

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**ANÁLISIS DE LA CIRCULACIÓN VEHICULAR UTILIZANDO LOS MÉTODOS
DETERMINÍSTICOS Y DE SEGUIMIENTO VEHICULAR EN LA INTERSECCIÓN AV. TOMAS
TUYRO TUPAC CON PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA**

PRESENTADO POR:

- Bach. MAYLEE ESPINOZA PONTICIL
- Bach. JOEL DANTE QUISPE VILCA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

- Dr. ADAN WILBERT SOLORZANO MONTESINOS

**CUSCO- PERÚ
2025**

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: ANÁLISIS DE LA CIRCULACIÓN VEHICULAR UTILIZANDO LOS MÉTODOS DETERMINÍSTICOS Y DE SEGUIMIENTO VEHICULAR EN LA INTERSECCIÓN AV. TOMAS TUYRO TUPAC CON PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA

Presentado por: JOEL DANTE QUISPE VILCA DNI N° 43324461

presentado por: MAYLEE ESPINOZA PONTICIL DNI N°: 72547510

Para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO CIVIL

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 1 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 5 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 15 de MARZO de 20 25



Firma

Post firma Dr. Ing. Adam Wilbert Solorzano Montenegro

Nro. de DNI 2385 7089

ORCID del Asesor 0000 - 0001 - 7072 - 618X

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 272598439731354

MAYLEE y JOEL DANTE ESPINOZA PONTICIL Y Q... ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE SERVICIO UTILIZANDO LOS MÉTODOS DETERMINISTICOS Y DE SEGUIMIENTO VEHICULA

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:439731354

Fecha de entrega

15 mar 2025, 7:55 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

15 mar 2025, 7:59 p.m. GMT-6

Nombre de archivo

BORRADOR 2 (MAYLEE_DANTE).pdf

Tamaño de archivo

6.9 MB

176 Páginas

25.936 Palabras

131.859 Caracteres

5% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Small Matches (less than 20 words)

Top Sources

- 4%  Internet sources
- 0%  Publications
- 5%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profundamente a nuestra alma mater, la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por habernos acogido y formado no solo como profesionales, sino también como personas con valores, compromiso y vocación de servicio. Cada aula, cada pasillo y cada reto académico dejaron huellas imborrables en nuestro crecimiento.

A nuestra querida Facultad de Ingeniería Civil, por ser el espacio donde descubrimos nuestra pasión y fortalecimos nuestros sueños. Gracias por los momentos compartidos, las amistades que nacieron, y por ser cuna de tantas experiencias que hoy llevamos con orgullo.

A nuestros docentes, verdaderos guías en este camino del conocimiento, les agradecemos no solo por compartir su saber, sino por su entrega, exigencia y dedicación, que nos motivaron a dar siempre lo mejor de nosotros.

A nuestras familias, pilares incondicionales de este logro, gracias por estar presentes desde el inicio, por confiar en nosotros, por sus palabras de aliento en los momentos difíciles y por su amor constante que nos sostuvo en cada paso. Este logro también es suyo.

A todos los que formaron parte de este proceso, gracias por acompañarnos, inspirarnos y ayudarnos a llegar hasta aquí. Este logro no es solo un final, sino el inicio de nuevos desafíos que enfrentaremos con la misma gratitud, esfuerzo y esperanza con la que hemos llegado hasta este momento.

Los autores

DEDICATORIA:

A mi madre, Fulgencia, la mujer más fuerte que he conocido, cuyo coraje me inspira cada día y cuya ternura ha sido siempre mi refugio.

A mi padre, Angel, por su presencia serena y constante, y por esas palabras sencillas que siempre supieron darme calma cuando más lo necesitaba.

A Victoria, por estar ahí con esa ternura serena que solo ella tiene, y por sus palabras que apaciguaban incluso los días más difíciles.

A Roger, por estar a mi lado en momentos difíciles, con un apoyo silencioso y sincero.

A Nancy, por sus palabras cálidas y oportunas, que me dieron dirección en los momentos difíciles.

