

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“PROPUESTA DE OPERACIÓN VIAL Y SEÑALIZACIÓN PARA
MEJORAR LOS NIVELES DE SERVICIO Y LA CAPACIDAD VIAL EN
LAS INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS DE LA AVENIDA
AREQUIPA TRAMO DESDE LA AVENIDA JUAN PARDO DE ZELA
HASTA EL JIRÓN RISSO - 2023”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Michael Leoncio Torre Chuquimajo

Asesor:

Mg. Ing. Jvan Jovanovic Aguirre

<https://orcid.org/0000-0003-1609-1704>

Lima - Perú

JURADO EVALUADOR

Presidente(a) del Jurado	JOSE LUIS NEYRA TORRES	21454204
	Nombre y Apellidos	Nro. DNI

Miembro del Jurado	RUBEN KEVIN MANTURANO CHIPANA	42584435
	Nombre y Apellidos	Nro. DNI

Miembro del Jurado	NEICER CAMPOS VASQUEZ	46905022
	Nombre y Apellidos	Nro. DNI

INFORME DE SIMILITUD

“Evaluación de la operación vial y señalización para mejorar los niveles de servicio y la capacidad vial en las intersecciones semaforizadas de la Avenida Arequipa tramo desde la Avenida Juan Pardo de

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1%
3	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad de Medellin Trabajo del estudiante	1%
5	dspace.ucacue.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	1library.org Fuente de Internet	<1%
7	repository.eia.edu.co Fuente de Internet	<1%
8	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mi familia que son la principal razón para ser una mejor persona día a día, a todos mis seres queridos que me brindan su apoyo incondicional y todos los profesionales que contribuyeron en mi crecimiento académico, Gracias.

AGRADECIMIENTO

Agradecer de nuevo a mis familia y amigos que gracias a su apoyo incondicional lograre una de las metas trazadas, así mismo al entorno laboral y académico que me nutren con conocimientos que usare a lo largo de mi ámbito profesional y vida personal.

INDICE

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
INDICE	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE ANEXOS	11
RESUMEN	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.3. JUSTIFICACIÓN	16
1.4. LIMITACIONES	16
1.5. MARCO TEÓRICO	17
1.6. OBJETIVOS	34
1.7. HIPÓTESIS	34
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	36
2.1. Detalles de la Investigación	36
2.2. Población y Muestra	36
2.3. Técnicas y Materiales	37

2.4.	Procedimiento de Recolección, Tratamiento y Análisis de Datos	45
2.5.	Matriz de Consistencia y Matriz de Operacionalidad	53
2.6.	Aspectos Éticos	54
CAPÍTULO III: RESULTADOS		55
3.1.	Evaluación de Resultados de la Situación Actual	55
3.2.	Calibración del modelo software Synchro	63
3.3.	Resultados Optimizados de las Propuestas de operación vial y señalización	67
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN		71
4.1.	Limitaciones operacionales	71
4.2.	Interpretación Comparativa	71
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		73
5.1.	Conclusiones	73
5.2.	Recomendaciones	74
REFERENCIAS		75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de servicio en intersecciones semaforizadas	22
Tabla 2 Rangos del factor de ajuste por ancho de carril	25
Tabla 3 Calculo del flujo de saturación en la intersección Av. Arequipa – Av. Pardo de Zela ...	41
Tabla 4 Calculo de la proporción de llegadas durante el verde de la Av. Arequipa – Av. Pardo de Zela	42
Tabla 5 Calculo la capacidad y la relación volumen a capacidad de la Av. Arequipa – Av. Pardo de Zela	42
Tabla 6 Determinación de las demoras de la Av. Arequipa – Av. Pardo de Zela	43
Tabla 7 Determinación del nivel de servicio de la Av. Arequipa – Av. Pardo de Zela.....	43
Tabla 8 Matriz de consistencia	53
Tabla 9 Matriz de operacionalidad	53
Tabla 10 Identificación de la hora y flujo de máxima demanda.....	55
Tabla 11 Porcentajes vehiculares según la tipología del vehículo en el área de investigación	56
Tabla 12 Niveles de servicio de las intersecciones evaluadas	62
Tabla 13 Longitud de cola obtenido de la simulación en el software Synchro 11	63
Tabla 14 Porcentaje de utilización de cada acceso por ciclo semafórico – Av. Arequipa / Av. Pardo de Zela	65
Tabla 15 Porcentaje de utilización de cada acceso por ciclo semafórico – Av. Arequipa / Jr. Bernardo Alcedo.....	65
Tabla 16 Porcentaje de utilización de cada acceso por ciclo semafórico – Av. Arequipa / Jr. Risso	66
Tabla 17 Longitud de cola en campo vs simulación.....	66
Tabla 18 Optimización de indicadores de la intersección Av. Arequipa - Av. Juan Pardo de Zela	72
Tabla 19 Optimización de indicadores de la intersección Av. Arequipa - Jr. Bernardo Alcedo.....	72
Tabla 20 Optimización de indicadores de la intersección Av. Arequipa - Jr. Risso	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Trafico de ejes viales importantes en Lima Metropolitana	14
Figura 2 Esquemas de giros realizados en las intersecciones de la Avenida Arequipa.....	15
Figura 3 Ubicación de las intersecciones evaluadas	37
Figura 4 Esquema metodológico para el análisis de intersecciones con semáforos	39
Figura 5 Vista aérea de la intersección entre la Av. Arequipa – Av. Pardo de Zela	40
Figura 6 Síntesis grafica de las tasas de flujo por grupo de movimientos y por carriles.....	40
Figura 7 Procesos para la utilización del Software Synchro.....	44
Figura 8 Resultados del proceso de simulación de la situación actual de la de la Av. Arequipa – Av. Pardo de Zela	45
Figura 9 Aforos vehiculares en la línea cortina del Rio Rímac	46
Figura 10 Desplazamientos por días en Lima y Callao (2017).....	46
Figura 11 Formato para los conteos vehiculares.....	47
Figura 12 Flujograma vehicular de la Av. Arequipa con la Av. Pardo de Zela.....	48
Figura 13 Distribución del flujo vehicular de la Av. Arequipa con la Av. Pardo de Zela.....	49
Figura 14 Grafico porcentual de la composición vehicular intersección: Av. Arequipa / Av. Juan Pardo de Zela	49
Figura 15 Levantamiento topográfico para el análisis de intersecciones	50
Figura 16 Secciones viales de la Av. Arequipa	51
Figura 17 Procesamiento de los dispositivos de control de tránsito en la Av. Arequipa / Av. Juan Pardo de Zela	52
Figura 18 Tiempo de ciclo actual en la Av. Arequipa / Av. Juan Pardo de Zela.....	52
Figura 19 Tendencia del flujo vehicular en el área de investigación en el intervalo horario de 6 a 13 horas.....	55

Figura 20 Presencia de vehículos de transporte público (microbús y camioneta rural), Av. Pardo de Zela	56
Figura 21 Presencia de vehículos de transporte público (Corredor azul), Av. Arequipa	57
Figura 22 Inventario de la señalización vertical actual dentro del área de evaluación.....	58
Figura 23 Evidencia de la señalización vertical actual dentro del área de evaluación	59
Figura 24 Semáforos y operación de flujos en la Av. Arequipa / Av. Pardo de Zela.....	59
Figura 25 Semáforos y operación de flujos en la Av. Arequipa / Jr. Bernardo Alcedo	60
Figura 26 Semáforos y operación de flujos en la Av. Arequipa / Jr. Risso.....	60
Figura 27 Resultados de la simulación en synchro 11 de la intersección Av. Arequipa - Av. Juan Pardo de Zela en situación actual	61
Figura 28 Resultados de la simulación en synchro 11 de la intersección Av. Arequipa - Jr. Bernardo Alcedo en situación actual	61
Figura 29 Resultados de la simulación en synchro 11 de la intersección Av. Arequipa - Jr. Risso en situación actual.....	62
Figura 30 Generación de colas en Av. Arequipa - Av. Juan Pardo de Zela, Acceso S-N	64
Figura 31 Generación de colas Av. Arequipa - Jr. Risso, Acceso E-O	64
Figura 32 Generación de colas Av. Arequipa - Jr. Risso Acceso S-N.....	64
Figura 33 Resultados de la simulación en synchro 11 de la intersección Av. Arequipa - Av. Juan Pardo de Zela en situación optimizada	68
Figura 34 Resultados de la simulación en synchro 11 de la intersección Av. Arequipa - Jr. Bernardo Alcedo en situación optimizada.....	69
Figura 35 Resultados de la simulación en synchro 11 de la intersección Av. Arequipa - Jr. Risso en situación optimizada	70

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 Conteos y flujogramas.....	77
• Conteos y flujograma de la intersección Av. Arequipa / Av. Pardo de Zela	
• Conteos y flujograma de la intersección Av. Arequipa / Jr. Bernardo Alcedo	
• Conteos y flujograma de la intersección Av. Arequipa / Jr. Risso	
ANEXO 2: Planos de situación actual.....	91
• Plano de situación actual 01_SA-01	
• Plano de situación actual 01_SA-02	
ANEXO 3: Planos de situación propuesta.....	94
• Plano de situación propuesta 02_SP-01	
• Plano de situación propuesta 02_SP-02	

RESUMEN

El presente trabajo de investigación evalúa las condiciones actuales del comportamiento vial en las intersecciones de uno de los ejes viales urbanos más importantes de la ciudad de Lima Metropolitana, Siendo la Avenida Arequipa uno de los corredores viales que conecta los distritos con mayor importancia económica razón por el cual debería operar en condiciones óptimas.

Para determinar la calidad del servicio las intersecciones se utilizan los conceptos desarrollados en la rama de la ingeniería de tránsito, analizando el comportamiento del movimiento y la gestión de vehículos y personas, y la metodología más utilizada para la evaluación de intersecciones a nivel mundial está basado en el Highway Capacity Manual (en adelante el HCM),

La avenida Arequipa presenta una longitud aproximada de 6.1 kilómetros de longitud presentando una geometría vial homogénea razón por el cual la presente investigación se plantea como muestra intencional el análisis de tres intersecciones continuas.

El análisis de las intersecciones indica que los niveles de servicio actuales en el periodo crítico son desfavorables en función al comportamiento vehicular, las condiciones físicas de las intersecciones y la operación de los dispositivos de tránsito, en consecuencia, se propuso medidas que mejoren los tiempos de ciclo de las intersecciones semaforizadas y se simulo en el software Synchro 11 obteniendo mejoras en los niveles de servicio en todas las inserciones evaluadas

PALABRAS CLAVES: Ingeniería de tránsito, Niveles de servicio, optimización semafórica, señalización, simulación de tránsito.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad Problemática

El tráfico de Lima metropolitana es una situación que vivimos a diario sobre todo en las horas para ingresar o salir de nuestros centros laborales, casa de estudio, establecimientos de salud y/o alguna actividad que necesariamente implique el traslado en un vehículo automotor, los viajes es una travesía en el cual la mayoría ya está acostumbrado debido a que las entidades públicas no han planificado y no se tiene implementado medios de transporte masivos como tienen todas las capitales de los países en desarrollo.

En las dos últimas décadas se ha producido en muchas ciudades del Perú un aumento notable de la movilidad motorizada (Juan Carlos Dextre, 2014), de los datos del INEI en Lima Metropolitana presento aproximadamente un parque automotor de 1.49, 1.84 y 2.09 millones de vehículos en los años 2013, 2017 y 2021 (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2022), debido a la necesidad de transportarse de manera rápida y eficiente la población tiende a adquirir vehículos propios para el transporte personal y en algunos casos realizan un servicio de transporte informal para poder sustentar el costo de los combustibles, estos problemas seguirán suscitándose hasta que se tenga más servicios de transporte público masivo que cubra la demanda actual.

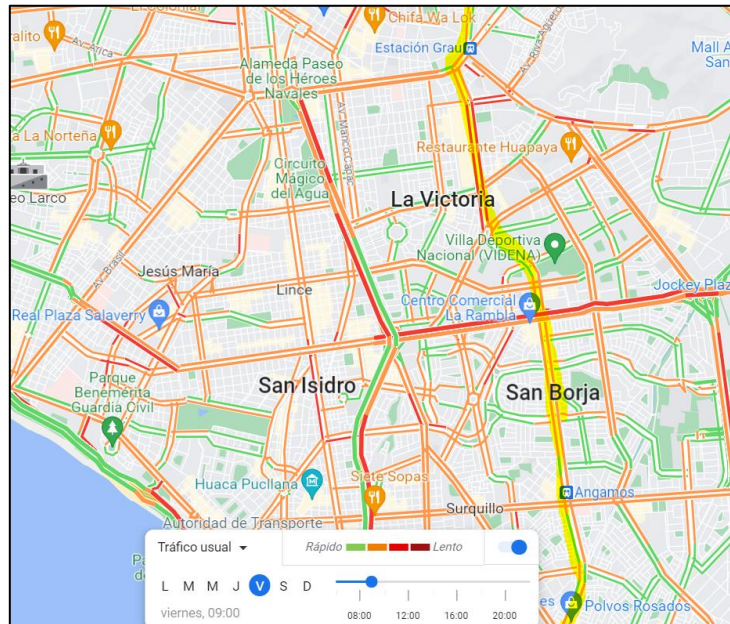
Estos eventos en la avenida Arequipa ocasionan que las intersecciones se saturen debido a la gran cantidad de vehículos en circulación, giros a la izquierda y la deficiente gestión de la infraestructura vial generando estrés, impactos ambientales, accidentes, aumento de tiempo de viaje quitando calidad de vida al usuario.

Ante esta deficiencia es necesario que la infraestructura vial de la avenida Arequipa opere de la manera más eficiente posible y pueda mitigar los impactos negativos que provocan el tráfico, la presente investigación está desarrollada en el tramo desde la Avenida Juan Pardo de Zela hasta el Jirón Risso, el cual alberga la circulación principalmente de vehículos (autos y buses) que son utilizados para dirigirse a los centros laborales, comerciales, educativos entre los más importantes, generando congestión vehicular debido a que la operatividad actual del tramo antes mencionado que no considero el aumento indiscriminado del parque automotor.

1.2. Formulación del problema

La avenida Arequipa es una vía el cual presenta un tráfico compuesto en su mayoría por el transporte particular y la circulación de los buses corredor que circulan en sentido de Norte a Sur y de Sur a Norte.

Figura 1
Trafico de ejes viales importantes en Lima Metropolitana



Fuente: Google Traffic.

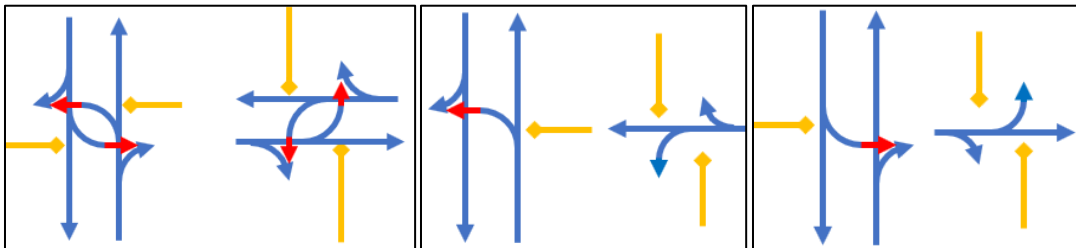
De los reportes de tráfico, estudios elaborados y de los análisis realizados por terceros (medios de comunicación) indican que la Av. Arequipa presenta congestión en casi todo el horario laborable al igual que muchas vías de la ciudad, sin embargo, particularmente las intersecciones de la Avenida Arequipa presentan características operacionales que afectan el rendimiento y el cual se podría mejorar, las características operacionales a priori son los siguientes:

- Operación de los semáforos: La operación de los semáforos en la Avenida Arequipa en general no están programados en función a los movimientos que realizan los vehículos en las intersecciones, generalmente están compuestos por dos fases el cual no contempla todos los giros realizados, esto conlleva a que se generen colas vehiculares para poder llegar a su destino.

