UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Propuesta de mejoramiento de los niveles de servicio en la intersección de las avenidas Primavera y Velasco Astete mediante la aplicación de tecnologías basadas en el uso de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS).

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTORES

Escobedo Zavala, Ronnie André (0000-0002-2068-8901)

Estela Cifuentes, Jesús Antonio (0000-0001-5623-0962)

ASESOR

Bravo Lizano, Aldo Rafael (0000-0003-4835-795X)

Lima, 12 de diciembre de 2019

DEDICATORIA

Principalmente a Dios por habernos dado las fuerzas de continuar con nuestras metas trazadas a pesar de las adversidades que se nos presentó y por permitirnos el haber llegado hasta este momento tan importante de nuestra formación profesional.

Asimismo, todo este esfuerzo está dedicado a nuestros padres y abuelos por ser los pilares más importantes de nuestras vidas y por demostrarnos su apoyo incondicional desde siempre, por sus valiosos consejos y ánimos para continuar a pesar de las dificultades. Siempre confiaron en nosotros y nunca hemos defraudado dicha confianza depositada.

A nuestro asesor de tesis el ingeniero Aldo Bravo Lizano por compartir sus valiosos conocimientos y apoyo incondicional.

También se la dedicamos con todo cariño a nuestros amigos, aquellos que serán nuestros colegas y quienes contribuyeron con un granito de arena para culminar con éxito nuestra meta propuesta.

No podemos dejar de agradecer a las instituciones como la Municipalidad del distrito de Surco, quienes nos facilitaron datos importantes para desarrollar la tesis. También un especial agradecimiento al ingeniero de nacionalidad colombiana Juan quién pudo compartir con nosotros su vasta experiencia en la utilización del software Aimsun para que con ello se pueda culminar con éxito la presente tesis.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar un especial agradecimiento a Dios, quien con su bendición llena nuestras vidas, cuida de nosotros y de nuestras familias. Por ser nuestro guía y acompañarnos en cada etapa de nuestras vidas.

Asimismo, queremos expresar un profundo agradecimiento a nuestros padres quienes nos enseñaron que, con paciencia, mucho empeño y disciplina se puede lograr cualquier cosa. Nos enseñaron que la limitación se la pone uno mismo y que todo depende de nosotros.

Por otro lado, un sincero agradecimiento a nuestro asesor de tesis por habernos guiado en este largo camino y por brindarnos su apoyo para desarrollarnos tanto en el campo profesional como personal y por enseñarnos la importancia de la investigación para poder resolver cualquier problema no solo social, sino también personal y tomar las mejores decisiones pensando siempre como ingenieros que somos.

RESUMEN

La presente tesis consiste en la investigación y desarrollo de la implementación de las tecnologías ITS para mejorar la transitabilidad en la intersección de las avenidas Primavera y Velasco Astete. Esta implementación está orientada a la disminución de la congestión vehicular en la intersección a través de una mejor gestión del tráfico sin la necesidad de implementar infraestructuras viales basadas en obras civiles, como ampliación de carriles, creación de viaductos, pasos a desnivel, entre otros, las cuales requieren una mayor inversión de capital. Es por esta razón que el objeto de esta tesis está en la propuesta de la mejora de la situación actual del tráfico en el escenario en estudio con la implementación de las tecnologías ITS mediante su simulación en el software Aimsun v8.2.

Para ello, se estudiaron los niveles de servicio según los conceptos establecidos por la metodología HCM 2010.

La implementación de los ITS en el escenario estudiado permitió una reducción promedio de 150 segundos en el tiempo de demora, los factores de la cola media y densidad vehicular también presentaron mejoras. Asimismo, el nivel de servicio, luego del análisis de resultados realizado, presentó una mejora significativa al pasar de una clasificación F a una clasificación C en la intersección principal estudiada.

Finalmente, del análisis de costos realizado, a través de la asociación a los factores de valor social del tiempo, VHMD y tiempo de viaje, se obtuvo que la implementación de los ITS en la intersección representaría un beneficio de S/. 1,227.77 / km.hora.pasajeros promedio.

Palabras clave: Transporte; Sistemas Inteligentes de Transportes (ITS); gestión del tráfico; congestión vehicular; Aimsun; semáforo actuado.

“Improvement proposal of levels of service at Primavera and Velasco Astete node through the Intelligent Transportation Systems (ITS) application.”

ABSTRACT

This thesis consists of the research and development of the implementation of ITS technologies to improve the passability at the intersection of Primavera and Velasco Astete avenues. This implementation is aimed at reducing vehicular congestion at the intersection through better traffic management without the need to implement road infrastructure based on civil works, such as extension of lanes, creation of viaducts, overpasses, among others, which require a greater capital investment. It is for this reason that the purpose of this thesis is in the proposal to improve the current traffic situation on the stage under study with the implementation of ITS technologies through its simulation in the Aimsun v8.2 software.

For this, the service levels were studied according to the concepts established by the HCM 2010 methodology.

The implementation of ITS in the scenario studied allowed an average reduction of 150 seconds in the delay time, the factors of the average tail and vehicle density also showed improvements. Likewise, the level of service (LOS), after the analysis of the results, presented a significant improvement when passing from an F classification to a C classification at the main intersection studied.

Finally, from the cost analysis carried out, through the association with the social value factors of time, VHMD and travel time, it was obtained that the implementation of STIs at the intersection would represent a benefit of S /. 1,227.77 / km. Hour. Average passengers.

Keywords: Transportation; Intelligent Transportation System (ITS); traffic management; traffic flows; Aimsun; actuated traffic signal.

TABLA DE CONTENIDOS

1.	MARCO TEÓRICO	13
1.1	Congestión Vehicular	13
1.1.1	Definición	13
1.1.2	Principales causas de la congestión vehicular	14
1.1.3	Principales consecuencias de la congestión vehicular	15
1.2	Volumen de tránsito	17
1.2.1	Definición	17
1.2.2	Aforo	18
1.2.3	Modelos de Tráfico Continuo	20
1.3	Metodología HCM 2010 (Modo automóvil y otros vehículos motorizados).....	21
1.3.1	Capacidad vial.....	21
1.3.2	Flujo de saturación.....	22
1.3.3	Grado de saturación	22
1.3.4	Nivel de servicio	23
1.4	Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS)	24
1.4.1	Definición	24
1.4.2	Características de los ITS	24
1.4.3	Tipos de ITS.....	25
1.4.4	Beneficios de los ITS.....	31
1.4.5	Funcionamiento de los ITS	32
1.4.6	Aplicaciones en otros países de los ITS.....	32
1.5	Softwares de Simulación de Tráfico e ITS.....	33
1.5.1	AIMSUN.....	34
1.5.2	Paramics (Simulación Microscópica Paralela)	35
1.5.3	VISSIM.....	36
1.5.4	MITSIML ab (Laboratorio de simulación de tráfico microscópico)	37
1.5.5	Comparativa entre los softwares de simulación de tráfico e ITS.....	37
2.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	41
2.1	Descripción de la zona de estudio	41
2.1.1	Ubicación de la intersección	41
2.1.2	Infraestructura vial de la intersección	43
2.1.3	Principales problemas en la intersección	45

2.1.4	Principales causas del congestionamiento vehicular en la intersección	47
2.1.5	Principales consecuencias en vías aledañas	48
2.2	Estudio del Tráfico vehicular	49
2.2.1	Toma de datos de la intersección	49
2.3	Cálculo del nivel de servicio actual de la intersección según HCM 2010	52
2.3.1	Procedimiento experimental	52
2.3.2	Cálculo de la capacidad en la intersección	53
2.3.3	Cálculo del flujo de saturación ajustado	54
2.3.4	Determinación del grado de saturación.....	55
2.3.5	Determinación de las demoras	56
2.4	Ajuste y expansión de volúmenes	57
2.4.1	Metodología	57
2.5	Registro de datos en campo.....	59
2.6	Cálculo de los niveles de servicio en la intersección	70
2.6.1	Demanda	71
2.6.2	Flujo de Saturación	73
2.6.3	Grado de saturación	74
2.6.4	Nivel de servicio	74
2.7	Modelación y simulación del sistema de transporte actual con Aimsun.....	75
2.7.1	Modelación de la intersección	75
2.7.2	Obtención del nivel de servicio actual mediante el software.....	81
2.7.3	Comparativo entre el nivel de servicio real y el calculado en Aimsun.....	85
2.8	Selección y ubicación de los ITS adecuados para la intersección.....	85
2.9	Modelación y simulación del sistema de transporte con ITS en la intersección con Aimsun v.8.2.....	89
2.9.1	Diseño del nuevo sistema de transporte con el software Aimsun v.8.2.....	89
2.9.2	Obtención del nuevo nivel de servicio mediante el software Aimsun.....	106
3.	VALIDACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	107
3.1	Análisis de resultados	107
3.1.1	Comparativo entre situación actual y mejorada con ITS	107
3.2	Interpretación de resultados	109
4.	MEJORA EN EL NIVEL DE SERVICIO Y BENEFICIOS ADICIONALES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS ITS EN LA INTERSECCIÓN VIAL.....	112
4.1	Mejora en el nivel de servicio	112
4.2	Beneficios adicionales.....	112

5.	ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ITS.	115
5.1	Estimación de la inversión de la implementación de ITS.	115
5.2	Análisis comparativo entre la situación actual sin proyecto contra la situación mejorada con proyecto.....	117
5.2.1	Fuentes de financiación	118
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	119
6.1	Conclusiones	119
6.2	Recomendaciones.....	120
7.	ANEXOS	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los niveles de servicio según la demora.....	24
Tabla 2. Características de los ITS más novedosos utilizados actualmente.	25
Tabla 3. Tabla comparativa de simuladores de Tráfico.....	38
Tabla 4. Leyenda de tabla comparativa de softwares.	39
Tabla 5. Formato para toma de aforo vehicular en las intersecciones.....	51
Tabla 6. Formato para toma de aforo peatonal en las intersecciones	51
Tabla 7. Formato para la aplicación de encuestas	52
Tabla 8. Valores de S_o según metodología HCM 2010	54
Tabla 9. Anchos de carril. HCM 2010	55
Tabla 10. Tabla resumen del aforo realizado en el periodo de la mañana en la intersección.	69
Tabla 11. Unidad Coche Patrón (UCP)	72
Tabla 12. Demanda de la hora punta de la mañana en la intersección.	73
Tabla 13. Flujo de saturación ajustado de la hora punta de la mañana.	73
Tabla 14. Grado de saturación en la hora punta.	74
Tabla 15. Niveles de servicio en la hora punta.....	75
Tabla 16. Resultados de la simulación de la hora punta de la mañana en Aimsun.	83
Tabla 17. Estimación del nivel de servicio de la intersección con Aimsun v8.2.	85
Tabla 18. Demanda (7am-8am).	87
Tabla 19. Demanda (8am-9am).	88
Tabla 20. Demanda (9am-10am).	88
Tabla 21. Demanda (10am-11am).	89
Tabla 22. Cola media en simulación de situación real (Mañana).....	93
Tabla 23. Densidad en simulación de situación real (Mañana).....	94
Tabla 24. Tiempo de demora en simulación de situación real. (Mañana).....	95
Tabla 25. Diseño de semáforo (7am – 8am).....	96
Tabla 26. Diseño de semáforo (8am – 9am).....	97
Tabla 27. Diseño de semáforo (9am – 10am).....	97
Tabla 28. Diseño de semáforo (10am – 11am).....	98

Tabla 29. Cola media en simulación de situación mejorada. (Mañana).....	99
Tabla 30. Densidad en simulación de situación mejorada. (Mañana)	100
Tabla 31. Tiempo de demora en simulación de situación mejorada. (Mañana).....	101
Tabla 32. Cola media en simulación con semáforo actuado. (Mañana).....	103
Tabla 33. Densidad en simulación con semáforo actuado. (Mañana)	104
Tabla 34. Tiempo de demora en simulación con semáforo actuado. (Mañana).....	106
Tabla 35. Escenario real vs. Dinámico vs. Actuado.	108
Tabla 36. Niveles de servicio (accesos).....	110
Tabla 37. Niveles de servicio (intersección).	110
Tabla 38. Presupuesto de implementación de ITS.	116
Tabla 39. Valor del tiempo de viaje.	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Escala de índice de competitividad en Infraestructuras (2013-2014)	6
Figura 2. Mapa de los 75 cruces más congestionados de Lima.....	8
Figura 3. Puntos negros en el cruce de las Avenidas Primavera y Velasco Astete.....	8
Figura 4. Representación esquemática del concepto de la congestión de tránsito.	13
Figura 5. Vista en planta de la intersección principal en estudio.	41
Figura 6. Cruce de las Av. Primavera y Velasco Astete (Vista hacia el este).....	42
Figura 7. Cruce de las Av. Primavera y Velasco Astete (Vista hacia el sur oeste).....	42
Figura 8. Imagen del corredor propuesto para el estudio.	44
Figura 9. Cámaras en la intersección.....	45
Figura 10. Congestión vehicular en hora punta (izquierda, noche; derecha, mañana).	46
Figura 11. Diagrama de giros de la intersección.	59
Figura 12. Flujograma de la hora punta de la mañana.....	70
Figura 13. Fases del semáforo en la intersección.	71
Figura 14. Dibujo de carriles en Aimsun v8.1.....	76
Figura 15. Dibujo de tramo interrumpido y tramo continuo en Aimsun v8.2.....	77
Figura 16. Trazo de giros permitidos en la intersección.....	77
Figura 17. Introducción de flujos vehiculares por cada movimiento.	78
Figura 18. Transporte público y paraderos permitidos en el modelo.	79
Figura 19. Inserción del plan de transporte público en el modelo.....	80
Figura 20. Plan de control semafórico en el modelo.	81
Figura 21. Simulación de la hora punta en Aimsun v8.2.	82
Figura 22. Tiempo de demora (seg/km)	84
Figura 23. Cola media (veh).	84
Figura 24. Propuesta de ubicación de los ITS.	86
Figura 25. Ubicación de detectores de cola.....	90
Figura 26. Configuración del semáforo actuado Fase 1.	90
Figura 27. Configuración del semáforo actuado Fase 2.	91
Figura 28. Configuración del semáforo actuado Fase 4.	91
Figura 29. Demandas de tráfico por hora (Mañana).....	92
Figura 30. Cola media en simulación de situación real. (Mañana)	93

Figura 31. Densidad en simulación de situación real (Mañana).....	94
Figura 32. Tiempo de demora en simulación de situación real. (Mañana)	95
Figura 33. Plan de Control Maestro para semáforo dinámico (Mañana)	98
Figura 34. Cola media en simulación dinámica. (Mañana).....	99
Figura 35. Densidad en simulación dinámica. (Mañana)	100
Figura 36. Tiempo de demora en simulación de situación mejorada. (Mañana).....	101
Figura 37. Cola media en simulación con semáforo actuado. (Mañana)	102
Figura 38. Densidad en simulación con semáforo actuado. (Mañana).....	104
Figura 39. Tiempo de demora en simulación con semáforo actuado. (Mañana).....	105
Figura 40. Comparativo de Demora media en Acceso (Intersección).....	109

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Una investigación fue realizada en Estambul, una de las ciudades más congestionadas del mundo. Los investigadores Mohdt Sadat y Hilmi Berk, publicaron un estudio en el 2017 titulado “Simulation-based Variable Speed Limit Systems Modelling: An Overview and A Case Study on Istanbul Freeways”. En dicha publicación estudiaron los beneficios potenciales de los sistemas límite de velocidad variable (VSL), una de las soluciones para mejorar la movilidad en las vías terrestres. Para ello, utilizaron técnicas de simulación en una sección de 5,2 kilómetros de la autopista Estambul D100. Los investigadores se apoyaron del software de simulación de tráfico microscópico VISSIM junto con MATLAB para implementar el algoritmo VSL basado en el volumen, la ocupación y la velocidad promedio. Para dicha investigación simularon los escenarios con y sin sistema VSL para las horas de la mañana. Los investigadores obtuvieron como resultados una reducción en el tiempo total de viaje (TTV) y el nivel de ocupación junto con una mejora en la velocidad y el volumen promedio. Asimismo, el consumo de combustible y las emisiones también se redujeron, lo que indica una movilidad sostenible y respetuosa con el medio ambiente (Sadat & Celikoglu, 2017).

Por otro lado, los autores Wang et al (2016), realizaron un estudio en el que buscan combatir la creciente demanda de sistemas de transporte moderno y la exigencia en mejoras de la infraestructura vial en China y en los países en desarrollo de similar condición. Para ello, en la búsqueda de nuevas posibilidades que puedan mejorar la eficiencia de sus infraestructuras viales los autores propusieron el uso de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) que, para los años 90, era considerada como una caja de herramientas futuristas y costosas. Por ello, se investigaron cuatro proyectos representativos de cooperación internacional, en los que participó el gobierno chino, para identificar el efecto y para mostrar la importancia de la cooperación internacional durante el desarrollo de ITS de China como el estudio de las estrategias de la cooperación entre la Unión Europea y China, con lo cual los expertos chinos llegaron a la conclusión de que las áreas de desarrollo de ITS en China deben ser adaptados al nivel económico de ese país; otro de los proyectos representativos fue la cooperación en CEP con Japón, la cooperación en prioridad técnica y experiencia con múltiples países y la cooperación en el servicio de información con Europa

y Brasil. Dichos proyectos, dejaron como conclusión principal que los sistemas ITS deben considerar el sistema de transporte nativo, la sociedad y las situaciones de desarrollo económico de un país. Asimismo, las actitudes y políticas del gobierno son importantes para la innovación e industrialización de las tecnologías ITS. Para apoyar la toma de decisiones del gobierno, los expertos y los institutos de investigación deben llevar a cabo suficientes investigaciones para dar una comprensión clara de las nuevas tecnologías al gobierno (Wang, Zhang, Li, & Gao, 2017).

Por otra parte, en otra de las investigaciones en el campo de los ITS, Yatskiv y Savrasovs (2017) muestran el estado de las soluciones de transporte inteligente en Letonia teniendo en cuenta diferentes subáreas: servicios de gestión de emergencias y de incidentes; ITS para la gestión del tráfico y la movilidad; estacionamiento y pago automático; ITS para la gestión del transporte público; gestión de flotas y el transporte de mercancías. Para ello, el proyecto RITS-NET, implementado en el marco del programa INTERREG IVC por un consorcio de socios de 9 países de la UE, incluido Letonia, hizo una revisión y análisis de las soluciones de transporte inteligente existentes en Letonia. El objetivo del proyecto es mejorar las políticas regionales de transporte sostenible a través de un mayor conocimiento y comprensión de todo el potencial de las soluciones de los sistemas inteligentes de transporte (ITS) y las formas de implementarlas. Es así que teniendo en cuenta la evolución técnica y tecnológica de las nuevas herramientas en el campo de los ITS y el estado actual del desarrollo de los ITS en Letonia, se concluyó que los ITS en Letonia siguen estando fragmentados (no unificados) en cuanto a lo que ofrecen en el ámbito geográfico y la cobertura de las diferentes subáreas descritas anteriormente. Asimismo, los autores concluyeron que las subáreas más desarrolladas en Letonia son: ITS para la gestión del transporte público e ITS para la gestión del tráfico y la movilidad en comparación con el resto. Pero, aun así, incluso en dichas subáreas, existen una serie de desafíos relacionados con los modos de transporte. Por ello, lo que actualmente Letonia intenta es crear un sistema ITS unificado, esto significa que también se debe incluir a los sistemas de información de viaje con un transporte público más integrado con la ayuda de las mismas plataformas tecnológicas: sistemas de validación de boletos para viajes multimodales, basados en tarjetas electrónicas recargables y sin contacto (sistemas automatizados de cobro de tarifas), y sistema de información en tiempo real para todos los modos de transporte, por lo que el

ticketing integrado es una parte clave de un sistema de transporte multimodal fácil de usar y un requisito previo para un viaje sin interrupciones. El uso integrado de soluciones de transporte inteligentes en Letonia pretende mejorar la eficiencia, la seguridad, la calidad y la fiabilidad del servicio de transporte, reducir los costos de mantenimiento y ofrecer posibilidades de aumentar los ingresos (Yatskiv, Savrasovs, Udre, & Ruggeri, 2017).

Bommers et al (2016), en una de sus investigaciones en el campo de los ITS, estudiaron los actuales sistemas de sensores basados en video, que son una parte indispensable de los sistemas inteligentes de tráfico (ITS), los cuales pueden desempeñar un papel clave en la entrega de datos para una mejor planificación vial y gestión del tráfico ya que las tecnologías en carreteras inteligentes dependerán en gran medida de la calidad y cantidad de los datos en el futuro. Es así que los autores identificaron tres grupos de cámaras diferentes: cámaras con calidad de cámara web, cámaras de vigilancia y cámaras de alto detalle. En cada una de ellas fue estudiada su aplicabilidad como sistemas inteligentes de tráfico (ITS). Por ejemplo, en el ámbito de análisis de tráfico (detección de incidentes, conteo del tráfico), en el ámbito de la gestión del tráfico (uso temporal del hard-shoulder, sistemas de sensor de lazo cerrado, control de acceso), en el ámbito de aplicación directa (cámara rápida, control de velocidad promedio, aplicación de luz roja, peaje, vigilancia masiva). Asimismo, en la investigación se realizó una breve predicción de aplicaciones futuras para mostrar oportunidades y diversidad de temas de investigación en sistemas de transporte inteligentes basados en video tomando en cuenta como parámetro principal la resolución de detalle de la imagen que puede adquirirse desde la cámara de grabación, como por ejemplo en el análisis de grandes escenas de campo de visión, como cámaras de vigilancia en carreteras con vistas a cientos de metros de técnicas que dependen de información detallada como placa de matrícula y requieren un campo de visión pequeño con alta resolución del sensor. Como conclusión principal de la investigación, los autores indican que la tecnología basada en video proporciona una solución óptima para un amplio campo de aplicaciones de tráfico en ITS (Bommers, Fazekas, Volkenhoff, & Oeser, 2016).

Por último, Crotte et al (2017) con apoyo de la división de transporte del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) realizaron diversos estudios e implementación en algunos países de América Latina y el Caribe (ALC) de los sistemas inteligentes de tráfico

(ITS), con el fin de fortalecer el desarrollo de dichos sistemas. Uno de los estudios fue realizado en la Ciudad de México (CDMX), donde se propone políticas públicas para reducir la congestión vial a través de la implementación de un programa piloto de gestión de la demanda de viajes (GDV) para la CDMX, con apoyo de ITS de vanguardia como detectores de vehículos, telepeajes, asignación dinámica de carriles, sistemas electrónicos de pago de tarifas, entre otros. Por otro lado, otro de los estudios fue realizado en Jamaica, en el Área Metropolitana de Kingston (AMK), ya que actualmente el AMK cuenta con sistemas de control de tráfico que funcionan de manera aislada, con controles manuales, tiempos fijos y sin sensores para detectar el estado del tráfico. Para ello se ha propuesto mejorar la eficiencia energética de la movilidad urbana del AMK, por medio de la implementación y operación de ITS de control de flujos de tránsito vehicular como un sistema integrado de telecomunicaciones basado en fibra óptica; centro de control del tránsito; red de sensores de tránsito; dispositivos de señalización variable; cámaras de circuito cerrado de televisión (CCTV) para el monitoreo del tráfico; un software especializado de gestión y planeación del tráfico y paneles informativos con lo que se espera una reducción en tiempos de viaje, menor consumo de combustible, disminución en importaciones de energéticos, entre otros beneficios. Otro de los estudios fue realizado en Colombia donde se propuso incorporar ITS en los Sistemas Estratégicos de Transporte Público (SETP) para una mejor movilidad, seguridad y control del tránsito. Como resultado de esa implementación se cuenta con un centro de control, buses equipados con unidades lógicas, sistemas de semaforización integrados, creación y entrada en vigor del Sistema de Interoperabilidad de Peajes con Recaudo Electrónico Vehicular (IP/REV), entre otros resultados positivos. Asimismo, otro de los estudios fue realizado en Bolivia en el 2015 en cuanto a la gestión de recaudo de peajes con lo que se planteó el rediseñar los procedimientos de gestión y operación de (Vías Bolivia) VB, quien administra el peaje, para incorporar los nuevos sistemas de información y el medio de pago con telepeaje con lo que se espera optimizar el servicio y el recaudo, evitando evasiones y simplificar la clasificación vehicular para la asignación de tarifas. Por otro lado, el 2015 en Brasil, específicamente en La Fortaleza, se buscó un diseño de una estrategia integral de ITS ya que el municipio de Fortaleza presenta un alto nivel de penetración de ITS; sin embargo, hay subutilización de la tecnología por factores como la carencia de capacidad técnica de los operadores. Como resultado de dicho estudio se obtuvo un modelo de gestión

y gobernanza el cual identificó los requerimientos para la gestión integrada de los sistemas a nivel municipal, estatal y federal, y su operación desde los órganos existentes o la necesidad de crear una nueva entidad operadora. Asimismo, en Argentina se implementó en el 2011 el Sistema Único de Boleto Electrónico (SUBE) para el transporte público en la RMBA. Con una sola tarjeta inteligente, el SUBE permite abonar y pagar viajes en colectivos y trenes. Adicional a ello, se propuso contemplar el control de accesos en las estaciones, con aplicaciones de hardware y software que permitan la aplicación de descuentos y múltiples cuadros tarifarios, por ejemplo, al presentar la tarjeta tanto en la estación de origen como en la de destino. Por último, otro de los estudios fue realizado en Uruguay donde se propuso la implementación de un Centro de Gestión de la Movilidad (CGM) con ITS (centro de datos, controladores, sensores y cámaras de circuito cerrado de televisión (CCTV), fiscalización radar, mensajería variable y sensores inalámbricos), para la operación semafórica, información al usuario y fiscalización, que logre una reducción de los tiempos de viaje; provea información en tiempo real; e incremente la velocidad en los corredores preferenciales de BRT (Crotte, Arvizu, Mojica, & Granada, 2017).

Realidad Problemática

En la actualidad, el continuo desarrollo peruano debido al crecimiento y desarrollo económico que el país presenta está sujeto a mayores necesidades de movilidad de los usuarios como de mercancías generando de esta manera un incremento en el volumen de transporte por carretera. Añadido a ello, una mala gestión del tráfico actual resulta en una de las principales causas de la creciente congestión vehicular y del mismo modo en el aumento de las demoras, las colas y el consumo de energía, principalmente. En este sentido, el continuo crecimiento de la demanda de infraestructura vial en el Perú resulta en una fuente de problemas medioambientales y sociales.

Así mismo, existen también otros problemas de congestionamiento e inseguridad de menor importancia relacionados al transporte que demuestran un déficit en el uso de la infraestructura vial, esto se ve reflejado en una pérdida de la productividad. En general, estos problemas están relacionados con el parqueo, pasar por un peaje o detenerse a verificar el peso de un vehículo o mercancía transportada, entre otros. En dicho sentido, el desarrollo en infraestructura de transporte y movilidad se ve reflejado directamente en el desarrollo de la

economía y la competitividad de una nación. Los países de Latinoamérica que destacan dentro de los países emergentes, según opinión de diferentes organismos internacionales, son México, Brasil, Colombia, Chile y Perú. (MTC, 2014).

El Perú viene experimentando una constante mejora y desarrollo de sus infraestructuras por lo que supone una importante línea de trabajo. Esta situación es reflejada en el Índice de Competitividad Global 2013-2014, en el cual el Perú ocupa el puesto 91º a nivel global en cuanto a infraestructuras mencionamos. En la figura 1, se representa esta información mediante un gráfico de barras desarrollado por el Foro Económico Mundial.

Figura 1. Escala de índice de competitividad en Infraestructuras (2013-2014)

(Fuente: Foro Económico Mundial)

Esta gráfica de barras indica al Perú en el puesto 91 del mundo en cuanto a competitividad en infraestructuras.

La mayoría de los gobiernos a nivel mundial se ven enfrentados a su propia problemática de transporte, asimismo, la mayoría busca lograr ciudades más limpias y minimizar el congestionamiento vehicular mejorando su flujo, en su mayoría, incrementando y priorizando los sistemas de transporte público masivo y buscando diferentes alternativas a los vehículos particulares.

El camino hacia esta mejora no puede limitarse a la implementación de las medidas tradicionales relacionadas a más y más construcciones de nuevas infraestructuras o de una mejora en el diseño estructural de las mismas. En este contexto, un desarrollo correcto y

ordenado de los sistemas inteligentes de transporte, por sus siglas en inglés ITS (Intelligent Transportation System), permite a los distintos usuarios a estar mejor informados sobre la situación del tránsito vehicular en tiempo real y de esta manera, hacer un uso con mayor seguridad, coordinación e inteligencia de las redes de transporte.

En lo que se refiere a sistemas de transporte, la mayoría de líderes de gobierno coinciden en que es necesario invertir en infraestructuras. Sin embargo, las restricciones impuestas por la limitación presupuestaria obligan a gestionar más eficazmente la demanda y el suministro mediante el despliegue de sistemas de transporte inteligente (ITS) (Houghton et al., 2009).

Los ITS son, en esencia, la fusión del desarrollo en cuanto a informática, información tecnológica y telecomunicaciones unidas al sector automotriz experto y de transporte. De este modo, la clave que permitió el desarrollo de estas nuevas tecnologías fue el mismo desarrollo de las áreas mencionadas. En este sentido, los ITS pueden ser definidos como la aplicación de tecnologías de informática, información y comunicaciones al manejo en tiempo real, de vehículos y redes que involucren al movimiento de personas y mercancías (bienes) (Sayeg et al., 2006).

Por otro lado, la policía de tránsito del Perú ha identificado 75 puntos de mayor congestión vehicular en Lima durante las denominadas horas punta, los cuales se ubican en 22 de los 43 distritos limeños.

Como se puede observar a continuación en la figura 2, la cual es una información publicada en el diario periodístico El Comercio, se muestra el mapa de los 75 cruces de mayor caos vehicular en Lima. El Cercado, San Martín de Porres, Surco, Chorrillos y San Isidro tienen la mayor cantidad de cruces críticos.

Figura 2. Mapa de los 75 cruces más congestionados de Lima.

(Fuente: Policía de Tránsito del Perú)

Figura 3. Puntos negros en el cruce de las Avenidas Primavera y Velasco Astete.

(Fuente: Proyecto de Identificación y Priorización de Puntos Negros, MTC).

En la figura 3, se muestra la zona de estudio del presente proyecto de tesis, que será el cruce de las avenidas Primavera y Velasco Astete en donde, según el informe de evaluación de la incidencia de accidentes realizado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), se estimaron un total de 90 accidentes en el periodo 2011-2014, en donde se registra la mayoría de accidentes relacionados al transporte privado y los tipos de accidente más

frecuentes son por colisión asociados a factores como la invasión del carril / maniobras no permitidas y exceso de velocidad, principalmente.

Formulación del Problema

¿Se pueden mejorar los deficientes niveles de servicio en la intersección de las Avenidas Primavera y Velasco Astete ubicada en el distrito de Santiago de Surco mediante el empleo de tecnologías innovadoras basadas en la utilización de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS)?

Hipótesis

Los niveles de servicio en la intersección de las Avenidas Primavera y Velasco Astete presentarían una mejoría notable con la implementación de las tecnologías innovadoras basadas en ITS.

Objetivo General

Mejorar los niveles de servicio de la intersección mediante la utilización de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS).

Objetivos Específicos

1. Analizar los beneficios de implementar Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) en la intersección vial.
2. Diseñar la ubicación de los elementos de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) en la intersección vial.
3. Comparar la situación actual de la intersección vial y la situación mejorada implementada con Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) mediante el uso del software AIMSUN v8.2.
4. Realizar una estimación del costo total para cuantificar la inversión de la implementación de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS).

Descripción del Contenido

El caos vehicular en Lima es uno de los principales problemas y con mayor urgencia por resolver. Esta problemática es generadora de consecuencias tales como el incremento de la contaminación, serios daños a la salud de las personas, el aumento del índice de accidentes y muertes y la pérdida económica debido al tiempo que se desperdicia. El transporte público, una de las principales fuentes de trabajo, fluye en constante desorden y la inadecuada educación vial es una de las principales causas de dicho desorden en el tránsito. Por otro lado, en la actualidad existe una gran oferta de transporte como lo indica la Municipalidad Metropolitana de Lima que según cifras publicadas la capital concentra el 68.5% (800.000 vehículos) del parque automotor nacional. Actualmente muchas de las soluciones están mucho más ligadas a la inversión tanto como en infraestructura vial y/o mejoramiento de las calzadas, etc.; pero muchas veces estas son soluciones costosas y lo que origina es atraer muchos más vehículos lo cual genera un mayor caos vehicular (TODOAutos, 2017).