A Yuliana, por su amor incondicional, por nunca soltarme la mano y saber darme consuelo con solo estar cerca.

A Fany, por su calidez entrañable, por su cercanía y cariño, que siempre me hicieron sentir acompañada.

A mis queridas amigas, Zareth y Tania, por las risas que nos unieron, los silencios que no necesitaron palabras, y la compañía que alivió el alma en los momentos difíciles.

Y a mis mascotas, por su amor leal e incondicional.

Maylee Espinoza Ponticil

A Dante Lorenzo y Heradia Vilca.

A Albert, Dante y Yadira.

Joel Dante Quispe Vilca

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo analizar la circulación vehicular en la intersección de la Avenida Tomás Tuyro Tupac con la Prolongación de la Avenida de la Cultura, mediante la aplicación comparativa de dos enfoques metodológicos: el método determinístico, basado en el Highway Capacity Manual (HCM 2010), y el método de seguimiento vehicular, implementado a través del software de simulación microscópica PTV VISSIM.

Se inició con un estudio de campo para identificar los periodos de máxima demanda y realizar aforos vehiculares, considerando tanto la composición del tráfico como los movimientos direccionales en días típicos y atípicos. Con los datos recopilados, se evaluaron las condiciones operativas actuales de la intersección. El análisis mediante la metodología HCM 2010 permitió determinar los niveles de servicio desde un enfoque normativo basado en parámetros estandarizados, lo cual, si bien útil para diagnóstico general, puede no reflejar con precisión la dinámica real del tráfico urbano en zonas específicas.

Posteriormente, se desarrolló un modelo de simulación en PTV VISSIM, realizando procesos de calibración y validación con base en observaciones reales, principalmente longitudes de cola.

Este enfoque permitió representar de manera más precisa la dinámica vehicular, generando resultados más cercanos a la realidad y permitiendo identificar los puntos críticos de congestión.

A partir de los hallazgos obtenidos, se plantearon alternativas de solución orientadas a mejorar la eficiencia del flujo vehicular, tales como la reubicación de paraderos de transporte público, la redirección del tránsito de vehículos pesados y la implementación de un carril exclusivo para el transporte urbano. Estas propuestas fueron evaluadas mediante simulación y demostraron ser efectivas en la reducción de la congestión en la intersección analizada.

El estudio confirma que el uso de herramientas de simulación como VISSIM permite realizar un análisis más realista y detallado del comportamiento del tráfico urbano. Asimismo, la comparación con el enfoque determinístico evidencia la importancia de integrar métodos complementarios para la toma de decisiones técnicas que contribuyan a una movilidad más eficiente en intersecciones urbanas críticas.

Palabras clave: circulación vehicular, niveles de servicio, HCM 2010, PTV VISSIM, simulación de tráfico, congestión, calibración.

ABSTRACT

This thesis focuses on the analysis of vehicular circulation at the intersection of Avenida Tomás Tuyro Tupac and the extension of Avenida de la Cultura, through a comparative application of two methodological approaches: the deterministic method based on the Highway Capacity Manual (HCM 2010), and the vehicle-following method implemented using the microscopic simulation software PTV VISSIM 2023.

The study began with fieldwork to identify peak traffic demand periods and to conduct traffic counts, considering both vehicle composition and directional movements during typical and atypical days. Using the collected data, the current operational conditions of the intersection were assessed. The analysis using HCM 2010 allowed for the determination of levels of service from a standardized normative perspective. However, this method does not always accurately capture the actual traffic dynamics in urban environments.

Subsequently, a simulation model was developed in PTV VISSIM 2023, including calibration and validation processes based on field observations, primarily queue lengths. This approach enabled a more realistic representation of vehicular behavior, providing results that closely reflect real-world traffic conditions and revealing key congestion points.

Based on the findings, several alternative solutions were proposed to improve traffic flow efficiency, such as the relocation of public transport stops, the rerouting of heavy vehicle traffic, and the implementation of an exclusive lane for urban public transport. These measures were simulated and demonstrated to be effective in reducing congestion and enhancing the level of service at the studied intersection.