- Señalización vial: es la guía de los usuarios de la vía que nos indican un orden, indicaciones y restricciones, los mismos que deben ser coherentes con otros dispositivos de control de tránsito, para el caso de la Avenida Arequipa la señalización es confusa y contradictoria, se debe evaluar cual es la señalización idónea para que las intersecciones operen en su máxima capacidad
- Comportamiento vehicular: Es el deseo de viaje que pretende realizar el vehículo en las intersecciones, en el caso de la Avenida Arequipa en la mayoría de las intersecciones no se restringen los giros a la izquierda, estudios realizados por la The Pennsylvania State University indican que Aproximadamente el 61% de todos los choques que ocurren en las intersecciones involucran un giro a la izquierda y aunque esto parece un cambio bastante modesto, los resultados son todo lo contrario ya que se afirma que al eliminar los giros a la izquierda por año, específicamente el tiempo que los conductores se sientan esperando para cruzar el tráfico, se ahorran 10 millones de galones de combustible, 20,000 toneladas de emisiones de carbono y permite ellos para entregar 350.000 paquetes adicionales (Vikash V. Gayah, 2021).

Figura 2

Esquemas de giros realizados en las intersecciones de la Avenida Arequipa



Fuente: Elaboración propia.

1.3. Justificación

La Av. Arequipa es una de las vías más importantes para el desarrollo de la capital, el mismo que debería operar en las mejores condiciones, sin embargo las autoridades encargadas no buscan soluciones parciales de bajo costo (Cal Y Mayor R, 2007) enfocadas en la ingeniería de tránsito, razón por el cual el presente trabajo de investigación propone soluciones en el tramo desde la Avenida Juan Pardo de Zela hasta el Jirón Risso el cual deberá servir como guía para descongestionar el resto de las intersecciones del eje de la Av. Arequipa, para lo cual se plantea las siguientes preguntas:

1.3.1. Pregunta General

¿Cómo mejorar la operación vial y la señalización de las intersecciones semaforizadas en la avenida Arequipa tramo comprendido entre la Av. Juan Pardo de Zela y Jr. Risso?

1.3.2. Preguntas Específicas

- ¿Cómo mejorar los niveles de servicio en la avenida Arequipa tramo comprendido entre la Av. Juan Pardo de Zela y el Jr. Risso?
- ¿Cómo mejorar la capacidad de utilización de la intersección en la avenida Arequipa tramo comprendido entre la Av. Juan Pardo de Zela y el Jr. Risso?

1.4. Limitaciones

1.4.1. Espacial

El presente trabajo de investigación planteo la limitación espacial a la avenida Arequipa tramo comprendido entre la Av. Juan Pardo de Zela y el Jr. Risso ubicado en el distrito de Lince, provincia y departamento de Lima.

1.4.2. Temporal

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el intervalo temporal desde agosto 2022 hasta mayo 2023

1.4.3. Recursos

Los recursos económicos y humanos necesarios para poder desarrollar el presente trabajo de investigación fueron asumidos en su totalidad por el autor de la presente tesis.

1.5. Marco Teórico

1.5.1. Antecedentes Nacionales

- a) Tesis denominada: **“Determinación del nivel de servicio y propuesta de mejora vial en la avenida Humboldt, tramo entre avenida Collpa-avenida violeta, del distrito coronel Gregorio Albarracín Lanchipa -provincia y departamento de Tacna, año 2019”**, desarrollado por los bachilleres Elean Joao Salas Serrano y Juan Víctor Honori Chura realizaron la evaluación de tres intersecciones semaforizadas en el eje de la Av. Humbolt.

Problema: La excesiva congestión vehicular en la hora de máxima demanda en las intersecciones de la Av. Humboldt tramo comprendido entre la Av. Violeta hasta la Av. Collpa generando como consecuencia vías saturadas e incomodidad a los usuarios de las vías.

Metodología y resultados: se utilizó la metodología del HCM 2010 y el software de simulación Synchro 8 optimizando los tiempos de ciclos semaforicos de todas las intersecciones evaluadas y realizado la optimización de carriles generando los siguientes resultados:

- Nivel de servicio de la Av. Humboldt / Av. Violeta de D a B
 - Nivel de servicio de la Av. Humboldt / Ca. Amapolas de C a B
 - Nivel de servicio de la Av. Humboldt / Av. Collpa de D a B
- b) Tesis denominada **“Mejoramiento de los niveles de servicio a través de la implementación del efecto de Ola Verde en intersecciones sincronizadas de la Av. Juan Pardo de Zela desde la Av. Prolongación Iquitos hasta la Av. Arequipa”** (2019), desarrollado por los bachilleres Otoyá Ortega, Pamela Vania y Romero Gamarra, Renato Miguel realizando la evaluación de 6 intersecciones en el eje de la Avenida Pardo de Zela.

Problema: El sistema deficiente de la semaforización de Lima metropolitana, los mismos que requieren señalizaciones apropiadas y el ajuste de la programación semafórica en función a los flujos de tránsito

Metodología y resultados: utilizando la metodología del HCM 2010 y el software Synchro 9.0 realizando restricción de giros, gestión de paraderos y la optimización de ciclos semafóricos con efecto de ola verde en todas las intersecciones evaluadas mejorando los niveles de servicio generando los siguientes resultados:

- Av. Juan Pardo de Zela / Av. Arequipa de C a C
 - Av. Juan Pardo de Zela / Av. Petit Thouars D a B
 - Av. Juan Pardo de Zela / Av. Ignacio Merino de C a B
 - Av. Juan Pardo de Zela / Av. Militar de D a C
 - Av. Juan Pardo de Zela / Av. José Gálvez de E a C
 - Av. Juan Pardo de Zela – Av. Prolongación Iquitos de E a C
- c) Tesis denominada **“Evaluación de la capacidad vehicular y niveles de servicio en intersecciones semaforizadas del corredor vial prolongación Av. de la Cultura en el distrito de San Sebastián y propuesta de solución” (2019)**, desarrollado por la bachiller Meliza Urpi Ramos Cuito realizando la evaluación de 9 intersecciones semaforizadas.

Problema: Debido al crecimiento vehicular de la ciudad de Cusco, falta de señalización adecuada y los análisis actualizados de las intersecciones de la Prolongación de la Av. La Cultura ocasionando pérdida de tiempo a los usuarios de la vía

Metodología y resultados: utilizando la metodología del HCM 2010 y el software Synchro 8.0, realizando la optimización de los ciclos semafóricos en todas las intersecciones evaluadas y la implementación de bahías para los giros a

la izquierda mejorando los niveles de servicio en la mayoría de las intersecciones generando los siguientes resultados.

- Intersección Prolongación Av. La Cultura – Jr. Tarapacá de C a D
- Prolongación Av. La Cultura – Calle Bolívar.de C a C
- Prolongación Av. La Cultura – Av. Tomas Tuyro Túpac de E a B
- Prolongación Av. La Cultura – Calle San José de F a D
- Prolongación Av. La Cultura – Prolongación Av. Cusco de F a B
- Prolongación Av. La Cultura – Av. Inglaterra de F a C
- Prolongación Av. La Cultura – Sol de Oro de F a D
- Prolongación Av. La Cultura – Calle Tomas Katari de F a F
- Prolongación Av. La Cultura – Av. Mariano Túpac Amaru de F a F

d) Tesis denominada **“Propuesta de mejora del nivel de servicio del tránsito vehicular en la Av. Huancavelica – Tramo Av. 13 de noviembre y Paseo La Breña en la ciudad de Huancayo” (2018)**, desarrollado por la bachiller Carmen Patricia Corilla Huamán.

Problema: El crecimiento del parque automotor y la mala planificación urbana en las metrópolis más importantes del país es un problema que aqueja a nuestra sociedad, así mismo para el caso específico para la ciudad de Huancayo los viajes realizados en las horas de máxima demanda en la Av. Huancavelica es un problema actual el cual debe tener toda la atención necesaria de las autoridades de turno.

Metodología y resultados: utilizando la metodología del HCM 2000 y el software Synchro Traffic 8.0 se optimizaron los ciclos semaforicos para la situación actual y proyectada a 5 y 10 años de servicio, erradicando el tráfico de vehículos pesados y proponiendo la modernización de la flota del transporte público generando los siguientes resultados (proyectado a 5 años).

- Av. Huancavelica / Av. 13 de Noviembre de D a D
- Av. Huancavelica / Jr. Santa Rosa de F a C
- Av. Huancavelica / Jr. Cuzco de E a E
- Av. Huancavelica / Jr. Puno de F a D
- Av. Huancavelica / Paseo La Breña de F a D

1.5.2. Antecedentes Internacionales

- a) Tesis denominada “**Análisis, evaluación y propuesta de posibles soluciones en la Av. Gonzales Suarez entre Ernesto Guevara y Av. Los Andes en la ciudad de Cuenca**” (2022) desarrollado en Cuenca – Ecuador por los bachilleres Luis Alberto Cabrera Erazo y Juan Diego Sarmiento Clavijo realizando la evaluación del corredor que consta de cinco (5) intersecciones.

Problema: el alto índice de inseguridad vial y el nivel de servicio que presenta las intersecciones de la Avenida Gonzales Suarez debido al alto crecimiento del parque automotor.

Metodología y resultados: utilizando la metodología del HCM 2000 y el software de modelación Tritone se optimizaron los ciclos semaforicos el corredor mejorando el nivel de servicio de todo el corredor de F a E.

- b) Tesis denominada “**Propuesta de solución para el mejoramiento de la movilidad en la intersección de la transversal superior y la avenida Las Palmas, Medellín, Colombia**” (2020), desarrollado por los bachilleres Maria José Carrillo Forero y Juan José Montoya Valencia.

Problema: Actualmente Medellín es considerada como la vigésimo quinta ciudad con más tráfico vehicular y es la segunda en la Nación de Colombia, esto se debe al crecimiento del parque automotor generando pérdidas de hora hombre el impacto ambiental por la saturación de los vehículos en las intersecciones.

Metodología y resultados: utilizando la metodología del HCM 2010 y el software de simulación PTV Vissim realizando propuestas de modificaciones a la geometría vial (Carril de aceleración) con la finalidad de ordenar los flujos vehiculares y en consecuencia aumentar la capacidad de vía, reducir demoras y teniendo como resultado la mejora del nivel de servicio de C a A.

- c) Publicación denominada **“Estudio de ingeniería de tránsito para mejora del eje vial Gral. Lázaro Cárdenas de Ciudad Victoria Tamaulipas” (2019)**, Desarrollado por Nayelli Selena Sánchez Martínez

Problema: El eje vial General Lázaro Cárdenas (México) problema de tráfico vial durante los horarios de alto tránsito vehicular se origina el congestionamiento provocando pérdidas de tiempo, gasto extra de combustible y contaminación al ambiente.

Metodología y resultados: utilizando la metodología del HCM 2000 y el software Synchro optimizo lo ciclos semafóricos en 12 intersecciones y adicionando carriles de almacenaje en intersecciones que ameriten el rediseño geométrico dando como resultado mejoras en los niveles de servicio en todas las intersecciones en su mayoría C y D.

1.5.3. Bases Teóricas y Conceptuales

a) Teoría de tránsito

Para el presente trabajo de investigación está orientado a las metodologías realizadas en la rama de ingeniería de tránsito, por tal motivo en el texto por excelencia y utilizado para diferentes proyectos de ingeniería es el High Capacity Manual 2010.

La capacidad vial y niveles de servicio son dos términos relacionados que determinan medidas cuantitativas de las condiciones operativas de la vía.

Ambos términos tienen relación con el flujo vehicular que circulan en las vías y el HCM calcula los niveles de servicio en función al comportamiento y la operatividad de la vía y se dividen en:

- Segmentos básicos de autopistas
- Carreteras de carriles múltiples
- Carreteras de dos carriles
- Intersecciones con semáforos

Las tres primeras viñetas están dirigidas para flujos de circulación continua mientras que la última viñeta es para flujos de circulación discontinua tal como sucede en la vialidad actual en el entorno urbano que cada uno experimenta día a día (Cal Y Mayor R, 2007).

Niveles de Servicio

El HCM establece que los niveles de servicio en una intersección regulada por semáforos se definen en función a una medida de tiempo (Transportation Research Board, 2010).

Tabla 1
Niveles de servicio en intersecciones semaforizadas

Nivel de servicio	Demora por control servicio (segundos/vehículo)
A	≤ 10
B	>10-20
C	>20-35
D	>35-55
E	>55-80
F	>80

Fuente: HCM 2010

- Nivel de servicio A: Presentan demoras menores a 10 segundos y la relación volumen capacidad (V/C) son muy pequeñas, donde el mayor porcentaje de vehículos cruzan la intersección en la fase de verde, los tiempos de ciclos cortos pueden contribuir a que presenten demoras mínimas.
- Nivel de servicio B: Presentan demoras de 10 a 20 segundos con la detención de pocos vehículos, la relación volumen capacidad (V/C) siguen siendo pequeñas, y el comportamiento del tránsito es también favorable.
- Nivel de servicio C: Presentan demoras de 20 a 35 segundos, a pesar que el comportamiento del tránsito es favorable algunos vehículos empiezan a detenerse teniendo una cantidad significativa el cual implica un tiempo de ciclo mayor.
- Nivel de servicio D: Presentan demoras de 35 a 55 segundos, las demoras son causadas al cambio brusco del comportamiento del tránsito y a las llegadas de los vehículos en fase de rojo generando colas de vehículos largas, esto implica que la relación volumen capacidad (V/C) es más alta.
- Nivel de servicio E: Presentan demoras de 55 a 80 segundos, está considerado como límite aceptable para las demoras esto implica que la relación volumen capacidad (V/C) es mucho más alta.
- Nivel de servicio E: Presentan demoras mayores a 80 segundos, los flujos vehiculares que circulan por la intersección exceden la capacidad por ende la relación volumen capacidad (V/C) son mayores que la unidad.

Volumen horario de máxima demanda (VHMD)

Es la cantidad máxima de vehículos que circulan en un tramo, punto o intersección durante 60 minutos consecutivos, en los estudios de tránsito en vías urbanas los conteos se realizan en intervalos de 15 minutos y en algunos casos se denomina flujo vehicular en la hora pico.