En el capítulo introductorio se desarrolla principalmente las generalidades más importantes de la presente tesis en cuanto a formulación del problema, hipótesis, objetivos tanto general como específicos y los indicadores de logro de los objetivos.

Por otro lado, en el primer capítulo se desarrolla el marco teórico el cual explica los fundamentos teóricos sobre los que se soporta la presente tesis y la solución planteada. Asimismo, en este capítulo se redactan los principales conceptos que ayudarán al desarrollo del proyecto. Se parte conceptualizando la congestión vehicular, sus principales causas y consecuencias. De la misma manera, se conceptualiza el volumen de tránsito y los principales modelos de tráfico para entender la problemática. Dentro del mismo capítulo también se desarrolla la metodología del HCM 2010 la cual sirve de apoyo para explicar la situación actual de la intersección vial en términos de nivel de servicio. Asimismo, se desarrolla el tema de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), sus principales características, clasificación, múltiples beneficios, funcionamiento y sus aplicaciones en otros países. También, se describen los principales softwares en el mercado actual que ayudan a la modelación y simulación del tráfico facilitando además la utilización de distintos Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) que ayuden a mejorar la congestión vehicular.

En cuanto al segundo capítulo, en esta sección se da inicio con la metodología de la investigación, es decir, se desarrolla el cómo se llevará el estudio en la presente tesis. Dicho capítulo comprende la descripción de las características más importantes de la intersección de las avenidas Primavera y Velasco Astete tales como la infraestructura vial, los principales problemas que aquejan a la intersección, como también las principales causas del congestionamiento vehicular y las consecuencias de dicho problema en intersecciones aledañas. Asimismo, en dicho capítulo se explica el cómo se realizará la toma de datos de la intersección vial tales como flujo vehicular, ciclos de los semáforos, geometría de la intersección, entre otros datos para lo cual se aplican aforos y encuestas, todo ello con el fin de que ayuden a entender la situación actual del sistema de transporte. También, en el mismo capítulo se explica cómo se desarrollará la metodología del ajuste y expansión de volúmenes de tránsito para hallar volúmenes de tránsito diario (8 horas) de las otras estaciones aledañas a la intersección en estudio puesto que dichas intersecciones influyen también en la congestión vehicular de la intersección principal en estudio, en otras palabras, el presente estudio se comporta como una prueba piloto formada por tres intersecciones con el fin de que pueda ser replicado posteriormente en otras intersecciones de similares características. De la misma manera, se explican los diversos cálculos que se realizarán utilizando la metodología del HCM 2010 con el fin de hallar los distintos niveles de servicio actual en la intersección. Asimismo, en dicho capítulo se desarrolla la propuesta de implementación basada en la utilización de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) mediante el modelamiento y simulación en un inicio del sistema de transporte actual de la intersección con Aimsun v8.2 ingresando los datos registrados en un inicio. Este capítulo también abarca la selección y ubicación de los ITS adecuados para la intersección vial estudiada. Por último, se realiza una modelación y simulación del sistema de transporte implementado con ITS el cual también abarca la obtención de los nuevos niveles de servicio mediante el software Aimsun v8.2.

En el tercer capítulo, se describen, se analizan y se muestran los resultados obtenidos de la modelación y simulación con el software Aimsun v8.2. Para ello los principales datos de entrada para el software son las características de la red vial (infraestructura) y los datos del tráfico (flujo de entrada de vehículos al sistema, porcentajes de giro en cada uno de los cruces, ciclo de semaforización, entre otros datos). Asimismo, entre los principales resultados que brinda el Aimsun se encuentran la cola media, densidad, tiempo de demora, tiempo de viaje,

tiempo de espera, velocidad, entre otros resultados. Dichos resultados se plasman en un cuadro comparativo entre la situación actual y situación mejorada con los ITS de la intersección vial. Cabe resaltar que para la presente investigación de tesis se ha tomado en cuenta principalmente el resultado de los niveles de servicio por hora de la intersección vial principal.

En el cuarto capítulo, se describen principales beneficios que trae consigo la implementación de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) como la mejora notable tanto en los niveles de servicio y algunos beneficios adicionales que se consiguen al implementar los ITS.

En el quinto capítulo, se desarrolla la estimación de la inversión de la implementación de ITS. Los costos de la implementación de ITS para la mejora de la congestión vehicular, asociando los factores del valor social del tiempo, VHMD y tiempo de viaje. Asimismo, un análisis comparativo entre la situación actual sin la implementación de ITS contra la situación mejorada con ITS. De la misma manera, como sustento económico para la viabilidad del proyecto, se explica las principales fuentes de financiación para implementar los ITS.

Finalmente, en el sexto capítulo se desarrollan las conclusiones y recomendaciones a tener en cuenta para continuar en un futuro con el desarrollo de la presente tesis.

1. MARCO TEÓRICO

■ Congestión Vehicular

1.1.1 Definición

Según el Diccionario de la Lengua Española, la congestión vehicular se define como “acción y efecto de congestionar o congestionarse”, así como, “congestionar” significa “obstruir o entorpecer el paso, la circulación o el movimiento de algo”, en este sentido, el tráfico vehicular.

La congestión ocurre por la fricción o interferencia que se produce entre los vehículos en el flujo de tránsito. Hasta un cierto nivel de tránsito, los límites de velocidad, la frecuencia de intersecciones y otras condiciones permiten la circulación de los vehículos a una velocidad relativamente libre, pasado este nivel, la presencia de cada vehículo adicional representa un estorbo en el desplazamiento de los demás, el flujo de tránsito empieza a hacerse más lento y es aquí cuando empieza a desarrollarse el fenómeno de la congestión. En este sentido, una definición más técnica y objetiva sería “la congestión es la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás”. (Thomson y Bull, 2001).

En el gráfico a continuación se representan dos curvas; una de ellas representa el tiempo (t) que se necesita para transitar por un tramo con diferentes volúmenes de tránsito (q) “ $t = f(q)$ ”, y la otra representa la derivada de la primera “ $\delta(q) = t + qf'(q)$ ”. Para cualquier volumen de tránsito, la diferencia de ambas curvas representa el incremento en el tiempo de viaje para los vehículos que están circulando debido a la introducción de un vehículo adicional.

Figura 4. Representación esquemática del concepto de la congestión de tránsito.

(Fuente: Revista de la CEPAL 76, 2002)

1.1.2 Principales causas de la congestión vehicular

Entre las causas más importantes del transporte urbano que provocan la congestión se encuentran:

- **Necesidad de acceder a los centros de actividades:** la mayor cantidad de los viajes, generalmente se dan por la necesidad de acceder a los centros de trabajo, estudio, recreación, compras, descanso, entre otros, donde todas las cuales se realizan en lugares diferentes. Generalmente en las horas punta es donde se concentran la mayor cantidad de viajes, por lo cual la demanda de transporte presenta una alta variabilidad.
- **Excesivo crecimiento del parque automotor:** la existencia de un alto porcentaje de vehículos para el transporte contribuye a agravar la congestión, ya que ellos hacen un mayor uso de los espacios viales. A esto debe agregarse la frecuente presencia en los flujos de tránsito de vehículos antiguos, mal mantenidos o de tracción animal, lo cual es también otro agravante de la congestión del tránsito.
- **Problemas en el diseño y conservación de la vialidad:** el inadecuado diseño o mantenimiento de la vialidad es causa de una congestión innecesaria, como por ejemplo la falta de demarcación de los carriles o los cambios inesperados en la cantidad de carriles, paraderos de buses mal ubicados, mal estado del pavimento (presencia de baches), entre otras deficiencias. Asimismo, los espacios viales por donde se efectúa el transporte son limitados. Para satisfacer la demanda, la provisión de infraestructura vial tiene un costo muy elevado, especialmente en zonas urbanas.
- **La conducta egoísta e indisciplinada de los motoristas:** esto se refiere principalmente a aquellos conductores que muestran poco respeto por aquellos con quienes comparten las vías, como por ejemplo cuando los automovilistas intentan ahorrarse algunos segundos de tiempo de viaje, y tratan de imponerse en las intersecciones, bloqueándolas y generando a los demás perjuicios económicos muy superiores a su propio beneficio. Todas estas conductas reducen la capacidad de la red vial a una fracción de su potencial, como ocurre en ciudades como Lima y Santiago de Chile (Bull, 2003).

- **Deficiente conocimiento de las condiciones de tránsito en tiempo real:** este también es otro factor que aumenta la congestión, ya que, si se conoce información en tiempo real de las condiciones de tránsito, esto ayudará, por ejemplo, a los conductores a tomar rutas alternas no congestionadas, con lo cual su propia contribución a la congestión sería inferior. Como lo señala un estudio en la Universidad de Texas, Estados Unidos, indica que estar informado sobre las condiciones de tránsito en las distintas partes de la red puede reducir la congestión mucho más que medidas tan drásticas como cobrar por circular en vías congestionadas (IMT, 2000). A esto se debe agregar que la falta de conocimiento básico de la red de calles podría también contribuir a la congestión, ya que esto aumenta el kilometraje medio de cada viaje.
- **Malas gestiones institucionales y el manejo no integral del tránsito urbano:** el problema del deterioro de las condiciones de circulación ha superado la capacidad institucional para lidiar con dichas situaciones (Bull, 2003). La responsabilidad de la planificación y administración del transporte urbano está fragmentada en una multiplicidad de entes (ministerios, gobiernos regionales, municipalidades, entre otros) y cada uno de ellos hace lo que considera más apropiado sin tomar mucho en cuenta las repercusiones sobre los intereses de las demás instituciones, es decir, no hay un manejo de políticas sincronizadas ni sostenibles en el tiempo. Por ejemplo, en una vía de transporte masivo, debido a la mayor accesibilidad creada, se construyen edificios de oficinas, como también una cierta cantidad de estacionamientos, con lo cual se estimula la llegada del personal en automóvil. Es decir, este conjunto de medidas y otros factores propician el aumento de la congestión.

1.1.3 Principales consecuencias de la congestión vehicular

La congestión, como señala la Comisión Pro Movilidad Urbana en su publicación del 2014 titulada “Problemas de la movilidad urbana: Estrategia y medidas para su mitigación”, es una consecuencia de la interacción de las actividades que realizan las personas en función de sus necesidades de viaje (demanda) y el uso simultáneo en el espacio y tiempo de la oferta de transporte, considerando sus diferentes modalidades, la infraestructura disponible y su

forma de gestión (Problemas de la movilidad urbana: Estrategias y medidas para su mitigación, 2014). Dicha problemática genera una serie de consecuencias que afectan severamente la calidad de vida de las personas, como también repercute en los costos productivos de un país. Entre las principales consecuencias se encuentran:

Costos productivos

- Afecta negativamente al PBI de un país: operación de los vehículos que circulan en las vías de ciudades de más de 100 000 habitantes que, como indica Thomson, consume alrededor de 3.5% del PBI de América Latina y el Caribe, sin considerar los viajes opcionales, como los de fines de semana. Asimismo, el valor social del tiempo consumido en los viajes equivale a aproximadamente otro 3% del PIB (Thomson, 2000b).

Condiciones de la vida urbana (calidad de vida):

- Contaminación del aire: situación que va en aumento y es provocada principalmente por el consumo de combustibles en vehículos que circulan en un tránsito convulsionado a baja velocidad.
- Contaminación sonora: referida a la mayor cantidad en los niveles de ruido en el entorno de las vías principales.
- Aumentos de tiempos de viaje independientemente de los modos en que las personas se movilizan.
- Irritabilidad causada por la pérdida de tiempo durante el viaje en situaciones de congestión.
- Mayor cantidad de accidentes de tránsito.
- Aumento del estrés producido por la acción de conducir inmerso en una masa vehicular excesiva.

Costos democráticos

- Gravedad del problema y percepción ciudadana de una relativa inacción o acción insuficiente de las autoridades lleva a que ciudadanos expresen: pérdida de credibilidad en la calidad, oportunidad y eficacia de las decisiones políticas: malas

decisiones, tardías y con resultados de dudosa o insuficiente utilidad para la gente; falta de compromiso real de las autoridades con resolver los problemas de los ciudadanos, es decir, falta de un verdadero compromiso social por parte de ellas y pérdida de credibilidad en la efectividad del accionar de las autoridades, con hipótesis negativas para explicar aquello (miedo de enfrentar a los grupos de interés u otras hipótesis peores) (Problemas de la movilidad urbana: Estrategias y medidas para su mitigación, 2014).

Repercusión de la congestión vehicular en la economía de un país

La congestión vehicular representa pérdidas económicas directas e indirectas en la economía de un país, esto es debido a que principalmente, el tiempo invertido en viajes, representa un costo de oportunidad para cada habitante, en este sentido, cuanto mayor sea el nivel de congestión vehicular de un país o ciudad, mayores serán los tiempos de viaje y, por lo tanto, mayor será el costo de oportunidad generado.

Según un documento publicado por el diario El Correo, un informe de la gerencia de Promoción de la Inversión Privada de la Municipalidad de Lima, señala que el sistema de transporte urbano del Perú genera pérdidas anuales de 20 mil millones de dólares. También indica que los sectores que pertenecen a los estratos más bajos son los más perjudicados, ya que, tienen que invertir hasta un 25% de sus salarios en transporte al mes (Cáceres, 2017).

Así mismo, un informe a cargo de la organización “Lima, como vamos” indica que los usuarios pueden llegar a pasar de dos hasta seis horas diarias en el transporte público, es por esta razón que la calidad de vida de muchos ciudadanos se ha visto perjudicada, sumado a esto, las altas tasas de accidentalidad vehicular, representa un costo directo en la economía de los usuarios y a la de un país.

Volumen de tránsito

1.2.1 Definición

Es interpretado como el número de vehículos que pasan por un tramo de una carretera en un tiempo determinado.

Se expresa de la forma:

$$Q = \frac{N}{T} \quad (1.1)$$

Donde:

Q = vehículos que pasan por unidad de tiempo (vehículos/periodo)

N = número total de vehículos que pasan (vehículos)

T = período de tiempo (unidades de tiempo)

Existen distintas unidades de tiempo utilizadas para el volumen de tráfico, como son: el año, el mes, la semana, el día, la hora. En este sentido, el volumen de tráfico se puede representar en expresiones de volumen de tráfico anual, volumen de tráfico mensual, volumen de tráfico semanal, volumen de tráfico diario, volumen de tráfico horario.

Para el estudio de carreteras, un factor muy usado e importante es el TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual).

1.2.2 Aforo

Un aforo es definido como el proceso de medir la cantidad de vehículos y/o peatones que pasan por un tramo en una carretera en una unidad de tiempo. (Gómez, 2004).

Para realizar un Aforo Vehicular es necesario conocer los siguientes términos:

Tráfico Anual (TA), es el número de vehículos que pasan por un determinado punto o tramo en un año.

Tráfico Mensual (TM), número de vehículos que pasan durante un mes.

Tráfico Semanal (TS), número de vehículos que pasan durante una semana.

Tráfico Diario (TD), número de vehículos que pasan durante un día.

Tráfico Horario (TH), número de vehículos que pasan durante una hora.

Tasa de flujo (q), número de vehículos que pasan durante un periodo inferior a una hora.

Basados en la hora seleccionada, se definen el siguiente volumen de tránsito horario, el cual será expresado en unidades de vehículos por hora:

- Volumen Horario de Máxima Demanda (VHMD). Definido como el máximo número de vehículos que pasan por un tramo de carretera durante un periodo de 60 minutos consecutivos. (Cal & Mayor, 2007).

Un volumen horario de máxima demanda (VHMD), presenta variaciones de flujo durante su misma hora, a menos que presente una distribución uniforme, sin embargo, por lo general, no es así. En este sentido, significa que existen pequeñas fracciones de hora que presentan tasas de flujos mayores a otras fracciones de la misma hora. Para la hora de máxima demanda, se denomina Factor Horario de Máxima Demanda (FHMD), a la relación existente entre el volumen horario de máxima demanda y el flujo máximo ($q_{m\acute{a}x}$) presentado dentro de una fracción de la hora. Se expresa de la siguiente manera:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N * q_{m\acute{a}x}} \quad (1.2)$$

1.2.2.1 Métodos de Aforo

Métodos Manuales

Son aquellos métodos para obtener volúmenes de tráfico a través del uso de personal de campo conocido como aforadores de tráfico. Los aforos manuales son usados generalmente cuando la información que se solicita no se puede obtener por métodos mecánicos, como, por ejemplo: como clasificar vehículos según su tipo, número que giran, número de ocupantes, entre otros. Los conteos pueden dividirse en 30 minutos o incluso en 15 minutos cuando la densidad del tráfico es mayor. Este tipo de conteos se realizan por medio de hojas de campo.

Métodos Automáticos o Mecánicos

Son métodos usados para obtener datos de volúmenes de tráfico a través de detectores automáticos ubicados en la superficie o área del espacio estudiado.

Estos pueden ser:

- Detectores neumáticos
- Contacto eléctrico
- Fotoeléctrico
- Ultrasónico
- Magnético
- Radar
- Infrarrojo, etc.

1.2.3 Modelos de Tráfico Continuo

1.2.3.1 Modelo Fluidodinámico

En este modelo, el tráfico se considera como un fluido continuo de partículas idénticas, la representación de este modelo se hace considerando las variables de estado promedio.

El modelo Fluidodinámico se representa a través de la siguiente ecuación:

$$q = V_s * k \quad (1.3)$$

Donde:

q, es el flujo vehicular, cantidad de vehículos que atraviesan una vía en un tiempo menor a una hora (generalmente de 15 minutos).

V_s , Velocidad espacial promedio, se calcula como la media armónica de las velocidades que atraviesan un punto.

k, Concentración. Es el número de vehículos entre una distancia de tiempo. (Mientras menos sea este valor, indica que hay mayor espacio entre las unidades vehiculares, es decir, mayores índices de velocidad y fluidez del tráfico).

1.2.3.2 Modelo de la Teoría del Seguimiento Vehicular

La teoría del seguimiento vehicular fue desarrollada por distintos autores en la década de los 50. Este modelo estudia las interacciones entre dos vehículos, un antecesor y un sucesor, sin embargo, se mantiene el supuesto de que ambos vehículos son idénticos.

Estos modelos se basan en la relación estímulo – respuesta a la que responden los conductores después de un tiempo de reacción que está comprendido entre 0.5 a 2 segundos, normalmente (Burgos, 2004). El modelo se presenta de la siguiente forma:

$$R(t + t_R) = \lambda * S(t) \quad (1.4)$$

Donde,

R: reacción

S: estímulo

λ : función de sensibilidad

t_R : tiempo de reacción

Un documento obtenido de la tesis del Ingeniero Civil Víctor Zúñiga Calderón (2010) indica que un estímulo es, por ejemplo, un cambio en la velocidad o en la distancia al vehículo que antecede y una reacción es la variación en la tasa de aceleración o desaceleración frente a tal estímulo. En este sentido, la teoría del seguimiento vehicular da origen a una familia de modelos que se expresan de la siguiente forma:

$$\ddot{x}_{n+1}(t + t_R) = \frac{\alpha_{ml}[\dot{x}_{n+1}(t)]^m}{[x_n(t) - x_{n+1}(t)]^l} [\dot{x}_n(t) - \dot{x}_{n+1}(t)] \quad (1.5)$$

Donde:

$\ddot{x}$: tasa de aceleración / desaceleración del vehículo

$\dot{x}$: velocidad del vehículo

x : posición del vehículo

α : factor de sensibilidad

m, l : constantes

n : vehículo precedente

$n + 1$: vehículo seguidor

Donde los exponentes m y l adoptan distintos valores de acuerdo a las hipótesis formuladas por distintos autores respecto a la sensibilidad de los conductores. (Zúñiga, 2010).

Metodología HCM 2010 (Modo automóvil y otros vehículos motorizados)

1.3.1 Capacidad vial

La capacidad se define como la tasa horaria máxima a la que personas o vehículos se espera puedan razonablemente cruzar un punto o tramo de una carretera durante un periodo de tiempo asignado, en tráfico y condiciones de control. La capacidad será definida según las características físicas y geométricas de la intersección o tramo, dispositivos, instalaciones y controladores de tráfico que forman parte de la infraestructura vial.

Demanda

Es la medida principal que refleja la cantidad de tráfico que utiliza una instalación determinada. Es decir, la demanda es la cantidad total de usuarios que hacen o que quieren hacer uso de la instalación. A diferencia del volumen de tráfico, la demanda considera a

aquellos vehículos que quieren atravesar dicho punto o tramo de carretera mientras que el volumen, solo considera a aquellos que lo atraviesan. Si no existen colas, la demanda es equivalente al volumen de tráfico.

1.3.2 Flujo de saturación

Es definido como el flujo que prevalece bajo determinadas condiciones para cada carril establecido. Se parte de un flujo de saturación base (S_0), el cual, progresivamente se ajusta mediante factores relacionados con las características y condiciones a las que está expuesto el carril.

El flujo de saturación se expresa de la siguiente manera:

$$S = S_0 f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{RT} f_{LT} f_{Lpb} f_{Rpb} \quad (1.6)$$

Donde:

S : Flujo de Saturación

f_w : Factor de Ancho de Carril

f_{HV} : Factor de Vehículos Pesados

f_g : Factor de Grado o pendiente del terreno

f_p : Factor de Estacionamientos

f_{bb} : Factor de Parada de buses o paraderos

f_a : Factor de Tipo de área o zona

f_{LU} : Factor de Ajuste por utilización de carril

f_{RT} : Factor de Giro a la derecha

f_{LT} : Factor de Giro a la izquierda

f_{Lpb} : Factor por peatones para grupos con giro a la izquierda

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

1.3.3 Grado de saturación

Este factor indica el grado o nivel de congestionamiento de la vía, los valores por debajo de 1 indican que la vía todavía no ha alcanzado su tope de su capacidad para servir a la demanda vehicular, por el contrario, si es mayor a 1, indica que la vía ya cumplió con su

capacidad y que, de este modo, empieza a generarse la congestión, demoras y tráfico vehicular.

Demoras

Son una evaluación del comportamiento que nos ofrece la capacidad de la intersección. La evaluación está basada en el promedio de las demoras de los vehículos que transitan por el tramo de carretera o intersección.

1.3.4 Nivel de servicio

Según el libro CAL & MAYOR, se define al nivel de servicio como la medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular y de la percepción de los conductores y/o pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores como la velocidad, tiempo de recorrido, libertad de maniobras, comodidad, conveniencia y seguridad vial. (CAL & MAYOR, 2007).

El HCM, ha establecido seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, que van del mejor al peor los cuales se pueden definir de la siguiente manera:

- ✓ **Nivel de servicio A:** Demoras muy bajas, menores a 10 segundos por vehículos. La mayoría de los vehículos llegan durante la fase de verde y no se detienen del todo. Longitudes de ciclo corto que pueden contribuir a demoras mínimas.
- ✓ **Nivel de servicio B:** Demoras entre 10 y 20 segundos por vehículo. Algunos vehículos comienzan a detenerse.
- ✓ **Nivel de servicio C:** Demoras entre 20 y 35 segundos por vehículo. La progresión del tránsito es regular y algunos ciclos comienzan a malograrse.
- ✓ **Nivel de servicio D:** Demoras entre 35 y 55 segundos por vehículos. Longitudes de ciclo amplias o relaciones de v/c altas. Muchos se detienen y hace más notable los ciclos malogrados.
- ✓ **Nivel de servicio E:** Demoras entre 55 y 80 segundos por vehículo. Se considera como el límite aceptable de demoras. Las demoras son causadas por progresiones pobres, ciclos muy largos y relaciones v/c muy altas.

- ✓ **Nivel de servicio F:** Demoras superiores a los 80 segundos por vehículo, Los flujos de llegada exceden la capacidad de los accesos de la intersección, lo que ocasiona congestionamiento y operación saturada.

En la Tabla 1 se presenta un cuadro resumen de lo anteriormente dicho.

Tabla 1. Clasificación de los niveles de servicio según la demora.

Demora de control (s/veh)	Nivel de servicio para $X_i \leq 1.0$	Nivel de servicio para $X_i > 1.0$
[0 ; 10]	A	F
< 10 ; 20]	B	F
< 20 ; 35]	C	F
< 35 ; 55]	D	F
< 55 ; 80]	E	F
< 80 ; $+\infty$ >	F	F

Fuente: Highway Capacity Manual (HCM 2010)

Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS)

1.4.1 Definición

Los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) son la aplicación conjunta de información y tecnologías de la comunicación, en el sector transporte, es decir, los ITS se basan sobre la información de tráfico vehicular en tiempo real (Martínez, 2012). Como indica Mercedes Suárez en su publicación “Los Sistemas Inteligentes de Transporte” en el 2001, los ITS, los cuales se fundamentan principalmente en la telemática, permiten hacer uso de las tecnologías actuales y ayudan a la identificación de problemas relacionados con el transporte para generar soluciones con sistemas eficaces, coherentes y útiles, que en últimas es el propósito de la ingeniería (Suárez Flórez, 2001). Asimismo, los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) sirven como mecanismo de control del tránsito y transporte en su ámbito general, involucrados en la solución de problemas como congestionamiento vehicular, accidentalidad y contaminación ambiental.

1.4.2 Características de los ITS

Las aplicaciones de los ITS abarcan un amplio espectro, los ITS forman parte, a veces en mayor proporción; otras, en menor proporción, de los procesos de gestión, distribución de mercancías y de la movilización de los pasajeros en todos los modos de transporte.

En el ámbito de transporte urbano e interurbano, las aplicaciones de los ITS afectan al transporte por carretera como por ferrocarril. Estas aplicaciones son: la información de tráfico y viajes, gestiones de transporte público, transporte de mercancías, gestión de tráfico y carreteras, gestión de estacionamientos, gestión de demandas, de asistencia al conductor y la conducción cooperativa.

A continuación, en la tabla 2 extraída de la publicación titulada “Sistemas inteligentes de transporte y nuevas tecnologías en el control y administración de sistemas inteligentes de transporte y nuevas tecnologías en el control y administración transporte” se muestra las principales características de los ITS más novedosos utilizados actualmente.

Tabla 2. Características de los ITS más novedosos utilizados actualmente.

Sistemas de Información Avanzados de Viajeros	Provisión de información de tráfico en tiempo real
	Guía de ruta / Sistemas de navegación
	Información de estacionamiento
	Sistemas de información meteorológica
Sistemas Avanzados de Administración del Transporte	Centros de operación del tráfico
	Control adaptable de señales de tránsito
	Señales de mensajes dinámicos
Sistemas de Tarifas de Transporte Habilitados	Peajes electrónicos
	Pago de tarifa o precio electrónico
	Líneas de expreso
	Tarifas de uso de vehículos por kilómetro recorrido
Sistemas de Transporte Público Avanzados	Variables de las tarifas de estacionamiento
	Información en tiempo real del estado del sistema de transporte público (por ejemplo autobús, metro, tren, etc.)
	Localización automática de vehículos
	Pago de tarifa electrónica (por ejemplo, tarjetas inteligentes)
Vehículo a Infraestructura de Integración y Vehículo a Vehículo de Integración	Sistema de anticolidión en intersecciones
	Adaptación inteligente de la velocidad

Fuente: Sistemas Inteligentes de Transporte y nuevas tecnologías en el control y administración del transporte (Quintero González & Prieto Vaca, 2015)

1.4.3 Tipos de ITS

1.4.3.1 Sistema CCTV

Este sistema permite visualizar de manera directa el tránsito de la vía, monitoreando su estado en tiempo real, en este sentido, permite gestionar el tráfico de manera eficiente. De este modo, es posible reducir el tiempo de respuesta ante cualquier situación de emergencia

o incidente, asimismo, reducir el posible impacto de dicho suceso sobre los demás usuarios de la vía. Las imágenes captadas por este sistema pueden ponerse a disposición del público, dependiendo del uso y naturaleza de la información. Estas cámaras se instalan en sitios críticos como intersecciones, peajes, ingresos y salidas de poblaciones y en puntos negros donde habitualmente ocurren accidentes (MTC, 2014).

1.4.3.2 Sistema de sensores para gestión del tránsito

Este sistema comprende unos dispositivos encargados de obtener información en tiempo real de distintas variables relacionadas con el flujo de circulación de una vía, como son:

- Detector de presencia
- Velocidad de circulación de vehículos
- Conteo y clasificación de vehículos (en función al número de ejes y/o longitud)
- Detector de colas
- Determinación de intervalo de tiempo entre vehículos
- Determinación del tiempo de ocupación

Este conjunto de características permite conocer el estado de la circulación en tiempo real, caracterización del tipo de tránsito que hace uso de la vía, conocer las velocidades promedio de tránsito, detección de incidentes en la carretera mediante alarmas, entre otros.

El tipo de tecnologías que usa este sistema se puede clasificar en dos modelos, intrusivas y no intrusivas dependiendo de si los sensores se implementan bajo el pavimento o no:

- Intrusivas (sensores bajo el pavimento): sensor piezoeléctrico, lazo inductivo, sensor magnético, sensor de fibra óptica, manguera neumática.
- No intrusivas: sistemas de video-detección, sensores microondas, ultrasonido, infrarrojos, etc.

Entre las tecnologías intrusivas se tienen:

- Lazo inductivo: Detecta la presencia del vehículo, puede diferenciar tipos, medir su longitud, etc. Proporciona variables de conteo y clasificación de vehículos, mas

no precisa el número de ejes. También se implementa para gestión y control de estacionamientos y barreras, automatización de señalización, etc.

- Sensor Piezoeléctrico: Es un sensor de ejes y detecta el paso del vehículo en base a la carga eléctrica que se genera en el material piezoeléctrico cuando es pisado por una rueda. Proporciona variables de conteo y clasificación de vehículos. Si se coloca un par de ejes a una distancia conocida es posible obtener también la velocidad del vehículo y clasificación con precisión. Su campo de aplicación es desde 1 a 180km/h aproximadamente.
- Sensor magnético: Permite determinar variables como la posición, dirección del movimiento y velocidad del vehículo y la intensidad del tránsito. No detecta vehículos parados. También identifica vehículos autorizados frente a los no autorizados ya que admite detección de códigos.
- Sensor de fibra óptica: Es un sensor de ejes y detecta el paso del vehículo por la variación de conductividad óptica de un cable de fibra óptica cuando es pisado por una rueda.

Entre las tecnologías no intrusivas (extrusivas) tenemos:

- Sistemas de video-detección: Su funcionamiento se basa en la captura y posterior procesamiento de imágenes de video captadas por cámaras instaladas en los márgenes de la calzada o sobre pórticos.
- Sensores ultrasonido: Detectan la presencia del vehículo y estiman su velocidad. Su principio de funcionamiento es similar al de un radar de microondas, de forma que se emite un pulso de sonido (25-50kHz) y se analizan las características de los pulsos reflejados cuando impactan con algún objeto.
- Sensores infrarrojos: Permiten obtener los siguientes parámetros del vehículo en circulación: detección de presencia, longitud, ancho, alto del vehículo, velocidad y clasificación de acuerdo a las dimensiones. (mediante el barrido láser se obtiene la imagen del vehículo).

1.4.3.3 Sistema automático de identificación vehicular

Este sistema permite identificar de manera particular a un vehículo en movimiento mediante determinados parámetros asociados al mismo.

Los ámbitos de aplicación que abarcan este tipo de sistemas dentro del ámbito de los ITS tenemos: gestión y cobro de peaje electrónico, control de infracciones de tránsito, monitoreo y gestión de flotas, monitoreo de rutas (transporte de carga, línea ferroviaria, etc.), Control de acceso vehicular (zonas limitadas, estacionamientos, paso de fronteras, etc.), detección, conteo y clasificación de vehículos, registro electrónico de vehículos, control de vehículos robados, entre otros. (MTC, 2014).

Se reconoce tres tecnologías principales para la implantación de sistemas de identificación vehicular automática:

- Tecnología RFID
- Tecnología Infrarrojos IR
- Tecnología ALPR

1.4.3.4 Sistemas electrónicos de tickets o boletos de transporte

Estos sistemas hacen referencia a los diferentes medios de pago electrónico que le usuario puede utilizar actualmente en el ámbito del transporte colectivo.

Su aplicación principal se centra en el pago electrónico mediante el uso de servicios de transporte colectivo, como el metro o el autobús.

Indirectamente, la aplicación de sistemas de pago electrónico en el transporte colectivo mejora el flujo de pasajeros minimizando tiempos, mejorando el proceso de registro y recaudación de pasajes, y favoreciendo conceptos como la integración tarifaria entre distintos medios de transporte. (MTC, 2014)

Existen las siguientes tecnologías:

- Tecnología de contacto: Banda Magnética y tarjetas inteligentes de contacto (con microprocesador).
- Tecnología sin contacto: TISC (Tarjetas Inteligentes Sin Contacto) y NFC.

1.4.3.5 Sistema de fiscalización

El principal objetivo de estos sistemas es sancionar las acciones del conductor del vehículo, en caso de una infracción de tránsito.