In conclusion, the study confirms that simulation tools like VISSIM provide a more realistic and detailed analysis of urban traffic behavior. Moreover, the comparison with the deterministic approach highlights the value of integrating complementary methods for informed technical decision-making to achieve more efficient mobility in critical urban intersections.

Keywords: vehicular circulation, level of service, HCM 2010, PTV VISSIM, traffic simulation, congestion, calibration.

ÍNDICE

Capítulo I Introducción	22
1.1 Planteamiento del Problema.....	23
1.1.1 Situación Problemática	23
1.2 Justificación de la Investigación	29
1.2.1 Justificación técnica	29
1.2.2 Justificación Metodológica	30
1.2.3 Justificación social	31
1.2.4 Justificación por relevancia.....	32
1.3 Objetivos de la Investigación	32
1.3.1 Objetivo General	32
1.3.2 Objetivo Especifico.....	32
1.4 Formulación de la Hipótesis.....	33
1.4.1 Hipótesis General.....	33
1.4.2 Hipótesis Especificas	33
1.5 Identificación de Variables.....	34
1.6 Operacionalización de Variables.....	34
1.7 Limitaciones y Viabilidad de la Investigación.....	35
1.7.1 Limitaciones de la Investigación	35
1.7.2 Viabilidad de la Investigación	35

1.8	Ubicación de la investigación	35
1.8.1	Datos geográficos.....	36
1.8.2	Características de la Zona	37
1.8.3	Justificación de la Ubicación	37
2	Capítulo II Estado del Arte	38
2.1	Antecedentes del Estudio	38
2.1.1	Antecedentes internacionales.....	38
2.1.2	Antecedentes nacionales	40
2.1.3	Antecedentes locales	41
2.2	Marco Conceptual	43
2.2.1	Usuario.....	43
2.2.2	Peatón.....	43
2.2.3	Conductor.....	44
2.2.4	Clasificación Vehicular.....	44
2.2.5	Estructura del Sistema Vial Urbano en la Ciudad del Cusco.....	53
2.2.6	Volumen de transito	55
2.2.7	Análisis de la Intensidad del Tráfico Vehicular.....	58
2.2.8	Tipología de Intersecciones	60
2.2.9	Demanda Vehicular y capacidad vial	63
2.2.10	Semáforos	64

2.2.11	Nivel de servicio	66
2.3	Metodología HCM 2010 para Intersecciones SemafORIZADAS	71
2.3.1	Introducción	71
□	Tasa de flujo de demanda.....	77
2.3.2	Estructura de la metodología	83
2.4	Modelación del Transito.....	88
2.4.1	Tipos de modelación del transito	88
2.4.2	Micro simulación del tránsito	90
2.4.3	Fundamentos de la micro simulación	91
2.4.4	Modelos de seguimiento vehicular (car following models).....	94
2.4.5	Modelos de cambio de carril.....	96
2.4.6	Micro-simulacion peatonal	96
2.5	Software de Micro simulación - VISSIM	97
2.5.1	Vissim	97
2.5.2	Antecedentes de Vissim.....	97
2.5.3	Funcionamiento del software Vissim.....	98
2.5.4	Componentes estáticos.....	99
2.5.5	Componentes dinámicos	99
2.5.6	Infraestructura del modelo	99
2.5.7	Construcción del modelo	101

3	Capítulo III Metodología	119
3.1	Metodología de la Investigación	119
3.1.1	Tipo de investigación	119
3.1.2	Estrategia de investigación	119
3.2	Estructura de la Investigación	119
3.2.1	Enfoque Metodológico.....	119
3.2.2	Diseño de ingeniería	120
3.3	Población y Muestra.....	123
3.3.1	Unidad de Análisis	123
3.3.2	Población de estudio	124
3.3.3	Muestra	124
3.3.4	Tipo de Muestreo	125
3.3.5	Tamaño de la muestra	125
3.4	Estudio experimental y toma de datos e información de campo.....	126
3.4.1	Delimitación de tiempo de estudio	126
3.4.2	Intersecciones de análisis	127
3.4.3	Estudios de campo	127
3.4.4	Conteo Vehicular	131
3.5	Análisis de datos de campo	134
3.5.1	Datos de volúmenes	134