Factor horario de máxima demanda (FHMD)

Se le denomina factor horario de máxima demanda a la relación entre el VHMD y el volumen máximo ($Qtmax$) durante un periodo de tiempo dentro de la hora indicada

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Qtmax)}$$

Los periodos generalmente son de 5, 10, o 15 minutos, siendo este último el más utilizado, representado la fórmula de la siguiente manera

$$FHMD = \frac{VHMD}{4(Q15max)}$$

Tasa de flujo de saturación ajustada

Cantidad máxima de vehículos en un acceso o grupo de carriles bajo las operaciones actuales del tránsito, mencionar que el HCM indica que el flujo de saturación base (autos/h verde/carril) es de 1900, quiere decir que es la cantidad máxima que puede circular en condiciones ideales, cabe recalcar que en las intersecciones de vías urbanas existen condiciones prevalecientes que afectan al flujo de saturación base denominándolo flujo de saturación ajustada (Si), calculándose de la siguiente manera:

$$Si = So Ni fW fHV fg fp fbb fa fLU fL fR fLpb fRpb$$

Donde:

- Si =tasa de flujo de saturación ajustada del grupo de carriles i (vehículos/hora verde)
- So =tasa de flujo de saturación base (autos/hora verde/ carril)
- Ni =número de carriles del grupo i
- fW =factor de ajuste por ancho de carriles
- fHV =factor de ajuste por vehículos pesados en el flujo de tránsito
- fg =factor de ajuste por pendiente del acceso
- fp =factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles

- fbb=factor de ajuste por bloqueo de buses que paran en el área de la intersección
- fa=factor de ajuste por tipo de área
- fLU=factor de ajuste por utilización de carriles
- fL=factor de ajuste por vueltas a la izquierda
- fR=factor de ajuste por vueltas a la derecha
- fLpb=factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la izquierda
- fRpb=factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la derecha

factor de ajuste por ancho de carriles (fW):

La metodología considera el impacto que genera las dimensiones de los carriles, según se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 2
Rangos del factor de ajuste por ancho de carril

Ancho de carril	Factor (fw)
<3.048	0.96
≥3.048 - 3.93	1
>3.93	1.04

Fuente: HCM 2010.

factor de ajuste por vehículos pesados en el flujo de tránsito (fHV)

La metodología considera el impacto de la circulación de vehículos pesados, se consideran vehículos pesados a los buses y los camiones, el factor se calcula de la siguiente manera:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + PHV(ET - 1)}$$

Donde:

PHV = porcentaje de vehículos pesados en el correspondiente grupo (%)

ET = número equivalente de automóviles directos a un vehículo pesado = 2

factor de ajuste por pendiente del acceso (fg)

La metodología considera el efecto de la pendiente de los accesos, el factor se calcula de la siguiente manera:

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200}$$

Donde:

P_g = porcentaje de pendiente del acceso, correspondiente al grupo de movimientos (%)

Nota = Este factor aplica para pendientes en el rango de -6% a +10%. Pendientes negativas en descenso y positivas en ascenso.

factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles (fp)

La metodología considera el impacto de los estacionamientos que se encuentran en los 76 metros partiendo desde la línea de parada o línea de retención, el factor se calcula de la siguiente manera:

$$f_P = \frac{N_i - 0.1 - \frac{18}{3600}}{N_i} \geq 0.050$$

Donde:

N_m = número de maniobras de estacionamiento (maniobras/h)

N_i = número de carriles del grupo i

La ecuación anterior aplica para un máximo de 180 maniobras/h. Si no existe estacionamiento, el factor de ajuste es 1.0.

factor de ajuste por bloqueo de buses que paran en el área de la intersección (fbb)

La metodología considera el impacto de los buses que realizan la acción de embarque y/o desembarque que se encuentran en los 76 metros partiendo desde la línea de parada o línea de retención, el factor se calcula de la siguiente manera:

$$f_{bb} = \frac{N_i - \frac{14.4N_b}{3600}}{N_i} \geq 0.050$$

Donde:

N_i = número de carriles del grupo i

N_b = número de buses que paran (buses/h)

La ecuación anterior aplica para un máximo de 250 buses/h. Si no existe bloqueo de buses, el factor de ajuste es 1.0.

factor de ajuste por tipo de área (fa)

La metodología considera la ubicación del área de evaluación, para aquellos puntos que se encuentran fuera del centro de la ciudad se utiliza un factor de 0.9.

factor de ajuste por utilización de carriles (fLU)

La metodología considera el impacto en la agrupación de carriles donde la demanda no equitativa en cada una de ellos, el factor se calcula de la siguiente manera:

$$f_{LU} = \frac{V_i}{V_1(N_i)}$$

Donde:

V_i = volumen de demanda del grupo de carriles i (vehículos/h)

V_1 = volumen de demanda del carril con el volumen más alto del grupo de carriles i (vehículos/h)

N_i = número de carriles del grupo i

factor de ajuste por vueltas a la izquierda (fL)

La metodología considera el impacto de los vehículos que realizan giros a la izquierda, el factor se calcula de la siguiente manera:

$$f_L = \frac{1}{1.0 + 0.05P_L}$$

Donde:

PL = proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles

Para carriles exclusivos, el factor es 0.95.

f_R=factor de ajuste por vueltas a la derecha

La metodología considera el impacto de los vehículos que realizan giros a la derecha, el factor se calcula de la siguiente manera:

$$f_R = 1.0 - 0.15P_R$$

Donde:

P_R =proporción de vueltas a la derecha en el grupo de carriles

Para carriles exclusivos, el factor es 0.85.

factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la izquierda (f_{Lpb}) y factor de ajuste por peatones y bicicletas para vueltas vehiculares a la derecha (f_{Rpb})

Determinación de la proporción de llegadas en verde

Proporción de vehículos ue llegan en la fase de verde

$$P_i = R_{pi} \left(\frac{g_i}{C} \right)$$

Donde:

P_i = proporción de los vehículos que llegan durante indicación verde, en el grupo de carriles i

R_{pi} = relación de grupo de llegada, en el grupo de carriles i

g_i = tiempo de verde efectivo (s), del grupo de carriles i

C = longitud del ciclo (s)

Para el R_p se considera lo siguiente

Tipo 1: grupos densos que llegan al inicio del rojo. Calidad de progresión muy deficiente, como resultado de la optimización de toda la malla (R_p=0.33).

Tipo 2: grupos moderados que llegan a la mitad del rojo. Progresión desfavorable en calles de doble sentido ($R_p=0.67$).

Tipo 3: llegadas aleatorias. Representa la operación en intersecciones aisladas o no interconectadas, o donde los beneficios de la progresión son mínimos ($R_p=1.00$).

Tipo 4: grupos moderados que llegan a la mitad del verde. Progresión favorable en calles de doble sentido ($R_p=1.33$).

Tipo 5: grupos densos que llegan al inicio del verde. Calidad de progresión altamente favorable ($R_p=1.67$).

Tipo 6: progresión excepcional. Grupos densos que progresan a través de varias intersecciones cortamente espaciadas ($R_p=2.00$).

Capacidad

La capacidad en una intersección semaforizada está definido como la tasa de flujo máximo que pasa en condiciones prevalecientes del tránsito, está definido para cada acceso o grupo de carriles de la intersección, el factor se calcula de la siguiente manera:

$$C_i = S_i \left(\frac{g_i}{C} \right)$$

Donde:

C_i = capacidad del grupo de carriles i (vehículos/h)

S_i = tasa de flujo de saturación del grupo de carriles i (vehículos/hora verde)

g_i = tiempo verde efectivo para el grupo de carriles i (segundos verdes)

C = longitud del ciclo del semáforo (segundos)

(g_i/C) = relación de verde a ciclo para el grupo de carriles i

Relación volumen capacidad de la intersección

Para evaluar la intersección se usa el concepto de grado de saturación crítico (X_c) el cual considera únicamente los acceso o grupos de carriles de mayor criticidad, el parámetro antes mencionado se define como:

$$X_c = \left(\frac{C}{C - L} \right) \left[\sum \binom{v}{s}_{ci} \right]$$

Donde:

X_c = relación volumen a capacidad crítica de la intersección

C = longitud del ciclo del semáforo (s)

L = tiempo total perdido por ciclo (s)

$(v/s)_{ci}$ = relación de flujo del grupo de carriles crítico i

Demoras

Para determinar las demoras la metodología lo denomina como demora media por control el mismo que se calcula de la siguiente manera:

$$d_i = d_1(PF) + d_2 + d_3$$

Donde:

d_i = demora media por control del grupo de carriles i (s/veh)

d_1 = demora uniforme (s/veh), suponiendo llegadas uniformes

PF = factor de ajuste por coordinación. Tiene en cuenta los efectos de la coordinación de los semáforos

d_2 = demora incremental (s/veh), que tiene en cuenta el efecto de llegadas aleatorias y colas sobresaturadas durante el período de análisis

d_3 = demora por cola inicial (s/veh), que tiene en cuenta las demoras de todos los vehículos debido a la presencia de colas iniciales antes del período de análisis

Para determinar d_1 , d_2 y el PF se calculan de la siguiente manera:

$$d_1 = \frac{0.5C \left(1 - \frac{g_i}{C}\right)^2}{1 - \left[\min(1, X_i) \left(\frac{g_i}{C}\right)\right]}$$

$$PF = \frac{(1 - P_i) f_{PA}}{1 - \left(\frac{g_i}{C}\right)}$$

$$d_2 = 900 T \left[(X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + \frac{8 k l X_i}{c_i T}} \right]$$

$$l = 1 - 0.91(X_u)^{2.68} \geq 0.090$$

Donde:

P_i = proporción de vehículos que llegan en verde en el grupo de carriles i

g_i/C = proporción de tiempo verde disponible en el grupo de carriles i

f_{PA} = factor de ajuste suplementario por grupos vehiculares que llegan durante el verde (1.00 para tipo de llegadas 1, 3, 5 y 6; 0.93 para tipo de llegadas 2; 1.15 para tipo de llegadas 4)

T = duración del período de análisis (0.25 h)

K = factor de demora incremental que depende del ajuste de los controladores en intersecciones accionadas. $k=0.50$ para intersecciones prefijadas

l = factor de ajuste por entradas de la intersección corriente arriba. $l= 1.00$ para intersecciones aisladas

X_u = es la media ponderada de la relación volumen a capacidad de todos los movimientos de la intersección corriente arriba que contribuyen con el volumen del acceso en estudio.

b) Manuales y documentos técnicos

Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras: documento técnico elaborado por el ministerio de transportes y comunicaciones aprobado con RD N° 16-2016-MTC/14 (31.05.2016), el mismo que contiene los diseños de las señales verticales, horizontales y criterios de uso e instalación de las mismas.

Asimismo, contempla requisitos mínimos, tipos y descripción de los elementos de los semáforos así como la utilización de dispositivos de seguridad vial.

cabe mencionar que el presente manual discrimina la aplicación en función al tipo de vía, si corresponde a vías urbanas o vías rurales (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

Sistema de clasificación vial

El MTC establece que el país está compuesto por una clasificación vial denominado SINAC (Sistema Nacional de Carreteras) compuesto por redes viales nacionales, departamentales y vecinales, para la aplicación de las teorías de tránsito se debe determinar el tipo de vía en la cual se está realizando la investigación.

Para el caso específico del presente trabajo de investigación el área de aplicación está dentro de la movilidad urbana, el cual presenta comportamientos diferentes y particulares, cabe mencionar que las metrópolis de todo los países tienen la tendencia de clasificar las vías de su jurisdicción con los siguientes términos: vías expresas, vías arteriales, vías colectoras y vías locales aprobándose mediante ordenanzas, para el caso específico del trabajo de investigación existe el Sistema Vial Metropolitano de Lima ORDENANZA N° 341 (Municipalidad de Lima, 2001).

Diseño Geométrico (DG 2018): Documento técnico elaborado por el Ministerio de transportes y comunicaciones aprobado con RD N° 03-2018-MTC/14 (30.01.2018), el mismo que describe la técnicas y procedimientos para diseñar infraestructura vial.

Actualmente en el país no se cuenta con un manual de diseño para vías urbanas razón por el cual se acondiciona los métodos, conceptos y las técnicas descritas en DG 2018 y/o se toma como referencia textos publicados de otros países con características similares de comportamiento de tránsito como Colombia, Chile, México Brasil entre lo más consultados (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018).

c) **Software de Simulación Synchro 11**

El software Synchro 11 es una herramienta de simulación basado en la metodología del HCM 2010, permitiendo realizar el análisis de los parámetros utilizados en el análisis de intersecciones semaforizadas y no semaforizadas teniendo un límite aproximado de 300 intersecciones.

Las aplicaciones más utilizadas del software es la optimización de tiempos de ciclo considerando toda la malla vial en la evaluación, Implementación de planes semafóricos, generación de olas verdes y simulaciones en 2D y 3D para poder ver el comportamiento de la intersección en función a los datos y parámetros establecidos.

1.6. Objetivos

1.6.1. *Objetivo General*

Identificar las propuestas de operación vial y señalización para mejorar los niveles de servicio y la capacidad vial de intersecciones semaforizadas

1.6.2. *Objetivos Específicos*

- Recolectar, procesar, analizar el comportamiento del flujo vehicular en las intersecciones evaluadas y calcular el nivel de servicio y la capacidad de utilización de la intersección de la situación actual utilizando la metodología del HCM 2010.
- Realizar la validación del modelo de la simulación en situación actual mediante el software Synchro 2011
- Proponer soluciones y simularlas con el software Synchro 2011 con la finalidad de mejorar la operatividad de las intersecciones mejorando el nivel de servicio y la capacidad de utilización de la intersección sintetizando las soluciones en un plano indicando las medidas a realizar para mejorar la operatividad en las intersecciones de la Avenida Arequipa.

1.7. Hipótesis

El presente trabajo de investigación plantea proponer alternativas de operación vial de las intersecciones evaluadas en función al comportamiento, cantidad del flujo y la composición vehicular, por tal motivo es necesario realizar la recolección de datos de campo in situ estableciendo las condiciones actuales de las intersecciones.

Las aplicaciones en trabajos de investigación relacionados a estudios de tránsito en vías urbanas plantearon soluciones que mejoraron la operación vial, utilizando técnicas como la restricción de movimientos, optimización de ciclos semafóricos, mejoramiento de la señalización vertical y/o horizontal y la implementación de dispositivos de seguridad vial entre lo más importantes.

La aplicación de uno o más técnicas antes descritas se puede suponer los siguientes resultados:

- Se mejorará la operación vial en las intersecciones
- Se mejorará la señalización en las intersecciones.
- Se mejorará el nivel de servicio.
- Se mejorará la capacidad de utilización

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. Detalles de la Investigación

La presente investigación es de carácter científico y de naturaleza aplicada debido a que se realizó la observación sistemática, medición, formulación, análisis de las variables de las intersecciones evaluadas para poder confirmar las teorías planteadas una vez realizada las propuestas para el mejoramiento del nivel de servicio.

Así mismo el nivel de investigación es de carácter aplicativo ya que el objetivo principal es optimizar los niveles de servicio aplicando metodologías válidas para poder evaluar controlar y calibrar la situación actual con la finalidad de optimizar una condición inicial.

2.2. Población y Muestra

2.2.1. Población

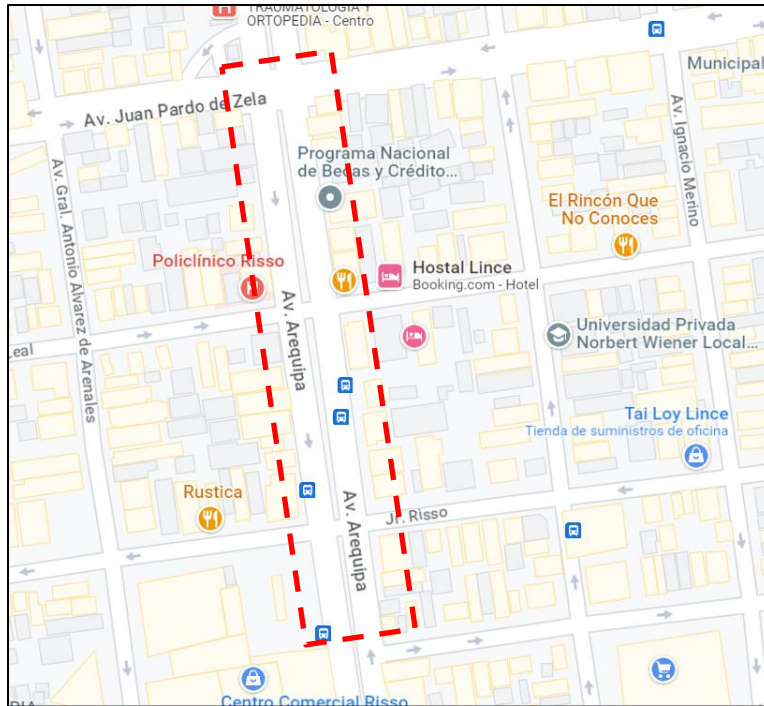
Para el presente trabajo de investigación la población está determinado por todas las intersecciones semaforizadas en el eje vial de la Avenida Arequipa.

2.2.2. Muestra

Se planteó como muestra intencional la avenida Arequipa tramo comprendido entre la Av. Juan Pardo de Zela y Jr. Risso, conformando 03 intersecciones las cuales se mencionan a continuación:

- Av. Arequipa - Av. Juan Pardo de Zela.
- Av. Arequipa - Jr. Bernardo Alcedo.
- Av. Arequipa - Jr. Risso.

Figura 3
Ubicación de las intersecciones evaluadas



Fuente: Elaboración Propia / google maps.

2.3. Técnicas y Materiales

Para la aplicación de las técnicas para el cálculo de los niveles de servicio es necesario contar datos de campo, como los conteos vehiculos, topografía del área de evaluación, inventario de los dispositivos de control de tránsito del área de evaluación y posteriormente el cálculo de los niveles de servicio de manera operativa o con el apoyo de un software de simulación:

2.3.1. *Conteos Vehiculares*

Los conteos vehiculares se realizan de diferentes técnicas tales como: sensores estáticos en la calzada, cámaras especializadas, y conteos manuales, para el presente trabajo de investigación se optó por el conteo manual debido a que es necesario identificar los movimientos vehiculares a detalle por acceso.