Estos sistemas se suelen componer de una combinación de dos tecnologías: aquella que permite identificar la infracción y aquella que permite identificar al vehículo.

Estos sistemas se aplican para sancionar diferentes tipos de infracciones, siendo las más habituales:

- Exceso de velocidad
- Paso de semáforo en rojo
- Control de intersecciones
- Control de estacionamiento
- Presencia vehicular en zonas restringidas
- Control de carga

El objetivo final de estos sistemas consiste, principalmente, en reducir la accidentabilidad y en general contribuir con el control de la circulación vial en pro de la seguridad. (MTC, 2014).

1.4.3.6 Sistema de peajes

El sistema de Peaje se refiere a los sistemas de cobro en autopistas, túneles y cualquier infraestructura vial que requiera del pago de tarifa por el paso vehicular.

Los sistemas de cobro pueden ser manuales (transacción física con personal); automáticos, utilizando como medio de pago tarjetas bancarias, sin que se requiera presencia de personal; o, bien pueden ser peajes electrónicos también denominados telepeajes o free-flow que, como principal ventaja, no requieren la detención del vehículo al hacer uso de tecnología inalámbrica.

1.4.3.7 Paneles de Mensajes Variables

Los Paneles de Mensajes Variables (PMV) son tableros electrónicos que informan en tiempo real a los usuarios de la vía sobre el estado de la misma, las condiciones climáticas, la presencia de accidentes, la congestión de vehículos, etc. y en general cualquier información

de interés en materia de seguridad vial. Esto con el fin de reducir accidentes y mejorar la operación de la red.

Tienen la particularidad de ser dinámicos, de forma que desde un Centro de Control se puede gestionar el contenido del mensaje en cada momento.

Su aplicación principal es informar en tiempo real a los usuarios el estado de la vía, dar instrucciones en situaciones críticas o especiales, y recordar a los usuarios la necesidad de cumplir con el reglamento de tránsito. A continuación, se mencionan algunos de los ejemplos de uso más habituales: Advertencia de congestionamientos, accidentes y condiciones climáticas, desviaciones por obra, señalizaciones de rutas, avisos de velocidades límite, gestión de accidentes y de estacionamiento.

1.4.3.8 Sistema semafórico

Son dispositivos situados principalmente en intersecciones viales cuya función es regular el tránsito vehicular y peatonal, estableciendo prioridades de paso en cada caso.

En la actualidad, se evoluciona a redes de semáforos controlados de forma dinámica, de acuerdo con el estado de determinadas variables de tránsito (sistema adaptativo), siendo éste el sistema más eficiente para obtener un tránsito más fluido por adaptarse a las necesidades reales de la vía en cada momento. (MTC, 2014)

1.4.3.9 Postes SOS (Telefonía de emergencia)

El sistema de Postes SOS o de Telefonía de emergencia es un sistema de auxilio y ayuda en carretera, que permite a los usuarios de la vía comunicarse con un centro de control, en caso requieran algún tipo de asistencia en ruta (atención médica, apoyo mecánico para el vehículo, etc.).

La función de este sistema es auxiliar a los usuarios de la vía en caso de emergencia y cuando éstos lo hagan saber al centro de control. Se realiza a través de las tecnologías de telefonía analógica (cuadretes y fibra óptica) y telefonía IP.

1.4.4 Beneficios de los ITS

- **Seguridad**

Una de las prioridades del transporte es la seguridad. Durante los últimos años varios equipos de ingenieros de todo el mundo han desarrollado en diferentes laboratorios un sistema de conectividad inalámbrica entre vehículos capaz de evitar situaciones de riesgo que puedan terminar en accidentes graves o mortales.

- **Medio Ambiente**

Ofrecer un servicio de transporte público con tecnología amigable con el medio ambiente, calidad y rapidez permite al usuario prevenir sus tiempos de traslado y en muchos casos dejar el automóvil, lo que provoca una menor contaminación.

- **Movilidad**

En general, las autoridades viales tratan de coordinar lo mejor posible la red de semáforos en las ciudades. Sin embargo, la planeación del tiempo del cambio rojo-ámbar-verde a veces pierde sentido, como cuando una avenida presenta mucha carga vehicular y los conductores son detenidos en cruces innecesarios.

La mala sincronización de la red de semáforos cuesta dinero y daña al medio ambiente ante el continuo parar y arrancar que conlleva un consumo de combustible que provoca emisiones de dióxido de carbono, de óxidos nítricos y partículas en suspensión, además de ruido.

Una solución para evitar este problema desde hace varios años son los semáforos inteligentes, que miden por inducción el flujo de tráfico en los caminos y según la carga favorecen una u otra dirección.

Actualmente se investiga la evolución de estos semáforos y en las nuevas propuestas se busca que puedan comunicarse u obtener información ya sea con los teléfonos inteligentes de los conductores o de los propios coches a través de una red móvil o por bluetooth, lo que permitirá medir el número de vehículos y la distancia entre ellos y decidir si se alargan o no las fases de verde.

1.4.5 Funcionamiento de los ITS

Los ITS funcionan de manera integrada unos con otros, individualmente no generan mucho valor, pero cuando trabajan en conjunto, es cuando logran su mayor efectividad ya que la integración de los sistemas permite optimizar las características del tráfico, como son: la movilidad, agilizar la demanda, menores tiempos de viajes, reducción de contaminación, asistencia en tiempo real, etc, en este sentido, el conjunto de sistemas actúa y proporciona mejores condiciones “input” al próximo sistema por lo que el sistema siguiente ya no actúa con las condiciones iniciales regulares, sino con unas condiciones iniciales mejoradas por el o los sistemas predecesores, en este sentido, la eficiencia de los sistemas dentro del conjunto de sistemas se multiplica.

1.4.6 Aplicaciones en otros países de los ITS

Como ejemplo de aplicaciones de los ITS en otros países se presentan los siguientes casos que vienen desarrollándose recientemente.

- (EE.UU.): Ya en circulación está el camión inteligente Freightliner Inspiration Truck, fabricado por la empresa Daimler. Este vehículo, el primero en su tipo con licencia para transitar por autopistas de Estados Unidos, cuenta con cámaras, radares, sensores y un cerebro central que gestiona toda la información, aunque no es completamente autónomo y necesita de un conductor al mando del volante. La idea es contar con un sistema que apoye al chofer y reduzca su fatiga y estrés luego de conducir durante horas y proporcionar mecanismos para que su conducción sea más eficiente. El camión será responsable de ir a velocidad legal, no salirse del carril y controlar la distancia respecto de otros vehículos.
- (Reino Unido): Reino Unido anunció en 2017 la puesta en marcha de un tren de pasajeros 100% inteligente. Este acontecimiento tendrá lugar en Londres, contará con trenes equipados con sensores, controladores, cámaras de video vigilancia, servidores y antenas de comunicación que les permitirán detectar cualquier anomalía dentro de los vagones y saber actuar frente a ella. Estas máquinas serán construidas por la empresa japonesa Hitachi, la empresa responsable de los trenes bala en Japón, y podrán comunicarse a través de señales

GSM (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles, por sus siglas en inglés) con la vía ferroviaria electrificada y el Sistema de Gestión de Tráfico para entregar datos de señalización. Su sistema integrado no solo funcionará para prevenir accidentes o fallas mayores en la red ferroviaria, sino que también automatizará operaciones rutinarias como el consumo de energía y riesgo en las estaciones, así como el conteo y seguridad de los pasajeros en cada vagón.

Los 122 trenes que prevé el proyecto alcanzarán una velocidad de 200 kilómetros por hora y reemplazarán a los viejos trenes eléctricos y de diesel.

- (Chile): El país chileno actualmente cuenta con autopistas urbanas con sistemas free – flow (de flujo libre) que cuentan con distintos componentes ITS el cual cuenta con distintos componentes ITS como son:
 - Sistema de control central
 - Sistema de control de iluminación
 - Sistema de detección de incendios
 - Sistema de control de ventilación
 - Sistema de megafonía
 - Sistema de postes S.O.S.
 - Sistema de monitoreo de tráfico
 - Sistema de pesaje dinámico
 - Red de comunicaciones

Este conjunto de sistemas permite conseguir una movilización de los usuarios de “flujo libre” ya que reduce el congestionamiento vehicular y permite un mayor control y seguridad de los usuarios de la vía.

■ Softwares de Simulación de Tráfico e ITS.

Actualmente, la gestión del tránsito vial se ha convertido en una preocupación mundial, debido a ello se han desarrollado varios simuladores de tráfico para comprender mejor los problemas de congestión en las áreas urbanas y mejorar el funcionamiento de toda red vial. Para los autores de la publicación titulada “A comparative analysis of currently used microscopic and macroscopic traffic simulation software” (2009), toda simulación, en

general, es una herramienta ampliamente utilizada para probar o evaluar un plan de acción antes de su implementación. Asimismo, los factores clave necesarios a considerar al seleccionar un modelo de simulación para un estudio de intercambio de autopistas típico incluyen el desarrollo del modelo, calibración a condiciones de campo, requisitos de validación, simulación o animación, y la salida y consistencia del modelo con el 2010 Highway Capacity Manual (HCM) (Ratrouf & Rahman, 2009). Los programas de simulación abordan la planificación del transporte (principalmente modelos de demanda), políticas (como la gestión del sistema de transporte) e ingeniería de tráfico (como el comportamiento del flujo) para investigar los escenarios de la vida real del sistema de transporte de forma más exhaustiva. Por otro lado, los programas de simulación de tráfico se dividen en tres categorías principales (microscópica, mesoscópica y macroscópica), y una nueva categoría aplicada por Dia y Panwai la cual es el modelo nanoscópico para indicar una representación más fina a nivel de detalle del tráfico y que limita su uso principalmente hacia operaciones de tráfico en áreas geográficas relativamente pequeñas (Dia & Panwai, 2008); y dos enfoques principales (continuo y discreto). Tomando en cuenta dichas categorías y enfoques principales es que en el mercado actual existe una gran cantidad de softwares de simulación de tráfico, tales como AISUM, Paramics, VISSIM, MITSIMlab, TRANSMODELER, SUMO, MATSim, CORSIM, SimTraffic, TRANSIMS, entre otros; siendo los cuatro primeros de ellos los softwares más utilizados para la simulación de tráfico y la implementación de ITS. Por un lado, algunos de estos programas se centran en el comportamiento del vehículo en detalle, mientras que por otro lado hay otros programas los cuales están interesados mucho más en la simulación de un área mucho más amplia. Hoy en día varias herramientas pueden simular una gran ciudad como el tráfico simulado con el software MATSim en Berlín y Zurich (Saidallah, El Fergougui, & Elalaoui, 2016).

1.5.1 AIMSUN

AIMSUN, desarrollado y comercializado por TSS-Transport Simulation Systems (Barcelona, España) (Casas, Ferrer, García, Perarnau & Torday, 2010), es un software que tiene la capacidad de reproducir las condiciones reales de tráfico de cualquier red de transporte. Se utiliza principalmente para desarrollar y probar los sistemas de control de tráfico, las reglas de gestión del tráfico, los controles de acceso, la ubicación de los peajes,

las redes de transporte público, los carriles, y pueden trabajar juntos con los sistemas de guía del vehículo y otras aplicaciones en tiempo real. AIMSUN tiene muchas ventajas sobre otros softwares en el mercado y permite notablemente modelar los diferentes modelos de red en la misma simulación. Dicho software ha demostrado su solidez en la facilidad de codificación de red, modelado de sistemas de tránsito de bus y funciones básicas en el sistema de gestión de tráfico de la autopista. Por otro lado, AIMSUN está integrado dentro de un entorno de simulación llamado GETRAM (Entorno genérico para análisis y modelado de tráfico), el cual contiene un editor de red de tráfico (TEDI), una base de datos de red, un módulo para realizar simulación y una interfaz de programación de aplicaciones que tiene como objetivo interactuar con otros modelos de simulación o asignación. A través de una biblioteca adicional de funciones DLL, las extensiones GETRAM, el modelo es capaz de comunicarse con aplicaciones externas definidas por el usuario, como la lógica de control en tiempo real (Saidallah, El Fergougui, & Elalaoui, 2016). Por otro lado, AIMSUN ha sido tomado en cuenta principalmente en las evaluaciones de medición de rampa (Hourdakakis & Michalopoulos, 2002), control de señal (Diakaki et al, 2003), seguridad del tráfico (Barcelo, Casas, Ferrer & Perarnau, 2003) y combinación de estrategias ITS (Levinson & Kanchi, 2002).

1.5.2 Paramics (Simulación Microscópica Paralela)

Paramics, comercializado por Quadstone Paramics (Reino Unido) (Cameron & Duncan, 1996), es totalmente escalable y está diseñado para manejar situaciones tan diversas como una intersección con una carretera congestionada o el modelado de un sistema completo de tráfico de la ciudad. Ayuda a dar una representación realista del paisaje, con visualización 2D y 3D. Tiene en cuenta los autobuses, tranvías y también simula peatones. Se usa en diferentes patrones de tráfico (urbano, interurbano, túnel, puerto y estacionamiento) y en muchos países. Un modelo en Paramics se representa mediante una combinación de "nodos, enlaces y otros objetos asociados" para replicar las restricciones de la geometría de la vida real. Al salir de una "zona de origen", cada vehículo intenta completar su viaje hacia una "zona de destino" mientras está limitado por los parámetros físicos y dinámicos del vehículo. Mediante el uso de la micro simulación, Paramics permite a los usuarios simular movimientos de vehículos individuales para predecir el comportamiento futuro del patrón de

viaje como resultado de un cambio en el volumen del tráfico o en el diseño geométrico de la carretera. Asimismo, Paramics modela las infraestructuras emergentes de ITS. El programador, que es un kit de desarrollo de software (SDK) para el conjunto PARAMICS, se puede utilizar para investigar todos los aspectos de ITS, conectividad y control en tiempo real, conectividad con sistemas de hardware y software reales y comportamientos de modelos avanzados o personalizados (Quadstone PARAMICS, 2008). PARAMICS proporciona la Interfaz de programador de aplicaciones (API) para que los usuarios implementen funciones de simulación personalizadas y se conecten a un software externo (Cheu, Tan, & Lee, 2004).

1.5.3 VISSIM

PTV VISSIM, desarrollado por PTV (Planung Transport Verkehr AG) en Karlsruhe, Alemania (Fellendorf & Vortisch, 2010). VISSIM es uno de los programas de simulación más utilizados para simular, evaluar y validar nuevas políticas de transporte y sistemas de control. VISSIM es un simulador multimodal que permite a los usuarios definir una gama completa de tipos de vehículos, incluidos los turismos, autobuses, camiones y vehículos ferroviarios pesados y ligeros, así como peatones y ciclistas. Dicho software es parte de Vision Traffic Suite, que también incluye PTV Visum (tráfico de análisis y pronóstico) y PTV Vistro (optimización de la señal y el impacto en el tráfico). Asimismo, una característica muy importante de VISSIM que lo distingue de otros modelos de simulación es su interfaz de programación de modelo de objetos componentes (COM) la cual permite a los usuarios desarrollar e implementar sus propias aplicaciones en la red VISSIM usando un lenguaje de programación como C ++, Visual Basic o Python. De la misma manera la interfaz COM proporciona aplicaciones desarrolladas por el usuario con acceso a la topología de red, control de señal, flujos de ruta y comportamiento del vehículo, lo que permite a VISSIM modelar sistemas complejos de lógica de control y sistemas y componentes sofisticados de transporte (VISSIM 5.10 COM Interface Manual, PTV, 2009). Asimismo, VISSIM se basa en un modelo de flujo de tráfico que es un modelo microscópico discreto, estocástico y basado en el tiempo. El modelo considera unidades de vehículo-conductor como entidades únicas y contiene un modelo de seguimiento de automóvil psicofísico para el movimiento longitudinal del vehículo y un algoritmo basado en reglas para movimientos laterales. El modelo se desarrolla en base a la investigación de Wiedemann (Wiedemann, 1991). El

paquete de simulación VISSIM consta internamente de dos programas diferentes, que incluyen el simulador de tráfico, un modelo de simulación de flujo de tráfico microscópico y un generador de estado de señal. Este último es un detector de interrogación de software de control de señal que compila información del simulador de tráfico en un paso de tiempo discreto. Fellendorf describió la arquitectura del sistema de VISSIM concentrándose en sus habilidades como un modelo de simulación para el control de la señal. Los sistemas de simulación de VISSIM consisten en un modelo de flujo de tráfico y un modelo de control de señal. VISSIM envía valores de detector al programa de control de señal cada segundo, y el control de señal utiliza los valores de detector para decidir los aspectos de señal actuales (Fellendorf, 1994). VISSIM es recomendado por los usuarios por su fácil capacidad de manipulación en el contexto de geometría compleja y control de tráfico, y elementos de tránsito. VISSIM informa la demora total por enlace y no para cada movimiento de giro.

1.5.4 MITSIMLab (Laboratorio de simulación de tráfico microscópico)

MITSIMLab, desarrollado en MIT (Massachusetts Institute of Technology) (Yang & Koutsopoulos, 1996), es un simulador de tráfico que evalúa los impactos de los diseños alternativos de sistemas de gestión del tráfico, sistemas de información para viajeros, operaciones de transporte público y varias estrategias ITS (Sistemas Inteligentes de Transporte) en el nivel operacional y contribuye a su mayor refinamiento. Puede evaluar sistemas tales como los sistemas avanzados para la gestión del tráfico y los sistemas de orientación vial. El papel de MITSIMLab es representar "el mundo". Los elementos de tráfico y red se representan en detalle para capturar la sensibilidad de los flujos de tráfico a las estrategias de control y enrutamiento. MITSIMLab es una aplicación de código abierto donde sus principales modelos se han escrito en C ++ y están completamente disponibles. Se ha aplicado con éxito en varios estudios de tráfico e investigación en los Estados Unidos, el Reino Unido, Suecia, Italia, Suiza, Japón, Corea, Malasia y Portugal.

1.5.5 Comparativa entre los softwares de simulación de tráfico e ITS

Los autores de la publicación titulada "A Comparative Study of Urban Road Traffic Simulators" (2016), realizaron un análisis comparativo entre los simuladores más utilizados para el tráfico urbano y su adaptación a aplicaciones ITS (Intelligent Transport Systems).

Entre ellos se resaltan las características tanto del AISUM, Paramics, Vissim y MITSIMLab. Dicha comparativa fue plasmada en la siguiente tabla.

Tabla 3. Tabla comparativa de simuladores de Tráfico

Simulador	Modelo			Categoría		Sistema		Visualización		Infraestructura						Vehículos y peatones					Área de alcance			Detectores		SIG			
	I	E	A	FA	C	D	C	2D	3D	Dificultad			Flexibilidad			T	D	PD	PT	O	C	R	P	SC	SI	Y	P	N	
										F	M	D	F	L	VL														
ATMSUN	X	X	X		X		X	X	X			X	X					X	X	X		X	X	X	X	X			
MITSIMLab	X			X				X						X						X			X					X	
Paramics	X				X	X		X	X			X						X	X	X	X	X		X	X				
VISSIM	X				X		X	X	X	X		X						X	X	X	X	X		X	X	X			

Fuente: Saydallah (2016)

Como se puede observar en la tabla 3 se muestra que el AIMSUN es capaz de simular tres modelos al mismo tiempo (microscópico, mesoscópico y macroscópico), mientras que otros son solo simuladores microscópicos. Asimismo, se señala que el VISSIM simula el tráfico de forma continua y ofrece una codificación fácil de la red de carreteras, a diferencia de AIMSUN que requiere de una codificación difícil o pesada. Es así que, en cuanto a la flexibilidad de codificación en los diversos elementos de infraestructura, AIMSUN y VISSIM son más flexibles que los otros simuladores. Asimismo, dichos softwares ofrecen mejores vistas en 3D a comparación de otros softwares del mercado pues, por ejemplo, los vehículos aparecen con características distintas. Los simuladores más comerciales son compatibles con el tipo y el tamaño del vehículo, así también tienen en cuenta a los peatones y los vehículos de emergencia, como ambulancias y patrullas. De la misma manera, dichos softwares pueden simular a los vehículos de transporte público, como autobuses y tranvías, en contraste con los simuladores de fuente abierta, es decir, cualquier programa cuyo código fuente se pone a disposición para su uso o modificación, conforme los usuarios u otros desarrolladores lo consideren conveniente. Todos los simuladores usan sensores cableados. Tanto AISUM como VISSIM utilizan sensores inalámbricos que son más eficientes y económicos. Los autores de la publicación “A Comparative Study of Urban Road Traffic Simulators” (2016) concluyen que los simuladores de fuente abierta no simulan sensores inalámbricos por lo cual dichos simuladores no brindan nuevas oportunidades para el desarrollo de ITS (Sistemas de transporte inteligente). Por último, en dicha tabla se señala que tanto AIMSUN como VISSIM son compatibles con los Sistemas de Información

Geográfica (GIS), mientras que otros simuladores en la actualidad los admiten parcialmente o no lo hacen en absoluto.

Tabla 4. Leyenda de tabla comparativa de softwares.

Criterio		Abreviatura	Significado
Modelo		I	Microscópico
		E	Mesoscópico
		A	Macroscópico
Categoría		FA	Fuente Abierta
		C	Comercial
Visualización		2D	Dos dimensiones
		3D	Tres dimensiones
Infraestructura	Dificultad	F	Fácil
		M	Media
		D	Difícil
	Flexibilidad	F	Flexible
		L	Limitada
		VL	Muy limitada
Vehículos y peatones		T	Tipo
		D	Dimensión
		PD	Prioridad
		PT	Peatones
		O	Otros vehículos (Bus y tren)
Área de alcance		C	Ciudad
		R	Región
		P	País
Detectores		SC	Sensor con cable
		SI	Sensor inalámbrico
SIG		Y	Sí
		P	Parcial
		N	No

Fuente: Saydallah (2016)

Como se puede observar en la tabla 4, se muestra la leyenda de la tabla 3 explicada anteriormente y muestra el significado de cada abreviatura adoptada para la comparativa entre los distintos softwares.

Por otro lado, el artículo titulado “Towards the next-generation traffic simulation tools: a first evaluation.” (2011) presenta una comparación de siete simuladores basada en su capacidad para simular autos, autobuses, camiones, trenes, bicicletas y peatones, como la gestión de los sensores (como semáforos, circuitos electromagnéticos, cámaras, etc.). VISSIM, Paramics y AIMSUN tienen una visualización 3D realista que es muy útil para presentar escenarios del mundo real, a diferencia de otros softwares. Los autores indican que cada simulador tiene características avanzadas, por ejemplo, VISSIM tiene parámetros que

permiten la flexibilidad de sus funciones, Paramics es adecuado para el uso de recursos en máquinas distribuidas y AIMSUN ofrece varias opciones para su extensión.

Asimismo, según los autores Ratrout y Rahman indican que los modelos AIMSUN y PARAMICS son potencialmente útiles para Intelligent Transportation System (ITS), pero también señalan que hay otros modelos de simulación que se desarrollan centrándose en ITS como es el caso de MITSIMLab (Ratrout & Rahman, 2009).

Por otro lado, Hidas evaluó tanto el AIMSUN como PARAMICS con respecto a la capacidad de construcción del modelo. Los procedimientos de entrada de AIMSUN son más fáciles y rápidos que en PARAMICS y algunos usuarios afirman que se tarda entre 30 y 50% menos de tiempo en configurar un modelo en AIMSUN que en PARAMICS (Hidas, 2005).

Según un estudio realizado, tanto AIMSUN como PARAMICS resaltan y son recomendados en el modelado y evaluación de los ITS (Boxill & Lei, 2000). De la misma manera, en una publicación realizada, se indica que PARAMICS obtuvo el puntaje más alto en una evaluación separada de tres softwares de simulación de tráfico microscópico (excluyendo AIMSUN) (Shaw & Nam, 2002).

2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Descripción de la zona de estudio

2.1.1 Ubicación de la intersección

La zona de estudio del presente proyecto se encuentra en el cruce de la avenida Primavera con la avenida Velasco Astete en el distrito de Santiago de Surco.

Figura 5. Vista en planta de la intersección principal en estudio.

Fuente: Google Maps.

La zona de estudio se encuentra en el departamento de Lima, en la provincia de Lima Metropolitana, en el límite de los distritos Santiago de Surco y San Borja, a unos 670 metros de la vía evitamiento y a unos 970 metros de la avenida Caminos del Inca.

Figura 6. Cruce de las Av. Primavera y Velasco Astete (Vista hacia el este)

Fuente: Elaboración propia.

Figura 7. Cruce de las Av. Primavera y Velasco Astete (Vista hacia el sur oeste)

Fuente: Elaboración propia.

La intersección viene comprendida de la siguiente manera: cuenta con 4 accesos, en el sentido Norte y Sur se encuentran los accesos de la avenida Velasco Astete y en el sentido Este y Oeste, los accesos de la avenida Primavera. Además, el acceso Norte-Sur cuenta con 3 carriles y 5 giros; en el sentido Sur-Norte, de igual manera, cuenta con 3 carriles y 5 giros; en el sentido Este-Oeste cuenta con una vía principal y una vía auxiliar que hacen un total de 6 carriles y cuenta con 8 giros (1 giro exclusivo a la izquierda); y en el sentido Oeste-Este, del mismo modo cuenta con 2 vías, un total de 6 carriles y 6 giros (1 giro exclusivo a la derecha y 1 giro exclusivo a la izquierda).

Comercio en la zona

Dentro de los principales lugares y zonas de mayor incidencia de personas cerca a la intersección se encuentran: el restaurante Chili's, el banco de crédito del Perú (BCP), el banco BBVA Continental, el banco INTERBANK, la tienda SONY, cafetería Starbucks, el casino Tahiti, restaurantes como el Kilimanjaro, La Bisteca, La Basílica 640; también centros de estudios como el instituto Toulouse Lautrec, el centro de idiomas Católica, el colegio Santísimo Nombre de Jesús, el colegio Virgen Inmaculada y la escuela de Postgrado GERENS; también centros de salud como la clínica Chacarilla, la clínica Barrenechea; así como centros de convención de personas como la Iglesia Bautista Vida Nueva y la Parroquia Nuestra Señora del Consuelo. Además de que a lo largo de la avenida Primavera se encuentran muchos centros de trabajos, tiendas y centros comerciales; y que se trata de una avenida principal que separa a los distritos de Santiago de Surco y San Borja.

2.1.2 Infraestructura vial de la intersección

Semaforización de la intersección

Así también, la intersección está compuesta por 4 semáforos vehiculares (cuyos tiempos y ciclos se estudiarán más adelante), y además con 4 semáforos para peatones en todos los sentidos.

Intersecciones adyacentes

Para efectos de estudio de la intersección, también se analizaron las intersecciones aledañas próximas en el sentido este y oeste, en este sentido, las intersecciones aledañas que se analizaron fueron: hacia el lado este, la intersección de las avenidas Buena Vista y Primavera; y hacia el lado oeste, la intersección de las avenidas Del Pinar y Primavera. Dichas intersecciones también fueron analizadas debido a que es parte del objetivo evaluar los efectos causados en la intersección al implementar tecnologías ITS dentro de un tramo de la avenida Primavera.

Figura 8. Imagen del corredor propuesto para el estudio.

Fuente: Google Maps.

En la figura 8 se puede observar el tramo en la vía de análisis para el estudio, en el centro se ubica la intersección principal en estudio (Av. Primavera con Av. Velasco Astete), a la izquierda la intersección entre Av. Del Pinar y Primavera, y por la derecha, la intersección de la Av. Buena Vista y Primavera.

ITS implementados en la intersección

La intersección en estudio, a parte de los semáforos de tiempo fijo, cuenta con sistemas de cámaras que permiten analizar, obtener información en tiempo real del tráfico y gestionarlo. La intersección cuenta con 2 cámaras que además brindan seguridad ya que la información visual recopilada en tiempo real es enviada y monitoreada desde una estación de control a menos de 5 minutos, lo cual permite también una rápida reacción frente a posibles accidentes y eventualidades.

Figura 9. Cámaras en la intersección.

Fuente: Google maps.

En la figura 9 se pueden apreciar las dos cámaras de control y semáforos implementados en la intersección en estudio las cuales permiten gestionar el tráfico y además brindar un servicio de vigilancia y de rápida acción ante cualquier eventualidad.

2.1.3 Principales problemas en la intersección

Congestión vehicular

El principal problema registrado en la intersección en estudio es la alta congestión vehicular en las horas punta, tanto de la mañana como de la tarde, en donde, según flujograma de la intersección realizada por la Municipalidad de Surco, la demanda vehicular llega a

alcanzar aproximadamente 7000 veh/hora. La gran demanda vehicular de la intersección genera largas colas de varios cientos de metros; en el sentido de este a oeste involucra a los cruces de las avenidas Buena Vista, El Polo y Encalada con Primavera, en el sentido de oeste a este, involucra a los cruces de las avenidas De la Floresta, Del Pinar y Caminos del Inca con Primavera, por el sentido norte a sur, involucra al cruce de las avenidas Esmeralda con Velasco Astete y en el sentido de sur a norte, a los cruces de los jirones Monte Real y Monte Blanco con Velasco Astete.

Figura 10. Congestión vehicular en hora punta (izquierda, noche; derecha, mañana).

Fuente: Elaboración propia

En la figura 10 se puede observar la alta densidad vehicular en hora punta de la noche y de la mañana, se observan las largas colas formadas en la Avenida Primavera en el sentido de este a oeste en la noche y de oeste a este en la mañana. Las colas suelen llegar hasta la avenida Buena Vista (hacia el este) y hasta la avenida Caminos del Inca (hacia el oeste).

Señalizaciones poco visibles

En la intersección en estudio se tienen señalizaciones de giro a la izquierda (en el sentido de Velasco Astete a Primavera hacia el oeste y de avenida Primavera a Velasco Astete hacia el sur) que se encuentran poco visibles debido al desgaste.

Carril exclusivo de giro a la izquierda

Antiguamente los accesos a la intersección contaban con tres carriles principales en todos los sentidos, sin embargo, debido a la gran demanda de usuarios que giran a la izquierda, se

realizó una ampliación de un carril de giro exclusivo a la izquierda tanto en los accesos por Primavera como los accesos por Velasco Astete, dicha ampliación se realizó con una corta longitud de desarrollo, este diseño provoca que actualmente se generen colas en el carril exclusivo que terminan obstruyendo al carril aledaño 50 metros atrás.

2.1.4 Principales causas del congestionamiento vehicular en la intersección

Giro a la Izquierda

Un factor generador de congestión vehicular identificado en la intersección es el giro a la izquierda. Este fenómeno es una causa crítica del congestionamiento en horas pico y horas fuera de pico. Este fenómeno es causado por dos razones: infraestructura y hábitos de manejo. En gran parte, los hábitos de manejo se dan a consecuencia de una infraestructura inadecuada (semáforos, carriles, señalización), en este sentido, si queremos cambiar este mal hábito primero hay que cambiar la infraestructura.

Actitud agresiva de manejo

Es la principal causa de accidentes vehiculares, que, a su vez, provocan tráfico y caos vehicular. Es una idea muy enraizada en la sociedad peruana de ver las vías como una guerra y a los demás conductores como enemigos.

Cambios bruscos de carril

Esta acción es una característica ligada al manejo agresivo y la forma más efectiva de generar congestión vehicular (sin considerar las altas probabilidades de choque) porque detiene en simultáneo dos carriles: en el que se está transitando y al carril contiguo, ingresando de manera temeraria lo que provoca frenadas bruscas en los otros vehículos. Por el contrario, mantenerse en el carril y solo cambiar de carril cuando sea estrictamente necesario reduce considerablemente la congestión vehicular.

No ceder el paso

Otra característica del manejo agresivo. Pensar que las vías son una zona de guerra implica que nadie puede invadir el carril por el que un usuario transita y que no debe dejar pasar a otro usuario. Lógica que provoca tráfico porque obstruye en lugar de dejar fluir (no dejar que doblen en una calle, obstruir cruces de vías, etc.) y fomenta la agresividad.

Desacelerar bruscamente

Relacionado con el punto anterior, manejar agresivamente implica no dejar pasar a ningún auto y para ello es necesario acelerar y desacelerar de manera constante para evitar que algún auto invada otro carril. Esta acción provoca (además de una alta probabilidad de provocar un accidente vehicular) frenadas intempestivas, repentinas y de golpe, lo que atenta con el fluido constante de vehículos en las vías.

2.1.5 Principales consecuencias en vías aledañas

Si bien, la movilidad individual facilitada por el automóvil puede considerarse positiva desde un punto de vista subjetivo, esta tiene como contrapartida un uso más intensivo del espacio destinado a la circulación.

