24	19	28	3.84	26.25
20	28	3.61	27.92	20	28	4.02	25.07
21	28	3.65	27.62	21	28	3.98	25.33
22	28	3.74	26.95	22	28	3.85	26.18
23	28	3.85	26.18	23	28	3.93	25.65
24	28	3.94	25.58	24	28	3.74	26.95
25	28	3.84	26.25	25	28	3.98	25.33
26	28	3.74	26.95	26	28	3.85	26.18
27	28	3.57	28.24	27	28	3.84	26.25
28	28	3.52	28.64	28	28	3.7	27.24
29	28	3.48	28.97	29	28	3.65	27.62
30	28	3.43	29.39	30	28	3.63	27.77
	28.00	3.95	25.70		28.00	3.93	25.79

ANEXO N° 8

TIEMPOS DE VIAJE VEHICULARES EN LA INTERSECCIÓN - VALIDACIÓN

AV. LA MARINA NO-SE				AV. LA MARINA SE-NO			
# Vehiculos	Distancia (m)	Tiempo (sg)	Velocidad (Km/h)	# Vehiculos	Distancia (m)	Tiempo (sg)	Velocidad (Km/h)
1	25	4.59	19.61	1	25	3.41	26.39
2	25	4.32	20.83	2	25	3.33	27.03
3	25	4.62	19.48	3	25	3.09	29.13
4	25	4.05	22.22	4	25	3.13	28.75
5	25	4.31	20.88	5	25	3.43	26.24
6	25	3.55	25.35	6	25	3.35	26.87
7	25	3.53	25.50	7	25	2.81	32.03
8	25	3.57	25.21	8	25	2.61	34.48
9	25	3.5	25.71	9	25	2.53	35.57
10	25	3.81	23.62	10	25	2.32	38.79
11	25	3.59	25.07	11	25	2.67	33.71
12	25	3.8	23.68	12	25	2.34	38.46
13	25	3.51	25.64	13	25	2.31	38.96
14	25	3.29	27.36	14	25	2.46	36.59
15	25	3.39	26.55	15	25	2.45	36.73
16	25	3.24	27.78	16	25	2.35	38.30
17	25	3.35	26.87	17	25	2.31	38.96
18	25	3.87	23.26	18	25	2.54	35.43
19	25	3.91	23.02	19	25	2.41	37.34
20	25	3.85	23.38	20	25	2.38	37.82
21	25	3.94	22.84	21	25	2.84	31.69
22	25	3.47	25.94	22	25	2.71	33.21
23	25	3.26	27.61	23	25	2.65	33.96
24	25	3.35	26.87	24	25	2.76	32.61
25	25	3.45	26.09	25	25	2.46	36.59
26	25	3.47	25.94	26	25	2.65	33.96
27	25	3.47	25.94	27	25	2.67	33.71
28	25	3.51	25.64	28	25	2.69	33.46
29	25	3.21	28.04	29	25	2.67	33.71
30	25	3.83	23.50	30	25	2.71	33.21
25.00		3.69	24.65	25.00		2.70	33.79

AV. SUCRE NE-SO				AV. SUCRE SO-NE			
# Vehiculos	Distancia (m)	Tiempo (sg)	Velocidad (Km/h)	# Vehiculos	Distancia (m)	Tiempo (sg)	Velocidad (Km/h)
1	28	4.16	24.23	1	28	4.45	22.65
2	28	4.25	23.72	2	28	4.65	21.68
3	28	4.29	23.50	3	28	4.66	21.63
4	28	4.31	23.39	4	28	4.62	21.82
5	28	4.32	23.33	5	28	4.52	22.30
6	28	4.28	23.55	6	28	4.41	22.86
7	28	4.26	23.66	7	28	4.28	23.55
8	28	4.24	23.77	8	28	4.2	24.00
9	28	4.21	23.94	9	28	3.97	25.39
10	28	4.16	24.23	10	28	3.85	26.18
11	28	4.15	24.29	11	28	3.9	25.85
12	28	4.12	24.47	12	28	3.84	26.25
13	28	4.18	24.11	13	28	3.72	27.10
14	28	4.24	23.77	14	28	3.63	27.77
15	28	4.2	24.00	15	28	3.65	27.62
16	28	4.08	24.71	16	28	3.75	26.88
17	28	3.81	26.46	17	28	3.76	26.81
18	28	3.65	27.62	18	28	3.86	26.11
19	28	3.63	27.77	19	28	3.93	25.65
20	28	3.6	28.00	20	28	4.02	25.07
21	28	3.68	27.39	21	28	4.11	24.53
22	28	3.72	27.10	22	28	3.98	25.33
23	28	3.83	26.32	23	28	3.93	25.65
24	28	3.99	25.26	24	28	3.84	26.25
25	28	3.94	25.58	25	28	3.9	25.85
26	28	3.64	27.69	26	28	3.95	25.52
27	28	3.54	28.47	27	28	3.78	26.67
28	28	3.44	29.30	28	28	3.82	26.39
29	28	3.43	29.39	29	28	3.85	26.18
30	28	3.45	29.22	30	28	3.87	26.05
28.00		3.96	25.61	28.00		4.02	25.19

INTERSECCION	
AV. LA MARINA Y AV. ANTONIO JOSÉ DE SUCRE	
PROYECTO	UNIVERSIDAD PÉREZ DE ARCE CARRILES APICULARES
PROYECTO	TRÁFICO CENTRAL DE LOS CARRETEROS DE LOS CARRETEROS
PROYECTO	PLAN DE ORDENAMIENTO DE LA INTERSECCION INTERSECCION
PROYECTO	Propuesta de mejoras en los cruces de caminos para la
PROYECTO	mejoramiento de la Av. La Marina con la Av. Antonio José de
PROYECTO	Sucre (Límite al sur de la Av. La Marina)
PROYECTO	PROYECTO DE MEJORA DEL TRÁFICO
PROYECTO	PROYECTO DE MEJORA DEL TRÁFICO