2.3.2. Levantamiento Topográfico

Para el caso específico de levantamiento topográfico, existen diversas técnicas con equipos que se utilizan tales como: teodolitos, nivel, estación total, DRON, y de manera manual utilizando herramientas básicas de medición, para el presente trabajo de investigación se optó de manera manual debido a que los datos obtenidos mediante la técnica manual presentan precisiones aceptables para los cálculos correspondientes

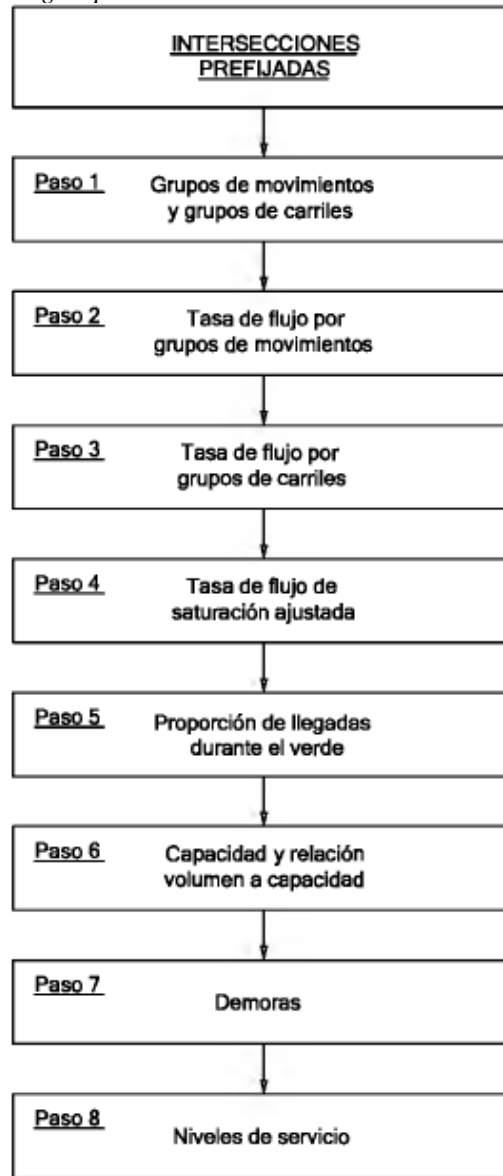
2.3.3. Inventario de los Dispositivos de Control de Tránsito

El inventario de los dispositivos de control de tránsito se utilizó la técnica manual apoyándose en los datos obtenidos en el levantamiento topográfico obtenido.

2.3.4. Cálculo de Niveles de Servicio Mediante la Aplicación del HCM

Para el cálculo de los niveles de servicio se utilizará la metodología del HCM tal como se describió en el marco teórico descrito en el presente trabajo de investigación, Adicional a ello se presenta el esquema metodológico de la metodología del HCM

Figura 4
Esquema metodológico para el análisis de intersecciones con semáforos



Fuente: HCM 2010.

Paso 01 Grupos de movimientos y grupos de carriles

Para el presente caso se identificaron los grupos de carriles mediante las inspecciones de campo y el levantamiento de información, corroborando que todos los accesos presentan carriles compartidos, así mismo la existencia de las marcas en el pavimento confirman el comportamiento de los movimientos:

Figura 5
Vista aérea de la intersección entre la Av. Arequipa – Av. Pardo de Zela

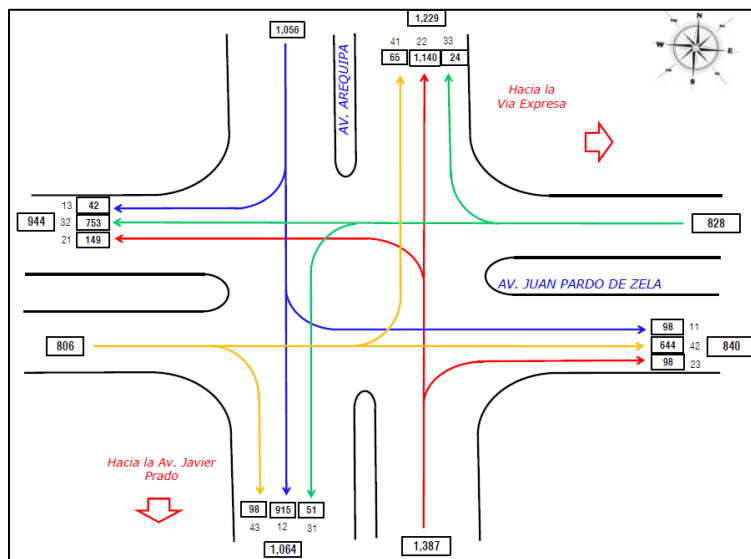


Fuente: Elaboración propia.

Paso 02 Tasa de flujo por grupos de movimientos y paso 03 Tasa de flujo por grupos de carriles

Para la recolección de datos de las tasas de flujo de carriles y de movimientos se obtuvo en función a los datos recopilados en campo, así mismo se utilizó un formato en una hoja de cálculo en el cual grafica el comportamiento y los resultados de las respectivas tasas de flujo, tal como se muestra a continuación:

Figura 6
Síntesis grafica de las tasas de flujo por grupo de movimientos y por carriles



Fuente: Elaboración propia / flujograma de la Av. Arequipa – Av. Pardo de Zela

Paso 04 Tasa de flujo de saturación ajustada

Para el cálculo de la tasa de flujo de saturación ajustada, la metodología del HCM aplica la siguiente formula:

$$S_i = S_o N_i f_W f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_L f_R f_{Lpb} f_{Rpb}$$

So: Se establece como flujo de saturación base 1900 veh/hora/carril

Tabla 3
Calculo del flujo de saturación en la intersección Av. Arequipa – Av. Pardo de Zela

ACCESOS	OESTE	ESTE	SUR	NORTE
Sentido del flujo vehicular	EB	WB	NB	SB
Grupo de carriles	LTR	LTR	LTR	LTR
Número de carriles Ni	2	2	2	2
Flujo de saturación base :So (autos/h verde carril)	1900	1900	1900	1900
Factor de ajuste por ancho de carriles: fw	1	1	1	1
<i>Phv</i>	3.33	7.31	15.38	7.89
<i>Et</i>	2.00	2.00	2.00	2.00
Factor de ajuste por vehículos pesados: fHV	0.97	0.93	0.87	0.93
Factor de ajuste por pendiente del acceso: fg	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de ajuste por estacionamiento : fp	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>Ni</i>	2	2	2	2
<i>Nb</i>	56	76	52	53
Factor de ajuste por bloqueo de buses: fbb	0.89	0.85	0.90	0.89
Factor de ajuste por tipo de área: fa	0.90	0.90	0.90	0.90
<i>Vi</i>	807	828	1387	1055
<i>VI</i>	420	428	719	556
<i>Ni</i>	2	2	2	2
Factor de ajuste por utilización de carriles: fLU	0.96	0.97	0.96	0.95
<i>vuelta a la izquierda</i>	65	51	149	98
<i>PL</i>	0.08	0.06	0.11	0.09
Factor de ajuste por vueltas a la izquierda: fL	1.00	1.00	0.99	1.00
<i>vuelta a la DERECHA</i>	98	24	98	42
<i>PL</i>	0.1214	0.029	0.0707	0.0398
Factor de ajuste por vueltas a la derecha: fR	0.98	1.00	0.99	0.99
Factor de ajuste izquierdo de peatones y bicicletas : fLpb	1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de ajuste derecho de peatones y bicicletas : fRpb	1.00	1.00	1.00	1.00
Flujo de saturación ajustado: Si (vehículos/hora verde)	2485	2335	2269	2394

Fuente: Elaboración propia.

Paso 05 Determinación de la proporción de llegadas durante el verde

Para el cálculo proporción de llegadas durante el verde, la metodología del HCM aplica la siguiente formula:

$$P_i = R_{pi} \left(\frac{g_i}{C} \right)$$

Tabla 4

Calculo de la proporción de llegadas durante el verde de la Av. Arequipa – Av. Pardo de Zela

ACCESOS	OESTE	ESTE	SUR	NORTE
Sentido del flujo vehicular	EB	WB	NB	SB
Grupo de carriles	LTR	LTR	LTR	LTR
Número de la fase: ϕ	ϕ_1	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_2
Tipo de fase: P = prefijada, A = accionada	P	P	P	P
Tasa de flujo ajustado del grupo V_i (veh/h)	807	828	1387	1055
Flujo de saturación ajustado: S_i (vehiculos/h verde)	2485	2335	2269	2394
Tiempo verde efectivo: g_i (segundos)	43	43	69	69
Relación de verde: g_i/C	0.36	0.36	0.58	0.58
Proporción de llegadas durante el verde: P_i	0.12	0.12	0.19	0.19

Fuente: Elaboración propia.

Paso 06 Determinación de la capacidad y la relación volumen a capacidad

Para el cálculo de la capacidad y la relación v/c se calcularon los parámetros C_i , X_i y X_c , las formulas empleadas se detallaron en el marco teórico de la presente investigación generando los siguientes resultados:

Tabla 5

Calculo la capacidad y la relación volumen a capacidad de la Av. Arequipa – Av. Pardo de Zela

ACCESOS	OESTE	ESTE	SUR	NORTE
Sentido del flujo vehicular	EB	WB	NB	SB
Grupo de carriles	LTR	LTR	LTR	LTR
Número de la fase: ϕ	ϕ_1	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_2
Tipo de fase: P = prefijada, A = accionada	P	P	P	P
Tasa de flujo ajustado del grupo V_i (veh/h)	807	828	1387	1055
Flujo de saturación ajustado: S_i (vehículos/h verde)	2485	2335	2269	2394
Tiempo verde efectivo: g_i (segundos)	43	43	69	69
Relación de verde: g_i/C	0.36	0.36	0.58	0.58
Proporción de llegadas durante el verde: P_i	0.12	0.12	0.19	0.19
Capacidad del grupo de carriles: C_i (veh/h)	890	837	1305	1377
Relación volumen a capacidad: $X_i=v_i/c_i$	0.91	0.99	1.06	0.77
Relación de flujo: V_i/S_i	0.32	0.35	0.61	0.44
Grado de saturación crítico de la intersección: X_c	1.85			

Fuente: Elaboración propia.

Paso 07 Determinación de las demoras

Para el cálculo de la demora se calcularon los parámetros d_1 , d_2 y d_3 , las formulas empleadas se detallaron en el marco teórico de la presente investigación generando los siguientes resultados:

Tabla 6

Determinación de las demoras de la Av. Arequipa – Av. Pardo de Zela

ACCESOS	OESTE	ESTE	SUR	NORTE
Sentido del flujo vehicular	EB	WB	NB	SB
Grupo de carriles	LTR	LTR	LTR	LTR
Tasa de flujo ajustado del grupo: V_i (veh/h)	807	828	1387	1055
Relación de verde: g_i/C	0.36	0.36	0.58	0.58
Capacidad del grupo de carriles: C_i (veh/h)	890	837	1305	1377
Relación volumen a capacidad: $X_i=v_i/c_i$	0.91	0.99	1.06	0.77
Proporción de llegadas durante el verde: P_i	0.12	0.12	0.19	0.19
Demora uniforme: d_1 (seg/veh)	37	38	28	19
Factor de ajuste por progresión: PF	1.58	1.58	2.19	2.19
Demora incremental: d_2 (seg/veh)	13	26	42	4
Demora por cola inicial: d_3 (s/veh)	135	135	180	180
Demora media por control del grupo: d_i (s/veh)	206	222	283	226
Nivel de servicio del grupo de carriles	F	F	F	F
Tasa de flujo ajustado del acceso: V_A (veh/h)	807	828	1387	1055
Demora por acceso: d_A (s/veh)	205.67	221.87	283.06	226.04

Fuente: Elaboración propia.

Paso 08 Determinación del nivel de servicio

Para el cálculo del nivel de servicio se utilizará el cuadro N° 01 presentado en el marco teórico del presente trabajo de investigación basado en la metodología del HCM.

Tabla 7

Determinación del nivel de servicio de la Av. Arequipa – Av. Pardo de Zela

ACCESOS	OESTE	ESTE	SUR	NORTE
Demora por acceso: d_A (s/veh)	205.67	221.87	283.06	226.04
Nivel de servicio por acceso	F	F	F	F
Demora en toda la intersección: d_i (s/veh)			241	
Nivel de servicio global de la intersección			F	

Fuente: Elaboración propia.

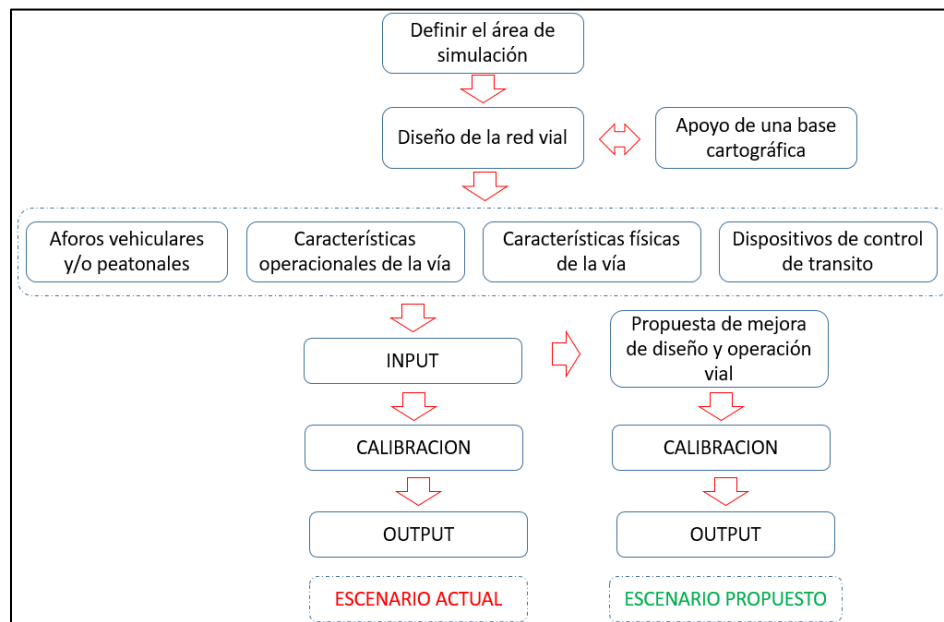
2.3.5. Utilización del Software de Micro Simulación Synchro 11 para el Cálculo de Niveles de Servicio:

Para utilizar el software Synchro 11 se deberá introducir los datos recopilados de campo, los mismos que se utilizaron en el cálculo mediante las hojas de cálculo obteniéndose resultados similares, evidenciando la valides del software utilizado para el caso específico de del área de estudio.

El procedimiento para obtener los cálculos de los niveles de servicio se realiza mediante el siguiente proceso que se muestra a continuación:

Figura 7

Procesos para la utilización del Software Synchro

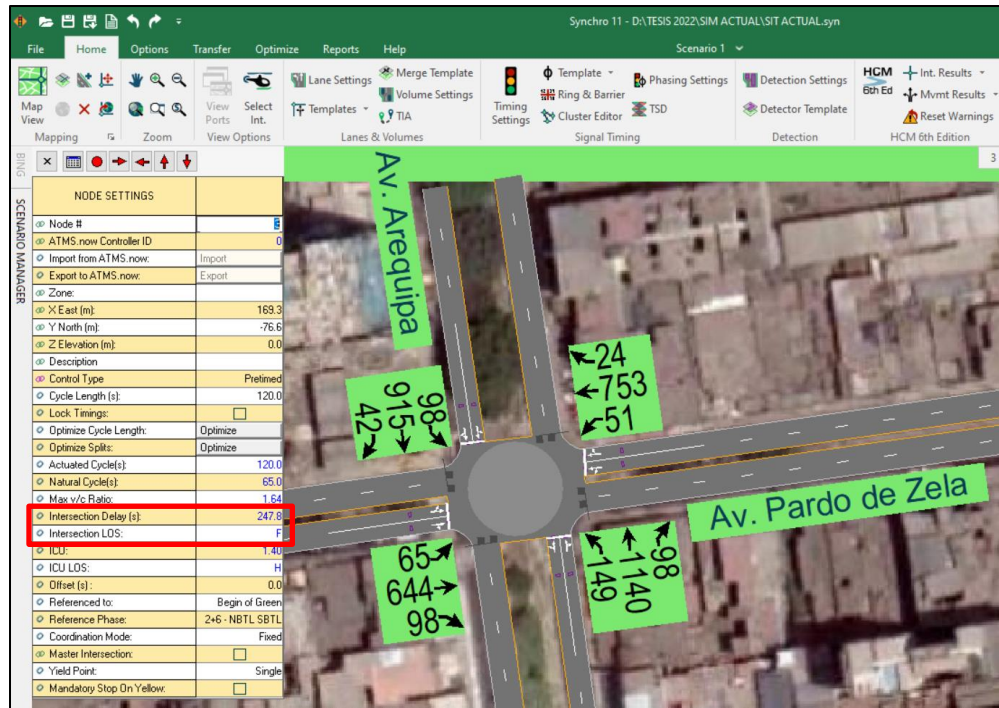


Fuente: Elaboración propia.