Como se sabe, el congestionamiento de tránsito afecta tanto a automovilistas como a usuarios del transporte público y acarrea pérdida de eficiencia económica y otros efectos negativos para la sociedad en general. Asimismo, las intersecciones suelen ser focos de congestión, debido a que ellas constituyen puntos comunes de llegada o salida, por lo cual deben ser diseñadas cuidadosamente.

En una vía tan transitada como lo es la Avenida Primavera, la congestión es una de sus principales características, en especial, en las horas pico. La congestión originada en una intersección, genera también efectos en las intersecciones o vías aledañas, ya que por ejemplo los semáforos cuentan con un tiempo de ciclo fijo y una sincronización entre ellos, pero no toman en cuenta la característica del tránsito en ese instante, por lo cual si una intersección se encuentra congestionada, dicho semáforo ya no cumple dicha función de regular el tránsito ya que los conductores, en su mayoría, querrán interponerse entre ellos para poder transitar y salir de dicha congestión, sin respetar los semáforos. Por ello, según la investigación

publicada en el 2005 y titulada “Congestionamiento del flujo vehicular en la gran área metropolitana de San José”, se señala que no siempre la instalación de semáforos acarrea beneficios y mejora la seguridad.

Ahora, con dicho preliminar desarrollado, se considera necesario explicar qué consecuencias trae la congestión vehicular originada en una intersección o vía en específico en otras intersecciones aledañas a la intersección o vía.

- Incremento de los tiempos de viaje: Es la consecuencia más evidente del congestionamiento, especialmente, en las horas pico. No solo se da en la intersección congestionada, sino, se proyecta y afecta a las demás intersecciones puesto que entre ellas el semáforo es sincronizado, con un tiempo fijo.
- Comportamiento agresivo de los conductores: Esto se da debido a la lentitud de desplazamiento la cual exacerba los ánimos tanto de conductores como también de los usuarios.
- Agudización de la contaminación ambiental: No solo se genera una contaminación local, si no también global, puesto que los vehículos emiten también gases de efecto invernadero.
- Aumento del valor de los pasajes: El cual se ve afectado al viajar bajo condiciones de congestionamiento.
- Mayor cantidad de accidentes: Según el informe realizado por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC) con el apoyo del Censo Nacional de Comisarías (CENACOM) señalan que hubo un total de 90 accidentes durante el periodo 2011 - 2014.
- Aumento del consumo de combustibles en el transporte
- Aumento en los costos operacionales de los vehículos

Estudio del Tráfico vehicular

2.2.1 Toma de datos de la intersección

Para llevar a cabo los objetivos del presente estudio se realizaron una serie de estudios a través de la recolección de datos tanto cuantitativos como cualitativos. Con los datos cuantitativos (aforos, velocidades, peatones) se calcularon los niveles de servicio de la intersección en estudio a través de la metodología HCM 2010.

Para los datos cualitativos (encuestas), se realizaron estudios de Origen – Destino (O-D) para analizar la serie de generación de viajes.

2.2.1.1 Aplicación de aforos (vehicular y peatonal)

Se tomaron los datos de manera manual cada 15 minutos. Se realizó el conteo dentro de las horas definidas previamente, esto incluye a la hora punta de la mañana identificada por la Municipalidad de Santiago de Surco. Se definieron previamente los giros permitidos en el acceso, los tipos de vehículos, y se calcularon los volúmenes horarios de máxima demanda por acceso para validar la hora punta señalada por la Municipalidad de Santiago de Surco.

La aplicación de aforos se realizó en base al formato presentado en la tabla 5.

Así mismo, en la tabla 6 se muestra el formato modelo para el aforo peatonal que se realizó luego de definir la hora punta.

Tabla 5. Formato para toma de aforo vehicular en las intersecciones

[illegible]

Tabla 6. Formato para toma de aforo peatonal en las intersecciones

DEMANDA DE PEATONES EN LA HORA PICO (P/H)			
Av. Primavera		Av. Velasco Astete	
Acceso A	Acceso B	Acceso C	Acceso D

2.2.1.2 Aplicación de encuestas

En este caso, la aplicación de encuestas origen-destino fue con el fin de obtener información de indicadores de movilidad, principalmente demanda de viajes generados y atraídos en una zona específica o de un sistema. El formato a utilizar para la aplicación de encuestas es el siguiente:

Tabla 7. Formato para la aplicación de encuestas

FORMATO DE ENCUESTA DE ORIGEN - DESTINO	
ACCESO	
TIPO DE VEHÍCULO	
ORIGEN	
DESTINO	
MOTIVO	
Trabajo	
Estudios	
Recreacional	
Otros (especificar)	

Fuente: Elaboración propia

■ Cálculo del nivel de servicio actual de la intersección según HCM 2010

2.3.1 Procedimiento experimental

Para llevar a cabo este estudio, se emplearon los conteos (aforos) brindados por la Municipalidad de Santiago de Surco, los cuales fueron validados con los aforos de 8 horas realizados in situ en la intersección de estudio, de las cuales 4 horas fueron aforadas de 7am a 11am y las otras 4 horas de 4pm a 8pm. Posteriormente, se obtuvieron los aforos necesarios en intersecciones aledañas de manera que se pudo analizar a la intersección dentro de un tramo de la Avenida Primavera delimitado anteriormente en la figura 8. Así mismo, se identificaron la cantidad de fases de los semáforos en las intersecciones a analizar y se determinaron los ciclos de los semáforos en las intersecciones.

Para completar los datos necesarios para el cálculo de la capacidad de la intersección y los niveles de servicio de los accesos de la intersección, fue necesario también medir los anchos de los carriles y sus pendientes, es decir, analizar las características geométricas de los accesos de la intersección (Norte, Sur, Este y Oeste).

Así también, fue necesario realizar una inspección visual de la intersección para determinar la existencia de carriles de estacionamiento adyacentes a los accesos (dentro de los 75 metros antes de llegar a la intersección), determinar la frecuencia de movimientos de estacionamiento, determinar la frecuencia de parada de buses en el acceso (para buses que se detienen a recoger o dejar pasajeros dentro de los 75 metros llegando o pasando la intersección).

2.3.2 Cálculo de la capacidad en la intersección

Para determinar la capacidad vial en la intersección se empleó la ecuación siguiente:

$$Q_i = \mu_i S_i \quad (2.1)$$

Donde:

$$\mu_i = \left(\frac{v_{ei}}{C} \right) \quad (2.2.)$$

$$v_{ei} = V_i - \lambda_1 + \lambda_2 \quad (2.3)$$

$$C = V_i + A_i + R_i \quad (2.4)$$

V_i : Verde presentado al acceso i

A_i : Amarillo del acceso i

R_i : Rojo presentado al acceso i

C : Tiempo de ciclo del semáforo

λ_1 : Perdida inicial

λ_2 : Ganancia final

v_{ei} : Verde efectivo del acceso i

μ_i : Razón de verde efectivo del acceso i

S_i : Flujo de saturación del acceso i

En este sentido, se realizó el levantamiento de los datos necesarios en la intersección, es decir, el tiempo del ciclo del semáforo, los tiempos de verdes, amarillos y rojos y las pérdidas iniciales

y ganancias finales. (Para efectos del caso en estudio, se consideró el tiempo de pérdida inicial igual al tiempo de ganancia final). Como paso siguiente, se calcularon los flujos de saturación ajustados.

2.3.3 Cálculo del flujo de saturación ajustado

El cálculo del flujo de saturación ajustado se realizó en base a la ecuación (1.6) de la metodología HCM 2010.

Como primer paso, se determinaron los grupos de movimiento y de carril. Para el estudio, los cálculos se realizaron bajo el concepto de grupos de carril.

Como segundo paso, se determinó la tasa de flujo (q) para cada grupo de carril.

Como tercer paso, se determinó la tasa de flujo de saturación ajustada, para ello, se realizó el cálculo de los factores involucrados:

- Tasa de flujo de saturación base (S_0): El HCM 2010 recomienda usar 1900 ADE/h/carril cuando la intersección analizada se encuentre en un área metropolitana con 250 000 hab. o más y para poblaciones menores, 1750 ADE/h/carril.

Tabla 8. Valores de S_0 según metodología HCM 2010

	HCM		
Desarrollado en	USA		
Autores	Transportation Research Board		
Año	2000	2010 <250,000 Hab	2010 >250,000 Hab
S_0	1900	1750	1900

Fuente: Manual HCM 2010.

- Factor por ancho de carril del grupo (f_w): Se calculó en base al ancho del carril analizado.

Tabla 9. Anchos de carril. HCM 2010

Promedio ancho carril (m)	Factor ajuste ancho de carril (f_w)
< 3.0	0.96
$\geq 3.0 - 3.92$	1.00
> 3.92	1.04

Fuente: Manual HCM 2010.

- Factor por vehículo pesado en el grupo (f_{HV}): Se calculó en base al porcentaje de vehículos pesados en el grupo (P_{HV}) y al número equivalente de autos por vehículos pesados (E_T).
- Factor por pendiente en el acceso (f_g): Se calculó en base a la pendiente en el acceso (%), será signo positivo si es cuesta arriba y negativo si es cuesta abajo.
- Factor por estacionamiento adyacente al grupo (f_p): Se calculó en base al número de maniobras de estacionamiento adyacentes y al número de carriles.
- Factor por bloqueo de buses (f_{bb}): Se calculó en base a la frecuencia de paradas de buses en el acceso y al número de carriles.
- Factor por tipo de área (f_a): La metodología HCM 2010 indica tomar un factor de 0.9 si la intersección en estudio se encuentra dentro de la zona del centro de la ciudad, y 1 cuando sea en cualquier otra área. Para el caso en estudio, por encontrarse en el distrito de Santiago de Surco, se consideró un factor de 0.9.
- Factor de ajuste por utilización de carril (f_{LU})
- Factor por giro a la izquierda en un grupo (f_{LT})
- Factor por giro a la derecha en un grupo (f_{RT})
- Factor por peatones y bicicletas para grupos con giro a la izquierda (f_{Lpb})
- Factor por peatones y bicicletas para grupos con giro a la derecha (f_{Rpb})

2.3.4 Determinación del grado de saturación

El grado de saturación se calculó en base a la siguiente fórmula:

$$X = \frac{v}{c} \quad (2.5)$$

2.3.5 Determinación de las demoras

Para calcular el nivel de servicio de la intersección, se calcularon las demoras de control del grupo, definidas como $d = d_1 + d_2 + d_3$, por el manual HCM 2010:

- Demora uniforme: Definida por la siguiente fórmula:

$$d_1 = \frac{0.5C(1 - v_{ei}/C)^2}{1 - [\min(1, X) v_{ei}/C]} \quad (2.6)$$

- Demora incremental:

$$d_2 = 225[(X_A - 1) + \sqrt{(X_A - 1)^2 + \frac{16X_A}{Q}}] \quad (2.7)$$

donde:

X_A : Grado de saturación promedio de todos los grupos de acceso. (Máximo 1)

Q : Capacidad del grupo

- Demora por cola inicial:

$$d_3 = 0; \text{ Si } N_i = 0$$

$$d_3 = 3600 \frac{N_i}{Q}; \text{ Si } q \geq Q$$

$$d_3 = 3600 \frac{N_i}{Q} \left(\frac{4N_i}{Q - q} \right); \text{ Si } q < Q \quad (2.8)$$

Donde:

N_i : Cola inicial del grupo

q : Demanda ajustada del grupo

Finalmente, los niveles de servicio se establecieron según se indica en la tabla 1.

■ Ajuste y expansión de volúmenes

Esta es una metodología desarrollada en el libro titulado Ingeniería de Tránsito (8ª. Edición) cuyos autores son Cal y Mayor Rafael R. y James Cárdenas G. Esta metodología es utilizada en la mayoría de vías que tengan comportamientos similares y en las cuales se puede efectuar la medición de aforos en periodos cortos. Contar con estaciones maestras de aforo permanente o periódico es necesario ya que no siempre se dispone de toda la información de volúmenes a través de periodos largos como, por ejemplo, un año. Con dicha información se puede determinar factores de expansión y ajuste de volúmenes con el fin de determinar los volúmenes de tránsito en estaciones de cobertura a partir de estaciones maestras. Los aforos continuos proporcionan información muy importante con respecto a patrones de variación horaria, diaria, periódica o anual del volumen de tránsito.

- Estaciones permanentes: Estas estaciones permiten conocer las variaciones típicas del tráfico, así como la obtención de las proyecciones del tráfico a largo plazo. Se realizan aforos dos veces al año durante 24 horas durante los periodos de invierno y verano.
- Estaciones de control: Estas estaciones tienen como principal función el llevar un control de las estaciones permanentes. Asimismo, tienen como objetivo conocer las variaciones diarias, semanales y estacionales aplicables para un grupo de estaciones con similares características.
- Estaciones sumarias: Para este tipo de estaciones el aforo anual es realizado como mínimo una vez durante 12 horas diarias (de 6am a 6pm) y en periodo de tres días (martes, miércoles y jueves) en épocas de verano y/o invierno, asimismo, dichos aforos son realizados en vías que tienen una afluencia vehicular moderada.

2.4.1 Metodología

- En una parte de una zona urbana se debe identificar la estación maestra (M) (del cual se conoce el volumen de tránsito diario analizado por cada hora) y otras estaciones de cobertura en donde se requieran los volúmenes a partir de la estación maestra.
- Analizar la data en cuanto a volúmenes de tránsito horarios (TH) para las 24 horas en la estación maestra M.

- Recoger la data en cuanto a TH para una hora en específica (como por ejemplo la hora pico) de cada una de las estaciones de cobertura.
- Aplicar la siguiente relación entre volúmenes diarios:

$$(P_i)_M = \frac{(TH_i)_M}{(TD)_M} \quad (2.9)$$

$(P_i)_M$: Proporción del volumen de tránsito de la hora i con respecto al volumen de tránsito diario en la estación maestra M.

$(TH_i)_M$: Volumen de tránsito de la hora i en la estación maestra M.

$(TD)_M$: Volumen de tránsito diario en la estación maestra M.

Registro de datos en campo

Para procesar los datos, primero se definieron los giros de la siguiente manera.

Figura 11. Diagrama de giros de la intersección.

Fuente: Elaboración propia

En la intersección se pudieron 20 giros, los cuales están distribuidos de la siguiente manera:

ACCESO NORTE:

Comprendido por 3 carriles.

- Dos giros compartidos a la derecha y de frente
- Un giro de frente
- Un giro exclusivo a la izquierda

ACCESO SUR:

Comprendido por 3 carriles.

- Un giro exclusivo a la derecha
- Un giro de frente
- Un giro exclusivo a la izquierda

ACCESO OESTE:

Comprendido por una vía principal (4 carriles) y una auxiliar (2 carriles).

Vía auxiliar:

- Un giro exclusivo a la derecha
- Un giro de frente

Vía principal:

- Tres giros de frente
- Un giro exclusivo a la izquierda

ACCESO ESTE:

Comprendido por una vía principal (4 carriles) y una auxiliar (2 carriles).

Vía auxiliar:

- Dos giros compartidos a la derecha y de frente
- Un giro de frente

Vía principal:

- Tres giros de frente
- Un giro exclusivo a la izquierda

Una vez definidos los giros a considerar para la investigación, se realizó el aforo vehicular en la intersección comprendido de 8 horas que se distribuyeron 4 horas en la mañana (de 7am a 11am) y 4 horas en la tarde (de 4pm a 8pm), y además se tomaron las siguientes consideraciones:

- Los giros de frente para las vías principales, tanto para los accesos este y oeste, se aforaron como si fueran un solo giro ya que el aforo realizado fue del tipo manual (con contadores digitales).
- Los tipos de vehículos a considerar para el aforo se agruparán en cuatro grupos: Autos, camiones, camioneta rural y otros (ómnibus, microbus, bus interprovincial) por ser previamente identificados como los más significativos y frecuentes.
- No se aforaron motos ni mototaxis.
- No se tomaron en cuenta los giros en U ya que estos giros no están permitidos en la intersección, si bien se pudo observar que eran realizados, estos solo se daban en casos excepcionales y muy poco frecuentes, por lo que su efecto no sería significativo para la investigación.

- MAÑANA (7am – 11am)

Acceso Norte:

- Dirección Norte – Sur:

Acceso N° - Aforos						
NORTE-SUR						
	Autos	Camión	Camioneta Rur	Otros	Total	
7:00 a 7:15	198	3	0	0	201	
7:15 a 7:30	247	2	0	0	249	
7:30 a 7:45	292	4	0	0	296	
7:45 a 8:00	248	2	0	0	250	996
8:00 a 8:15	284	2	0	0	286	1081
8:15 a 8:30	176	2	0	2	180	1012
8:30 a 8:45	128	1	0	1	130	846
8:45 a 9:00	116	4	0	0	120	716
9:00 a 9:15	154	3	0	0	157	587
9:15 a 9:30	99	4	0	0	103	510
9:30 a 9:45	117	5	0	0	122	502
9:45 a 10:00	127	3	0	0	130	512
10:00 a 10:15	142	5	0	0	147	502
10:15 a 10:30	149	4	1	1	155	554
10:30 a 10:45	111	2	0	0	113	545
10:45 a 11:00	135	2	0	0	137	552
	2723	48	1	4	2776	
VHMD	587					
FHMD	0.815					

- Dirección Norte – Oeste:

<div> <div>NORTE-OESTE</div> </div>						
	Autos	Camión	Camioneta Rur	Otros	Total	
7:00 a 7:15	4	0	0	0	4	
7:15 a 7:30	8	0	0	0	8	
7:30 a 7:45	7	0	0	0	7	
7:45 a 8:00	14	0	0	0	14	33
8:00 a 8:15	9	0	0	0	9	38
8.15 a 8.30	7	0	0	0	7	37
8.30 a 8.45	3	0	0	0	3	33
8.45 a 9.00	0	0	0	0	0	19
9.00 a 9.15	2	0	0	0	2	12
9.15 a 9.30	3	0	0	0	3	8
9.30 a 9.45	1	0	0	0	1	6
9.45 a 10.00	4	0	0	0	4	10
10.00 a 10.15	3	0	0	0	3	11
10.15 a 10.30	2	0	0	0	2	10
10.30 a 10.45	5	0	0	0	5	14
10.45 a 11.00	5	0	0	0	5	15
	77	0	0	0	77	
<div> <div>VHMD 12</div> <div>FHMD 0.429</div> </div>						

- Dirección Norte – Este:

<div> <div>NORTE-ESTE</div> </div>						
	Autos	Camión	Camioneta Rur	Otros	Total	
7:00 a 7:15	37	1	0	0	38	
7:15 a 7:30	34	1	0	0	35	
7:30 a 7:45	59	1	8	0	68	
7:45 a 8:00	48	2	0	0	50	191
8:00 a 8:15	39	1	3	0	43	196
8.15 a 8.30	16	1	3	0	20	181
8.30 a 8.45	26	3	0	0	29	142
8.45 a 9.00	52	1	0	0	53	145
9.00 a 9.15	36	4	0	0	40	142
9.15 a 9.30	31	2	1	0	34	156
9.30 a 9.45	43	0	0	0	43	170
9.45 a 10.00	28	1	0	0	29	146
10.00 a 10.15	30	0	0	1	31	137
10.15 a 10.30	45	0	0	0	45	148
10.30 a 10.45	39	0	0	0	39	144
10.45 a 11.00	30	4	0	0	34	149
	593	22	15	1	631	
<div> <div>VHMD 142</div> <div>FHMD 0.670</div> </div>						

Acceso Sur:

- Dirección Sur – Norte:

Acceso N° - Aforos SUR-NORTE
	Autos	Camión	Camioneta Rur	Otros	Total	
7:00 a 7:15	72	0	0	0	72	
7:15 a 7:30	90	0	0	0	90	
7:30 a 7:45	88	0	0	0	88	
7:45 a 8:00	101	2	0	0	103	353
8:00 a 8:15	97	2	0	0	99	380
8:15 a 8:30	130	4	0	0	134	424
8:30 a 8:45	108	1	0	0	109	445
8:45 a 9:00	133	3	1	1	138	480
9:00 a 9:15	142	1	0	0	143	524
9:15 a 9:30	156	0	0	0	156	546
9:30 a 9:45	108	3	0	0	111	548
9:45 a 10:00	104	0	0	0	104	514
10:00 a 10:15	99	1	0	0	100	471
10:15 a 10:30	87	0	1	0	88	403
10:30 a 10:45	73	3	0	0	76	368
10:45 a 11:00	66	0	0	0	66	330
	1654	20	2	1	1677	
VHMD 524 FHMD 0.916						

- Dirección Sur – Este:

SUR-ESTE
	Autos	Camión	Camioneta Rur	Otros	Total	
7:00 a 7:15	7	0	0	0	7	
7:15 a 7:30	1	1	0	0	2	
7:30 a 7:45	20	4	0	3	27	
7:45 a 8:00	19	1	0	0	20	56
8:00 a 8:15	19	3	0	0	22	71
8:15 a 8:30	19	1	0	0	20	89
8:30 a 8:45	38	0	0	0	38	100
8:45 a 9:00	64	1	0	0	65	145
9:00 a 9:15	41	3	0	0	44	167
9:15 a 9:30	35	6	0	0	41	188
9:30 a 9:45	27	5	0	0	32	182
9:45 a 10:00	43	11	0	0	54	171
10:00 a 10:15	20	3	0	0	23	150
10:15 a 10:30	10	0	0	0	10	119
10:30 a 10:45	13	0	0	0	13	100
10:45 a 11:00	13	0	0	0	13	59
	389	39	0	3	431	
VHMD 167 FHMD 0.642						

- Dirección Sur – Oeste:

<div> <div>SUR-OESTE</div> </div>						
	Autos	Camión	Camioneta Rur	Otros	Total	
7:00 a 7:15	33	0	0	0	33	
7:15 a 7:30	30	0	0	0	30	
7:30 a 7:45	26	1	0	0	27	
7:45 a 8:00	30	0	0	0	30	120
8:00 a 8:15	23	0	0	0	23	110
8.15 a 8.30	13	0	0	0	13	93
8.30 a 8.45	12	1	0	0	13	79
8.45 a 9.00	13	0	0	0	13	62
9.00 a 9.15	12	0	0	0	12	51
9.15 a 9.30	9	0	0	0	9	47
9.30 a 9.45	17	0	0	0	17	51
9.45 a 10.00	25	0	0	0	25	63
10.00 a 10.15	34	3	0	0	37	88
10.15 a 10.30	21	0	0	0	21	100
10.30 a 10.45	24	0	0	0	24	107
10.45 a 11.00	16	0	0	0	16	98
	338	5	0	0	343	
<div> <div>VHMD 51</div> <div>FHMD 0.981</div> </div>						

Acceso Oeste:

- Vía Principal (Dirección Oeste – Este)

<div> <div>Acceso N° - Aforos</div> <div>OESTE-ESTE</div> </div>						
	Autos	Camión	Camioneta Rur	Otros	Total	
7:00 a 7:15	295	5	11	15	326	
7:15 a 7:30	299	3	13	11	326	
7:30 a 7:45	283	5	8	13	309	
7:45 a 8:00	309	8	18	11	346	1307
8:00 a 8:15	369	5	24	15	413	1394
8.15 a 8.30	452	21	23	10	506	1574
8.30 a 8.45	457	8	14	13	492	1757
8.45 a 9.00	385	14	11	12	422	1833
9.00 a 9.15	339	11	14	14	378	1798
9.15 a 9.30	296	8	8	8	320	1612
9.30 a 9.45	277	13	10	21	321	1441
9.45 a 10.00	249	13	12	9	283	1302
10.00 a 10.15	265	18	15	13	311	1235
10.15 a 10.30	271	19	17	15	322	1237
10.30 a 10.45	293	15	17	26	351	1267
10.45 a 11.00	285	10	15	21	331	1315
	5124	176	230	227	5757	
<div> <div>VHMD 1798</div> <div>FHMD 0.888</div> </div>						

- Vía Principal (Dirección Oeste – Norte)

<div>OESTE-NORTE</div>
	Autos	Camión	Camioneta Rur	Otros	Total	
7:00 a 7:15	11	0	0	0	11	
7:15 a 7:30	37	2	6	0	45	
7:30 a 7:45	33	0	0	0	33	
7:45 a 8:00	49	1	0	0	50	139
8:00 a 8:15	52	3	0	0	55	183
8.15 a 8.30	78	1	0	0	79	217
8.30 a 8.45	95	2	0	0	97	281
8.45 a 9.00	112	3	0	0	115	346
9.00 a 9.15	110	1	0	0	111	402
9.15 a 9.30	85	0	0	0	85	408
9.30 a 9.45	75	3	0	0	78	389
9.45 a 10.00	94	5	0	0	99	373
10.00 a 10.15	108	3	0	0	111	373
10.15 a 10.30	125	3	0	0	128	416
10.30 a 10.45	121	2	0	0	123	461
10.45 a 11.00	117	2	0	0	119	481
	1302	31	6	0	1339	
<div>VHMD 402</div> <div>FHMD 0.874</div>						

- Vía Auxiliar (Dirección Oeste – Este)

<div>OESTE-ESTE</div>
	Autos	Camión	Camioneta Rur	Otros	Total	
7:00 a 7:15	115	1	0	0	116	
7:15 a 7:30	169	0	0	0	169	
7:30 a 7:45	157	0	0	0	157	
7:45 a 8:00	134	3	0	0	137	579
8:00 a 8:15	148	0	3	0	151	614
8.15 a 8.30	185	1	0	0	186	631
8.30 a 8.45	225	3	0	0	228	702
8.45 a 9.00	198	0	0	0	198	763
9.00 a 9.15	247	2	0	0	249	861
9.15 a 9.30	156	2	0	1	159	834
9.30 a 9.45	142	6	0	0	148	754
9.45 a 10.00	106	3	0	0	109	665
10.00 a 10.15	153	2	1	0	156	572
10.15 a 10.30	148	1	0	1	150	563
10.30 a 10.45	131	2	0	2	135	550
10.45 a 11.00	120	5	0	0	125	566
	2534	31	4	4	2573	
<div>VHMD 861</div> <div>FHMD 0.864</div>						

- Vía Auxiliar (Dirección Oeste – Sur)

OESTE-SUR

	Autos	Camión	Camioneta Rur	Otros	Total	
7:00 a 7:15	10	0	0	0	10	
7:15 a 7:30	5	0	0	0	5	
7:30 a 7:45	12	0	0	0	12	
7:45 a 8:00	14	0	0	0	14	41
8:00 a 8:15	17	0	0	0	17	48
8.15 a 8.30	13	0	0	0	13	56
8.30 a 8.45	20	0	0	0	20	64
8.45 a 9.00	21	0	0	0	21	71
9.00 a 9.15	28	0	0	0	28	82
9.15 a 9.30	20	0	0	0	20	89
9.30 a 9.45	23	0	0	0	23	92
9.45 a 10.00	25	0	0	1	26	97
10.00 a 10.15	35	0	0	0	35	104
10.15 a 10.30	23	0	0	1	24	108
10.30 a 10.45	31	0	0	0	31	116
10.45 a 11.00	17	1	0	1	19	109
	314	1	0	3	318	
VHMD 82 FHMD 0.732						

Acceso Este:

- Vía Principal (Dirección Este – Oeste)

Acceso N° - Aforos						
ESTE-OESTE

	Autos	Camión	Camioneta Rur	Otros	Total	
7:00 a 7:15	171	3	1	6	181	
7:15 a 7:30	183	4	3	4	194	
7:30 a 7:45	199	6	1	3	209	
7:45 a 8:00	241	4	2	3	250	834
8.00 a 8.15	284	4	0	3	291	944
8.15 a 8.30	267	3	0	4	274	1024
8.30 a 8.45	259	1	4	3	267	1082
8.45 a 9.00	204	2	6	3	215	1047
9.00 a 9.15	257	2	5	5	269	1025
9.15 a 9.30	221	5	7	3	236	987
9.30 a 9.45	283	3	7	4	297	1017
9.45 a 10.00	216	8	10	6	240	1042
10.00 a 10.15	181	12	10	6	209	982
10.15 a 10.30	168	15	18	9	210	956
10.30 a 10.45	212	4	6	9	231	890
10.45 a 11.00	221	10	8	5	244	894
	3567	86	88	76	3817	
VHMD 1025 FHMD 0.935						

- Vía Principal (Dirección Este – Sur)

<div>ESTE-SUR</div>
	Autos	Camión	Camioneta Rur	Otros	Total	
7:00 a 7:15	44	1	1	5	51	
7:15 a 7:30	35	2	0	1	38	
7:30 a 7:45	48	2	0	0	50	
7:45 a 8:00	41	3	0	0	44	183
8:00 a 8:15	74	2	0	4	80	212
8.15 a 8.30	88	3	0	1	92	266
8.30 a 8.45	99	3	2	1	105	321
8.45 a 9.00	132	2	3	1	138	415
9.00 a 9.15	104	2	0	1	107	442
9.15 a 9.30	88	4	0	0	92	442
9.30 a 9.45	129	2	0	0	131	468
9.45 a 10.00	137	5	0	1	143	473
10.00 a 10.15	92	6	0	0	98	464
10.15 a 10.30	128	6	0	0	134	506
10.30 a 10.45	92	8	0	1	101	476
10.45 a 11.00	101	5	0	0	106	439
	1432	56	6	16	1510	
<div>VHMD 442</div> <div>FHMD 0.801</div>						

- Vía Auxiliar (Dirección Este – Oeste)

<div>ESTE-OESTE</div>
	Autos	Camión	Camioneta Rur	Otros	Total	
7:00 a 7:15	11	1	5	5	22	
7:15 a 7:30	8	2	7	6	23	
7:30 a 7:45	16	3	9	6	34	
7:45 a 8:00	8	3	6	7	24	103
8:00 a 8:15	14	1	9	3	27	108
8.15 a 8.30	16	6	9	5	36	121
8.30 a 8.45	20	1	12	7	40	127
8.45 a 9.00	26	0	8	3	37	140
9.00 a 9.15	19	3	9	7	38	151
9.15 a 9.30	12	1	4	3	20	135
9.30 a 9.45	28	0	6	5	39	134
9.45 a 10.00	24	0	2	3	29	126
10.00 a 10.15	15	2	3	6	26	114
10.15 a 10.30	32	3	3	4	42	136
10.30 a 10.45	55	2	1	1	59	156
10.45 a 11.00	47	1	1	6	55	182
	351	29	94	77	551	
<div>VHMD 151</div> <div>FHMD 0.944</div>						

- Vía Auxiliar (Dirección Este – Norte)

<div>ESTE-NORTE</div>
	Autos	Camión	Camioneta Rur	Otros	Total	
7:00 a 7:15	4	0	0	2	6	
7:15 a 7:30	0	0	2	2	4	
7:30 a 7:45	2	0	0	0	2	
7:45 a 8:00	2	0	0	0	2	14
8:00 a 8:15	1	0	0	0	1	9
8:15 a 8:30	1	1	0	0	2	7
8:30 a 8:45	0	1	0	0	1	6
8:45 a 9:00	0	0	0	0	0	4
9:00 a 9:15	2	0	0	0	2	5
9:15 a 9:30	1	0	0	0	1	4
9:30 a 9:45	2	0	0	0	2	5
9:45 a 10:00	5	0	0	0	5	10
10:00 a 10:15	0	0	0	0	0	8
10:15 a 10:30	0	0	2	0	2	9
10:30 a 10:45	2	0	1	0	3	10
10:45 a 11:00	0	0	0	0	0	5
	22	2	5	4	33	
<div> <div>VHMD</div> <div>FHMD</div> </div> <div> <div>5</div> <div>0.625</div> </div>						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10. Tabla resumen del aforo realizado en el periodo de la mañana en la intersección.