3.5.2	Datos de longitud de cola.....	135
3.5.3	Datos de velocidades.....	136
3.5.4	Datos de geometría del sistema.....	139
3.5.5	Datos de semaforización.....	139
4	Capítulo IV Ajuste, Evaluación y Análisis de Resultados mediante el Software VISSIM y la Metodología HCM 2010.....	140
4.1	Aplicación de la Metodología HCM 2010.....	140
4.2	Calibración del Modelo.....	143
4.2.1	Evaluación del modelo en VISSIM.....	143
4.3	Evaluación, Análisis y Comparación de los Resultados.....	152
4.3.1	Resultados obtenidos en Vissim.....	152
5	Capítulo V: Propuestas de mejora.....	162
5.1	Propuestas para la mejora de niveles de servicio en la intersección de estudio.....	162
5.1.1	Propuesta de mejora 01.....	162
5.1.2	Propuesta de mejora 02.....	162
5.1.3	Propuesta de mejora 03.....	163
5.1.4	Propuesta de mejora 04.....	164
5.2	Resultados de las propuestas de mejora.....	165
5.2.1	Resultados de las propuestas de mejora en la intersección semaforizada.....	165
6	Conclusiones.....	190

Recomendaciones	192
Referencias.....	194
Anexos	198

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Diagrama de barras a partir de datos de la evolución del parque automotor de la ciudad del Cusco 2011 - 2023</i>	<i>26</i>
<i>Figura 2 Ancho de vía de Avenida de la Cultura carril de subida.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3 Ancho de vía de Avenida de la Cultura carril de bajada</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4 Ancho de vía de Avenida Tomas Tuyro Tupac carril de subida.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 5 Ubicación de la investigación.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 6 Vehículos de categoría M1, carrocería Sedan</i>	<i>45</i>
<i>Figura 7 Vehículo de categoría M2, microbús.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 8 Vehículo de categoría M3, ómnibus urbano.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 9 Vehículo de categoría N1, chasis cabinado.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 10 Vehículo de categoría N2, chasis cabinado.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 11 Vehículo de categoría N2 chasis cabinado.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 12 Vehículo de categoría N2 remolcador.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 13 Vehículo de categoría N3 chasis cabinado.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 14 Vehículos de categoría N1, N2, N3, O1, O2, O3 Y O4 con plataforma</i>	<i>49</i>
<i>Figura 15 Vehículos de categoría L1, bicimotos.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 16 Vehículo de categoría L2, trimoto</i>	<i>51</i>
<i>Figura 17 Vehículos de categoría L3, motocicletas</i>	<i>51</i>
<i>Figura 18 Vehículo de categoría L4, moto sidecar</i>	<i>52</i>
<i>Figura 19 Vehículo de categoría L5, trimoto</i>	<i>52</i>
<i>Figura 20 Esquema de la intersección en T y los movimientos existentes</i>	<i>59</i>
<i>Figura 21 Intersección no semaforizada en T.....</i>	<i>61</i>