Para efectos de validar la veracidad del software utilizado se simulo la intersección Av. Arequipa con la Av. Pardo de Zela y se comparó con los resultados hallados en mediante la hoja de cálculo concluyendo que presentan parámetros similares tales como la demora y en consecuencia el nivel de servicio, según se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 8

Resultados del proceso de simulación de la situación actual de la de la Av. Arequipa – Av. Pardo de Zela



Fuente: Elaboración propia / Synchro 11.

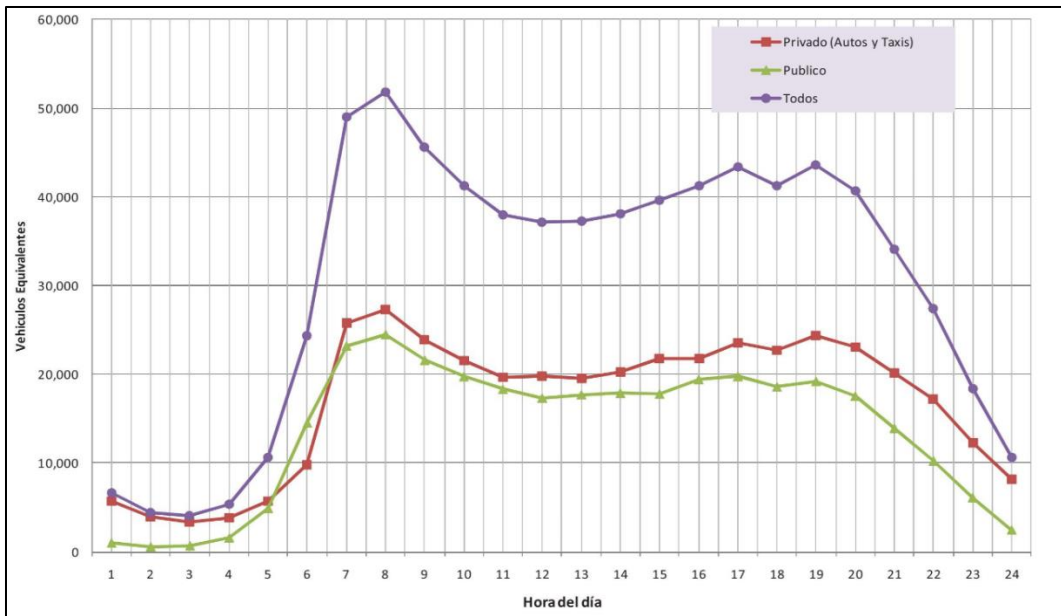
2.4. Procedimiento de Recolección, Tratamiento y Análisis de Datos

2.4.1. Procesamiento de los Conteos vehiculares

Para considerar el horario y día en cual se realizará el levantamiento de los conteos vehiculares, se considero como referencia lo descrito en la Metodología de Actualización del modelo de Transportes de Lima Metropolitana, el cual presenta un histograma en el cual grafica el comportamiento del flujo vehicular que ingresan al centro de la ciudad, teniendo como resultado que las horas 7, 8 y 9 de la mañana presenta el mayor flujo vehicular, para el presente trabajo de investigación se consideró el intervalo horario desde las 6 horas hasta las 13 horas para determinar la hora de máxima demanda.

Figura 9

Aforos vehiculares en la línea cortina del Rio Rímac

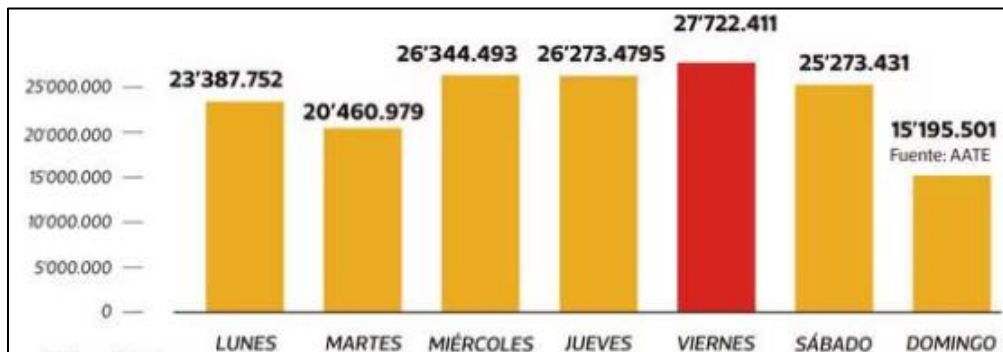


Fuente: Actualización del modelo de Transportes de Lima Metropolitana.

Con respecto al día de evaluación en los estudios de tráfico y/o tránsito se toman como referencia el concepto de días típicos y atípicos, los días típicos están considerados los días que van desde el lunes hasta el viernes hábiles y los días atípicos sábado, domingo y feriados, así mismo el último reporte con datos cuantitativos realizados por las entidades públicas indica que el día con más tránsito de vehículos se realiza los días viernes en el caso de los días típicos, el mismo que se muestra a continuación:

Figura 10

Desplazamientos por días en Lima y Callao (2017)











Fuente: TEC Corporation / AATE.

La recolección de los conteos vehiculares se realizó de manera mecánica utilizando personal in situ identificando el movimiento y tipología de los vehículos en cada intersección, la metodología del HCM recomienda que para estudios de tránsito se realicen en intervalos de 15 minutos, el formato utilizado para la recolección de los datos es el siguiente:

Figura 11

Formato para los conteos vehiculares

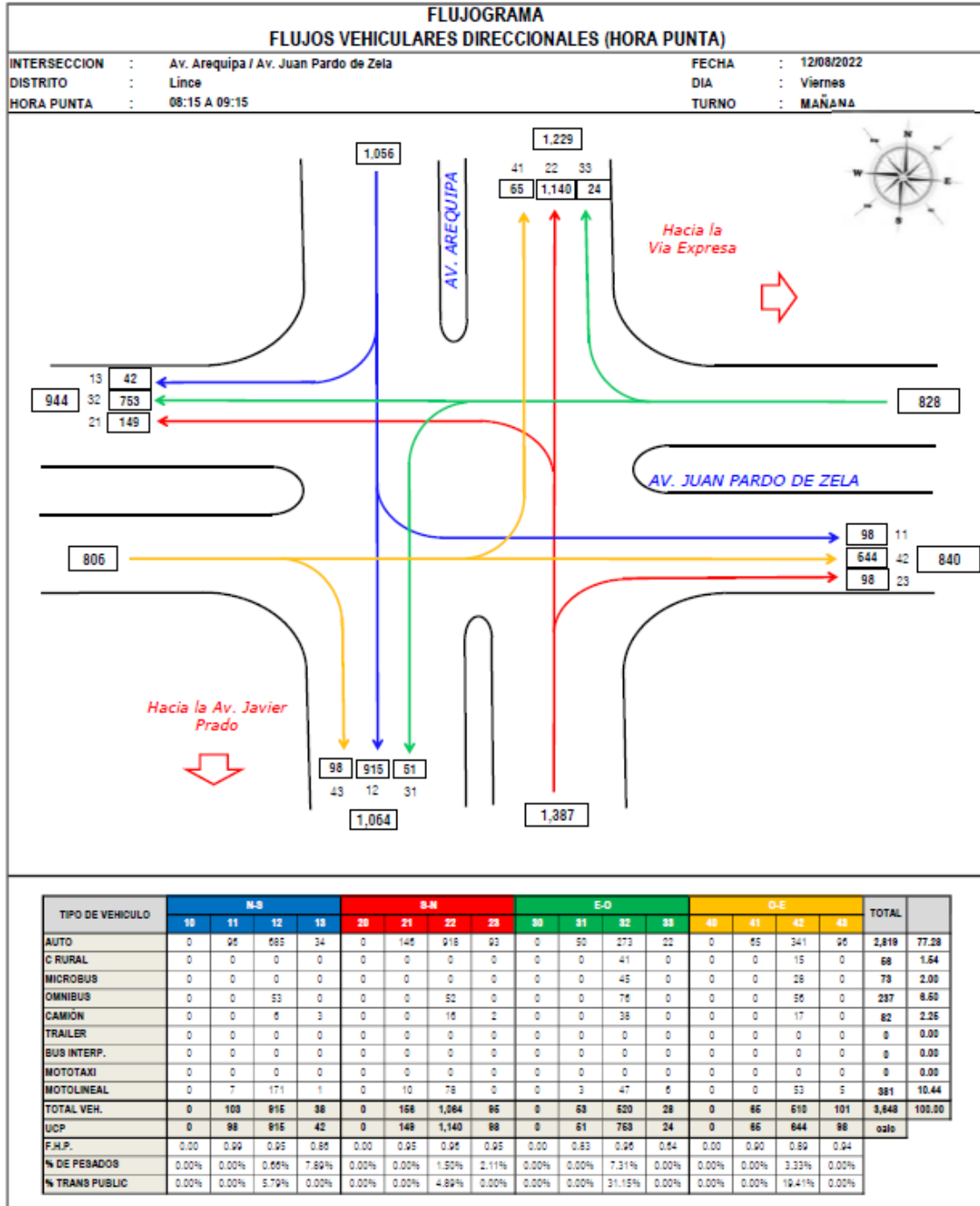
INTERSECCIÓN:		CONTEOS VEHICULARES							
Encuestador:			FECHA:						
			SENTIDO						
DETALLE	AUTOS Y 4x4	CAMIONETA RURAL	MICROBUS	OMNIBUS	CAMION	MOTOTAXIS	BUS INTERPROVINCIAL	MOTO LINEAL	
									
GIROS cada 15min									
TOTAL X 15min									
TOTAL X 15min									
TOTAL X 15min									
TOTAL X 15min									

Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el levantamiento de información se procedió a procesar en hojas de cálculo y analizar los datos para poder calcular los niveles de servicio de cada intersección, como ejemplo se muestra el resultado de los conteos vehiculares para el caso de la Av. Arequipa con la Av. Pardo de Zela.

Figura 12

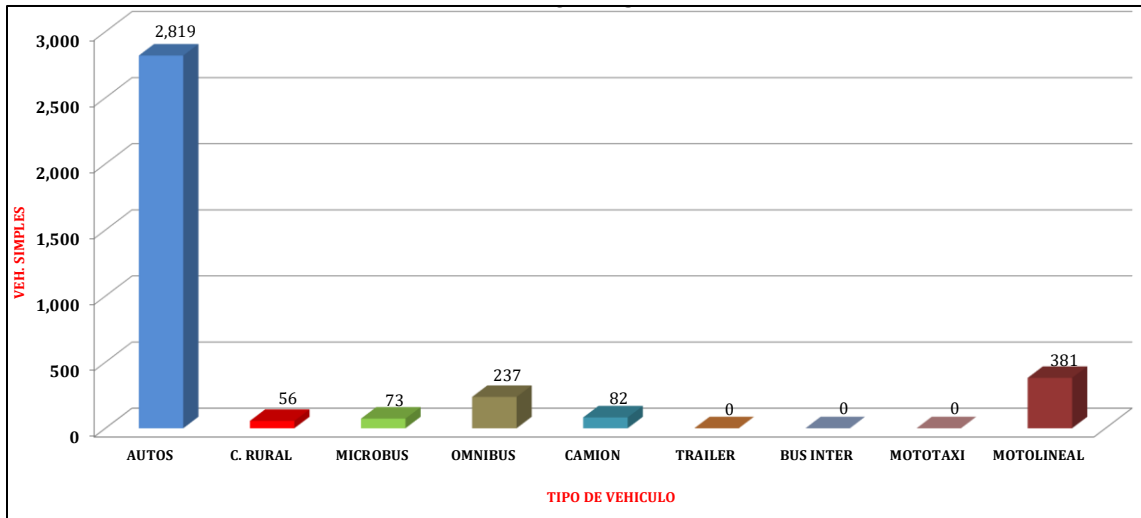
Flujograma vehicular de la Av. Arequipa con la Av. Pardo de Zela.



Fuente: Elaboración propia / flujograma de la Av. Arequipa – Av. Pardo de Zela.

Figura 13

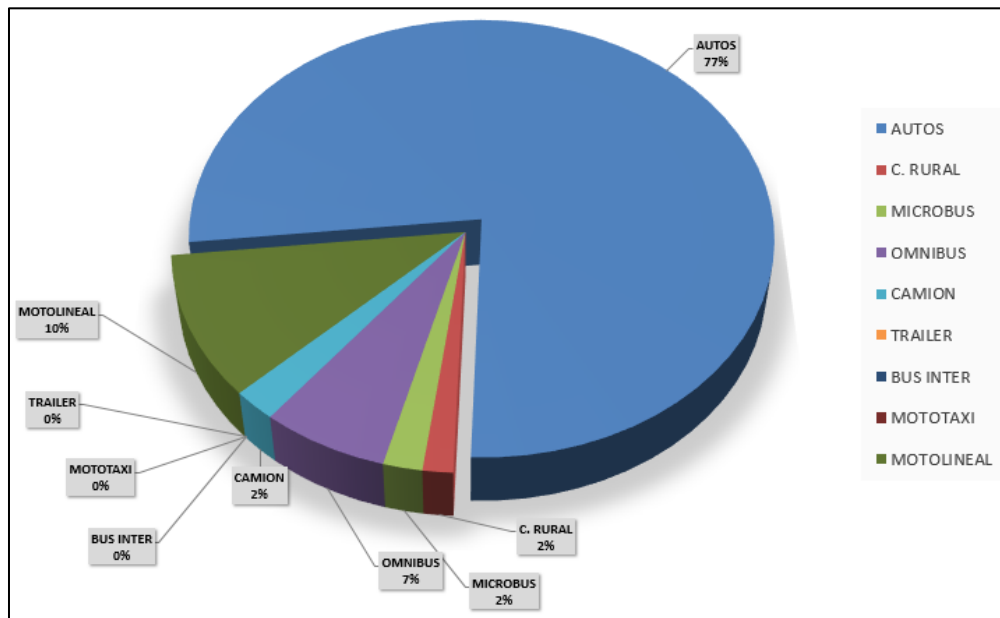
Distribución del flujo vehicular de la Av. Arequipa con la Av. Pardo de Zela.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14

Grafico porcentual de la composición vehicular intersección: Av. Arequipa / Av. Juan Pardo de Zela



Fuente: Elaboración propia.