	Av. Primavera con Av. Velasco Astete														TOTAL
	Av. Primavera				Av. Velasco Astete			Av. Primavera			Av. Velasco Astete				
	Acceso ESTE-OESTE				Acceso NORTE-SUR			Acceso OESTE-ESTE			Acceso SUR-NORTE				
HORARIO
7:00 a 7:15	181	51	22	6	201	4	38	326	11	116	10	72	7	33	1078
7:15 a 7.30	194	38	23	4	249	8	35	326	45	169	5	90	2	30	1218
7.30 a 7.45	209	50	34	2	296	7	68	309	33	157	12	88	27	27	1319
7.45 a 8.00	250	44	24	2	250	14	50	346	50	137	14	103	20	30	1334
8.00 a 8.15	291	80	27	1	286	9	43	413	55	151	17	99	22	23	1517
8.15 a 8.30	274	92	36	2	180	7	20	506	79	186	13	134	20	13	1562
8.30 a 8.45	267	105	40	1	130	3	29	492	97	228	20	109	38	13	1572
8.45 a 9.00	215	138	37	0	120	0	53	422	115	198	21	138	65	13	1535
9.00 a 9.15	269	107	38	2	157	2	40	378	111	249	28	143	44	12	1580
9.15 a 9.30	236	92	20	1	103	3	34	320	85	159	20	156	41	9	1279
9.30 a 9.45	297	131	39	2	122	1	43	321	78	148	23	111	32	17	1365
9.45 a 10.00	240	143	29	5	130	4	29	283	99	109	26	104	54	25	1280
10.00 a 10.15	209	98	26	0	147	3	31	311	111	156	35	100	23	37	1287
10.15 a 10.30	210	134	42	2	155	2	45	322	128	150	24	88	10	21	1333
10.30 a 10.45	231	101	59	3	113	5	39	351	123	135	31	76	13	24	1304
10.45 a 11.00	244	106	55	0	137	5	34	331	119	125	19	66	13	16	1270
TOTAL	3817	1510	551	33	2776	77	631	5757	1339	2573	318	1677	431	343	21833
<div><div>VHMD</div><div>6249</div></div> <div><div>FHMD</div><div>0.989</div></div>															

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de resultados del aforo:

- Del aforo realizado se pudo identificar la hora punta de la mañana, comprendida entre las 8:15 y 9:15 de la mañana con volumen total de 6249 veh/h.
- También se determinó que el tipo de vehículo predominante en la intersección fueron los autos (autos particulares y taxis).
- Se identificó que el acceso con mayor volumen de vehículos fue el acceso oeste, ya que, durante esta hora hicieron uso del acceso (vía principal y auxiliar) 3143 vehículos, seguido del acceso este con 1623 vehículos.

■ Cálculo de los niveles de servicio en la intersección

Para realizar el cálculo de los niveles de servicio de la hora punta en la intersección, según la metodología HCM 2010, primero se realizó el flujograma, el cual se presenta en la figura 12.

Figura 12. Flujograma de la hora punta de la mañana.

Fuente: Elaboración propia.

2.6.1 Demanda

En primer lugar, se determinaron las fases en las que funciona la intersección. Para ello se identificaron las fases del semáforo, el ciclo del semáforo, los tiempos de verde, rojo y ámbar. El resultado se muestra en la figura 13.

Figura 13. Fases del semáforo en la intersección.

Fuente: Elaboración propia.

El semáforo analizado consta de 3 fases: 1 fase para los accesos norte y sur, y 2 fases diferentes para los accesos este y oeste. El ciclo del semáforo se registró de 150 segundos.

Posteriormente se denominaron los grupos de giros. Esta investigación se decidió realizar bajo el concepto de grupos de carriles. En este sentido, se definieron 14 grupos de carriles en donde cada grupo estaba conformado solo por giros idénticos y, para el caso de los accesos este y oeste, se separaron los giros idénticos entre la vía principal y la vía auxiliar.

Para el cálculo de la demanda se empleó la fórmula que indica la metodología HCM 2010:

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHMD \times f_{HV}} \quad (2.10)$$

En donde:

$VHMD$: Valor horario de máxima demanda

$FHMD$: Factor horario de máxima demanda

f_{HV} : Factor de vehículos pesados

El factor de vehículos pesados se calculó con la siguiente fórmula:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_T(E_T - 1) + P_B(E_B - 1) + P_{CR}(E_{CR} - 1)} \quad (2.11)$$

En donde:

P_T : Porcentaje de camiones

P_B : Porcentaje de buses

P_{CR} : Porcentaje de camionetas rurales

E_T : Automóviles equivalentes a un camión

E_B : Automóviles equivalentes a un bus

E_{CR} : Automóviles equivalentes a una camioneta rural

Para lo cual se usó la unidad coche patrón (UCP) como se indica en la tabla 11.

Tabla 11. Unidad Coche Patrón (UCP)

Tipología	UCP
Auto	1.00
Bus	3.00
Micro	2.00
Cam. Rural	1.25
Camión	2.50
Mototaxis	0.33

Fuente: Protransporte

Tabla 12. Demanda de la hora punta de la mañana en la intersección.

Fase	Acc	Mov	Flujo peatonal	Flujo vehicular	VHMD	FHMD	PT %	PCR %	PB %	Fhv	qMov	qGm	qGc
1	N-S	D	148		12	0.43	0	0	0	1.00	28	775	401
		F			293	0.82	1.70	0.00	0.51	0.97	373		
		F			294	0.82	1.70	0.00	0.51	0.97	374		374
		I		524	142	0.67	6.34	2.11	0.00	0.91	234	234	234
	S-N	D	124		167	0.64	2.99	0.00	0.00	0.96	272	862	272
		F			524	0.92	1.72	0.19	0.19	0.97	590		590
		I		587	51	0.98	1.96	0.00	0.00	0.97	54	54	54
2	O-E	D	180		82	0.73	0.00	0.00	0.00	1.00	112	3353	112
		F			861	0.86	0.00	0.00	0.00	1.00	996		996
		F			599	0.89	3.00	3.45	2.73	0.90	748		2245
		F			600	0.89	3.00	3.45	2.73	0.90	749		
		F			599	0.89	3.00	3.45	2.73	0.90	748		
		I		0	402	0.87	1.74	0.00	0.00	0.97	473	473	473
	E-O	I		0	442	0.80	2.26	1.13	0.90	0.95	583	583	583
3	E-O	D	178		5	0.63	40.00	0.00	0.00	0.63	13	1394	129
		F			75	0.94	6.62	25.17	14.57	0.69	116		
		F			76	0.94	6.62	25.17	14.57	0.69	118		118
		F			341	0.94	0.78	1.46	1.46	0.96	381		1147
		F			342	0.94	0.78	1.46	1.46	0.96	383		
		F			342	0.94	0.78	1.46	1.46	0.96	383		
	E-O	I		0	442	0.80	2.26	1.13	0.90	0.95	583	583	583

Fuente: Elaboración propia.

2.6.2 Flujo de Saturación

Para el cálculo de este factor se empleó la fórmula 1.6 del capítulo 1.3.2.

Los resultados se presentan en la tabla 13:

Tabla 13. Flujo de saturación ajustado de la hora punta de la mañana.

Fase	Acc	Mov	GC	So	L carril	fw	Phv	fhv	fg	Nm	fp	Nb	fbb	fa	fLu	fLt	fRt	Spre	N	fLpb	fRpb	Sdef
1	N	D, F	1	1900	3 m	1	0	1.00	0.99	14	0.83	0	1	1	1	1	0.85	1324	1	1	0.778	1030
		F	2	1900	3 m	1	2.21	0.98	0.99	0	1	0	1	1	1	1	1	1836	1	1	1	1836
		I	3	1900	3 m	1	6.34	0.94	0.99	0	1	0	1	1	1	0.479	1	846	1	0.910	1	770
	S	D	4	1900	3 m	1	2.99	0.97	1.01	0	1	0	1	1	1	1	0.85	1586	1	1	0.814	1291
		F	5	1900	3 m	1	1.91	0.98	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1885	1	1	1	1885
		I	6	1900	3 m	1	1.96	0.98	1.01	0	1	0	1	1	1	0.459	1	864	1	0.902	1	779
2	O	D	7	1900	2.5 m	0.96	0	1.00	1.01	15	0.825	0	1	1	1	1	0.85	1342	1	1	0.820	1101
		F	8	1900	2.5 m	0.96	0.70	0.99	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1901	1	1	1	1901
		F, F, F	9	1900	3.15 m	1	5.73	0.95	1.01	0	1	62	0.752	1	1	1	1	1361	3	1	1	1361
		I	10	1900	2.55 m	0.96	1.74	0.98	1.01	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1787	1	0.822	1	1469
3	E	D, F	11	1900	3 m	1	40	0.71	1.00	12	0.84	0	1	1	1	1	0.85	927	1	1	0.860	797
		F	12	1900	3 m	1	21.19	0.83	1.00	0	1	0	1	1	1	1	1	1500	1	1	1	1500
		F, F, F	13	1900	3 m	1	2.24	0.98	1.00	0	1	30	0.88	1	1	1	1	1630	3	1	1	1630
		I	14	1900	3.05 m	1	3.17	0.97	1.00	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1674	1	0.858	1	1436

Fuente: Elaboración propia.

2.6.3 Grado de saturación

Para el cálculo de este factor se empleó la fórmula 2.5.

En la tabla 14 se muestra el resumen del cálculo, tanto para los grupos como para la intersección.

Tabla 14. Grado de saturación en la hora punta.

q	ve	C	u	Q	X	Yi	Xint
401	30	150	0.20	206	1.95	0.39	1.53
374	30	150	0.20	367	1.02	0.20	
234	30	150	0.20	154	1.52	0.30	
272	30	150	0.20	258	1.05	0.21	
590	30	150	0.20	377	1.56	0.31	
54	30	150	0.20	156	0.35	0.07	
112	45	150	0.30	330	0.34	0.10	
996	45	150	0.30	570	1.75	0.52	
2245	45	150	0.30	1225	1.83	0.55	
473	45	150	0.30	441	1.07	0.32	
129	57	150	0.38	303	0.43	0.16	
118	57	150	0.38	570	0.21	0.08	
1147	57	150	0.38	1858	0.62	0.23	
583	57	150	0.38	546	1.07	0.41	

Fuente: Elaboración propia.

2.6.4 Nivel de servicio

Finalmente, para la determinación de los niveles de servicio en la intersección se calcularon las demoras 1, 2 y 3 mostradas en el capítulo 1.3.3 y luego se clasificó según la metodología HCM 2010 como se indica en la tabla 1.

En la tabla 15 se muestra el resumen del cálculo realizado y la respectiva clasificación del nivel de servicio por grupos, accesos e intersección.

Tabla 15. Niveles de servicio en la hora punta.

									intersección	
d1	Xa	d2	Ni	d3	dt	NS	dacc	NS	dint	NS
60	1.00	63	0	0	123	F	119	F	102.28	F
60		47	0	0	107	F				
60		73	0	0	133	F				
60	0.99	53	0	0	113	F	108	F		
60		44	0	0	104	F				
52		69	0	0	121	F				
41	1.00	50	0	0	91	F	127	F		
53		38	6	38	129	F				
53		26	15	44	123	F				
53		43	7	57	153	F				
34	0.58	8	0	0	42	D	42	D		
31		4	0	0	35	C				
38		1	0	0	39	D				
47		4	0	0	51	F				

Fuente: Elaboración propia.

- Se identificó que el nivel de servicio en los accesos norte, sur y oeste en la hora punta fue F, en el acceso este fue D.
- El nivel de servicio de la hora punta en la intersección fue F.

Modelación y simulación del sistema de transporte actual con Aimsun

2.7.1 Modelación de la intersección

- Inicialmente en la ventana de Aimsun se debe escoger la opción de abrir “Nuevo Proyecto”. Si se desea importar un mapa para dibujar allí los carriles se puede realizar mediante el OpenStreetMap. Por tema de facilidad y de tener una intersección más personalizada se importaron las redes desde OpenStreetMap y luego se editaron los carriles de manera manual para que se asemejara más a la realidad.
- Posteriormente se inicia dibujando los carriles de toda la vía a estudiar con la herramienta

Figura 14. Dibujo de carriles en Aimsun v8.1.

Fuente: Aimsun v8.2.

- Luego se procede a editar el número de carriles, tipo de vía, entre otras características de la vía a estudiar. Asimismo, se colocan las distancias reales medidas tanto en campo como en Google Earth.

Figura 15. Dibujo de tramo interrumpido y tramo continuo en Aimsun v8.2.

Fuente: Aimsun v8.2.

- Se procede a crear el nodo de la intersección que incluye los giros observados en campo con el fin de que los resultados se asemejen a la realidad actual de la intersección.

Figura 16. Trazo de giros permitidos en la intersección.

Fuente: Aimsun v8.2.

- Posteriormente, se procede a agregar los flujos vehiculares por cada movimiento.

Figura 17. Introducción de flujos vehiculares por cada movimiento.

Fuente: Aimsun v8.2.

- Luego se procede a crear la línea de transporte público como también sus respectivas paradas en la intersección. Luego, se crea un plan de transporte público con el objetivo de incluir la influencia del tráfico de los buses.

Figura 18. Transporte público y paraderos permitidos en el modelo.

Fuente: Aimsun v8.2.

Figura 19. Inserción del plan de transporte público en el modelo.

Fuente: Aimsun v8.2.

- Luego se crea el plan de control semafórico (por grupos semafóricos) donde se incluya los tiempos semafóricos de la intersección. Posteriormente, se crea el plan de control maestro con el objetivo que se incluya la influencia del plan de control semafórico creado anteriormente.

Figura 20. Plan de control semafórico en el modelo.

Fuente: Aimsun v8.2.

- Finalmente, se crea el escenario dinámico donde se realizará la simulación microscópica de la intersección en estudio. Asimismo, como se observa en la figura, Aimsun arroja distintos resultados de la simulación entre los que destacan los tiempos de demora, cola vehicular, densidad y velocidades.

2.7.2 Obtención del nivel de servicio actual mediante el software

En este subcapítulo se calcularon los niveles de servicio actual en la hora punta de la intersección modelada en el software a través de una relación que se establecerá entre la cola media y el tiempo de demora, para luego ser comparado con el tiempo de demora obtenido manualmente según la metodología HCM 2010.

Para ello, una vez diseñado el semáforo y, luego de haber colocado los flujos correspondientes a cada giro, se pasó a realizar la microsimulación del comportamiento de la intersección en la hora punta, como se puede apreciar en la figura 21.

Figura 21. Simulación de la hora punta en Aimsun v8.2.

Fuente: Aimsun v8.2.

Posteriormente, luego de hacer la corrida en el software, se obtuvo los parámetros finales obtenidos por el programa, los cuales se presentan en la tabla 16.

Tabla 16. Resultados de la simulación de la hora punta de la mañana en Aimsun.

RESULTADOS DE LA SITUACIÓN ACTUAL DE LA INTERSECCIÓN			
Serie Temporal	Valor	Desviación Estándar	Unidades
Cola Media - Car	90.32	ND	veh
Cola Virtual Máxima - Car	479	ND	veh
Cola Virtual Media - Car	295.71	ND	veh
Contaje de Entrada - Car	6073	ND	veh
Densidad - Car	23.91	ND	veh/km
Distancia Total de Viaje - Car	1735.53	ND	km
Distancia Total Viajada (Vehículos Dentro) - Todos	16.78	ND	km
Distancia Total Viajada (Vehículos Dentro) - Car	16.78	ND	km
Flujo - Car	6060	ND	veh/h
Flujo de Entrada - Car	6073	ND	veh/h
Giros Perdidos - Car	10	ND	
Número de Cambios de Carril - Car	1106.5	ND	#/km
Número de Paradas - Car	0.48	ND	#/veh/km
Número Total de Cambios de Carril - Car	6024	ND	
Número Total de Paradas - Car	15994.28	ND	
Tiempo de Demora - Car	205.41	158.37	seg/km
Tiempo de Espera en Cola Virtual - Car	142.12	299.95	sec
Tiempo de Espera Total (Esperando Fuera) - Todos	45.13	ND	h
Tiempo de Espera Total (Esperando Fuera) - Car	45.13	ND	h
Tiempo de Parada - Car	189.19	153.03	seg/km
Tiempo de Viaje - Car	271.52	158.39	seg/km
Tiempo Total de Viaje - Car	130.04	ND	h
Tiempo Total de Viaje (Vehículos Dentro) - Todos	1.65	ND	h
Tiempo Total de Viaje (Vehículos Dentro) - Car	1.65	ND	h
Vehículos Dentro - Car	133	ND	veh
Vehículos Esperando para Entrar - Car	409	ND	veh
Vehículos Fuera - Car	6060	ND	veh
Vehículos Perdidos Dentro - Car	0	ND	veh
Vehículos Perdidos Fuera - Car	0	ND	veh
Velocidad - Car	22.74	17.74	km/h
Velocidad Armónica - Car	13.26	11.21	km/h

Fuente: Aimsun v8.2.

A partir de la tabla de resultados obtenidos mediante el software, el análisis se centrará en los tres parámetros que se resaltan, la cola media, densidad y el tiempo de demora.

Figura 22. Tiempo de demora (seg/km)

Fuente: Aimsun v8.2.

Figura 23. Cola media (veh).

Fuente: Aimsun v8.2.

2.7.3 Comparativo entre el nivel de servicio real y el calculado en Aimsun

Debido a que la corrida se hizo con el tipo de vehículo considerado por el software, en este caso, auto particular, el cual tiene una medida media de 4 metros de largo predefinida, a esto se consideró una separación media entre vehículos de 1m haciendo un total de 5 metros por vehículo, se pasó a estimar el cálculo del tiempo de demora en segundos por vehículo (seg/veh). El proceso se muestra en la tabla 17.

Tabla 17. Estimación del nivel de servicio de la intersección con Aimsun v8.2.

OBTENCIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO		
Longitud del vehículo según AIMSUN:	5.00	m
Cola media (más crítica de la intersección):	90.32	veh
Cola media (más crítica de la intersección):	0.4516	km
Tiempo de demora:	205.41	seg/km
Tiempo de demora (OBTENIDO EN EL AIMSUN):	92.76	seg
Tiempo de demora (HCM):	102.28	seg
Error:	9.52	seg
Nivel de Servicio (LOS):	F	

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 17, se puede observar que el tiempo de demora obtenido mediante el programa Aimsun produce un error de 9.5 segundos aproximadamente en comparación al obtenido manualmente mediante la metodología HCM 2010, esto puede ser posible debido a que en la simulación mediante el programa no se consideró el flujo de peatones.

Selección y ubicación de los ITS adecuados para la intersección.

Para simular el semáforo dinámico, primero se diseñó un modelo basado en el diseño óptimo de un semáforo a través del método de Webster para distintos intervalos de tiempo con el fin de simular un modelo con diferentes ciclos semaforicos que actúe con una mayor eficiencia según lo solicitado por la demanda de tráfico presentada en cada intervalo de tiempo.

Figura 24. Propuesta de ubicación de los ITS.

Fuente: Elaboración propia.

El propósito de esta idea fue que posteriormente este procedimiento fuera automatizado, es decir, un semáforo inteligente que actúe de manera dinámica según la demanda de tráfico solicitada en tiempo real (semáforo actuado).

Como se puede observar en la figura 24, se propuso que el modelo contara con los siguientes ITS: detectores de colas mediante los lazos inductivos, cámaras CCTV de 360°, paneles de señalización variable (VMS) y, el ya mencionado, semáforo inteligente actuado.

El ITS de detección de colas actúa en juntamente con el semáforo, ya que permite recopilar información de velocidades aforos, densidad, presencia, ocupación y tiempo entre vehículos, lo cual permite al semáforo conocer la situación del tráfico en tiempo real en el escenario en estudio.

Los paneles de señalización variable (VMS) tuvieron como función principal la de dar información a los usuarios sobre la situación del tráfico en tiempo real y, un dato muy importante que se propuso es que brindara el tiempo promedio de viaje dentro del tramo planteado en tiempo real, y, en este sentido, cuando al acceso se encuentre muy saturado y el tiempo de viaje sea muy extenso el panel también se encargaría de informar sobre posibles rutas alternas que puedan utilizar los usuarios. Entre otros datos que informaría el panel de mensaje variable también se encuentra la información sobre algún vehículo averiado, accidentes, mantenimiento de vías, giros permitidos, entre otros.

La cámara CCTV de 360° serviría como una herramienta de gestión de tráfico complementaria, ya que su función principal sería la de brindar a los centros de control imágenes en tiempo real de la situación en las intersecciones, así como de la situación de las vías. También servirían como

una herramienta de control de seguridad y de fiscalización frente a cualquier evento no permitido que ocurra dentro de las vías en estudio.

Para analizar la mejora, primero se presentó un modelo con un semáforo fijo durante el periodo de evaluación y después un modelo con un semáforo dinámico, para luego comparar los resultados obtenidos en ambas simulaciones.

En las tablas a continuación se muestran los datos de demanda desde las 7am hasta las 11am, en intervalos de 1 hora cada uno, que serán utilizados para la simulación.

Tabla 18. Demanda (7am-8am).

Fase	Acc	Mov	Flujo peatonal	Flujo vehicular	VHMD	FHMD	PT %	PCR %	PB %	Fhv	qMov	qGc
1	N-S	D	105		33	0.59	0	0	0	1.00	57	659
		F			498	0.84	1.10	0.00	0.00	0.98	602	
		F			498	0.84	1.10	0.00	0.00	0.98	602	602
		I		353	191	0.70	2.62	4.19	0.00	0.95	286	286
	F			353	0.86	0.57	0.00	0.00	0.99	416	416	
	I		996	120	0.91	0.83	0.00	0.00	0.99	134	134	
	2	O-E	D	115		41	0.73	0.00	0.00	0.00	1.00	57
F					579	0.86	0.69	0.00	0.00	0.99	683	683
F					436	0.94	1.61	3.83	3.83	0.90	513	1538
F					436	0.94	1.61	3.83	3.83	0.90	513	
F					435	0.94	1.61	3.83	3.83	0.90	512	
I				0	139	0.70	2.16	4.32	0.00	0.96	209	209
3	E-O	D	135		14	0.58	0.00	14.29	28.57	0.62	39	154
		F			52	0.76	8.74	26.21	23.30	0.60	115	
		F			51	0.76	8.74	26.21	23.30	0.60	113	113
		F			278	0.83	2.04	0.84	1.92	0.93	358	1074
		F			278	0.83	2.04	0.84	1.92	0.93	358	
		F			278	0.83	2.04	0.84	1.92	0.93	358	
		I		0	183	0.90	4.37	0.55	3.28	0.88	232	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Demanda (8am-9am).

Fase	Acc	Mov	Flujo peatonal	Flujo vehicular	VHMD	FHMD	PT %	PCR %	PB %	Fhv	qMov	qGc
1	N-S	D	95		19	0.53	0	0	0	1.00	36	624
		F			358	0.63	1.26	0.00	0.42	0.97	588	
		F			358	0.63	1.26	0.00	0.42	0.97	588	588
		I		480	145	0.68	4.14	4.14	0.00	0.93	228	228
	S-N	D	110		145	0.56	3.45	0.00	0.00	0.95	274	274
		F			480	0.87	2.08	0.21	0.21	0.97	572	572
		I		716	62	0.67	1.61	0.00	0.00	0.98	95	95
2	O-E	D	92		71	0.85	0.00	0.00	0.00	1.00	84	84
		F			763	0.84	0.52	0.39	0.00	0.99	921	921
		F			611	0.91	2.62	3.93	2.73	0.91	745	2235
		F			611	0.91	2.62	3.93	2.73	0.91	745	
		F			611	0.91	2.62	3.93	2.73	0.91	745	
		I		0	346	0.75	2.60	0.00	0.00	0.96	478	478
3	E-O	D	120		4	0.50	50.00	0.00	0.00	0.57	14	127
		F			70	0.88	5.71	27.14	12.86	0.71	113	1215
		F			70	0.88	5.71	27.14	12.86	0.71	113	
		F			349	0.90	0.96	0.96	1.24	0.96	405	
		F			349	0.90	0.96	0.96	1.24	0.96	405	
		F			349	0.90	0.96	0.96	1.24	0.96	405	
		I		0	415	0.75	2.41	1.20	1.69	0.93	593	593

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Demanda (9am-10am).

Fase	Acc	Mov	Flujo peatonal	Flujo vehicular	VHMD	FHMD	PT %	PCR %	PB %	Fhv	qMov	qGc
1	N-S	D	80		10	0.63	0	0	0	1.00	16	344
		F			256	0.82	2.93	0.00	0.00	0.96	328	
		F			256	0.82	2.93	0.00	0.00	0.96	328	328
		I		514	146	0.85	4.79	0.68	0.00	0.93	185	185
	S-N	D	84		171	0.79	14.62	0.00	0.00	0.82	264	264
		F			514	0.82	0.78	0.00	0.00	0.99	632	632
		I		512	63	0.63	0.00	0.00	0.00	1.00	100	100
2	O-E	D	56		97	0.87	0.00	0.00	1.03	0.98	115	115
		F			665	0.67	1.95	0.00	0.15	0.97	1029	1029
		F			434	0.86	3.46	3.38	3.99	0.88	575	1725
		F			434	0.86	3.46	3.38	3.99	0.88	575	
		F			434	0.86	3.46	3.38	3.99	0.88	575	
		I		0	373	0.84	2.41	0.00	0.00	0.97	461	461
3	E-O	D	96		10	0.50	0.00	0.00	0.00	1.00	20	128
		F			63	0.81	3.17	16.67	14.29	0.73	108	1268
		F			63	0.81	3.17	16.67	14.29	0.73	108	
		F			348	0.88	1.73	2.78	1.73	0.94	424	
		F			346	0.88	1.73	2.78	1.73	0.94	422	
		F			346	0.88	1.73	2.78	1.73	0.94	422	
		I		0	473	0.83	2.75	0.00	0.42	0.95	601	601

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Demanda (10am-11am).

Fase	Acc	Mov	Flujo peatonal	Flujo vehicular	VHMD	FHMD	PT %	PCR %	PB %	Fhv	qMov	qGc
1	N-S	D	67		15	0.75	0	0	0	1.00	20	343
		F			276	0.89	2.36	0.18	0.18	0.96	323	
		F			276	0.89	2.36	0.18	0.18	0.96	323	323
		I		330	149	0.83	2.68	0.00	0.67	0.95	190	190
	S-N	D	75		59	0.64	5.08	0.00	0.00	0.93	100	100
		F			330	0.83	1.21	0.30	0.00	0.98	408	408
		I		552	98	0.66	3.06	0.00	0.00	0.96	155	155
2	O-E	D	49		109	0.78	0.92	0.00	1.83	0.95	148	148
		F			566	0.91	1.77	0.18	0.53	0.96	648	648
		F			439	0.94	4.71	4.87	5.70	0.84	562	1683
		F			439	0.94	4.71	4.87	5.70	0.84	562	
		F			437	0.94	4.71	4.87	5.70	0.84	559	
		I		0	481	0.94	2.08	0.00	0.00	0.97	528	528
3	E-O	D	83		5	0.42	0.00	60.00	0.00	0.87	14	164
		F			91	0.77	4.40	4.40	9.34	0.79	150	
		F			91	0.77	4.40	4.40	9.34	0.79	150	150
		F			298	0.92	4.59	4.70	3.24	0.87	373	1119
		F			298	0.92	4.59	4.70	3.24	0.87	373	
		F			298	0.92	4.59	4.70	3.24	0.87	373	
		I		0	439	0.82	5.69	0.00	0.23	0.92	585	585

Fuente: Elaboración propia.

Modelación y simulación del sistema de transporte con ITS en la intersección con Aimsun v.8.2.

2.9.1 Diseño del nuevo sistema de transporte con el software Aimsun v.8.2.

El diseño del nuevo escenario de mejora se realizó con la creación de detectores de colas y la herramienta “semáforo actuado” del software Aimsun v8.2. Este proceso de diseño se detalla en las figuras.

Figura 25. Ubicación de detectores de cola.

Fuente: Aimsun v8.2.

Figura 26. Configuración del semáforo actuado Fase 1.

Fuente: Aimsun v8.2.

Figura 27. Configuración del semáforo actuado Fase 2.

Fuente: Aimsun v8.2.

Figura 28. Configuración del semáforo actuado Fase 4.

Fuente: Aimsun v8.2.

2.9.1.1 Simulación con semáforo fijo

- Turno mañana: (7am – 11am)

En la figura 29 se muestra las diferentes demandas de tráfico para cada hora, obtenidas del aforo realizado.

Figura 29. Demandas de tráfico por hora (Mañana)

Fuente: Aimsun v8.2.

A continuación, se muestra los resultados de la simulación del primer escenario, es decir, el modelo con el mismo semáforo para las 4 horas continuas de la mañana.

Figura 30. Cola media en simulación de situación real. (Mañana)

Fuente: Aimsun v8.2.

Tabla 22. Cola media en simulación de situación real (Mañana)

Cola Media – SIM REAL (veh)			
07:10:00 a.m.	261.17	09:10:00 a.m.	283.56
07:20:00 a.m.	264.45	09:20:00 a.m.	288.65
07:30:00 a.m.	279.35	09:30:00 a.m.	279.26
07:40:00 a.m.	280.29	09:40:00 a.m.	281.26
07:50:00 a.m.	268.94	09:50:00 a.m.	291.17
08:00:00 a.m.	271.2	10:00:00 a.m.	303.48
08:10:00 a.m.	282.48	10:10:00 a.m.	274.41
08:20:00 a.m.	270.21	10:20:00 a.m.	269.61
08:30:00 a.m.	271.65	10:30:00 a.m.	276.71
08:40:00 a.m.	282.22	10:40:00 a.m.	265.07
08:50:00 a.m.	282.35	10:50:00 a.m.	256.88
09:00:00 a.m.	277.78	11:00:00 a.m.	275.11
Agregado		276.55	
Media		276.55	

Fuente: Aimsun v8.2.

Figura 31. Densidad en simulación de situación real (Mañana)

Fuente: Aimsun v8.2.

Tabla 23. Densidad en simulación de situación real (Mañana)

Densidad - SIM REAL (veh/km)			
07:10:00 a.m.	25.64	09:10:00 a.m.	27.36
07:20:00 a.m.	25.47	09:20:00 a.m.	27.52
07:30:00 a.m.	26.08	09:30:00 a.m.	26.76
07:40:00 a.m.	26.46	09:40:00 a.m.	27.16
07:50:00 a.m.	25.02	09:50:00 a.m.	27.71
08:00:00 a.m.	25.37	10:00:00 a.m.	28.59
08:10:00 a.m.	26.73	10:10:00 a.m.	25.92
08:20:00 a.m.	25.83	10:20:00 a.m.	25.74
08:30:00 a.m.	25.94	10:30:00 a.m.	25.99
08:40:00 a.m.	26.64	10:40:00 a.m.	25.17
08:50:00 a.m.	26.78	10:50:00 a.m.	24.55
09:00:00 a.m.	26.44	11:00:00 a.m.	25.87
Agregado		26.28	
Media		26.28	

Fuente: Aimsun v8.2.

Figura 32. Tiempo de demora en simulación de situación real. (Mañana)

Fuente: Aimsun v8.2.

Tabla 24. Tiempo de demora en simulación de situación real. (Mañana)

Tiempo de Demora – SIM REAL (seg/km)			
07:10:00 a.m.	250.82	09:10:00 a.m.	263.61
07:20:00 a.m.	278.5	09:20:00 a.m.	260.12
07:30:00 a.m.	266.6	09:30:00 a.m.	262.1
07:40:00 a.m.	267.14	09:40:00 a.m.	257.7
07:50:00 a.m.	280.81	09:50:00 a.m.	268.81
08:00:00 a.m.	269.46	10:00:00 a.m.	276.54
08:10:00 a.m.	256.32	10:10:00 a.m.	273.53
08:20:00 a.m.	247.67	10:20:00 a.m.	278.78
08:30:00 a.m.	260.43	10:30:00 a.m.	279.21
08:40:00 a.m.	256.33	10:40:00 a.m.	277.68
08:50:00 a.m.	260.94	10:50:00 a.m.	286.7
09:00:00 a.m.	260.96	11:00:00 a.m.	269.23
Agregado		266.68	
Media		267.08	

Fuente: Aimsun v8.2.

2.9.1.2 Simulación con semáforo dinámico

- Turno mañana: (7am – 11am)

Para este caso, la demanda de tráfico se mantuvo constante, sin embargo, el ciclo y los tiempos del semáforo fueron variables. Para ello, en primer lugar, se realizará el diseño óptimo del semáforo para cada intervalo de tiempo (1 hora) bajo el método de Webster. El resumen de cálculos se muestra en las tablas del 25 al 28.