<i>Figura 22 Gráfico de una intersección semaforizada</i>	<i>62</i>
<i>Figura 23 Paso a desnivel en cruce de Panamericana Norte y avenida Los Alisos</i>	<i>63</i>
<i>Figura 24 Vía con nivel de servicio A</i>	<i>67</i>
<i>Figura 25 Vía con nivel de servicio B</i>	<i>67</i>
<i>Figura 26 Vía con nivel de servicio C</i>	<i>68</i>
<i>Figura 27 Vía con nivel de servicio D.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 28 Vía con nivel de servicio E</i>	<i>70</i>
<i>Figura 29 Vía con nivel de servicio F</i>	<i>70</i>
<i>Figura 30 Enfoques de estudio según el HCM.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 31 Configuraciones típicas de carriles para el análisis</i>	<i>85</i>
<i>Figura 32 Background Images</i>	<i>101</i>
<i>Figura 33 Establecimiento de enlaces y conectores.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 34 Vehicle Inputs</i>	<i>103</i>
<i>Figura 35 Cuadro con los valores de velocidad asignados a cada categoría vehicular.</i>	<i>104</i>
<i>Figura 36 Vehicle Routes.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 37 Cantidad de fases semafóricas</i>	<i>106</i>
<i>Figura 38 Tiempos semafóricos.....</i>	<i>107</i>
<i>Figura 39 Representación gráfica de un tráiler.....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 40 Representación gráfica de un Ómnibus.....</i>	<i>109</i>
<i>Figura 41 Representación gráfica de un microbús</i>	<i>109</i>
<i>Figura 42 Representación gráfica de una combi rural</i>	<i>110</i>
<i>Figura 43 Configuración de rutas que siguen los vehículos en la simulación.....</i>	<i>111</i>
<i>Figura 44 Inserción de datos en el modelado</i>	<i>113</i>

<i>Figura 45 Modelo en función a los valores de la velocidad insertados.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 46 Static vehicle routing decision.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 47 Zonas donde existen interacciones</i>	<i>116</i>
<i>Figura 48 Elementos visuales en la intersección</i>	<i>117</i>
<i>Figura 49 Áreas establecidas</i>	<i>118</i>
<i>Figura 50 Mapa Catastral Cusco.....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 51 Intersección semaforizada de estudio.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 52 La intersección semaforizada a estudiarse es Av. de la cultura.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 53 Celular Samsung A35</i>	<i>128</i>
<i>Figura 54 Cámara de grabación de seguridad</i>	<i>129</i>
<i>Figura 55 Representación de longitud de cola.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 56 Conteo vehicular de la hora pico respecto al movimiento realizado en cada carril</i>	<i>134</i>
<i>Figura 57 Conteo vehicular de la hora pico respecto al movimiento realizado en cada carril convertido a Unidades Coche Patrón.....</i>	<i>134</i>
<i>Figura 58 Resumen de datos observados en campo-longitudes de cola</i>	<i>136</i>
<i>Figura 59 Resumen de datos observados en campo-velocidades vehiculares</i>	<i>138</i>
<i>Figura 60 Resumen de datos observados en campo-velocidades peatonales</i>	<i>139</i>
<i>Figura 62 Demanda ajustada</i>	<i>140</i>
<i>Figura 63 Datos iniciales para el análisis vehicular</i>	<i>140</i>
<i>Figura 64 Factor de ajuste vehicular de giro a la izquierda</i>	<i>141</i>
<i>Figura 65 Factor de ajuste peatonal de giro a la izquierda.....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 66 Factor de ajuste vehicular de giro a la derecha.....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 67 Factor de ajuste peatonal de giro a la derecha.....</i>	<i>142</i>

<i>Figura 68 Flujo de saturación ajustada</i>	<i>142</i>
<i>Figura 69 Niveles de servicio respecto a cada carril y acceso</i>	<i>142</i>
<i>Figura 70 Datos extraídos en campo para ajustar el modelo</i>	<i>145</i>
<i>Figura 71 Test de aleatoriedad-StatKey – Tránsito vehicular</i>	<i>147</i>
<i>Figura 72 Modelo de Seguimiento Vehicular Wiedemann 74</i>	<i>148</i>
<i>Figura 73 Datos extraídos en campo para calibrar el modelo</i>	<i>150</i>
<i>Figura 74 Test de aleatoriedad-StatKey para el tránsito peatonal</i>	<i>152</i>
<i>Figura 75 Regulaciones para el tránsito peatonal</i>	<i>152</i>
<i>Figura 76 Longitudes de cola del modelo calibrado</i>	<i>154</i>
<i>Figura 77 Retrasos en la intersección estudiada</i>	<i>156</i>
<i>Figura 78 Longitud de colas – propuesta 01</i>	<i>166</i>
<i>Figura 79 Demoras – propuesta 01</i>	<i>168</i>
<i>Figura 80 Imagen referencial de movimiento peatonal</i>	<i>169</i>
<i>Figura 81 Tiempos de viaje peatonal - propuesta 01</i>	<i>171</i>
<i>Figura 82 Longitud de colas – propuesta 02</i>	<i>173</i>
<i>Figura 83 Demoras – propuesta 02</i>	<i>175</i>
<i>Figura 84 Tiempos de viaje peatonal - propuesta 02</i>	<i>177</i>
<i>Figura 85 Longitud de colas – propuesta 03</i>	<i>179</i>
<i>Figura 86 Demoras – propuesta 03</i>	<i>181</i>
<i>Figura 87 Tiempos de viaje peatonal - propuesta 03</i>	<i>183</i>
<i>Figura 88 Longitud de colas – propuesta 04</i>	<i>185</i>
<i>Figura 89 Demoras – propuesta 04</i>	<i>187</i>
<i>Figura 90 Tiempos de viaje peatonal - propuesta 04</i>	<i>189</i>