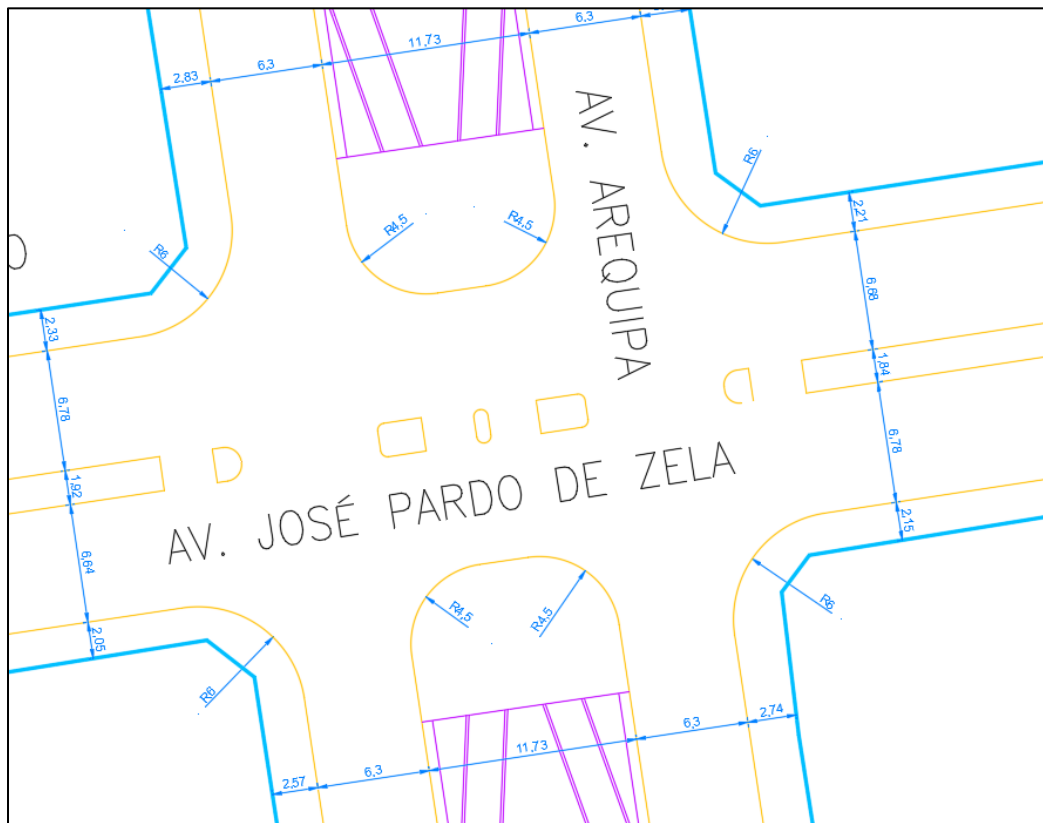
2.4.2. Procesamiento del Levantamiento Topográfico

Para el procesamiento del levantamiento topográfico se utilizaron herramientas básicas de medición como odómetros, flexómetros, distanciómetros para poder determinar las dimensiones del diseño geométrico del área de evaluación, así mismo el tratamiento se procedió utilizando un software de diseño asistido por computadora y poder contar con gráficos establecidos para poder utilizarlos en los análisis para el cálculo de los niveles de servicio

En las siguientes imágenes se aprecian los resultados del levantamiento topográfico los cuales son la sección vial actual para poder calcular el nivel de servicio y la topografía en planta para poder determinar las deficiencias del diseño geométrico vial y generar las propuestas correspondientes

Figura 15

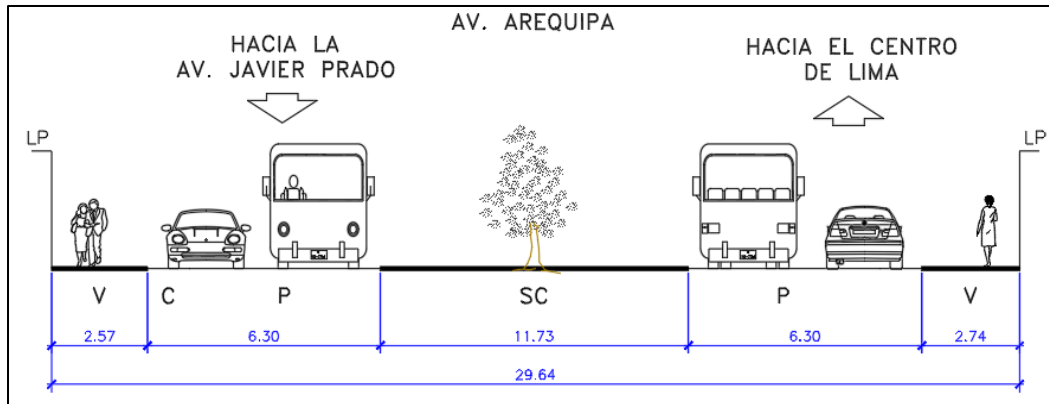
Levantamiento topográfico para el análisis de intersecciones



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16

Secciones viales de la Av. Arequipa



Fuente: Elaboración propia / Plano de situación actual 01_SA-01 y 01_SA-02.

2.4.3. Procesamientos del inventario de los dispositivos de control de tránsito

Para el procesamiento del inventario de los dispositivos de control de tránsito se tuvo que apoyarse necesariamente en el levantamiento topográfico para poder ubicarlos de manera referencial en el área de trabajo, agrupándose en tres grupos las cuales son:

Señalización vertical: son dispositivos que orientan, regulan y restringen las acciones de los vehículos, los mismos que se muestran de manera gráfica en los planos de situación actual adjuntados en la presente investigación

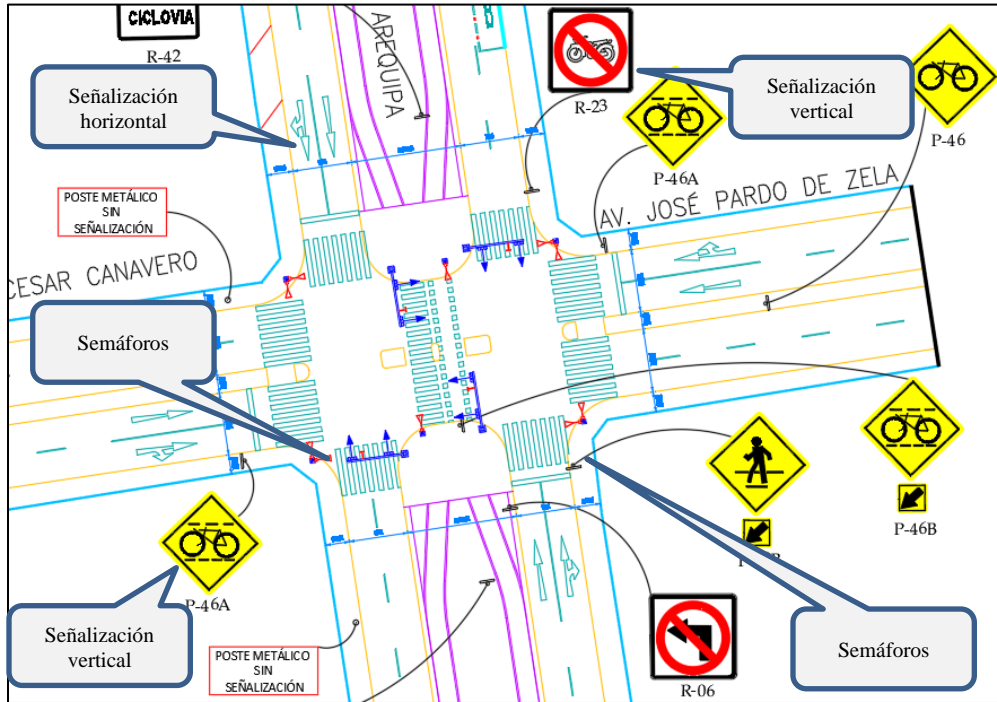
Señalización horizontal: Marcas en el pavimento que tienen como función delimitan y/o restringen los movimientos vehiculares, son complementarios y deben estar coherente con la señalización vertical, los mismos que se muestran de manera gráfica en los planos de situación actual adjuntados en la presente investigación

Dispositivos de control de tránsito: equipos o elementos necesarios que optimizan la serviciabilidad de la vía, entre los más conocidos en el ámbito urbano son: semáforos, delineadores, bolardos, topellantas, entre los más resaltantes, los mismo que se graficaran en los planos de situación actual adjuntados en la presente investigación.

Los elementos antes mencionados se procesarán de manera gráfica en los planos correspondientes ya que son elementos que influyen en la operación de las vías, las mismas que se utilizarán para el análisis y/o la simulación correspondiente.

Figura 17

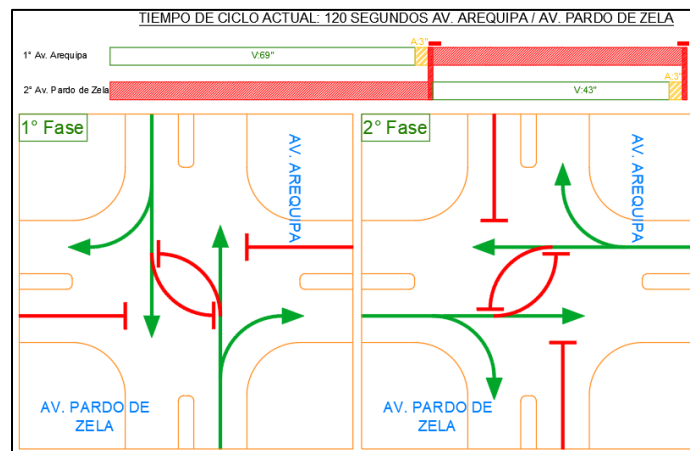
Procesamiento de los dispositivos de control de tránsito en la Av. Arequipa / Av. Juan Pardo de Zela



Fuente: Elaboración propia / Plano de situación actual 01_SA-01 y 01_SA-02.

Figura 18

Tiempo de ciclo actual en la Av. Arequipa / Av. Juan Pardo de Zela



Fuente: Elaboración propia / Plano de situación actual 01_SA-01 y 01_SA-02.

2.5. Matriz de Consistencia y Matriz de Operacionalidad

Tabla 8

Matriz de consistencia

PROBLEMAS General	OBJETIVOS General	HIPÓTESIS General	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿Cómo se mejoraría la operación vial y la señalización de la Avenida Arequipa?	Identificar las propuestas de operación vial y señalización para mejorar los niveles de servicio y la capacidad vial de intersecciones semaforizadas	La propuesta de operación vial y señalización mejora los niveles de servicio de la Avenida Arequipa	Operación vial y señalización	Tiempo de ciclo y cantidad de vehículos	Segundos y cantidad de vehículos	Enfoque cuantitativo, Metodología del Highway Capacity Manual. HCM 2010
Específicos	Específicos	Específicas				
¿Cómo mejorar los tiempos de ciclo de las intersecciones semaforizadas?	Recolectar, procesar, analizar, calibrar el comportamiento del flujo vehicular en las intersecciones evaluadas, calcular el nivel de servicio y la capacidad de utilización de la intersección de la situación actual utilizando la metodología del HCM 2010.	Se mejora los ciclos semafóricos y la capacidad de utilización de la intersección	Nivel de servicio	Tiempo de demora	Segundos	Tipo de Investigación: Aplicada
¿Qué propuestas aplicar para poder mejorar la capacidad de utilización y la señalización para restringir los giros a la izquierda?	Proponer soluciones y simularlas con el software Synchro 2011 con la finalidad de mejorar la operatividad de las intersecciones mejorando el nivel de servicio y la capacidad de utilización de la intersección sintetizando las soluciones en un plano indicando las medidas a realizar para mejorar la operatividad en las intersecciones de la Avenida Arequipa	Se mejora la señalización de las intersecciones restringiendo los giros a la izquierda aumentando la capacidad de utilización	Capacidad	Capacidad de utilización de la intersección	Porcentaje (%)	Tipo de Investigación: Aplicada

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9

Matriz de operacionalidad

Variable Independiente	Dimensiones	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Instrumento
Operación Vial de la intersección	Tiempo de ciclo	Segundos	Características asignadas que definen las acciones para el funcionamiento de una intersección	Cantidad de fases asignadas con tiempos establecidos en función al flujo vehicular para que la intersección semaforizadas opere en condiciones óptimas	Trabajos de campo en formatos establecidos
Señalización de restricción de giros	Cantidad y movimientos con giros vehiculares hacia a la izquierda	Flujo vehicular	Cantidad de vehículos que realizan el giro a la izquierda en una intersección semaforizada	Cantidad de vehículos que ocasionan colas vehiculares debido al intento de girar hacia la izquierda	Conteos vehiculares
Variable Dependiente	Dimensiones	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Instrumento
Nivel de servicio	Tiempo de demora	Segundos	Representa la medida del tiempo perdido para cruzar una intersección semaforizada	Cantidad de tiempo en cruzar una intersección generando como consecuencia, consumo de combustible, incomodidad, emisión de gases contaminantes, estrés y pérdida de horas hombre.	Metodología del HCM y Software de Simulación Synchro 11
Capacidad	Capacidad de utilización de la intersección	Porcentaje (%)	Porcentaje de utilización de la capacidad vial de la intersección	Porcentaje utilizado de la máxima tasa de flujo en condiciones que opera la intersección semaforizadas	Metodología del HCM y Software de Simulación Synchro 11

Fuente: Elaboración propia.

2.6. Aspectos Éticos

Como se precisó al inicio, la presente investigación se desarrolló con recursos propios del investigador razón por el cual no presenta antecedentes de conflictos éticos con alguna empresa pública o privada.

Los datos recopilados como conteos vehiculares, levantamiento topográfico y las características de los dispositivos de control de tránsito son reales, asimismo el proceso de recolección, mediciones, procesamiento digital y la elaboración de los productos como: flujogramas, simulación y planos, fueron realizados por el investigador en base a la experiencia propia, asesoramiento de profesionales del entorno laboral y educativo (juicio de expertos).

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Evaluación de Resultados de la Situación Actual

3.1.1. Evaluación de los Resultados Conteos Vehiculares,

De los conteos realizados en el intervalo horario desde las 06:00 hasta las 13:00 horas se ha determinado que la hora de máxima demanda corresponde al intervalo horario desde las 08:15 hasta las 09:15 horas, así mismo los flujos vehiculares determinados en el horario antes descrito son los siguientes

Tabla 10

Identificación de la hora y flujo de máxima demanda

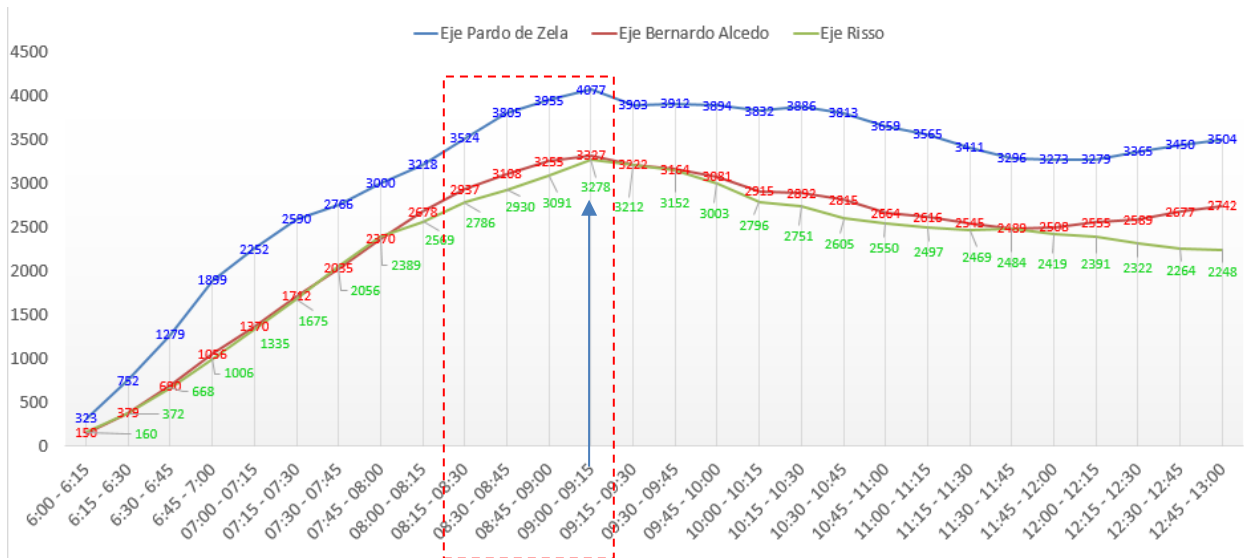
Intersección	Hora de máxima demanda	Flujo vehicular en unidades equivalentes
Av. Arequipa - Av. Juan Pardo de Zela	08:15 a 09:15 horas	4077
Av. Arequipa - Jr. Bernardo Alcedo	08:15 a 09:15 horas	3327
Av. Arequipa - Jr. Risso	08:15 a 09:15 horas	3278

Fuente: Elaboración propia.