Tabla 25. Diseño de semáforo (7am – 8am)

FASE	t	a	V	A	W	L	TR
1	1	3.05	11.11	2.82	41.75	6.10	4.3065
2	1	3.05	16.67	3.73	25.00	6.10	1.866
3	1	3.05	16.67	3.73	25.65	6.10	1.905

ACCESO	GC	q	Yi	A	TR	Tpc	Co	C	gt	gi								
N	1	401	0.29	3	4	19	190	160	141	37								
	2	374	0.20															
	3	234	0.23															
S	4	272	0.19															
	5	590	0.31															
	6	54	0.09															
O	7	112	0.08	4	2					19	190	160	141	61				
	8	996	0.52															
	9	2245	0.52															
	10	473	0.27															
E	11	129	0.12	4	2									19	190	160	141	43
	12	118	0.09															
	13	1147	0.23															
	14	583	0.36															
																		141

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26. Diseño de semáforo (8am – 9am)

FASE	t	a	V	A	W	L	TR
1	1	3.05	11.11	2.82	41.75	6.10	4.3065
2	1	3.05	16.67	3.73	25.00	6.10	1.866
3	1	3.05	16.67	3.73	25.65	6.10	1.905

ACCESO	GC	q	Yi	A	TR	Tpc	Co	C	gt	gi								
N	1	401	0.29	3	4	19	312	180	161	41								
	2	374	0.20															
	3	234	0.27															
S	4	272	0.17															
	5	590	0.31															
	6	54	0.07															
O	7	112	0.08	4	2					19	312	180	161	75				
	8	996	0.52															
	9	2245	0.58															
	10	473	0.27															
E	11	129	0.15	4	2									19	312	180	161	45
	12	118	0.08															
	13	1147	0.23															
	14	583	0.35															
																		161

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 27. Diseño de semáforo (9am – 10am)

FASE	t	a	V	A	W	L	TR
1	1	3.05	11.11	2.82	41.75	6.10	4.3065
2	1	3.05	16.67	3.73	25.00	6.10	1.866
3	1	3.05	16.67	3.73	25.65	6.10	1.905

ACCESO	GC	q	Yi	A	TR	Tpc	Co	C	gt	gi								
N	1	401	0.29	3	4	19	185	150	131	35								
	2	374	0.21															
	3	234	0.28															
S	4	272	0.19															
	5	590	0.31															
	6	54	0.06															
O	7	112	0.08	4	2					19	185	150	131	57				
	8	996	0.53															
	9	2245	0.51															
	10	473	0.27															
E	11	129	0.10	4	2									19	185	150	131	39
	12	118	0.08															
	13	1147	0.26															
	14	583	0.35															
																		131

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Diseño de semáforo (10am – 11am)

FASE	t	a	V	A	W	L	TR
1	1	3.05	11.11	2.82	41.75	6.10	4.3065
2	1	3.05	16.67	3.73	25.00	6.10	1.866
3	1	3.05	16.67	3.73	25.65	6.10	1.905

ACCESO	GC	q	Yi	A	TR	Tpc	Co	C	gt	gi		
N	1	401	0.28	3	4	19	101	140	121	30		
	2	374	0.20									
	3	234	0.23									
S	4	272	0.18									
	5	590	0.31									
	6	54	0.06									
O	7	112	0.08	4	2					56		
	8	996	0.53									
	9	2245	0.58									
	10	473	0.27									
E	11	129	0.10	4	2						35	
	12	118	0.07									
	13	1147	0.30									
	14	583	0.36									
												121

Fuente: Elaboración propia.

Una vez definidos los semáforos para cada intervalo de tiempo, se realizó el modelo en el programa con los distintos planes de control como se muestra en la figura 33. Acto seguido, se realizó la simulación y los resultados se muestran a continuación.

Figura 33. Plan de Control Maestro para semáforo dinámico (Mañana)

Fuente: Aimsun v8.2.

Figura 34. Cola media en simulación dinámica. (Mañana)

Fuente: Aimsun v8.2.

Tabla 29. Cola media en simulación de situación mejorada. (Mañana)

Cola Media – SIM DINAMICA (veh)			
07:10:00 a.m.	77.87	09:10:00 a.m.	108.35
07:20:00 a.m.	91.42	09:20:00 a.m.	104.96
07:30:00 a.m.	94.04	09:30:00 a.m.	79.57
07:40:00 a.m.	98.77	09:40:00 a.m.	95.1
07:50:00 a.m.	95.44	09:50:00 a.m.	76.32
08:00:00 a.m.	95.44	10:00:00 a.m.	83.31
08:10:00 a.m.	135.95	10:10:00 a.m.	80.41
08:20:00 a.m.	129.02	10:20:00 a.m.	73.64
08:30:00 a.m.	115.42	10:30:00 a.m.	72.59
08:40:00 a.m.	110.99	10:40:00 a.m.	78.39
08:50:00 a.m.	119.39	10:50:00 a.m.	72.3
09:00:00 a.m.	122.28	11:00:00 a.m.	73.11
Agregado		95.17	
Media		95.17	

Fuente: Aimsun v8.2.

Figura 35. Densidad en simulación dinámica. (Mañana)

Fuente: Aimsun v8.2.

Tabla 30. Densidad en simulación de situación mejorada. (Mañana)

Densidad – SIM DINAMICA (veh/km)			
07:10:00 a.m.	10.8	09:10:00 a.m.	14.58
07:20:00 a.m.	12.03	09:20:00 a.m.	13.99
07:30:00 a.m.	12.01	09:30:00 a.m.	11.59
07:40:00 a.m.	12.4	09:40:00 a.m.	13.25
07:50:00 a.m.	12.22	09:50:00 a.m.	11.68
08:00:00 a.m.	12.25	10:00:00 a.m.	11.69
08:10:00 a.m.	16.34	10:10:00 a.m.	11.51
08:20:00 a.m.	15.6	10:20:00 a.m.	11.06
08:30:00 a.m.	14.39	10:30:00 a.m.	10.79
08:40:00 a.m.	13.92	10:40:00 a.m.	11.24
08:50:00 a.m.	15.13	10:50:00 a.m.	10.84
09:00:00 a.m.	15.04	11:00:00 a.m.	10.81
Agregado		12.72	
Media		12.72	

Fuente: Aimsun v8.2.

Figura 36. Tiempo de demora en simulación de situación mejorada. (Mañana)

Fuente: Aimsun v8.2.

Tabla 31. Tiempo de demora en simulación de situación mejorada. (Mañana)

Tiempo de Demora – SIM DINAMICA (seg/km)			
07:10:00 a.m.	114.26	09:10:00 a.m.	145.56
07:20:00 a.m.	138.95	09:20:00 a.m.	139.69
07:30:00 a.m.	144.64	09:30:00 a.m.	108.88
07:40:00 a.m.	154.82	09:40:00 a.m.	111.44
07:50:00 a.m.	156.2	09:50:00 a.m.	96.24
08:00:00 a.m.	154.27	10:00:00 a.m.	103.04
08:10:00 a.m.	148.84	10:10:00 a.m.	123.19
08:20:00 a.m.	150.4	10:20:00 a.m.	91.34
08:30:00 a.m.	140.56	10:30:00 a.m.	95.36
08:40:00 a.m.	170.75	10:40:00 a.m.	102.69
08:50:00 a.m.	138.74	10:50:00 a.m.	97.02
09:00:00 a.m.	141.52	11:00:00 a.m.	97.12
Agregado		128.82	
Media		123.73	

Fuente: Aimsun v8.2.

2.9.1.3 Simulación con semáforo actuado

Para esta simulación se realizó un modelo bajo el concepto de semáforo actuado, uno de doble anillo para la intersección principal y otro de un anillo para la intersección de la av. Buena Vista con av. Primavera, para el cual se tomó la misma data de demanda para las 4 horas continuas de la mañana y que, a diferencia del semáforo dinámico, este modelo de semáforo sí actuó de acuerdo a la demanda de tráfico en tiempo real, es decir, la duración del tiempo de verde de las fases variaba de acuerdo a la demanda instantánea requerida en cada ciclo del semáforo.

A continuación, se muestran los resultados de la simulación realizada.

Figura 37. Cola media en simulación con semáforo actuado. (Mañana)

Fuente: Aimsun v8.2.

Tabla 32. Cola media en simulación con semáforo actuado. (Mañana)

Cola Media - SIM ACTUADA (veh)			
07:05:00 a.m.	33.66	09:05:00 a.m.	43.84
07:10:00 a.m.	35.19	09:10:00 a.m.	41.67
07:15:00 a.m.	31.77	09:15:00 a.m.	48.53
07:20:00 a.m.	41.58	09:20:00 a.m.	40.63
07:25:00 a.m.	41.22	09:25:00 a.m.	42.79
07:30:00 a.m.	40.21	09:30:00 a.m.	42.82
07:35:00 a.m.	41.92	09:35:00 a.m.	44.41
07:40:00 a.m.	37.75	09:40:00 a.m.	46.56
07:45:00 a.m.	41.64	09:45:00 a.m.	44.32
07:50:00 a.m.	36	09:50:00 a.m.	42.27
07:55:00 a.m.	39.34	09:55:00 a.m.	41.1
08:00:00 a.m.	41.03	10:00:00 a.m.	44.97
08:05:00 a.m.	42.98	10:05:00 a.m.	40.15
08:10:00 a.m.	48.47	10:10:00 a.m.	43.87
08:15:00 a.m.	50.05	10:15:00 a.m.	37.64
08:20:00 a.m.	58.86	10:20:00 a.m.	46.14
08:25:00 a.m.	47.54	10:25:00 a.m.	46.77
08:30:00 a.m.	48.59	10:30:00 a.m.	43.53
08:35:00 a.m.	46.45	10:35:00 a.m.	42.42
08:40:00 a.m.	49.76	10:40:00 a.m.	44.78
08:45:00 a.m.	44.95	10:45:00 a.m.	42.23
08:50:00 a.m.	56.77	10:50:00 a.m.	44.71
08:55:00 a.m.	44.5	10:55:00 a.m.	35.85
09:00:00 a.m.	46.63	11:00:00 a.m.	45.48
Agregado		43.42	
Media		43.42	

Fuente: Aimsun v8.2.

Figura 38. Densidad en simulación con semáforo actuado. (Mañana)

Fuente: Aimsun v8.2.

Tabla 33. Densidad en simulación con semáforo actuado. (Mañana)

Densidad - SIM ACTUADA (veh/km)			
07:10:00 a.m.	9.54	09:10:00 a.m.	11.52
07:20:00 a.m.	10.52	09:20:00 a.m.	11.11
07:30:00 a.m.	9.97	09:30:00 a.m.	11.15
07:40:00 a.m.	10.18	09:40:00 a.m.	11.67
07:50:00 a.m.	9.59	09:50:00 a.m.	10.91
08:00:00 a.m.	10.08	10:00:00 a.m.	12.25
08:10:00 a.m.	13.21	10:10:00 a.m.	11.19
08:20:00 a.m.	14.57	10:20:00 a.m.	11.3
08:30:00 a.m.	12.74	10:30:00 a.m.	11.27
08:40:00 a.m.	12.54	10:40:00 a.m.	11.31
08:50:00 a.m.	14.15	10:50:00 a.m.	11.05
09:00:00 a.m.	12.67	11:00:00 a.m.	11.49
Agregado		11.49	
Media		11.49	

Fuente: Aimsun v8.2.

Figura 39. Tiempo de demora en simulación con semáforo actuado. (Mañana)

Fuente: Aimsun v8.2.

Tabla 34. Tiempo de demora en simulación con semáforo actuado. (Mañana)

Tiempo de Demora - SIM ACTUADA (seg/km)			
07:05:00 a.m.	56.88	09:05:00 a.m.	75.68
07:10:00 a.m.	95.43	09:10:00 a.m.	68.51
07:15:00 a.m.	72.8	09:15:00 a.m.	79.19
07:20:00 a.m.	81.81	09:20:00 a.m.	72.15
07:25:00 a.m.	85.03	09:25:00 a.m.	74.54
07:30:00 a.m.	72.81	09:30:00 a.m.	75.22
07:35:00 a.m.	95.42	09:35:00 a.m.	69.63
07:40:00 a.m.	80.04	09:40:00 a.m.	82.65
07:45:00 a.m.	90.97	09:45:00 a.m.	74.06
07:50:00 a.m.	82.78	09:50:00 a.m.	77.98
07:55:00 a.m.	73.2	09:55:00 a.m.	66.38
08:00:00 a.m.	96.07	10:00:00 a.m.	72.16
08:05:00 a.m.	62.43	10:05:00 a.m.	64.05
08:10:00 a.m.	67.46	10:10:00 a.m.	81.94
08:15:00 a.m.	77.69	10:15:00 a.m.	67.31
08:20:00 a.m.	82.02	10:20:00 a.m.	78.73
08:25:00 a.m.	74.17	10:25:00 a.m.	68.01
08:30:00 a.m.	85.79	10:30:00 a.m.	70.57
08:35:00 a.m.	62.14	10:35:00 a.m.	71.64
08:40:00 a.m.	89.1	10:40:00 a.m.	82.21
08:45:00 a.m.	74.71	10:45:00 a.m.	67.48
08:50:00 a.m.	79.98	10:50:00 a.m.	79.97
08:55:00 a.m.	76.4	10:55:00 a.m.	57.68
09:00:00 a.m.	73.05	11:00:00 a.m.	72.19
Agregado		75.64	
Media		75.79	

Fuente: Aimsun v8.2.

2.9.2 Obtención del nuevo nivel de servicio mediante el software Aimsun

En este subcapítulo, se calculó el nivel de servicio de toda la red a través de la demora obtenida en Aimsun en la variable “tiempo de demora” indicado en la tabla 34, ya que, según definición del software, este tiempo es aquel calculado como la duración del paso de tiempo menos el tiempo que habría tomado en promedio cada vehículo para viajar en la red a su velocidad deseada.

Se puede observar un tiempo de demora en cola promedio de 75.64 s/km. Al asociar este valor con los valores de tiempos de demora establecidos por el manual HCM 2010, se estimó que la red simulada se clasificaría en un nivel de servicio E con la introducción del ITS semáforo actuado en el modelo.

3. VALIDACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

■ Análisis de resultados

3.1.1 Comparativo entre situación actual y mejorada con ITS

En la tabla 35 se muestra la comparación de resultados generales obtenidos en Aimsun de la simulación de los 3 escenarios planteados, el escenario real, el escenario dinámico y el escenario actuado, en donde los parámetros sombreados son la cola media, densidad y tiempo de demora, que son los parámetros en los que se enfocará esta investigación para la posterior interpretación de resultados.

Tabla 35. Escenario real vs. Dinámico vs. Actuado.

ESCENARIO REAL				ESCENARIO DINÁMICO				ESCENARIO ACTUADO			
Serie Temporal	Valor	Desviación	Unidades	Serie Temporal	Valor	Desviación	Unidades	Serie Temporal	Valor	Desviación	Unidades
Cola Media	276.55	ND	veh	Cola Media	95.17	ND	veh	Cola Media	43.42	ND	veh
Cola Virtual Máxima	1304	ND	veh	Cola Virtual Máxima	191	ND	veh	Cola Virtual Máxima	11	ND	veh
Cola Virtual Media	854.69	ND	veh	Cola Virtual Media	55.9	ND	veh	Cola Virtual Media	0.06	ND	veh
Contaje de Entrada	27239	ND	veh	Contaje de Entrada	27675	ND	veh	Contaje de Entrada	22026	ND	veh
Densidad	26.28	ND	veh/km	Densidad	12.72	ND	veh/km	Densidad	11.49	ND	veh/km
Distancia Total de Viaje	18493.4	ND	km	Distancia Total de Viaje	18884.88	ND	km	Distancia Total de Viaje	13862.07	ND	km
Distancia Total Viajada (Veh)	123.09	ND	km	Distancia Total Viajada (Veh)	66.42	ND	km	Distancia Total Viajada (Veh)	45.84	ND	km
Flujo	6805.5	ND	veh/h	Flujo	6932.25	ND	veh/h	Flujo	5500.25	ND	veh/h
Flujo de Entrada	6809.75	ND	veh/h	Flujo de Entrada	6918.75	ND	veh/h	Flujo de Entrada	5506.5	ND	veh/h
Giros Perdidos	9	ND		Giros Perdidos	9	ND		Giros Perdidos	29	ND	
Número de Cambios de Carril	2132.16	ND	#/km	Número de Cambios de Carril	2759.09	ND	#/km	Número de Cambios de Carril	3549.5	ND	#/km
Número de Paradas	0.19	ND	#/veh/km	Número de Paradas	0.12	ND	#/veh/km	Número de Paradas	0.17	ND	#/veh/km
Número Total de Cambios de	32758	ND		Número Total de Cambios de	42390	ND		Número Total de Cambios de	35298	ND	
Número Total de Paradas	80560.36	ND		Número Total de Paradas	51841.71	ND		Número Total de Paradas	36318.74	ND	
Tiempo de Demora	266.68	217.94	seg/km	Tiempo de Demora	128.82	167.47	seg/km	Tiempo de Demora	75.64	92.03	seg/km
Tiempo de Espera en Cola Vi	432.86	560.08	sec	Tiempo de Espera en Cola Vi	29.06	93.62	sec	Tiempo de Espera en Cola Vi	0.06	0.51	sec
Tiempo de Espera Total (Espe	100.22	ND	h	Tiempo de Espera Total (Espe	0	ND	h	Tiempo de Espera Total (Espe	0	ND	h
Tiempo de Parada	235.51	200.71	seg/km	Tiempo de Parada	115.04	161.24	seg/km	Tiempo de Parada	65.64	86.44	seg/km
Tiempo de Viaje	332.85	217.61	seg/km	Tiempo de Viaje	194.94	167.34	seg/km	Tiempo de Viaje	141.57	92.04	seg/km
Tiempo Total de Viaje	1614.96	ND	h	Tiempo Total de Viaje	783.23	ND	h	Tiempo Total de Viaje	456.54	ND	h
Tiempo Total de Viaje (Vehíc	27.11	ND	h	Tiempo Total de Viaje (Vehíc	3.02	ND	h	Tiempo Total de Viaje (Vehíc	2.28	ND	h
Vehículos Dentro	428	ND	veh	Vehículos Dentro	153	ND	veh	Vehículos Dentro	123	ND	veh
Vehículos Esperando para En	817	ND	veh	Vehículos Esperando para En	0	ND	veh	Vehículos Esperando para En	0	ND	veh
Vehículos Fuera	27222	ND	veh	Vehículos Fuera	27729	ND	veh	Vehículos Fuera	22001	ND	veh
Vehículos Perdidos Dentro	0	ND	veh	Vehículos Perdidos Dentro	0	ND	veh	Vehículos Perdidos Dentro	0	ND	veh
Vehículos Perdidos Fuera	0	ND	veh	Vehículos Perdidos Fuera	0	ND	veh	Vehículos Perdidos Fuera	0	ND	veh
Velocidad	19.94	16.18	km/h	Velocidad	28.38	14.32	km/h	Velocidad	33.73	15.04	km/h
Velocidad Harmónica	10.82	9.94	km/h	Velocidad Harmónica	18.47	13.53	km/h	Velocidad Harmónica	25.43	14.53	km/h

Fuente: Aimsun v8.2.

Interpretación de resultados

- Como se puede observar en la tabla 35, hay una notable mejoría en base a los factores de Cola media, densidad y tiempo de demora, esto demuestra que un escenario con un semáforo dinámico es más eficiente. Así mismo, se puede observar que la mejoría con la implementación del ITS semáforo actuado, se obtiene una mejoría aun mayor que la que se obtuvo con tan solo un semáforo dinámico.

Figura 40. Comparativo de Demora media en Acceso (Intersección)

Fuente: Aimsun v8.2.

- Al realizar un análisis comparativo entre los tres escenarios simulados en cuanto al factor de demora media en Acceso (intersección de las av. Primavera con av. Velasco Astete), se pudo observar que el promedio en el modelo simulado con un semáforo dinámico variable para intervalos de una hora fue de 51.58 segundos, menor en 8 segundos que la demora del modelo de la situación real (59.23 segundos), mientras que el modelo simulado con un semáforo actuado, obtuvo una demora media de 31.93 segundos, menor en 20 segundos. Esto lleva a la conclusión de que una intersección controlada con el ITS semáforo actuado beneficiaría notablemente la transitabilidad a través de la reducción de aproximadamente el 50% respecto a la demora media en acceso.

Tabla 36. Niveles de servicio (accesos).

	ACCESO	Tiempo de demora (seg)			NIVEL DE SERVICIO (LOS)		
		REAL	DINAMICA	ACTUADA	REAL	DINAMICA	ACTUADA
7 - 8 AM	NORTE	125	97	39	F	F	D
	SUR	56	53	37	E	D	D
	OESTE	328	40	29	F	D	C
	ESTE	35	51	27	C	D	C
8 - 9 AM	NORTE	121	100	46	F	F	D
	SUR	60	63	45	E	E	D
	OESTE	349	52	52	F	D	D
	ESTE	33	59	30	C	E	C
9 - 10 AM	NORTE	127	71	42	F	E	D
	SUR	76	56	40	E	E	D
	OESTE	314	42	34	F	D	C
	ESTE	35	50	26	C	D	C
10 - 11 AM	NORTE	135	53	41	F	D	D
	SUR	60	50	39	E	D	D
	OESTE	340	37	36	F	D	D
	ESTE	36	42	26	D	D	C

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Niveles de servicio (intersección).

	Tiempo de demora (seg)			NIVEL DE SERVICIO (LOS)		
	REAL	DINAMICA	ACTUADA	REAL	DINAMICA	ACTUADA
7 - 8 AM	192	58	32	F	E	C
8 - 9 AM	184	65	45	F	E	D
9 - 10 AM	176	51	34	F	D	C
10 - 11 AM	194	42	35	F	D	C

Fuente: Elaboración propia.

- Luego de ser procesados los resultados de las simulaciones mediante Aimsun, se calcularon los diferentes tiempos de demora para cada acceso, así como para la intersección en estudio (av. Primavera con av. Velasco Astete), cuyos resultados se muestran en las tablas 36 y 37. Como se puede observar, mediante la simulación con el semáforo dinámico y semáforo actuado, se pudo lograr una mejora significativa respecto a la simulación real en cuanto a los valores de tiempos de demora, y por lo tanto, una mejora importante de los niveles de servicio para cada acceso, así como para la intersección.
- Cabe resaltar que la mejora más importante se dio en el acceso oeste, seguido del acceso norte. En el acceso oeste se obtuvo una considerable reducción del tiempo de demora (de hasta 300 segundos en la simulación actuada) que le permitió pasar de un nivel de servicio permanente F en la simulación real a uno D en la hora punta y hasta uno C en las horas valle en la simulación actuada. El acceso norte pasó de un nivel de servicio F a uno D con la simulación actuada con una reducción de hasta 94 segundos en el tiempo de demora.
- El acceso sur presentó una mejora moderada al pasar de un nivel de servicio E a uno D con reducción promedio de 25 segundos en el tiempo de demora.
- El acceso este presentó una leve mejora de hasta 10 segundos. En 3 de los 4 periodos analizados se mantuvo con un nivel de servicio constante C.
- Mediante la simulación actuada, el nivel de servicio en la intersección pasó de un nivel F a uno D en la hora punta y de uno F a uno C en las horas valle.
- Mediante la simulación dinámica se obtuvo una mejora relativa en los niveles de servicio, respecto a la simulación real, pero menor a la obtenida mediante la simulación actuada.

4. MEJORA EN EL NIVEL DE SERVICIO Y BENEFICIOS ADICIONALES CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS ITS EN LA INTERSECCIÓN VIAL

Mejora en el nivel de servicio

El nivel de servicio identificado en la intersección (escenario actual) fue de valor F, según indica la metodología HCM 2010, en el análisis de las 4 horas consecutivas, tanto de la mañana como de la noche, se obtuvo siempre un grado de saturación mayor a 1, entre 1.2 y 1.6 con una demora máxima de 102.28 segundos; así mismo, el nivel de servicio calculado mediante Aimsun también fue de clasificación F, con una demora estimada de 92.76 segundos con lo cual se realizó la validación del modelo en la hora punta.

Mediante la simulación con un semáforo fijo se obtuvo un tiempo de demora promedio en la red de 266.68 seg/km, mientras que mediante la simulación con un semáforo dinámico predefinido para cuatro intervalos de tiempo de una hora cada uno, se obtuvo un tiempo de demora promedio de 128.82 seg/km y, para la simulación con un semáforo actuado, se obtuvo un tiempo de demora promedio de 75.64 seg/km.

En este sentido, se obtuvo una notable mejora del factor de tiempo de demora con una reducción del 71% en toda la red con respecto al escenario original. Al relacionar este tiempo de demora con la clasificación que brinda el manual HCM 2010, se clasificó a toda la red simulada como a un nivel de servicio E.

En cuanto a los niveles de servicio calculados en la intersección principal (av. Primavera con av. Velasco Astete), se pudo obtener, en resumen, una mejoría significativa para los accesos OESTE y NORTE, en donde el nivel de servicio pasó de ser de una clasificación F a una C y D, respectivamente. En los accesos SUR y ESTE se pudo obtener una moderada y leve mejora, respectivamente. En el acceso SUR se pasó de una clasificación E a una D, mientras que, en el acceso ESTE, se mantuvo su clasificación inicial C pero se obtuvo una leve reducción en los tiempos de demora.

Beneficios adicionales

La congestión vehicular no solo afecta a la economía de un país sino también esto implica grandes costos medioambientales, en la salud pública, el confort y la comodidad de viajeros y de aquellos que viven cerca de redes congestionadas. Según la ponencia brindada por el ing. José C. Azcárate Beltrán brindada en el 6° Foro de Eficiencia Energética en el Transporte, indica que en

el 2007 los costos por congestionamiento en carreteras europeas acumularon hasta el 1% de su PIB, unos 127,000 millones de euros, basándose en cifras de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). De la misma manera, en dicha ponencia se indica que según un informe publicado en el 2011 titulado Movilidad Urbana del Instituto del Transporte de Texas, existen pueblos norteamericanos que desperdician 1.9 millones de galones de combustible en el congestionamiento urbano, mientras que, en 2010, el viajero promedio perdería 34 horas en atascos de tránsito. Asimismo, en dicha ponencia también se indica que según el estudio de transporte de Eddington publicado el 2006 en el Reino Unido, indicó que la eliminación del congestionamiento existente en la red de carreteras en todo el país, representaría de 11 y 13 mil millones de dólares por año, por lo que se llegó a la conclusión de que el no controlarse dicha problemática esto podría representar solamente para Inglaterra en el 2025 un gasto extra de 35,000 millones de dólares en tiempos perdidos (Azcarate Beltrán, 2014).

Por ello, es necesario mencionar que la utilización de los ITS no solo brinda un transporte más eficiente y seguro, sino también y como se puede observar en los resultados obtenidos mediante el Aimsun, también existen otros beneficios tanto directos como indirectos, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

- Ahorro en el tiempo de viaje de los usuarios expresado en cantidad y costo, esto relacionado con una mejora en la movilidad de los viajeros.
- Mejor imagen urbana: A través de la utilización de los ITS propuestos para la gestión del tráfico se produce un ordenamiento del tránsito vehicular, viéndose esto reflejado en los óptimos niveles de servicio obtenidos con la implementación del proyecto. Esto a su vez permite un mayor desarrollo urbano de la zona y por ende una mejor imagen urbana en cuanto a mejora en los niveles de congestionamiento, menor gasto en combustible y por ende una reducción en la contaminación ambiental, etc. De esta manera, el proyecto puede contribuir a la continuación de desarrollo urbano de la zona de una forma más ordenada y con una oferta de comunicación más eficiente.
- Beneficios indirectos:
 - Medición automática y frecuente de aforos vehiculares.
 - Obtención información en tiempo real de determinadas variables relacionadas con el flujo circulatorio como: velocidades, clasificación de vehículos (en función del número de ejes o longitud), determinación del tiempo de ocupación, etc.

- Aviso automático de la cantidad de tiempo que le tomará al usuario en cruzar la intersección, por ende, decide de acuerdo a dicha información actual del tráfico de la zona o cualquier otro tipo de información en tiempo real del estado de la vía, todo ello con el fin de mejorar la operación de la red.
- Monitoreo constante no solo en cuanto al tráfico actual, sino también en cuanto a situaciones de seguridad ciudadana como: robos en general, identificación de los vehículos que ocasionan accidentes. A partir del monitoreo frecuente es posible minimizar el tiempo de respuesta ante cualquier emergencia o incidente, todo esto conectado con la municipalidad del distrito para un trabajo eficiente en conjunto.
- Mejora de la seguridad vial y reducción del número y gravedad de accidentes de tránsito.
- El desarrollo de los ITS genera a largo plazo un mayor empleo calificado a nivel nacional.

5. ESTIMACIÓN DE COSTOS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ITS.

Una parte importante de la implementación de los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS), es el análisis de la inversión que se necesita para que dicho proyecto pueda ser llevado a la realidad, ya que como bien se analizó en el capítulo V, los parámetros de la vía (tiempos de demora, de viajes, etc) y como los niveles de servicio mejoran de manera notable con la implementación de ITS, por ello ahora es importante detallar la inversión necesaria para ello. Cabe indicar que dicho presupuesto solo incluye el equipamiento necesario para el manejo de la información vial y los ITS propiamente dichos como: cámaras CCTV, paneles de señalización variable, detectores en espiras de doble lazo y los semáforos inteligentes. Asimismo, a efectos de mantenimiento se ha proyectado utilizar un 10% de la inversión total, el cual incluye los equipos de mantenimiento, reposición de los elementos de stock de repuestos que se hayan consumido y reparaciones. Este porcentaje está proyectado a ser costos anuales (costo de mantenimiento y reposición) por un tiempo de vida útil del proyecto de 10 años.

Estimación de la inversión de la implementación de ITS.

Como se puede observar en la tabla 38, en dicho presupuesto, la inversión total del proyecto asciende a una suma aproximada de S/. 2, 006,093.00. Dichos precios fueron considerados de la tesis titulada “Propuesta de implementación de un Sistema Inteligente de Transporte para la mejora de las condiciones viales en el tramo de la Panamericana Norte entre Av. Los Alisos y Av. Abancay”, publicada en el 2017 y cuya autoría pertenece a Rodolfo Del Águila Panduro. Asimismo, en cuanto al precio del suministro, instalación y mantenimiento tanto del sistema CCTV y de semáforos inteligentes fue tomado de la misma base de datos de la empresa SUTEC, empresa peruana con 11 años de experiencia, más de 20 proyectos de ejecución de obras de semaforización inteligente, señalización vial, fiscalización electrónica, proyectos de videovigilancia (CCTV) y sistemas de iluminación LED. Cabe indicar que dicha empresa ha instalado más de 80 intersecciones con semáforos inteligentes centralizados para la Municipalidad Metropolitana de Lima y gestionados mediante el centro de control de tránsito "Flexcenco".

Tabla 38. Presupuesto de implementación de ITS.

ID	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL 1	PARCIAL 2	PRECIO TOTAL
1	Equipamiento para el manejo de información						S/ 401,930.84
1.1	Puesto operador: PC + Monitor Eizo FlexScan EV2216W 22" para operadores	Und.	2	S/ 2,340.42	S/ 4,680.84		
1.2	Sistema de visualización VIDEOWALL	Und.	1	S/ 3,500.00	S/ 3,500.00		
1.4	Gestor de la red de comunicaciones	Und.	1	S/ 187,500.00	S/ 187,500.00		
1.6	Controlador de tráfico SUTEC STC-S4	Und.	1	S/ 123,750.00	S/ 123,750.00		
1.7	Software de integración FLEXENCO	Und.	1	S/ 82,500.00	S/ 82,500.00		
2	Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS)						S/ 942,004.98
2.1	Obras Civiles	Gbl.				S/ 1,973.44	
	Arquetas 60x60x60x80 (CCTV)	Und.	3	S/ 111.14	S/ 333.42		
	Arquetas 60x60x60x80 para paneles de mensaje variable (PMV)	Und.	2	S/ 114.14	S/ 228.28		
	Cimentación para pórtico de PMV	Und.	2	S/ 509.10	S/ 1,018.20		
	Corte para la instalación del doble lazo inductivo	Und.	8	S/ 13.13	S/ 105.04		
	Toma de tierra para PVM	Und.	2	S/ 57.70	S/ 115.40		
	Toma de tierra para CCTV	Und.	3	S/ 57.70	S/ 173.10		
2.2	Sistema de CCTV	Gbl.				S/ 450,000.00	
	Instalación, suministro y mantenimiento de un sistema CCTV (SUTEC)	Gbl.	1	S/ 450,000.00	S/ 450,000.00		
2.3	Sistema de señalización variable	Gbl.				S/ 179,000.00	
	Panel de mensaje variable 2G-3L18	Und.	2	S/ 55,000.00	S/ 110,000.00		
	Pórtico de aluminio	Und.	2	S/ 30,000.00	S/ 60,000.00		
	Armario metálico (protección a la interperie)	Und.	2	S/ 4,500.00	S/ 9,000.00		
2.3	Espiras de doble lazo inductivo	Gbl.				S/ 99,965.04	
	Espiras de doble lazo inductivo	Und.	8	S/ 8,000.00	S/ 64,000.00		
	Estación de toma de datos	Und.	8	S/ 1,995.63	S/ 15,965.04		
	Armario metálico (protección a la interperie)	Und.	8	S/ 2,500.00	S/ 20,000.00		
2.4	Semáforos inteligentes	Gbl.				S/ 211,066.50	
	Suministro, instalación y mantenimiento de semáforos inteligentes (SUTEC)	Gbl.	1	S/ 211,066.50	S/ 211,066.50		
COSTO DIRECTO							S/ 1,343,935.82
GASTOS GENERALES							10% S/ 134,393.58
UTILIDAD							5% S/ 67,196.79
TOTAL ANTES DEL IGV							S/ 1,545,526.19
IGV							18% S/ 278,194.71
TOTAL DEL PROYECTO							S/ 1,823,720.91
TOTAL DEL PROYECTO INCL. MANTENIMIENTO (10% INVERSIÓN TOTAL)							10% S/ 2,006,093.00

Fuente: Elaboración propia.