<i>Figura 91 Matriz de consistencia</i>	<i>198</i>
<i>Figura 92 Formato para conteo vehicular</i>	<i>200</i>
<i>Figura 93 Formato para conteo peatonal</i>	<i>201</i>
<i>Figura 94 Datos del conteo peatonal extraídos en campo</i>	<i>201</i>
<i>Figura 95 Formato de la toma de datos de longitud de cola</i>	<i>202</i>
<i>Figura 96 Conteo vehicular en campo dentro de la hora pico.....</i>	<i>203</i>
<i>Figura 97 Formato de toma de datos de la velocidad peatonal, dentro de dos puntos de referencia</i>	<i>204</i>
<i>Figura 98 Datos extraídos en campo del ciclo semafórico de la intersección de estudio</i>	<i>205</i>
<i>Figura 99 Imagen referencial para la consideración del conteo vehicular respecto al HCM 2010</i>	<i>206</i>
<i>Figura 100 Conteo vehicular organizado para el HCM en hora pico - SUR</i>	<i>207</i>
<i>Figura 101 Conteo vehicular organizado para el HCM en hora pico - ESTE.....</i>	<i>207</i>
<i>Figura 102 Conteo vehicular organizado para el HCM en hora pico - OESTE.....</i>	<i>208</i>
<i>Figura 103 Composición vehicular de la intersección.....</i>	<i>208</i>
<i>Figura 104 Ordenamiento de datos en Unidad Coche Patrón respecto a la metodología del HCM</i>	<i>209</i>
<i>Figura 105 Ordenamiento de datos ajustados respecto a la metodología del HCM.....</i>	<i>209</i>
<i>Figura 106 Ordenamientos de los datos de entrada para la metodología del HCM.....</i>	<i>210</i>
<i>Figura 107 Factor de ajuste con giro a la izquierda.....</i>	<i>211</i>
<i>Figura 108 Ajuste de tiempo de zona desocupada por ajuste de giro a la izquierda.....</i>	<i>212</i>
<i>Figura 109 Factor de ajuste de giro a la derecha.....</i>	<i>212</i>
<i>Figura 110 Ajuste de tiempo de zona desocupada por ajuste de giro a la derecha.....</i>	<i>213</i>