Para una mejor evaluación se muestra la siguiente figura el cual muestra la tendencia del flujo vehicular en los intervalos horarios de 6:00 a 13:00 horas

Figura 19

Tendencia del flujo vehicular en el área de investigación en el intervalo horario de 6 a 13 horas



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11

Porcentajes vehiculares según la tipología del vehículo en el área de investigación

Tipo de vehículos	Porcentaje vehicular en la Av. Arequipa - Av. Juan Pardo de Zela	Porcentaje vehicular en la Av. Arequipa - Jr. Bernardo Alcedo	Porcentaje vehicular en la Av. Arequipa - Jr. Risso
AUTOS	77.28%	85.26%	86.19%
C. RURAL	1.54%	0.72%	0.60%
MICROBUS	2.00%	0.00%	0.03%
OMNIBUS	6.50%	3.70%	3.37%
CAMION	2.25%	1.31%	1.39%
TRAILER	0.00%	0.00%	0.00%
BUS INTER	0.00%	0.00%	0.00%
MOTOTAXI	0.00%	0.00%	0.00%
MOTOLINEAL	10.44%	9.02%	8.42%

Fuente: Elaboración propia / Flujogramas de las intersecciones de la Avenida Arequipa (Anexo 1).

De la evaluación realizada de los conteos vehiculares realizados en la Avenida Arequipa se determinó que la hora de máxima demanda está en el intervalo horario de 08:15 a 09:15 horas, intervalo horario en el cual se procederá a realizar todas las propuestas de solución.

Figura 20

Presencia de vehículos de transporte público (microbús y camioneta rural), Av. Pardo de Zela



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21

Presencia de vehículos de transporte público (Corredor azul), Av. Arequipa



Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Evaluación de la Infraestructura Vial y su Operación

Del procesamiento del levantamiento topográfico y la infraestructura vial se tienen el plano de situación actual, el cual contiene las dimensiones físicas del área de intervención, así como todos los dispositivos de control de tránsito instalados.

Los dispositivos de control de tránsito son elementos que regulan la operación las vías razón por el cual se detalla las señales verticales actuales dentro del área de estudio.

Figura 22

Inventario de la señalización vertical actual dentro del área de evaluación

CODIGO	SEÑAL	CANTIDAD	FIGURA
I-06	PARADERO DE BUSES	5	
I-20	PARADERO (SEÑAL ELEVADA)	4	
P-46	"CICLOVÍA" SEÑAL CICLISTAS EN LA VÍA	2	
P-46A	CICLOVÍA SEÑAL "CRUCE DE CICLOVÍA"	4	
P-46B	CICLOVÍA "UBICACIÓN CRUCE DE CICLISTAS"	4	
P-48	ZONA DE PRESENCIA DE PEATONES	1	
P-48B	CRUCE PEATONAL	1	
R-06	PROHIBIDO VOLTEAR A LA IZQUIERDA	1	
R-23	PROHIBIDO CIRCULACIÓN DE MOTOCICLETAS	1	
R-27	PROHIBIDO ESTACIONAR	4	
R-42	CICLOVIA	7	
R-44	PARADERO PROHIBIDO	1	

Fuente: Elaboración propia / Plano de situación actual 01_SA-01 y 01_SA-02.

Figura 23

Evidencia de la señalización vertical actual dentro del área de evaluación

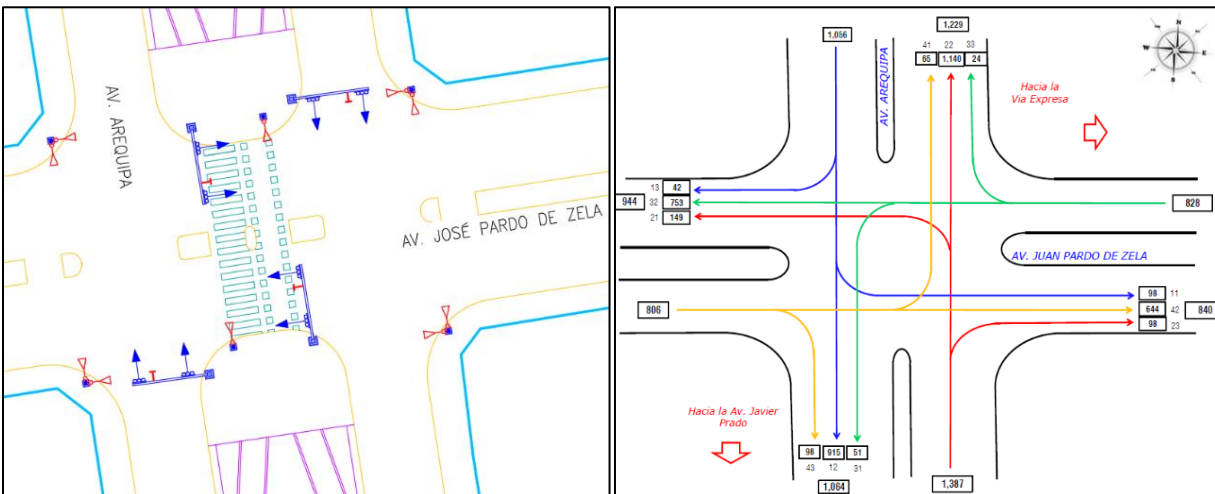


Fuente: Elaboración propia.

Así mismo los dispositivos semafóricos realizan una participación muy importante de la operación de las intersecciones, en el área de estudio todas las intersecciones presentan dispositivos semafóricos actuando en ola verde y presentando un tiempo de ciclo de 120 segundos, la ubicación y los detalles de los dispositivos semafóricos se presentan en los planos elaborados por el investigador.

Figura 24

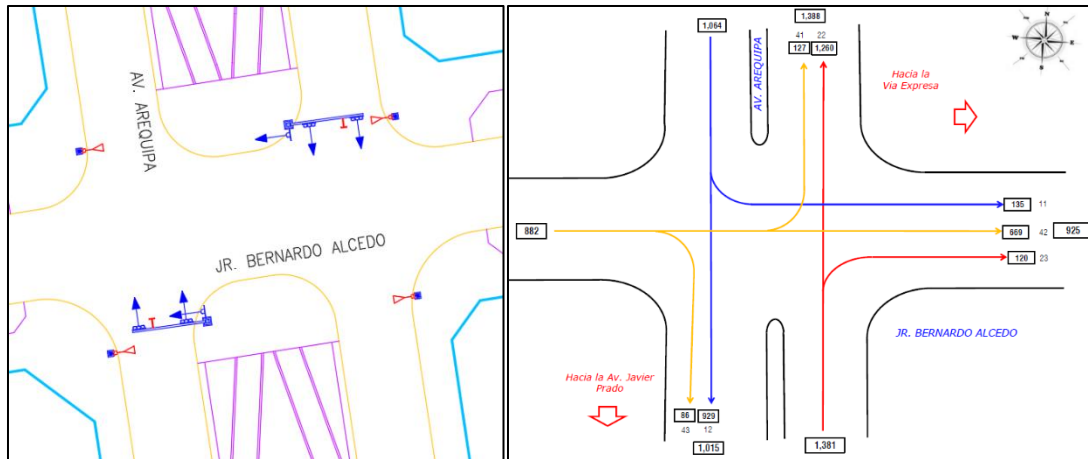
Semáforos y operación de flujos en la Av. Arequipa / Av. Pardo de Zela



Fuente: Elaboración propia / Plano de situación actual 01_SA-01, 01_SA-02 y flujogramas.

Figura 25

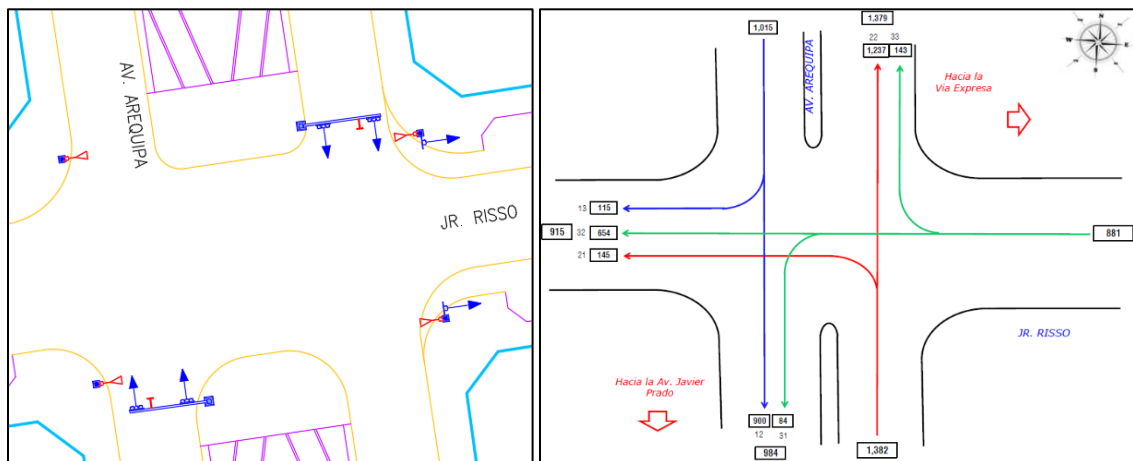
Semáforos y operación de flujos en la Av. Arequipa / Jr. Bernardo Alcedo



Fuente: Elaboración propia / Plano de situación actual 01_SA-01, 01_SA-02 y flujogramas.

Figura 26

Semáforos y operación de flujos en la Av. Arequipa / Jr. Risso



Fuente: Elaboración propia / Plano de situación actual 01_SA-01, 01_SA-02 y flujogramas.

3.1.3. Niveles de Servicio en Situación Actual

De la simulación realizada en el software synchro 11 en todas las intersecciones evaluadas se obtuvieron los siguientes resultados:

- Resultados de simulación en synchro 11

Figura 27

Resultados de la simulación en synchro 11 de la intersección Av. Arequipa - Av. Juan Pardo de Zela en situación actual



Fuente: Elaboración propia / Synchro 11.

Figura 28

Resultados de la simulación en synchro 11 de la intersección Av. Arequipa - Jr. Bernardo Alcedo en situación actual



Fuente: Elaboración propia / Synchro 11.

Figura 29

Resultados de la simulación en synchro 11 de la intersección Av. Arequipa - Jr. Risso en situación actual



Fuente: Elaboración propia / Synchro 11.

- Resumen de los niveles de servicio

De las gráficas vista se puede concluir que todas las intersecciones presentan un nivel de servicio F y en todos los casos presentan una Capacidad de utilización de la intersección de más del 100%, según se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 12

Niveles de servicio de las intersecciones evaluadas

Intersección	Demoras (seg)	Nivel de servicio	Capacidad de utilización de la intersección (%)
Av. Arequipa - Av. Juan Pardo de Zela	247	F	140.3
Av. Arequipa - Jr. Bernardo Alcedo	96	F	113.5
Av. Arequipa - Jr. Risso	174	F	112.3

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Calibración del modelo software Synchro

La utilización de los software de simulación en los proyectos de ingeniería es practicada en la mayoría de casos, sin embargo los resultados iniciales en algunos casos no muestra coherencia total con lo observado en la operación actual del escenario simulado.

Ante estos sucesos para verificar si el modelo es válido se debe contrastar que los resultados obtenidos en campo deben ser similares a los resultados obtenido en los reportes del software, para lo cual de ser necesario se debe ajustar hasta que tenga coherencia lo simulado con lo observado por el especialista.

- Para el caso específico del trabajo de investigación se procedió a verificar si las longitudes de cola en campo son similares en los reportes de simulación, los mismos que se detallan a continuación:

Tabla 13

Longitud de cola obtenido de la simulación en el software Synchro 11

Intersección	Acceso	Longitud de Cola (m)
	Av. Arequipa N-S	~184
Av. Arequipa - Av. Juan Pardo de Zela	Av. Arequipa S-N	~272
	Av. Juan Pardo de Zela E-O	~159
	Av. Juan Pardo de Zela O-E	~160
	Av. Arequipa N-S	~192
Av. Arequipa - Jr. Bernardo Alcedo	Av. Arequipa S-N	45
	Jr. Bernardo Alcedo O-E	115
	Av. Arequipa N-S	32
Av. Arequipa - Jr. Risso	Av. Arequipa S-N	~305
	Jr. Risso E-O	109

Fuente: Elaboración propia.

- Para el caso de corroborar si las colas establecidas en software son similares se realizó una recolección de las colas generadas en la hora de la máxima demanda mediante porcentajes de utilización, así mismo a fin de evidenciar la generación de las colas en campo se muestran las siguientes figuras:

Figura 30

Generación de colas en Av. Arequipa - Av. Juan Pardo de Zela, Acceso S-N



Fuente: Elaboración propia / Inspección en campo.

Figura 31

Generación de colas Av. Arequipa - Jr. Risso, Acceso E-O



Fuente: Elaboración propia / Inspección en campo.

Figura 32

Generación de colas Av. Arequipa - Jr. Risso Acceso S-N



Fuente: Elaboración propia / Inspección en campo.

- Adicionalmente se presenta los datos obtenidos de la medición de colas in situ convertidos en porcentaje de utilización del acceso en las siguientes tablas:

Tabla 14

Porcentaje de utilización de cada acceso por ciclo semafórico – Av. Arequipa / Av. Pardo de Zela

TIEMPO DE CICLO		ACCESO N-S	ACCESO S-N	ACCESO E-O	ACCESO O-E
08:45:00	08:47:00	108.50%	95.00%	95.94%	94.29%
08:47:00	08:49:00	115.79%	100.28%	103.66%	86.86%
08:49:00	08:51:00	97.85%	84.44%	84.65%	103.14%
08:51:00	08:53:00	112.43%	102.22%	95.94%	97.71%
08:53:00	08:55:00	92.52%	79.17%	120.59%	92.29%
08:55:00	08:57:00	99.81%	95.00%	95.94%	92.29%
08:57:00	08:59:00	103.18%	102.22%	90.30%	99.71%
08:59:00	09:01:00	110.47%	105.56%	95.94%	97.71%
09:01:00	09:03:00	105.14%	104.17%	92.38%	90.29%
09:03:00	09:05:00	107.10%	105.56%	94.46%	86.86%
09:05:00	09:07:00	105.14%	87.78%	95.94%	105.14%
09:07:00	09:09:00	99.81%	112.78%	103.66%	97.71%
09:09:00	09:11:00	110.47%	95.00%	112.87%	110.57%
09:11:00	09:13:00	117.76%	112.78%	103.66%	103.14%
09:13:00	09:15:00	105.14%	105.56%	100.10%	101.14%

Fuente: Elaboración propia / Inspección en campo.

Tabla 15

Porcentaje de utilización de cada acceso por ciclo semafórico – Av. Arequipa / Jr. Bernardo Alcedo

TIEMPO DE CICLO		ACCESO N-S	ACCESO S-N	ACCESO E-O	ACCESO O-E
08:45:00	08:47:00	100.28%	47.94%	-	84.86%
08:47:00	08:49:00	104.17%	35.33%	-	86.86%
08:49:00	08:51:00	96.94%	47.94%	-	90.29%
08:51:00	08:53:00	93.61%	42.62%	-	106.57%
08:53:00	08:55:00	86.39%	37.29%	-	92.29%
08:55:00	08:57:00	104.17%	49.91%	-	95.71%
08:57:00	08:59:00	96.94%	42.62%	-	95.71%
08:59:00	09:01:00	98.89%	47.94%	-	119.43%
09:01:00	09:03:00	91.67%	42.62%	-	95.71%
09:03:00	09:05:00	93.61%	47.94%	-	114.00%
09:05:00	09:07:00	104.17%	47.94%	-	95.71%
09:07:00	09:09:00	86.39%	42.62%	-	101.14%
09:09:00	09:11:00	104.17%	40.65%	-	108.57%
09:11:00	09:13:00	98.89%	55.23%	-	90.29%
09:13:00	09:15:00	104.17%	37.29%	-	114.00%

Fuente: Elaboración propia / Inspección en campo.