Análisis comparativo entre la situación actual sin proyecto contra la situación mejorada con proyecto.

Este apartado principalmente está enfocado a evaluar el ahorro económico que existe comparando la situación actual de la vía (sin proyecto de ITS) contra la situación mejorada de la vía (con proyecto de ITS). Para ello se tomó en cuenta tan solo el dato del tiempo de viaje. Esto es posible debido a que, mediante la simulación del tránsito con los ITS propuestos, el software Aimsun, ya calibrado y validado, arroja distintos datos entre los cuales el tiempo de viaje que, como se explicó inicialmente, será utilizado como factor de medición para evaluar el ahorro económico. Todo esto asociado al costo social, parámetro utilizado para la evaluación del proyecto y cuyo dato fue extraído del anexo SNIP 10 del Ministerio de Economía y Finanzas (MEF). Dicho anexo del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) (Anexo SIP 10), establece los parámetros metodológicos para la evaluación social de los proyectos de inversión pública, tales como precios sociales que dependen básicamente de la política tributaria del país, tasa social de descuento, etc. Cabe resaltar que el factor del valor social del tiempo 6.78 es un dato promedio entre los valores 7.40 (valor social del tiempo por transporte local privado en Lima – Urbano) y 6.15 (valor social del tiempo por transporte local público en Lima – Urbano). Dichos valores fueron promediados debido a que la vía en estudio no solo presenta vehículos particulares sino también vehículos de transporte público.

De esta manera, conociendo el tiempo de viaje (sin proyecto y con proyecto), el valor social del tiempo y el volumen horario de máxima demanda VHMD, se puede traducir el tiempo de viaje en cantidad monetaria para luego realizar la comparativa y conocer el ahorro económico en implementar los ITS en la vía propuesta que incluye las tres intersecciones anteriormente descritas.

$$\text{Valor del tiempo} = VST * VHMD * \text{Tiempo de viaje}$$

Donde:

- VST: Valor social del tiempo, el cual es considerado de
- VHMD: Volumen horario de máxima demanda (volumen de tráfico considerado dentro de la hora pico).
- Tiempo de viaje: estimado mediante el software de simulación Aimsun.

Tabla 39. Valor del tiempo de viaje.

VALOR DEL TIEMPO DE VIAJE				
	VALOR SOCIAL DEL TIEMPO	VHMD	TIEMPO DE VIAJE (Hras.)	TOTAL (S/.)
SIN PROYECTO	6.78	6249	0.068	S/. 2,878.91
CON PROYECTO	6.78	6249	0.039	S/. 1,651.14
		AHORRO	0.029	S/. 1,227.77

/km.hora.pasajeroprom.

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1 Fuentes de financiación

Asimismo, también es importante conocer las principales fuentes de financiación del proyecto, que como en otros países latinoamericanos que utilizan ITS en su gestión del tráfico se ha realizado mediante fondos con un periodo de retorno de la inversión óptimo y un análisis costo beneficio mayor a la unidad, lo cual hace que el proyecto sea viable. Esto es lo que se busca actualmente mediante este tramo de vía, tomado como prueba piloto y con posibilidad de ser ampliado en posteriores estudios, tomando en cuenta los distintos beneficios para un desarrollo sostenible del Perú. Es así que los principales recursos económicos los cuales pueden ayudar a hacer el proyecto realidad son:

- Recursos ordinarios: Este tipo de recursos son los ingresos provenientes de la recaudación tributaria y otros conceptos.
- Financiación externa: Por medio de organismos multilaterales los cuales constituyen una fuente importante de fondo para la mayoría de los países en desarrollo, entre ellos el Perú. Estos préstamos brindados están principalmente dirigidos a la ejecución de proyectos de desarrollo, como la implementación de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS). Entre los principales organismos multilaterales que pueden apoyar dicha implementación están: Corporación Andina de Fomento – CAF; Banco Mundial; Clean Technology Fund - CTF (Climate Investment Funds – CIF); Fondo de Desarrollo de Ciencia y Tecnología (Asia Pacific Economic Community – APEC); Banco Interamericano de Desarrollo (BID); Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD); Programa Asia y Latinoamérica – ALA (Banco Europeo de Inversiones – BEI). Todos ellos buscan apoyar el crecimiento económico sostenible de los países.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

■ Conclusiones

1. Con la introducción de los ITS semáforo actuado y detector, como herramientas tecnológicas de gestión del tráfico, se pudo observar luego de las distintas simulaciones de tráfico que, los niveles de servicio en la intersección principal en estudio, es decir, el cruce de la avenida Primavera con la avenida Velasco Astete, presentaron una significativa mejora en los accesos OESTE y NORTE, y una mejora moderada y leve en los accesos SUR y ESTE respectivamente. Con una reducción de hasta 300 segundos en el tiempo de demora, el acceso OESTE pasó de una clasificación F a una C y D en los periodos analizados, el acceso NORTE, con una reducción de hasta 94 segundos en el mismo factor, pasó de una clasificación F a una D. El acceso SUR pasó de una clasificación E a una D con una reducción promedio de 25 segundos en la demora y el acceso ESTE se mantuvo con una clasificación C, pero con una leve reducción en la demora de hasta 10 segundos.
2. El nivel de servicio calculado en la intersección principal pasó de un nivel permanente F en la simulación del escenario real a uno D en la hora punta y a uno C en las horas valle de la simulación del escenario implementado con los ITS, con una reducción promedio aproximada de 150 segundos en la demora.
3. Se pudo observar un tiempo de demora en promedio de 75.64 s/km en toda la red simulada (av. Primavera desde av. Del Pinar hasta av. Buena Vista). Al asociar este valor con los valores establecidos por el manual HCM 2010 se pudo concluir que el nivel de servicio estimado en la red pasó de ser de un nivel de servicio F a un nivel de servicio E con la introducción del ITS semáforo actuado en el modelo.
4. Mediante la utilización de los Sistemas Inteligentes de Transporte ITS se pudo probar que los parámetros en estudio (cola media, densidad y tiempo de demora) en las vías principales en estudio en toda la red simulada, es decir, las de mayor demanda, mejoran significativamente. El parámetro cola media pasó de ser de 276.55 veh. a 95.17 veh. en la simulación dinámica y a 43.42 en la simulación actuada, el factor de densidad fue de 26.8, 12.72 y 11.49 veh/km respectivamente, y, por último, el factor de tiempo de demora fue de 266.68, 128.82 y 75.64 seg/km respectivamente, una reducción del 70% aproximadamente en el tiempo de demora. Esto, gracias a la implementación de las

tecnologías ITS semáforo actuado, detectores y adicionalmente las cámaras CCTV y los paneles de señalización variable, con el fin de crear una eficiente gestión del tráfico.

5. Al analizar el factor demora media en acceso, en la intersección principal (Av. Primavera con Av. Velasco Astete) evaluada para las distintas simulaciones real, dinámica y actuada, se obtuvieron los valores 59.23, 51.58 y 31.93 segundos respectivamente, esto implica que la implementación del semáforo dinámico presentaría una mejora del 13% de la situación real y la implementación del semáforo actuado presentaría una mejora del 46% con respecto a la situación real respecto a este factor.
6. La inversión proyectada para llevar a cabo dicha implementación de ITS en la vía en estudio tiene un monto aproximado de S/. 2, 006,093.00, el cual incluye el mantenimiento que año tras año se debe realizar.
7. Tomando en cuenta el tiempo de viaje (parámetro base para el análisis de costo), el valor social del tiempo y el volumen horario de máxima demanda VHMD, se puede comprobar que se podría ahorrar un aproximado de S/. 1,227.77 / km.hora.pasajeros promedio.

Recomendaciones

1. Analizar y estudiar una mayor cantidad de vías aledañas a la vía en estudio tipo una red más extensa (un estudio más profundo que se asemeje más a la realidad) como opción para aliviar el congestionamiento de dichas zonas y ya que es de gran posibilidad que también ayuden a mejorar la situación del tráfico vehicular de la vía en estudio.
2. Fomentar el uso de ITS en las principales intersecciones críticas del Perú tomando en cuenta el desarrollar un sistema que integre también los distintos modos de transporte.
3. Realizar nuevamente un estudio de la presente tesis dentro de un tiempo aproximado de 5 años debido a que el parque automotor de la intersección siempre va en aumento y esto se ve reflejado en la comparación que se realizó con el aforo vehicular proporcionado por la Municipalidad de Surco realizado en el año 2011 en el que se obtuvo un aforo total de 7406 vehículos en la hora punta de la mañana, mientras que, en el aforo realizado para la presente tesis, se obtuvo un total de 7728 vehículos en la hora punta de la mañana.
4. Realizar una mayor investigación en cuanto a los métodos de cálculo de los niveles de servicio (LOS) proporcionados por el software Aimsun v8.2, ya que, dicho software

realiza el cálculo a través de una relación existente con la demora de cola, mientras que la metodología HCM 2010 considera los 3 tipos de demoras de control.

5. Analizar nuevos escenarios con implementación de otros sistemas ITS, como, por ejemplo, el sensor de lazo virtual, ramp metering, políticas de desvíos de rutas o la introducción de los semáforos actuados coordinados, que sirven para evaluar un panorama más amplio en base a la actuación y coordinación entre intersecciones semaforizadas.
6. Mayor inversión económica por parte del gobierno peruano en la aplicación tecnológica al transporte, pues en un futuro los costos de movilidad disminuirían al poder implementarse sistemas y modos de transporte más sostenibles y sobretodo integrado con el fin de crear una eficiente gestión del transporte y generar a la vez una disminución de costos propios de la operación y administración de los sistemas de transporte.
7. Finalmente, se debe ahondar en el estudio del costo de la implementación de ITS ya que, el estudio llevado a cabo en esta tesis es a nivel de un estudio económico básico, más no a detalle. En este sentido se recomienda realizar un estudio detallado de dichos costos de implementación y que pueda ser usado en futuras evaluaciones de costo beneficio frente a otras propuestas de mejoras de la transitabilidad en intersecciones semaforizadas.

7. REFERENCIAS

- Barcelo, J., Casas J., Ferrer, J., Perarnau, J. (2003). A Simulation Study to Evaluate the Performance of Adaptive Control Strategies for Traffic Safety Conditions in the Vielha Tunnel. Proceedings of the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board (CD-ROM), Washington D.C.
- Boxill, S. A. & Lei, Y. (2000) An Evaluation of Traffic Simulation Models for Supporting ITS Development, Center for Transportation Training and Research, Texas Southern University.
- Cáceres, G. (28 de julio del 2017). Congestión vehicular genera pérdidas de hasta \$20 mil millones al año en todo el país. Diario Correo. Recuperado de <https://diariocorreo.pe/peru/congestion-vehicular-genera-perdidas-de-hasta-20-mil-millones-al-ano-en-todo-el-pais-764472/>
- Cameron, G., & Duncan, G. (1996). “PARAMICS—Parallel microscopic simulation of road traffic.” *The Journal of Supercomputing*, 10(1), (pp. 25-53).
- Casas, J., Ferrer, J., Garcia, D., Perarnau, J., & Torday, A. (2010). “Traffic simulation with Aimsun”. In *Fundamentals of traffic simulation* (pp. 173-232). Springer New York.
- Cheu, R., Tan, Y., & Lee, D.-H. (2004). Comparison of PARAMICS and GETRAM / AIMSUN Microscopic Traffic Simulation. *TRB Committee A3A11 - Traffic Flow Theory and Characteristics. 83th Annual Meeting of the Transportation Research Board*, (November 2003), 1–19.
- Dia, H., & Panwai, S. (2008) “Nanoscopic Traffic Simulation: Enhanced Models of Driver Behavior for ITS and Telematics Simulations”, *3rd International Symposium on Transport Simulation, Gold Coast, Australia*, August 6 – 8.
- Diakaki, C., Dinopoulou, V., Aboudolas, K., Papageorgiou, M., BenShabat, E., Seider, E., & Leibov, A. (2003). Extensions and New Applications of the Traffic Signal Control Strategy TUC. Proceedings of the 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board (CD-ROM), Washington D.C.
- Fellendorf, M., & Vortisch, P. (2010). “Microscopic traffic flow simulator VISSIM.” In *Fundamentals of Traffic Simulation* (pp. 63-93). Springer New York.

- Fellendorf, M. (1994). “VISSIM: A Microscopic Simulation Tool to Evaluate Actuated Signal Control Including Bus Priority”, *64th ITE Annual Meeting*.
- Hidas, P. (2005) “A Functional Evaluation of of the AIMSUN, PARAMICS, and VISSIM Microsimulation Models”, *Road and Transport Research*, 14(4), (pp. 45 –59).
- Hourdakis, J., & Michalopoulos, P. (2002). Evaluation of Ramp Control Effectiveness in Two Twin Cities Freeways. Proceedings of the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board (CD-ROM), Washington D.C.
- José, A. (2014). *Tecnologías Inteligentes para salvar recursos energéticos* [Diapositivas en Power Point]. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/84989/FOR6_1141022ITSMexicoITS.pdf
- Kokkinogenis, Z., Passos, L., Rossetti, R., & Gabriel, J. (2011). “Towards the next-generation traffic simulation tools: a first evaluation.” *In 6th Iberian Conference on Information Systems and Technologies* (pp. 15-18).
- Levinson, D., & Kanchi, S. (2002). Inter-Technology Effects in Intelligent Transportation Systems. Proceedings of the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board (CD-ROM), Washington D.C.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2015). *Informe de Caracterización de Tramos de Vía de Alta Incidencia de Accidentes de Tránsito en el Distrito de San Borja*. Marzo 29, 2018, de Proyecto de Identificación y Priorización de Puntos Negros Sitio web: https://www.mtc.gob.pe/transportes/terrestre/documentos/distritos/dist_lima_sanborja.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Desarrollo de la Arquitectura y Plan de Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) de Perú*. Mayo de 2014, de Informe n° 6: Plan maestro ITS.
- Quadstone PARAMICS. URL: <http://www.paramics-online.com/> . Accessed on September 13, 2008.
 - Quintero, J., & Prieto, L. (2015). Sistemas inteligentes de transporte y nuevas tecnologías en el control y administración del sistemas inteligentes de transporte y

nuevas tecnologías en el control y administración transporte, 53–62.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18566/puente.v9n1.a07>

- Ratrout, N., & Rahman, S. (2009). A Comparative Analysis of Currently Used Microscopic and Macroscopic Traffic. *Science*, 34(1), 121–133.
- Saidallah, M., El Fergougui, A., & Elalaoui, A. (2016). A Comparative Study of Urban Road Traffic Simulators. *MATEC Web of Conferences*, 81, 5002.
<https://doi.org/10.1051/matecconf/20168105002>
- Sayeg, P., & Charles, P. (2006). *Sistemas de Transporte Inteligente*. Marzo 30, 2018, de SUTP ITSio web:
http://www.sutp.org/files/contents/documents/resources/A_Sourcebook/SB4_Vehicles-and-Fuels/GIZ_SUTP_SB4e_Intelligent-Transport-Systems_ES.pdf
- Shaw, J., & Nam, D. (2002). Microsimulation, Freeway System Operational Assessment and Project Selection in Southeastern Wisconsin: Expanding the Vision. Proceedings of the 81st Annual Meeting of the Transportation Research Board (CD-ROM), Washington D.C.
- Suarez, M. (2001). *Inteligentes Ir IIS Transporte*.
- Thomson, I., & Bull, A. (2001). La congestión de tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales, serie Recursos naturales e infraestructura, N° 25 (LC/L.1560-P), Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.01.II.G.105.
- Thomson, I. (2000b), Algunos conceptos básicos referentes a las causas y soluciones del problema de la congestión de tránsito (LC/R.2004), Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), junio.
- "TransModeler Traffic Simulation Software", Caliper.com, 2016. [Online]. Available: <http://www.caliper.com/transmodeler/>. [Accessed: 29- May- 2016]
- Unidad de Transporte de la CEPAL (2003). Congestión del tránsito. El problema y cómo enfrentarlo. 1st ed. Santiago de Chile: Alberto Pull, pp. 23-31
- VÉRTIGO (2018). *Estas son las ventajas de los sistemas inteligentes de transporte*. Recuperado de: <http://www.vertigopolitico.com/articulo/34394/Estas-son-las-ventajas-de-los-sistemas-inteligentes-de-transporte>.
- VISSIM 5.10 COM Interface Manual, PTV Germany, (2009).

- Wang, X., Zhang, F., Li, B., & Gao, J. (2017). Developmental pattern and international cooperation on intelligent transport system in China. *Case Studies on Transport Policy*, 5(1), 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2016.08.004>
- Wiedemann, R. (1991) “Modeling of RTI-Elements on MULTI-LANE ROADS”, in *Advanced Telematics in Road Transport*, The Commission of the European Community, DG XIII, Brussels.
- Yang, Q., & Koutsopoulos, H. (1996). “A microscopic traffic simulator for evaluation of dynamic traffic management systems.” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 4(3), (pp. 113-129).
- Yatskiv, I., Savrasovs, M., Udre, D., & Ruggeri, R. (2017). Review of intelligent transport solutions in Latvia. *Transportation Research Procedia*, 24, 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.064>

8. ANEXOS

ANEXO I:

FORMATO DE CONTEO DE VEHICULOS (MAÑANA)

HOJA RESUMEN (APROXIMACION)

INTERSECCION : AV. PRIMAVERA - AV. VELASCO ASTETE
 APROXIMACION :
 DISTRITO : SANTIAGO DE SURCO

FECHA : 25/04/2017
 DIA : MARTES

HORAS DE	AUTOS				BUS				MICROS				C. RURAL.				CAMION				CAMION + 2E				TOTAL	SUMA	ACCESOS	TOTAL X
CONTROL	11	12	13	14	11	12	13	14	11	12	13	14	11	12	13	14	11	12	13	14	11	12	13	14	1/4 HORA	HORARIA	1/4 HORA	HORA
7:00-7:15																												
7:15-7:30																												
7:30-7:45																												
7:45-8:00																												
8:00-8:15																												
8:15-8:30																												
8:30-8:45																												
8:45-9:00																												
9:00-9:15																												
9:15-9:30																												
9:30-9:45																												
9:45-10:00																												
10:00-10:15																												
10:15-10:30																												
10:30-10:45																												
10:45-11:00																												

FORMATO DE CONTEO DE VEHICULOS (TARDE)

HORAS DE	AUTOS				BUS				MICROS				C. RURAL.				CAMION				CAMION + 2E				TOTAL	SUMA	ACCESOS	TOTAL X
CONTROL	11	12	13	14	11	12	13	14	11	12	13	14	11	12	13	14	11	12	13	14	11	12	13	14	1/4 HORA	HORARIA	1/4 HORA	HORA
16:00-16:15																												
16:15-16:30																												
16:30-16:45																												
16:45-17:00																												
17:00-17:15																												
17:15-17:30																												
17:30-17:45																												
17:45-18:00																												
18:00-18:15																												
18:15-18:30																												
18:30-18:45																												
18:45-19:00																												
19:00-19:15																												
19:15-19:30																												
19:30-19:45																												
19:45-20:00																												
H.P A.M.																												
H.P P.M.																												

ANEXO II:

AFORO DE LA INTERSECCIÓN (MAÑANA)

	Av. Primavera con Av. Velasco Astete															
	Av. Primavera				Av. Velasco Astete			Av. Primavera			Av. Velasco Astete					
	Acceso ESTE-OESTE				Acceso NORTE-SUR			Acceso OESTE-ESTE			Acceso SUR-NORTE					
HORARIO																TOTAL
7:00 a 7:15	181	51	22	6	201	4	38	326	11	116	10	72	7	33	1078	
7:15 a 7:30	194	38	23	4	249	8	35	326	45	169	5	90	13	30	1229	
7.30 a 7.45	209	50	34	2	296	7	68	309	33	157	12	88	27	27	1319	
7.45 a 8.00	250	44	24	2	250	14	50	346	50	137	14	103	20	30	1334	4960
8.00 a 8.15	291	80	27	1	286	9	43	413	55	151	17	99	22	23	1517	5399
8.15 a 8.30	274	92	36	2	180	7	20	506	79	186	13	134	20	13	1562	5732
8.30 a 8.45	267	105	40	1	130	3	29	492	97	228	20	109	38	13	1572	5985
8.45 a 9.00	215	138	37	0	120	0	53	422	115	198	21	138	65	13	1535	6186
9.00 a 9.15	269	107	38	2	157	2	40	378	111	249	28	143	44	12	1580	6249
9.15 a 9.30	236	92	20	1	103	3	34	320	85	159	20	156	41	9	1279	5966
9.30 a 9.45	297	131	39	2	122	1	43	321	78	148	23	111	32	17	1365	5759
9.45 a 10.00	240	143	29	5	130	4	29	283	99	109	26	104	54	25	1280	5504
10.00 a 10.15	209	98	26	0	147	3	31	311	111	156	35	100	23	37	1287	5211
10.15 a 10.30	210	134	42	2	155	2	45	322	128	150	24	88	10	21	1333	5265
10.30 a 10.45	231	101	59	3	113	5	39	351	123	135	31	76	13	24	1304	5204
10.45 a 11.00	244	106	55	0	137	5	34	331	119	125	19	66	13	16	1270	5194
TOTAL	3817	1510	551	33	2776	77	631	5757	1339	2573	318	1677	442	343	21844	
<div><div>VHMD</div><div>6249</div></div> <div><div>FHMD</div><div>0.989</div></div>																

AFORO DE LA INTERSECCIÓN (TARDE)

HORARIO	Av. Primavera con Av. Velasco Astete														TOTAL	
	Av. Primavera				Av. Velasco Astete			Av. Primavera				Av. Velasco Astete				
	Acceso ESTE-OESTE				Acceso NORTE-SUR			Acceso OESTE-ESTE				Acceso SUR-NORTE

16:00 a 16:15	236	109	50	9	81	3	27	307	136	109	20	44	13	17	1161	
16:15 a 16:30	266	121	41	7	66	5	39	231	90	111	21	32	19	20	1069	
16:30 a 16:45	236	197	29	4	92	8	31	154	76	109	24	40	24	13	1037	
16:45 a 17:00	280	187	34	6	78	12	13	154	103	78	29	55	16	27	1072	4339
17:00 a 17:15	308	212	54	9	116	9	44	246	86	81	25	61	18	30	1299	4477
17:15 a 17:30	250	258	66	6	125	5	49	203	99	71	27	66	22	48	1295	4703
17:30 a 17:45	289	267	84	6	116	2	37	193	103	84	25	58	28	37	1329	4995
17:45 a 18:00	258	218	57	9	128	4	25	192	94	53	21	62	18	48	1187	5110
18.00 a 18.15	330	296	106	2	137	11	32	237	104	44	18	69	18	46	1450	5261
18.15 a 18.30	248	216	88	5	138	10	45	223	96	64	32	54	16	36	1271	5237
18.30 a 18.45	288	261	111	3	111	5	40	233	83	79	16	53	19	42	1344	5252
18.45 a 19.00	276	186	113	9	82	2	26	242	90	64	26	62	9	33	1220	5285
19.00 a 19.15	259	121	78	7	42	4	20	221	103	62	20	75	7	39	1058	4893
19.15 a 19.30	187	58	99	11	95	4	41	173	64	84	30	78	6	25	955	4577
19.30 a 19.45	161	82	76	7	88	9	20	207	92	107	23	85	9	34	1000	4233
19.45 a 20.00	280	165	90	13	122	8	30	190	107	89	14	88	13	46	1255	4268
TOTAL	4152	2954	1176	113	1617	101	519	3406	1526	1289	371	982	255	541	19002	
<div><div>VHMD</div><div>5261</div></div> <div><div>FHMD</div><div>0.907</div></div>																

ANEXO III: CÁLCULO DE LAS DEMANDAS

7 – 8AM

Fase	Acc	Mov	VHMD	FHMD	PT %	PCR %	PB %	Fhv	qMov	qGm	qGc
1	N-S	D	33	0.59	0	0	0	1.00	57	1261	659
		F	498	0.84	1.10	0.00	0.00	0.98	602		
		F	498	0.84	1.10	0.00	0.00	0.98	602		602
		I	191	0.70	2.62	4.19	0.00	0.95	286	286	286
	S-N	D	56	0.62	8.96	0.00	4.48	0.82	111	527	111
		F	353	0.86	0.57	0.00	0.00	0.99	416		416
		I	120	0.91	0.83	0.00	0.00	0.99	134	134	134
2	O-E	D	41	0.73	0.00	0.00	0.00	1.00	57	2278	57
		F	579	0.86	0.69	0.00	0.00	0.99	683		683
		F	436	0.94	1.61	3.83	3.83	0.90	513		1538
		F	436	0.94	1.61	3.83	3.83	0.90	513		
		F	435	0.94	1.61	3.83	3.83	0.90	512		
		I	139	0.70	2.16	4.32	0.00	0.96	209	209	209
3	E-O	D	14	0.58	0.00	14.29	28.57	0.62	39	1341	154
		F	52	0.76	8.74	26.21	23.30	0.60	115		
		F	51	0.76	8.74	26.21	23.30	0.60	113		113
		F	278	0.83	2.04	0.84	1.92	0.93	358		1074
		F	278	0.83	2.04	0.84	1.92	0.93	358		
		F	278	0.83	2.04	0.84	1.92	0.93	358		
		I	183	0.90	4.37	0.55	3.28	0.88	232	232	232

8 – 9AM

Fase	Acc	Mov	VHMD	FHMD	PT %	PCR %	PB %	Fhv	qMov	qGm	qGc
1	N-S	D	19	0.53	0	0	0	1.00	36	1212	624
		F	358	0.63	1.26	0.00	0.42	0.97	588		
		F	358	0.63	1.26	0.00	0.42	0.97	588		588
		I	145	0.68	4.14	4.14	0.00	0.93	228	228	228
	S-N	D	145	0.56	3.45	0.00	0.00	0.95	274	846	274
		F	480	0.87	2.08	0.21	0.21	0.97	572		572
		I	62	0.67	1.61	0.00	0.00	0.98	95	95	95
2	O-E	D	71	0.85	0.00	0.00	0.00	1.00	84	3240	84
		F	763	0.84	0.52	0.39	0.00	0.99	921		921
		F	611	0.91	2.62	3.93	2.73	0.91	745		2235
		F	611	0.91	2.62	3.93	2.73	0.91	745		
		F	611	0.91	2.62	3.93	2.73	0.91	745		
		I	346	0.75	2.60	0.00	0.00	0.96	478	478	478
3	E-O	D	4	0.50	50.00	0.00	0.00	0.57	14	1455	127
		F	70	0.88	5.71	27.14	12.86	0.71	113		113
		F	70	0.88	5.71	27.14	12.86	0.71	113		
		F	349	0.90	0.96	0.96	1.24	0.96	405		1215
		F	349	0.90	0.96	0.96	1.24	0.96	405		
		F	349	0.90	0.96	0.96	1.24	0.96	405		
		I	415	0.75	2.41	1.20	1.69	0.93	593	593	593

9 – 10AM

Fase	Acc	Mov	VHMD	FHMD	PT %	PCR %	PB %	Fhv	qMov	qGm	qGc
1	N-S	D	10	0.63	0	0	0	1.00	16	672	344
		F	256	0.82	2.93	0.00	0.00	0.96	328		328
		F	256	0.82	2.93	0.00	0.00	0.96	328		
		I	146	0.85	4.79	0.68	0.00	0.93	185	185	185
	S-N	D	171	0.79	14.62	0.00	0.00	0.82	264	896	264
		F	514	0.82	0.78	0.00	0.00	0.99	632		632
		I	63	0.63	0.00	0.00	0.00	1.00	100	100	100
2	O-E	D	97	0.87	0.00	0.00	1.03	0.98	115	2869	115
		F	665	0.67	1.95	0.00	0.15	0.97	1029		1029
		F	434	0.86	3.46	3.38	3.99	0.88	575		1725
		F	434	0.86	3.46	3.38	3.99	0.88	575		
		F	434	0.86	3.46	3.38	3.99	0.88	575		
		I	373	0.84	2.41	0.00	0.00	0.97	461	461	461
3	E-O	D	10	0.50	0.00	0.00	0.00	1.00	20	1504	128
		F	63	0.81	3.17	16.67	14.29	0.73	108		108
		F	63	0.81	3.17	16.67	14.29	0.73	108		
		F	348	0.88	1.73	2.78	1.73	0.94	424		1268
		F	346	0.88	1.73	2.78	1.73	0.94	422		
		F	346	0.88	1.73	2.78	1.73	0.94	422		
		I	473	0.83	2.75	0.00	0.42	0.95	601	601	601

10 – 11 AM

Fase	Acc	Mov	VHMD	FHMD	PT %	PCR %	PB %	Fhv	qMov	qGm	qGc
1	N-S	D	15	0.75	0	0	0	1.00	20	666	343
		F	276	0.89	2.36	0.18	0.18	0.96	323		
		F	276	0.89	2.36	0.18	0.18	0.96	323		323
		I	149	0.83	2.68	0.00	0.67	0.95	190	190	190
	S-N	D	59	0.64	5.08	0.00	0.00	0.93	100	508	100
		F	330	0.83	1.21	0.30	0.00	0.98	408		408
		I	98	0.66	3.06	0.00	0.00	0.96	155	155	155
2	O-E	D	109	0.78	0.92	0.00	1.83	0.95	148	2479	148
		F	566	0.91	1.77	0.18	0.53	0.96	648		648
		F	439	0.94	4.71	4.87	5.70	0.84	562		1683
		F	439	0.94	4.71	4.87	5.70	0.84	562		
		F	437	0.94	4.71	4.87	5.70	0.84	559		
		I	481	0.94	2.08	0.00	0.00	0.97	528	528	528
3	E-O	D	5	0.42	0.00	60.00	0.00	0.87	14	1433	164
		F	91	0.77	4.40	4.40	9.34	0.79	150		
		F	91	0.77	4.40	4.40	9.34	0.79	150		150
		F	298	0.92	4.59	4.70	3.24	0.87	373		1119
		F	298	0.92	4.59	4.70	3.24	0.87	373		
		F	298	0.92	4.59	4.70	3.24	0.87	373		
		I	439	0.82	5.69	0.00	0.23	0.92	585	585	585

4 – 5 PM

Fase	Acc	Mov	VHMD	FHMD	PT %	PCR %	PB %	Fhv	qMov	qGm	qGc
1	N-S	D	28	0.58	0	0	0	1.00	48	471	260
		F	159	0.86	9.78	0.00	0.00	0.87	212		
		F	158	0.86	9.78	0.00	0.00	0.87	211		211
		I	110	0.71	0.91	0.91	0.00	0.98	159	159	159
	S-N	D	72	0.75	20.83	0.00	0.00	0.76	126	360	126
		F	171	0.78	1.75	0.00	1.75	0.94	234		234
		I	77	0.71	2.60	0.00	0.00	0.96	113	113	113
2	O-E	D	94	0.81	2.13	0.00	0.00	0.97	120	1926	120
		F	407	0.92	0.00	0.00	0.00	1.00	444		444
		F	282	0.69	1.06	6.62	3.78	0.90	454		1362
		F	282	0.69	1.06	6.62	3.78	0.90	454		
		F	282	0.69	1.06	6.62	3.78	0.90	454	552	552
		I	405	0.74	0.25	0.00	0.49	0.99	552		
3	E-O	D	26	0.72	0.00	0.00	11.54	0.81	45	1509	165
		F	77	0.77	5.19	6.49	5.19	0.83	120		120
		F	77	0.77	5.19	6.49	5.19	0.83	120		
		F	340	0.91	1.38	3.05	3.14	0.92	409		1224
		F	340	0.91	1.38	3.05	3.14	0.92	409		
		F	338	0.91	1.38	3.05	3.14	0.92	406		
		I	614	0.78	1.63	0.33	0.33	0.97	814	814	814

5 – 6 PM

Fase	Acc	Mov	VHMD	FHMD	PT %	PCR %	PB %	Fhv	qMov	qGm	qGc
1	N-S	D	20	0.56	0	0	0	1.00	36	595	316
		F	243	0.95	4.54	0.21	1.03	0.92	280		
		F	242	0.95	4.54	0.21	1.03	0.92	279		279
		I	155	0.79	0.65	0.00	0.00	0.99	198	198	198
	S-N	D	86	0.77	3.49	0.00	1.16	0.93	121	387	121
		F	247	0.94	0.40	0.00	0.00	0.99	266		266
		I	163	0.85	0.61	0.00	1.23	0.97	199	199	199
2	O-E	D	98	0.91	3.06	0.00	0.00	0.96	113	1638	113
		F	289	0.86	0.69	0.00	0.00	0.99	340		340
		F	278	0.85	3.48	8.03	6.47	0.83	395		1185
		F	278	0.85	3.48	8.03	6.47	0.83	395		
		F	278	0.85	3.48	8.03	6.47	0.83	395		
		I	382	0.93	0.26	0.00	0.79	0.98	421	421	421
3	E-O	D	30	0.83	0.00	0.00	0.00	1.00	36	1766	231
		F	131	0.78	3.45	6.13	4.21	0.87	195		
		F	130	0.78	3.45	6.13	4.21	0.87	193		193
		F	369	0.90	1.90	2.44	2.62	0.92	448		1342
		F	368	0.90	1.90	2.44	2.62	0.92	447		
		F	368	0.90	1.90	2.44	2.62	0.92	447		
		I	955	0.89	1.47	0.00	0.52	0.97	1103	1103	1103