<i>Figura 111 Factor por peatones y bicicletas para grupos con giro a la izquierda y derecha...</i>	213
<i>Figura 112 Niveles de servicio respecto al HCM 2010.....</i>	214
<i>Figura 113 Situación actual de la intersección en un modelo de VISSIM.....</i>	215
<i>Figura 114 Situación actual de la intersección en la fase 2.....</i>	215
<i>Figura 115 Situación actual de la intersección en un punto de baja flujo vehicular.....</i>	216
<i>Figura 116 Situación actual de la intersección con el flujo peatonal.....</i>	217
<i>Figura 117 Detalles de los carriles en el modelo VISSIM</i>	217
<i>Figura 118 Respuesta a los cambios de mejora en el modelo VISSIM</i>	218
<i>Figura 119 Situación con mejoras, se observa el carril de vehículos de transporte urbano utilizados correctamente.....</i>	218
<i>Figura 120 Congestión en Av. de la Cultura sentido Este-Oeste.....</i>	219
<i>Figura 121 Presencia de vehículos pesados en la intersección</i>	219
<i>Figura 122 Congestión vehicular nocturna.....</i>	220
<i>Figura 123 Problemática asociada a los giros en la intersección.....</i>	220
<i>Figura 124 Presencia del supermercado Tottus cercana a la intersección.....</i>	221
<i>Figura 125 Paradero en la Av. de la Cultura en el sentido Este - Oeste.....</i>	221
<i>Figura 126 Paradero en la Av. de la Cultura en el sentido Oeste - Este.....</i>	222
<i>Figura 127 Licencia para el uso del programa VISSIM</i>	223
<i>Figura 128 Plano de la Intersección Avenida Tomás Tuyro Tupac con Prolongación Avenida de la Cultura.....</i>	223

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Operacionalización de variables</i>	34
<i>Tabla 2 Clasificación de las vías de estudio</i>	55
<i>Tabla 3 Datos de entrada</i>	76
<i>Tabla 4 Pasos para definir la hora de aforo</i>	120
<i>Tabla 5 Pasos para la toma de datos en campo</i>	121
<i>Tabla 6 Resumen de resultados obtenidos con la utilización del manual HCM</i>	143
<i>Tabla 7 Datos extraídos en campo para calibrar el modelo – Tránsito vehicular</i>	144
<i>Tabla 8 Modelo estadístico para el mínimo de numero de muestras necesarias para alcanzar el 95% de confiabilidad – Tránsito vehicular</i>	146
<i>Tabla 9 Datos extraídos en campo de los tiempos de paso peatonal</i>	148
<i>Tabla 10 Modelo estadístico para el mínimo de numero de muestras necesarias para alcanzar el 95% de confiabilidad – Tránsito peatonal</i>	151
<i>Tabla 11 Longitudes de cola del modelo calibrado en la intersección de estudio</i>	153
<i>Tabla 12 Movimiento: E-O Av. De La Cultura; E-O Avenida de la Cultura</i>	153
<i>Tabla 13 Movimiento: O-E Av. De La Cultuta; O-E Av. De La Cultuta</i>	155
<i>Tabla 14 Movimiento: S-N: Av. Tomas Tuyro Tupac; E-O Av. De la Cultura</i>	158
<i>Tabla 15 Movimiento: S-N Av. Tomas Tuyro Tupac; O-E Av. De La Cultuta</i>	160
<i>Tabla 16 Longitud de colas – propuesta 01</i>	165
<i>Tabla 17 Demoras – propuesta 01</i>	167
<i>Tabla 18 Tiempos de viaje peatonal - propuesta 01</i>	169
<i>Tabla 19 Longitud de colas – propuesta 02</i>	172
<i>Tabla 20 Demoras – propuesta 02</i>	173

<i>Tabla 21 Tiempos de viaje peatonal – propuesta 02</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 22 Longitud de colas – propuesta 03.....</i>	<i>178</i>
<i>Tabla 23 Demoras – propuesta 03.....</i>	<i>179</i>
<i>Tabla 24 Tiempos de viaje peatonal – propuesta 03</i>	<i>181</i>
<i>Tabla 25 Longitud de colas – propuesta 04.....</i>	<i>184</i>
<i>Tabla 26 Demoras – propuesta 04.....</i>	<i>185</i>
<i>Tabla 27 Tiempos de viaje peatonal – propuesta 04</i>	<i>187</i>

Capítulo I Introducción

El crecimiento urbano acelerado y el constante incremento del parque automotor han generado una presión significativa sobre la infraestructura vial de muchas ciudades, afectando directamente la fluidez del tránsito y la calidad del servicio que reciben los usuarios. En este contexto, las intersecciones urbanas juegan un rol fundamental, ya que actúan como puntos de convergencia del flujo vehicular y, por lo tanto, son especialmente vulnerables a la congestión, las demoras y los conflictos operacionales.