Tabla 16

Porcentaje de utilización de cada acceso por ciclo semafórico – Av. Arequipa / Jr. Risso

TIEMPO DE CICLO		ACCESO N-S	ACCESO S-N	ACCESO E-O	ACCESO O-E
08:45:00	08:47:00	31.96%	89.31%	105.15%	-
08:47:00	08:49:00	47.94%	104.08%	99.50%	-
08:49:00	08:51:00	30.00%	89.31%	99.50%	-
08:51:00	08:53:00	37.29%	105.69%	82.57%	-
08:53:00	08:55:00	37.29%	76.15%	93.86%	-
08:55:00	08:57:00	47.94%	99.69%	99.50%	-
08:57:00	08:59:00	55.23%	84.92%	93.86%	-
08:59:00	09:01:00	37.29%	99.69%	82.57%	-
09:01:00	09:03:00	44.58%	95.31%	105.15%	-
09:03:00	09:05:00	42.62%	118.85%	99.50%	-
09:05:00	09:07:00	24.67%	104.08%	105.15%	-
09:07:00	09:09:00	31.96%	104.08%	93.86%	-
09:09:00	09:11:00	37.29%	99.69%	99.50%	-
09:11:00	09:13:00	19.35%	114.46%	110.79%	-
09:13:00	09:15:00	42.62%	108.46%	99.50%	-

Fuente: Elaboración propia / Inspección en campo.

- De los datos obtenidos en campo mostrados en las tablas anteriores se pudo apreciar que las colas medidas en campo son similares a los resultados obtenidos en la simulación, según se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 17

Longitud de cola en campo vs simulación

Intersección	Acceso	Longitud de Cola en synchro 11	Longitud del acceso	% promedio de utilización
Av. Arequipa - Av. Juan Pardo de Zela	Av. Arequipa N-S	~184	107	106.%
	Av. Arequipa S-N	~272	108	99%
	Av. Juan Pardo de Zela E-O	~159	101	99%
	Av. Juan Pardo de Zela O-E	~160	105	97%
Av. Arequipa - Jr. Bernardo Alcedo	Av. Arequipa N-S	~192	108	97%
	Av. Arequipa S-N	45	107	44%
	Jr. Bernardo Alcedo O-E	115	105	99%
Av. Arequipa - Jr. Risso	Av. Arequipa N-S	32	107	37%
	Av. Arequipa S-N	~305	130	100%
	Jr. Risso E-O	109	101	98%

Fuente: Elaboración propia / Inspección en campo.

Para finalizar se puede concluir que la simulación realizada es confiable debido a que modela las condiciones operacionales de las intersecciones evaluadas en la situación actual, así mismo se procederá a proponer soluciones que mejoren la operacionalidad de las intersecciones con el modelo calibrado.

3.3. Resultados Optimizados de las Propuestas de operación vial y señalización

De la evaluación de los datos de la situación actual se procedió a optimizar las intersecciones realizado lo siguiente:

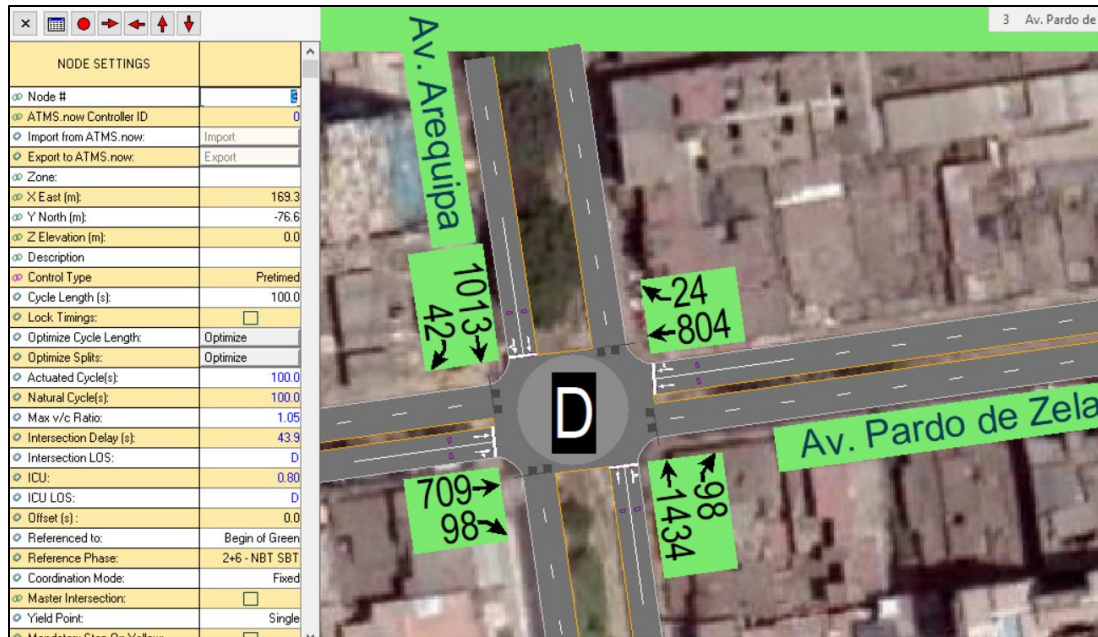
- Se restringió los giros a la izquierda en las tres intersecciones.
- Se implementó las señales verticales de restricción de giro a la izquierda (R-06), prohibido bloquear el cruce (R-53) con su respectiva señalización horizontal para reforzar las restricciones.
- Se mejoró los tiempos de ciclos semafóricos a 100 segundos en todas las intersecciones y se mantuvo la operación de la ola verde.

3.3.1. Resultados en la Av. Arequipa - Av. Juan Pardo de Zela

La optimización en la Av. Arequipa - Av. Juan Pardo de Zela mejoro a un nivel de servicio D, con una demora de 44 segundos y la Capacidad de utilización de la intersección se optimizo a un 80 %, según se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 33

Resultados de la simulación en synchro 11 de la intersección Av. Arequipa - Av. Juan Pardo de Zela en situación optimizada



Fuente: Elaboración propia / Synchro 11.

3.3.2. Resultados en la Av. Arequipa - Jr. Bernardo Alcedo

La optimización en la Av. Arequipa - Jr. Bernardo Alcedo mejoro a un nivel de servicio de D, con una demora de 38 segundos y la Capacidad de utilización de la intersección se optimizo a un 82 %, según se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 34

Resultados de la simulación en synchro 11 de la intersección Av. Arequipa - Jr. Bernardo Alcedo en situación optimizada



Fuente: Elaboración propia / Synchro 11.

3.3.3. Resultados en la Av. Arequipa - Jr. Risso

La optimización en la Av. Arequipa - Jr. Risso mejoro a un nivel de servicio D, con una demora de 47 segundos y la Capacidad de utilización de la intersección se optimizo a un 77 %, según se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 35

Resultados de la simulación en synchro 11 de la intersección Av. Arequipa - Jr. Risso en situación optimizada



Fuente: Elaboración propia / Synchro 11.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Limitaciones operacionales

Una de las limitantes en los análisis de intersecciones es la variación en el comportamiento y la cantidad de los flujos vehiculares esto se debe a que la ciudad se encuentra en un desarrollo vertical inmobiliario, esto conlleva que los deseos de viaje por motivos de trabajo, estudio, salud, abastecimiento, tramites, operaciones bancarias, impacten en la cantidad y el comportamiento de los flujos vehiculares, razón por el cual sería prudente contar con data histórica y monitorear las cantidades de vehículos que circulan en los ejes más importantes de la ciudad.

El impacto de eventos no previstos no se contempla en el desarrollo de la metodología, se denomina eventos no previstos la variación del flujo vehicular debido a los accidentes, cierre de vías por mantenimiento, eventos musicales, eventos deportivos, manifestaciones, protestas de organizaciones gremiales entre los más comunes.

Si bien las propuestas realizadas en el presente trabajo de investigación son aplicables para todo un eje, la falta de recursos, la división gubernamental y geográfica representan una limitante para poder aplicar las diversas soluciones planteadas.

4.2. Interpretación Comparativa

Existen una gran variedad de soluciones para poder optimizar las intersecciones, sin embargo, se debe tomar en cuenta las condiciones actuales del comportamiento del tránsito, ya que las soluciones no deben cambiar radicalmente la operacionalidad de las intersecciones.

Para el caso específico de las intersecciones semaforizadas evaluadas de la avenida Arequipa en la situación actual presentan un nivel de servicio F y una vez optimizado presenta un nivel de servicio D,

Esto quiere decir que al comparar los dos escenarios nos percatamos del impacto que generan los giros a la izquierda en las intersecciones es muy grande y este comportamiento se puede erradicar siempre y cuando la operacionalidad de la intersección lo permita.

En las siguientes tablas se muestran las comparaciones de los indicadores en la situación actual y la situación propuesta aplicando las mejoras operativas manifestadas en el presente trabajo de investigación:

Tabla 18

Optimación de indicadores de la intersección Av. Arequipa - Av. Juan Pardo de Zela

Indicadores	Situación actual	Situación optimizada
Demoras (seg)	247	44
Nivel de servicio	F	D
Capacidad de utilización de la intersección (%)	140.3	80

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19

Optimación de indicadores de la intersección Av. Arequipa - Jr. Bernardo Alcedo

Indicadores	Situación actual	Situación optimizada
Demoras (seg)	96	38
Nivel de servicio	F	D
Capacidad de utilización de la intersección (%)	113.5	82

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

Optimación de indicadores de la intersección Av. Arequipa - Jr. Risso

Indicadores	Situación actual	Situación optimizada
Demoras (seg)	174	47
Nivel de servicio	F	D
Capacidad de utilización de la intersección (%)	112.3	77

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se plantea como propuesta de operación vial y señalización para mejorar los niveles de servicio restringir el giro a la izquierda en todas las intersecciones evaluadas, la implementación de la señal prohibido el bloqueo al cruce, implementación de señales restrictivas, mejoramiento de las marcas en el pavimento para acatar las restricciones dadas y la optimización de los ciclos semafóricos de 120 segundos a 100 segundos manteniendo la condición de la ola verde en el eje de la avenida Arequipa.
- Del análisis del comportamiento vehicular se evidencian flujos vehiculares que realizan giros a la izquierda en algunos casos haciendo caso omiso a las marcas en el pavimento generando conflictos vehiculares reduciendo la capacidad vehicular y en consecuencia los niveles de servicio, así mismo los niveles de servicio en situación actual cuentan con el tiempo de ciclo de 120 segundos en las intersecciones de la Avenida Arequipa / Av. Pardo de Zela, Avenida Arequipa / Jr. Bernardo Alcedo y Avenida Arequipa / Jr. Risso presentando un nivel de servicio F con demoras 274 s, 96s, 147 s y capacidad de utilización de la intersección de 140%, 113.5% y 112.3 % respectivamente.
- De la simulación de las intersecciones de la Avenida Arequipa / Av. Pardo de Zela, Avenida Arequipa / Jr. Bernardo Alcedo y Avenida Arequipa / Jr. Risso en el software Synchro 11 considerando de operación vial y señalización para mejorar los niveles de servicio se obtuvieron como resultado que las intersecciones mejoran de F a D, así mismo las demoras que presentan son 44 s, 38s, 47s y una capacidad de utilización de la intersección de 80 %, 82% y 73% respectivamente.
- De la aplicación de la propuesta de operación vial y señalización se concluye que las medidas tomadas para mejorar los niveles de servicio y la capacidad de utilización de la intersección en las intersecciones Avenida Arequipa / Av. Pardo de Zela, Avenida Arequipa / Jr. Bernardo Alcedo y Avenida Arequipa / Jr. Risso son aceptables y viables debido a que mejoran el entorno vial, accidentabilidad, confort, contaminación y aumentando la calidad de vida al usuario, así mismo las propuestas de operación y la implementación de la señalización se encuentran graficados en los planos 02_SP-01 y 02_SP-02 adjuntos en los anexos del presente trabajo de investigación.

5.2. Recomendaciones

- La recolección de datos en los ejes importantes como es la Avenida Arequipa debería contar con monitoreos de conteos de tránsito electrónicos debido a que el flujo vehicular es cambiante en temporadas, horas y por días para poder realizar acciones a tiempo real y tener una gestión del tránsito eficiente.
- En los estudios de tránsito realizados en lo posible restringir los giros a la izquierda debido a que generan conflictos, así mismo para tal caso debe tomarse en cuenta para realizar dicha restricción se debe cerciorar que no afecte a las rutas de transporte público y que el flujo vehicular que realice los giros antes mencionados presenten rutas alternas para poder llegar a su destino, así mismo es necesario contar con la señalización vertical y horizontal precisa, clara y en buen estado para poder efectuar la restricción.
- Para poder aprovechar la capacidad vial y mejorar los niveles de servicio en las intersecciones de la avenida Arequipa se debe monitorear los tiempos de ciclo en las intersecciones de un eje de manera electrónica, con la finalidad de poder aumentar la capacidad de utilización y disminuir las demoras.
- La aplicación de las propuestas de operación vial y señalización del presente trabajo de investigación se podría replicar en todas las intersecciones de la Avenida Arequipa, así mismo para poder gestionar todo el eje y optimizar procesos es necesario la utilización de equipos electrónicos que recolecten, analicen, y apliquen criterios en tiempo real mediante un centro de control.

REFERENCIAS

- Agencia de cooperación internacional del Japón, JICA (2005). *Plan maestro de transporte urbano para el área metropolitana de lima y callo en la república del Perú*
- Banco Interamericano de Desarrollo, (2017). *Evolución de los sistemas de transporte público urbano en américa latina*
- Cal Y Mayor R, (2007). *Ingeniera de transito fundamentos y aplicaciones.*
- Carmen Patricia Corilla Huaman, (2018). *Propuesta de mejora del nivel de servicio del tránsito vehicular en la Av. Huancavelica – Tramo Av. 13 de noviembre y Paseo La Breña en la ciudad de Huancayo.*
- Dextre J, (2014). *Movilidad en zonas urbanas*
- Elean Joao Salas Serrano y Juan Víctor Honori, (2019). *Determinación del nivel de servicio y propuesta de mejora vial en la avenida Humboldt, tramo entre avenida Collpa-avenida violeta, del distrito coronel Gregorio Albarracín Lanchipa -provincia y departamento de Tacna.*
- Luis Alberto Cabrera Erazo y Juan Diego Sarmiento Clavijo, (2022). *Análisis, evaluación y propuesta de posibles soluciones en la Av. Gonzales Suarez entre Ernesto Guevara y Av. Los Andes en la ciudad de cuenca.*
- Maria José Carrillo Forero y Juan José Montoya Valencia, (2020). *Propuesta de solución para el mejoramiento de la movilidad en la intersección de la transversal superior y la avenida Las Palmas, Medellín, Colombia.*
- Meliza Urpi Ramos Cuito, (2019). *Evaluación de la capacidad vehicular y niveles de servicio en intersecciones semaforizadas del corredor vial prolongación Av. de la Cultura en el distrito de San Sebastián y propuesta de solución.*
- Ministerio de Justicia, (1999). *ley 27181 general de transporte y tránsito terrestre*
- Ministerio de Salud, (2013). *Criterios técnicos para identificación de puntos negros de accidentes de tránsito en la jurisdicción del distrito*
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016). *Manual de seguridad vial*

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2016). *Manual de dispositivos de control de tránsito automotor para calles y carreteras*
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2018). *Manual de carreteras: diseño geométrico DG-2018.*
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, (2010). *Metodología de Actualización del modelo de Transportes de Lima Metropolitana.*
- Ministerio De Vivienda, Construcción y Saneamiento, (2006). *Reglamento nacional de Edificaciones*
- Ministerio de vivienda y urbanismo, (2009). *Manual de viabilidad urbana (Chile) -REDEVU*
- Municipalidad de Lima, (2001). *Ordenanza N° 341 que Aprueba el Plano del Sistema Vial Metropolitano de Lima.*
- Nayelli Selena Sánchez Martínez, (2019). *Estudio de ingeniería de tránsito para mejora del eje vial Gral. Lázaro Cárdenas de Ciudad Victoria Tamaulipas.*
- Otoya Ortega, Pamela Vania y Romero Gamarra, Renato Miguel, (2019). *Mejoramiento de los niveles de servicio a través de la implementación del efecto de Ola Verde en intersecciones sincronizadas de la Av. Juan Pardo de Zela desde la Av. Prolongación Iquitos hasta la Av. Arequipa.*
- Transportation Research Board, (2010) *High Capacity Manual.*
- VCHI S.A., (2005). *Manual de diseño geométrico de vías urbanas.*
- Vikash V. Gayah, (2021). *Sick of dangerous city traffic? Remove left turns, The Conversation*