6 – 7 PM

Fase	Acc	Mov	VHMD	FHMD	PT %	PCR %	PB %	Fhv	qMov	qGm	qGc
1	N-S	D	28	0.64	0	0	0	1.00	44	634	339
		F	234	0.85	2.35	0.43	1.50	0.94	295		
		F	234	0.85	2.35	0.43	1.50	0.94	295		295
		I	143	0.79	1.40	0.00	0.00	0.98	184	184	184
	S-N	D	62	0.82	6.45	0.00	0.00	0.91	84	360	84
		F	238	0.86	0.00	0.00	0.00	1.00	276		276
		I	157	0.85	0.64	0.00	0.00	0.99	186	186	186
2	O-E	D	92	0.72	0.00	0.00	2.17	0.96	134	1562	134
		F	251	0.79	0.00	0.00	0.00	1.00	316		316
		F	313	0.97	3.32	6.10	4.06	0.87	372		1112
		F	311	0.97	3.32	6.10	4.06	0.87	370		
		F	311	0.97	3.32	6.10	4.06	0.87	370		
		I	373	0.90	0.27	0.00	0.00	1.00	418	418	418
3	E-O	D	19	0.53	0.00	0.00	0.00	1.00	36	1941	291
		F	209	0.92	2.15	6.22	3.83	0.89	255		
		F	209	0.92	2.15	6.22	3.83	0.89	255		255
		F	382	0.87	0.70	2.01	2.01	0.95	467		1395
		F	380	0.87	0.70	2.01	2.01	0.95	464		
		F	380	0.87	0.70	2.01	2.01	0.95	464		
		I	959	0.81	0.00	0.00	0.31	0.99	1192	1192	1192

7 – 8 PM

Fase	Acc	Mov	VHMD	FHMD	PT %	PCR %	PB %	Fhv	qMov	qGm	qGc
1	N-S	D	25	0.69	0	0	0	1.00	36	551	294
		F	174	0.71	3.17	0.00	0.29	0.95	258		257
		F	173	0.71	3.17	0.00	0.29	0.95	257		
		I	111	0.68	4.50	0.00	0.00	0.94	176	176	176
	S-N	D	35	0.67	0.00	0.00	0.00	1.00	52	408	52
		F	326	0.93	0.61	0.00	0.00	0.99	356		356
		I	144	0.78	0.00	0.00	0.00	1.00	184	184	184
2	O-E	D	87	0.73	1.15	0.00	1.15	0.96	125	1471	125
		F	342	0.80	0.00	1.75	0.58	0.98	435		435
		F	264	0.97	0.89	6.10	4.06	0.90	304		911
		F	264	0.97	0.89	6.10	4.06	0.90	304		
		F	263	0.97	0.89	6.10	4.06	0.90	303		
		I	366	0.86	0.27	0.00	0.00	1.00	430	430	430
3	E-O	D	38	0.73	2.63	0.00	0.00	0.96	55	1700	292
		F	172	0.87	3.50	4.08	6.41	0.84	237		236
		F	171	0.87	3.50	4.08	6.41	0.84	236		1172
		F	297	0.79	0.90	0.90	1.47	0.96	392		
		F	295	0.79	0.90	0.90	1.47	0.96	390		
		F	295	0.79	0.90	0.90	1.47	0.96	390		
		I	426	0.65	0.47	0.00	0.00	0.99	665	665	665

ANEXO IV: NIVEL DE SERVICIO (HCM)

7 – 8AM

Fase	Acc	Mov	GC	So	L carril	fw	Phv	fhv	fg	Nm	fp	Nb	fbb	fa	fLu	fLt	fRt	Spre	N	fLpb	fRpb	Sdef
1	N	D, F	1	1900	3 m	1	0	1.00	0.99	7	0.865	0	1	1	1	1	0.85	1380	1	1	0.864	1192
		F	2	1900	3 m	1	1.10	0.99	0.99	0	1	0	1	1	1	1	1	1856	1	1	1	1856
		I	3	1900	3 m	1	2.62	0.97	0.99	0	1	0	1	1	1	0.547	1	1000	1	0.924	1	924
	S	D	4	1900	3 m	1	13.43	0.88	1.01	0	1	0	1	1	1	1	0.85	1440	1	1	0.877	1262
		F	5	1900	3 m	1	0.57	0.99	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1911	1	1	1	1911
		I	6	1900	3 m	1	0.83	0.99	1.01	0	1	0	1	1	1	0.304	1	579	1	0.966	1	559
2	O	D	7	1900	3 m	1	0	1.00	1.01	5	0.875	0	1	1	1	1	0.85	1424	1	1	0.909	1295
		F	8	1900	3 m	1	0.69	0.99	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1901	1	1	1	1901
		F,F,F	9	1900	3 m	1	5.43	0.95	1.01	0	1	50	0.8	1	1	1	1	1452	3	1	1	1452
		I	10	1900	3.05m	1	2.16	0.98	1.01	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1780	1	0.894	1	1591
3	E	D, F	11	1900	2.5 m	0.96	28.57	0.78	1.00	7	0.865	0	1	1	1	1	0.85	1040	1	1	0.849	883
		F	12	1900	2.5 m	0.96	32.04	0.76	1.00	0	1	0	1	1	1	1	1	1377	1	1	1	1377
		F,F,F	13	1900	3.15m	1	3.96	0.96	1.00	0	1	23	0.908	1	1	1	1	1654	3	1	1	1654
		I	14	1900	2.55m	0.96	7.65	0.93	1.00	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1605	1	0.872	1	1398

C	u	Q	X	Yi	Xint	d1	Xa	d2	d3	dt	NS	dacc	NS	dint	NS
160	0.23	276	2.39	0.55	1.28	62	1.00	54	0	116	F	113	F	69.56	F
160	0.23	429	1.40	0.32		62		43	0	105	F				
160	0.23	214	1.34	0.31		62		62	0	124	F				
160	0.23	292	0.38	0.09		52	0.79	19	0	71	E	78	E		
160	0.23	442	0.94	0.22		60		13	0	73	E				
160	0.23	129	1.04	0.24		62		37	0	99	F				
160	0.38	494	0.12	0.04		32	0.58	5	0	37	D	48	D		
160	0.38	725	0.94	0.36		48		3	0	51	D				
160	0.38	1661	0.93	0.35		47		1	0	48	D				
160	0.38	607	0.34	0.13		35		4	0	39	D				
160	0.27	237	0.65	0.17		52	0.59	11	0	63	E	58	E		
160	0.27	370	0.31	0.08		47		7	0	54	D				
160	0.27	1334	0.81	0.22		55		2	0	57	E				
160	0.27	376	0.62	0.17		51		7	0	58	E				

8 – 9AM

Fase	Acc	Mov	GC	So	L Carril	fw	Phv	fhv	fg	Nm	fp	Nb	fbb	fa	fLu	flt	fRt	Spre	N	fLpb	fRpb	Sdef	q	ve
1	N	D, F	1	1900	3 m	1	0	1.00	0.99	5	0.875	0	1	1	1	1	0.85	1396	1	1	0.875	1221	624	41
		F	2	1900	3 m	1	1.68	0.98	0.99	0	1	0	1	1	1	1	1	1846	1	1	1	1846	588	41
		I	3	1900	3 m	1	4.14	0.96	0.99	0	1	0	1	1	1	0.485	1	875	1	0.926	1	810	228	41
	S	D	4	1900	3 m	1	3.45	0.97	1.01	0	1	0	1	1	1	1	0.85	1579	1	1	0.855	1350	274	41
		F	5	1900	3 m	1	2.29	0.98	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1878	1	1	1	1878	572	41
		I	6	1900	3 m	1	1.61	0.98	1.01	0	1	0	1	1	1	0.386	1	730	1	0.954	1	696	95	41
2	O	D	7	1900	3 m	1	0	1.00	1.01	3	0.885	0	1	1	1	1	0.85	1440	1	1	0.934	1344	84	75
		F	8	1900	3 m	1	0.52	0.99	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1904	1	1	1	1904	921	75
		F,F,F	9	1900	3 m	1	5.35	0.95	1.01	0	1	72	0.712	1	1	1	1	1294	3	1	1	1294	2235	75
		I	10	1900	3.05m	1	2.60	0.97	1.01	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1772	1	0.914	1	1619	478	75
3	E	D, F	11	1900	2.5 m	0.96	50	0.67	1.00	10	0.85	0	1	1	1	1	0.85	876	1	1	0.856	750	127	45
		F	12	1900	2.5 m	0.96	18.57	0.84	1.00	0	1	0	1	1	1	1	1	1533	1	1	1	1533	113	45
		F,F,F	13	1900	3.15m	1	2.20	0.98	1.00	0	1	23	0.908	1	1	1	1	1683	3	1	1	1683	1215	45
		I	14	1900	2.55m	0.96	4.10	0.96	1.00	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1659	1	0.890	1	1476	593	45

C	u	Q	X	Yi	Xint	d1	Xa	d2	d3	dt	NS	dacc	NS	dint	NS
180	0.23	278	2.24	0.51	1.66	70	1.00	54	0	124	F	122	F	81.55	F
180	0.23	420	1.40	0.32		70		44	0	114	F				
180	0.23	185	1.23	0.28		70		66	0	136	F				
180	0.23	308	0.89	0.20		67	0.94	38	0	105	F	104	F		
180	0.23	428	1.34	0.30		70		31	0	101	F				
180	0.23	159	0.60	0.14		62		57	0	119	F				
180	0.42	560	0.15	0.06		33	0.85	15	0	48	D	60	E		
180	0.42	793	1.16	0.48		53		11	0	64	F				
180	0.42	1618	1.38	0.58		53		6	0	59	F				
180	0.42	675	0.71	0.30		43		13	0	56	E				
180	0.25	188	0.68	0.17		61	0.89	41	0	102	F	83	F		
180	0.25	383	0.30	0.07		55		25	0	80	F				
180	0.25	1262	0.96	0.24		67		9	0	76	E				
180	0.25	369	1.61	0.40		68		25	0	93	F				

9 – 10 AM

Fase	Acc	Mov	GC	So	L carril	fw	Phv	fhv	fg	Nm	fp	Nb	fb	fa	flu	flt	fRt	Spre	N	fLpb	fRpb	Sdef	q	ve
1	N	D, F	1	1900	3 m	1	0	1.00	0.99	4	0.88	0	1	1	1	1	0.85	1404	1	1	0.897	1259	344	35
		F	2	1900	3 m	1	2.93	0.97	0.99	0	1	0	1	1	1	1	1	1823	1	1	1	1823	328	35
		I	3	1900	3 m	1	4.79	0.95	0.99	0	1	0	1	1	1	0.470	1	842	1	0.947	1	797	185	35
	S	D	4	1900	3 m	1	14.62	0.87	1.01	0	1	0	1	1	1	1	0.85	1425	1	1	0.892	1271	264	35
		F	5	1900	3 m	1	0.78	0.99	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1907	1	1	1	1907	632	35
		I	6	1900	3 m	1	0.00	1.00	1.01	0	1	0	1	1	1	0.471	1	905	1	0.949	1	859	100	35
2	O	D	7	1900	3 m	1	1.0309	0.99	1.01	4	0.88	0	1	1	1	1	0.85	1417	1	1	0.956	1355	115	57
		F	8	1900	3 m	1	2.11	0.98	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1875	1	1	1	1875	1029	57
		F, F, F	9	1900	3 m	1	7.45	0.93	1.01	0	1	44	0.824	1	1	1	1	1468	3	1	1	1468	1725	57
		I	10	1900	3.05 m	1	2.41	0.98	1.01	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1775	1	0.924	1	1641	461	57
3	E	D, F	11	1900	2.5 m	0.96	0	1.00	1.00	9	0.855	0	1	1	1	1	0.85	1321	1	1	0.889	1175	128	39
		F	12	1900	2.5 m	0.96	17.46	0.85	1.00	0	1	0	1	1	1	1	1	1548	1	1	1	1548	108	39
		F, F, F	13	1900	3.15 m	1	3.45	0.97	1.00	0	1	47	0.812	1	1	1	1	1487	3	1	1	1487	1268	39
		I	14	1900	2.55 m	0.96	3.17	0.97	1.00	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1674	1	0.936	1	1566	601	39

C	u	Q	X	Yi	Xint	d1	Xa	d2	d3	dt	NS	dacc	NS	dint	NS
150	0.23	294	1.17	0.27	1.45	58	0.98	47	0	105	F	103	F	68.44	F
150	0.23	425	0.77	0.18		54		39	0	93	F				
150	0.23	186	0.99	0.23		57		61	0	118	F				
150	0.23	297	0.89	0.21		56	0.94	38	0	94	F	90	F		
150	0.23	445	1.42	0.33		58		29	0	87	F				
150	0.23	200	0.50	0.12		50		49	0	99	F				
150	0.38	515	0.22	0.08		32	0.86	17	0	49	D	55	D		
150	0.38	713	1.44	0.55		47		13	0	60	F				
150	0.38	1674	1.03	0.39		47		6	0	53	F				
150	0.38	624	0.74	0.28		40		14	0	54	D				
150	0.26	306	0.42	0.11		46	0.81	21	0	67	E	65	E		
150	0.26	402	0.27	0.07		44		16	0	60	E				
150	0.26	1160	1.09	0.28		56		6	0	62	D				
150	0.26	407	1.48	0.38		56		16	0	72	D				

10 – 11 AM

Fase	Acc	Mov	GC	So	L carril	fw	Phv	fHv	fg	Nm	fp	Nb	fbb	fa	fLu	flt	fRt	Spre	N	fLpb	fRpb	Sdef	q	ve
1	N	D, F	1	1900	3 m	1	0	1.00	0.99	1	0.895	0	1	1	1	1	0.85	1428	1	1	0.906	1294	343	30
		F	2	1900	3 m	1	2.54	0.98	0.99	0	1	0	1	1	1	1	1	1830	1	1	1	1830	323	30
		I	3	1900	3 m	1	3.36	0.97	0.99	0	1	0	1	1	1	0.557	1	1012	1	0.934	1	944	190	30
	S	D	4	1900	3 m	1	5.08	0.95	1.01	0	1	0	1	1	1	1	0.85	1554	1	1	0.895	1391	100	30
		F	5	1900	3 m	1	1.21	0.99	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1898	1	1	1	1898	408	30
		I	6	1900	3 m	1	3.06	0.97	1.01	0	1	0	1	1	1	0.454	1	846	1	0.956	1	809	155	30
2	O	D	7	1900	3 m	1	2.7523	0.97	1.01	5	0.875	0	1	1	1	1	0.85	1385	1	1	0.963	1334	148	56
		F	8	1900	3 m	1	2.30	0.98	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1871	1	1	1	1871	648	56
		F,F,F	9	1900	3 m	1	10.42	0.91	1.01	0	1	64	0.744	1	1	1	1	1290	3	1	1	1290	1683	56
		I	10	1900	3.05m	1	2.08	0.98	1.01	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1781	1	0.938	1	1670	528	56
3	E	D, F	11	1900	2.5 m	0.96	0	1.00	1.00	5	0.875	0	1	1	1	1	0.85	1352	1	1	0.900	1218	164	35
		F	12	1900	2.5 m	0.96	13.74	0.88	1.00	0	1	0	1	1	1	1	1	1599	1	1	1	1599	150	35
		F,F,F	13	1900	3.15m	1	7.83	0.93	1.00	0	1	71	0.716	1	1	1	1	1258	3	1	1	1258	1119	35
		I	14	1900	2.55m	0.96	5.92	0.94	1.00	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1631	1	0.941	1	1535	585	35

C	u	Q	X	Yi	Xint	d1	Xa	d2	d3	dt	NS	dacc	NS	dint	NS
140	0.21	277	1.24	0.27	1.25	55	1.00	54	0	109	F	106	F	63.65	F
140	0.21	392	0.82	0.18		52		45	0	97	F				
140	0.21	202	0.94	0.20		54		63	0	117	F				
140	0.21	298	0.34	0.07		47	0.74	16	0	63	E	69	E		
140	0.21	407	1.00	0.21		55		12	0	67	F				
140	0.21	173	0.90	0.19		53		25	0	78	E				
140	0.40	534	0.28	0.11		28	0.76	10	0	38	D	45	D		
140	0.40	748	0.87	0.35		39		7	0	46	D				
140	0.40	1548	1.09	0.43		42		3	0	45	F				
140	0.40	668	0.79	0.32		37		8	0	45	D				
140	0.25	305	0.54	0.13		45	0.91	32	0	77	E	72	E		
140	0.25	400	0.38	0.09		43		27	0	70	E				
140	0.25	944	1.19	0.30		53		14	0	67	F				
140	0.25	384	1.52	0.38		53		27	0	80	F				

4 – 6 PM

Fase	Acc	Mov	GC	So	L carril	fw	Phv	fhv	fg	Nm	fp	Nb	fb	fa	fLu	fLt	fRt	Spre	N	fLpb	fRpb	Sdef	q	ve
1	N	D, F	1	1900	3 m	1	0	1.00	0.99	4	0.88	0	1	1	1	1	0.85	1404	1	1	0.879	1233	260	30
		F	2	1900	3 m	1	9.78	0.91	0.99	0	1	0	1	1	1	1	1	1710	1	1	1	1710	211	30
		I	3	1900	3 m	1	0.91	0.99	0.99	0	1	0	1	1	1	0.643	1	1195	1	0.914	1	1092	159	30
	S	D	4	1900	3 m	1	20.83	0.83	1.01	0	1	0	1	1	1	1	0.85	1352	1	1	0.891	1204	126	30
		F	5	1900	3 m	1	3.51	0.97	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1856	1	1	1	1856	234	30
		I	6	1900	3 m	1	2.60	0.97	1.01	0	1	0	1	1	1	0.563	1	1055	1	0.922	1	972	113	30
2	O	D	7	1900	3 m	1	2.1277	0.98	1.01	7	0.865	0	1	1	1	1	0.85	1378	1	1	0.937	1291	120	45
		F	8	1900	3 m	1	0.00	1.00	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1914	1	1	1	1914	444	45
		F,F,F	9	1900	3 m	1	4.85	0.95	1.01	0	1	88	0.648	1	1	1	1	1183	3	1	1	1183	1362	45
		I	10	1900	3.05 m	1	0.74	0.99	1.01	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1805	1	0.905	1	1633	552	45
3	E	D, F	11	1900	2.5 m	0.96	11.538	0.90	1.00	6	0.87	0	1	1	1	1	0.85	1205	1	1	0.925	1115	165	57
		F	12	1900	2.5 m	0.96	10.39	0.91	1.00	0	1	0	1	1	1	1	1	1647	1	1	1	1647	120	57
		F,F,F	13	1900	3.15 m	1	4.52	0.96	1.00	0	1	63	0.748	1	1	1	1	1355	3	1	1	1355	1224	57
		I	14	1900	2.55 m	0.96	1.95	0.98	1.00	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1694	1	0.950	1	1610	814	57

C	u	Q	X	Yi	Xint	d1	Xa	d2	d3	dt	NS	dacc	NS	dint	NS
150	0.20	247	1.05	0.21	1.25	60	0.80	23	0	83	F	79	E	59.12	F
150	0.20	342	0.62	0.12		55		18	0	73	E				
150	0.20	218	0.73	0.15		56		26	0	82	F				
150	0.20	241	0.52	0.10		54	0.58	10	0	64	E	63	E		
150	0.20	371	0.63	0.13		55		6	0	61	E				
150	0.20	194	0.58	0.12		54		12	0	66	E				
150	0.30	387	0.31	0.09		41	0.87	23	0	64	E	65	E		
150	0.30	574	0.77	0.23		48		17	0	65	E				
150	0.30	1065	1.28	0.38		53		10	0	63	F				
150	0.30	490	1.13	0.34		53		19	0	72	F				
150	0.38	424	0.39	0.15		34	0.68	8	0	42	D	46	D		
150	0.38	626	0.19	0.07		31		6	0	37	D				
150	0.38	1545	0.79	0.30		41		2	0	43	D				
150	0.38	612	1.33	0.51		47		6	0	53	F				

5 – 6 PM

Fase	Acc	Mov	GC	So	L carril	fw	Phv	fhv	fg	Nm	fp	Nb	fbb	fa	flu	flt	fRt	Spre	N	fLpb	fRpb	Sdef	q	ve
1	N	D, F	1	1900	3 m	1	0	1.00	0.99	7	0.865	0	1	1	1	1	0.85	1380	1	1	0.859	1185	316	30
		F	2	1900	3 m	1	5.57	0.95	0.99	0	1	0	1	1	1	1	1	1778	1	1	1	1778	279	30
		I	3	1900	3 m	1	0.65	0.99	0.99	0	1	0	1	1	1	0.599	1	1116	1	0.905	1	1011	198	30
	S	D	4	1900	3 m	1	4.65	0.96	1.01	0	1	0	1	1	1	1	0.85	1561	1	1	0.867	1352	121	30
		F	5	1900	3 m	1	0.40	1.00	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1914	1	1	1	1914	266	30
		I	6	1900	3 m	1	1.84	0.98	1.01	0	1	0	1	1	1	0.483	1	911	1	0.928	1	846	199	30
2	O	D	7	1900	3 m	1	3.0612	0.97	1.01	5	0.875	0	1	1	1	1	0.85	1381	1	1	0.890	1229	113	45
		F	8	1900	3 m	1	0.69	0.99	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1901	1	1	1	1901	340	45
		F,F,F	9	1900	3 m	1	9.95	0.91	1.01	0	1	121	0.516	1	1	1	1	898	3	1	1	898	1185	45
		I	10	1900	3.05 m	1	1.05	0.99	1.01	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1799	1	0.875	1	1574	421	45
3	E	D, F	11	1900	2.5 m	0.96	0	1.00	1.00	11	0.845	0	1	1	1	1	0.85	1306	1	1	0.901	1177	231	57
		F	12	1900	2.5 m	0.96	7.66	0.93	1.00	0	1	0	1	1	1	1	1	1689	1	1	1	1689	193	57
		F,F,F	13	1900	3.15 m	1	4.52	0.96	1.00	0	1	56	0.776	1	1	1	1	1406	3	1	1	1406	1342	57
		I	14	1900	2.55 m	0.96	1.99	0.98	1.00	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1694	1	0.913	1	1547	1103	57

	u	Q	X	Yi	Xint	d1	Xa	d2	d3	dt	NS	dacc	NS	dint	NS
150	0.20	237	1.33	0.27	1.61	60	1.00	58	0	118	F	115	F	66.80	F
150	0.20	356	0.78	0.16		57		48	0	105	F				
150	0.20	202	0.98	0.20		60		63	0	123	F				
150	0.20	270	0.45	0.09		53	0.77	19	0	72	E	77	E		
150	0.20	383	0.69	0.14		56		14	0	70	E				
150	0.20	169	1.18	0.24		60		28	0	88	F				
150	0.30	369	0.31	0.09		40	0.82	18	0	58	E	61	E		
150	0.30	570	0.60	0.18		45		12	0	57	E				
150	0.30	808	1.47	0.44		53		9	0	62	F				
150	0.30	472	0.89	0.27		50		14	0	64	E				
150	0.38	447	0.52	0.20		36	0.88	22	0	58	E	55	D		
150	0.38	642	0.30	0.11		33		16	0	49	D				
150	0.38	1603	0.84	0.32		42		7	0	49	D				
150	0.38	588	1.88	0.71		47		17	0	64	F				

6 – 7 PM

Fase	Acc	Mov	GC	So	L carril	fw	Phv	fhv	fg	Nm	fp	Nb	fbb	fa	fLu	flt	fRt	Spre	N	fLpb	fRpb	Sdef	q	ve
1	N	D, F	1	1900	3 m	1	0	1.00	0.99	11	0.845	0	1	1	1	1	0.85	1348	1	1	0.828	1115	339	30
		F	2	1900	3 m	1	3.85	0.96	0.99	0	1	0	1	1	1	1	1	1807	1	1	1	1807	295	30
		I	3	1900	3 m	1	1.40	0.99	0.99	0	1	0	1	1	1	0.604	1	1117	1	0.895	1	1000	184	30
	S	D	4	1900	3 m	1	6.45	0.94	1.01	0	1	0	1	1	1	1	0.85	1534	1	1	0.855	1311	84	30
		F	5	1900	3 m	1	0.00	1.00	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1921	1	1	1	1921	276	30
		I	6	1900	3 m	1	0.64	0.99	1.01	0	1	0	1	1	1	0.491	1	938	1	0.910	1	853	186	30
2	O	D	7	1900	3 m	1	2.1739	0.98	1.01	8	0.86	0	1	1	1	1	0.85	1369	1	1	0.880	1205	134	45
		F	8	1900	3 m	1	0.00	1.00	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1914	1	1	1	1914	316	45
		F,F,F	9	1900	3 m	1	7.38	0.93	1.01	0	1	95	0.62	1	1	1	1	1105	3	1	1	1105	1112	45
		I	10	1900	3.05 m	1	0.27	1.00	1.01	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1813	1	0.855	1	1551	418	45
3	E	D, F	11	1900	2.5 m	0.96	0	1.00	1.00	15	0.825	0	1	1	1	1	0.85	1275	1	1	0.885	1129	291	57
		F	12	1900	2.5 m	0.96	5.98	0.94	1.00	0	1	0	1	1	1	1	1	1716	1	1	1	1716	255	57
		F,F,F	13	1900	3.15 m	1	2.71	0.97	1.00	0	1	46	0.816	1	1	1	1	1505	3	1	1	1505	1395	57
		I	14	1900	2.55 m	0.96	0.31	1.00	1.00	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1722	1	0.905	1	1559	1192	57

C	u	Q	X	Yi	Xint	d1	Xa	d2	d3	dt	NS	dacc	NS	dint	NS
150	0.20	223	1.52	0.30	1.60	60	1.00	60	0	120	F	115	F	70.78	F
150	0.20	361	0.82	0.16		57		47	0	104	F				
150	0.20	200	0.92	0.18		59		64	0	123	F				
150	0.20	262	0.32	0.06		51	0.71	15	0	66	E	72	E		
150	0.20	384	0.72	0.14		56		11	0	67	E				
150	0.20	171	1.09	0.22		60		22	0	82	F				
150	0.30	362	0.37	0.11		41	0.73	12	0	53	D	57	E		
150	0.30	574	0.55	0.17		44		8	0	52	D				
150	0.30	995	1.12	0.34		53		5	0	58	F				
150	0.30	465	0.90	0.27		50	0.97	10	0	60	E	68	E		
150	0.38	429	0.68	0.26		39		37	0	76	E				
150	0.38	652	0.39	0.15		34		29	0	63	E				
150	0.38	1716	0.81	0.31		42		16	0	58	E				
150	0.38	592	2.01	0.76		47		31	0	78	F				

7 – 8 PM

Fase	Acc	Mov	GC	So	L carril	fw	Phv	fhv	fg	Nm	fp	Nb	fbb	fa	fLu	flt	fRt	Spre	N	fLpb	fRpb	Sdef	q	ve
1	N	D, F	1	1900	3 m	1	0	1.00	0.99	13	0.835	0	1	1	1	1	0.85	1332	1	1	0.843	1122	294	30
		F	2	1900	3 m	1	3.46	0.97	0.99	0	1	0	1	1	1	1	1	1814	1	1	1	1814	257	30
		I	3	1900	3 m	1	4.50	0.96	0.99	0	1	0	1	1	1	0.559	1	1004	1	0.912	1	916	176	30
	S	D	4	1900	3 m	1	0.00	1.00	1.01	0	1	0	1	1	1	1	0.85	1633	1	1	0.862	1408	52	30
		F	5	1900	3 m	1	0.61	0.99	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1910	1	1	1	1910	356	30
		I	6	1900	3 m	1	0.00	1.00	1.01	0	1	0	1	1	1	0.549	1	1055	1	0.903	1	953	184	30
2	O	D	7	1900	3 m	1	2.2989	0.98	1.01	10	0.85	0	1	1	1	1	0.85	1352	1	1	0.897	1213	125	45
		F	8	1900	3 m	1	0.58	0.99	1.01	0	1	0	1	1	1	1	1	1903	1	1	1	1903	435	45
		F,F,F	9	1900	3 m	1	5.44	0.95	1.01	0	1	84	0.664	1	1	1	1	1205	3	1	1	1205	911	45
		I	10	1900	3.05 m	1	0.27	1.00	1.01	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1813	1	0.877	1	1590	430	45
3	E	D, F	11	1900	2.5 m	0.96	2.6316	0.97	1.00	13	0.835	0	1	1	1	1	0.85	1257	1	1	0.903	1135	292	57
		F	12	1900	2.5 m	0.96	9.91	0.91	1.00	0	1	0	1	1	1	1	1	1654	1	1	1	1654	236	57
		F,F,F	13	1900	3.15 m	1	2.37	0.98	1.00	0	1	21	0.916	1	1	1	1	1695	3	1	1	1695	1172	57
		I	14	1900	2.55 m	0.96	0.47	1.00	1.00	0	1	0	1	1	1	0.95	1	1719	1	0.919	1	1579	665	57

C	u	Q	X	Yi	Xint	d1	Xa	d2	d3	dt	NS	dacc	NS	dint	NS
150	0.20	224	1.31	0.26	1.08	60	0.99	59	0	119	F	114	F	59.75	F
150	0.20	363	0.71	0.14		56		46	0	102	F				
150	0.20	183	0.96	0.19		59		65	0	124	F				
150	0.20	282	0.18	0.04		50	0.69	13	0	63	E	71	E		
150	0.20	382	0.93	0.19		59		10	0	69	E				
150	0.20	191	0.96	0.19		59		19	0	78	E				
150	0.30	364	0.34	0.10		41	0.71	11	0	52	D	55	D		
150	0.30	571	0.76	0.23		48		7	0	55	D				
150	0.30	1085	0.84	0.25		49		4	0	53	D				
150	0.30	477	0.90	0.27		50		9	0	59	E				
150	0.38	431	0.68	0.26		39	0.69	9	0	48	D	44	D		
150	0.38	629	0.38	0.14		34		6	0	40	D				
150	0.38	1932	0.61	0.23		37		2	0	39	D				
150	0.38	600	1.11	0.42		47		6	0	53	F				

NIVELES DE SERVICIO POR GRUPOS DE CARRILES (RESUMEN)

GC	NIVELES DE SERVICIO				
	7am - 8am	8am - 9am	9am - 10am	10am - 11am	HORA PUNTA
1	F	F	F	F	F
2	F	F	F	F	F
3	F	F	F	F	F
4	F	F	F	E	F
5	F	F	F	F	F
6	F	F	F	F	F
7	D	F	F	F	F
8	F	F	F	F	F
9	F	F	F	F	F
10	D	F	F	F	F
11	D	D	D	D	D
12	C	C	C	D	C
13	D	D	D	D	D
14	D	F	D	D	F

GC	NIVELES DE SERVICIO			
	4pm - 5pm	5pm - 6pm	6pm - 7pm (HORA PUNTA)	7pm - 8pm
1	F	F	F	F
2	E	F	F	F
3	F	F	F	F
4	E	E	E	E
5	E	E	E	E
6	E	F	F	E
7	E	E	D	D
8	E	E	D	D
9	F	F	F	D
10	F	E	E	E
11	D	E	E	D
12	D	D	E	D
13	D	D	E	D
14	F	F	F	F

ANEXO IV: AIMSUN

DISEÑO DE LA RED EN ESTUDIO

FLUJO SIMULACIÓN REAL

FLUJO SIMULACIÓN DINÁMICA

FLUJO SIMULACIÓN ACTUADA

DENSIDAD SIMULACIÓN REAL

DENSIDAD SIMULACIÓN DINÁMICA

DENSIDAD SIMULACIÓN ACTUADA

TIEMPO DE DEMORA SIMULACIÓN REAL

TIEMPO DE DEMORA SIMULACIÓN DINÁMICA

TIEMPO DE DEMORA SIMULACIÓN ACTUADA

COLA MEDIA EN SIMULACIÓN REAL

COLA MEDIA EN SIMULACIÓN DINÁMICA

COLA MEDIA EN SIMULACIÓN ACTUADA