La intersección de la Avenida Tomás Tuyro Tupac con la Prolongación de la Avenida de la Cultura, ubicada en el distrito de San Sebastián en la ciudad del Cusco, constituye un nodo vial de alta importancia funcional. Durante las horas de mayor demanda, esta intersección presenta elevados niveles de congestión, formaciones de colas extensas y pérdida de eficiencia en la circulación vehicular. Por ello, se vuelve necesario realizar un análisis técnico que permita diagnosticar su desempeño actual y plantear soluciones viables que mejoren su funcionamiento.

El presente estudio tiene como finalidad analizar la circulación vehicular en dicha intersección utilizando dos enfoques metodológicos complementarios: el método determinístico, basado en los lineamientos del Highway Capacity Manual (HCM 2010), y el método de seguimiento vehicular, implementado mediante el software de simulación microscópica PTV VISSIM. El método determinístico proporciona una evaluación normativa y estructurada del nivel de servicio (LOS), útil para estimar el comportamiento general del tránsito bajo parámetros estandarizados. En contraste, el enfoque de simulación permite observar de forma detallada el comportamiento dinámico de los vehículos, incluyendo interacciones individuales, demoras y colas, bajo condiciones realistas.

Este análisis comparativo busca identificar las fortalezas y limitaciones de cada metodología y establecer propuestas técnicas que mejoren la eficiencia de la circulación en la intersección analizada. Entre las medidas evaluadas se consideran la reubicación de paraderos de transporte público, la restricción del paso de vehículos pesados y la implementación de un carril exclusivo para el transporte urbano.

Finalmente, se espera que los resultados de esta investigación sirvan como una herramienta técnica de apoyo para la toma de decisiones en la planificación y gestión del tránsito urbano, promoviendo una movilidad más eficiente, segura y sostenible en intersecciones urbanas críticas como la estudiada.

1.1 Planteamiento del Problema

1.1.1 Situación Problemática

1.1.1.1 Descripción del Problema

En muchas ciudades del mundo, las intersecciones vehiculares son puntos críticos de congestión que afectan significativamente la calidad de vida urbana y la eficiencia del transporte. Según el World Resources Institute (WRI, 2019), la congestión vehicular en áreas urbanas puede incrementar los tiempos de viaje en hasta un 30% durante las horas pico, lo que tiene un impacto directo en la productividad y en la calidad del aire.

En América Latina, este problema es especialmente agudo en ciudades con infraestructura vial limitada. Según un estudio de Carruthers (2005), la falta de sincronización semafórica y el diseño deficiente de las intersecciones contribuyen a un aumento significativo en los tiempos de espera, lo que agrava la congestión y afecta la movilidad urbana.

En el Perú, la congestión vehicular es un problema creciente, especialmente en ciudades como Lima y Cusco, donde el rápido crecimiento urbano ha superado la capacidad de las infraestructuras viales existentes. Un estudio realizado por la Fundación Transitemos (2017) reveló que la congestión vehicular en Lima puede aumentar los tiempos de viaje en hasta un 50% durante las horas punta, lo que refleja un problema similar en otras ciudades peruanas con infraestructura limitada.

La ciudad del Cusco, conocida por su importancia histórica y turística, ha experimentado un crecimiento urbano significativo en las últimas décadas. Este desarrollo ha traído consigo un incremento en el volumen de tráfico vehicular, particularmente en áreas clave como el distrito de San Sebastián, donde convergen rutas importantes que conectan distintas zonas de la ciudad y sus alrededores.

La intersección entre la Avenida Tuyro Tupac y la Prolongación de la Avenida de la Cultura es un punto crítico dentro de esta red vial. Esta intersección no solo sirve como un enlace entre diferentes sectores residenciales y comerciales, sino que también es un eje vial importante para el tránsito hacia áreas turísticas y educativas de la ciudad. Durante las horas pico, esta intersección se convierte en un cuello de botella, generando congestión vehicular significativa, con colas que se extienden a lo largo de varios tramos de ambas avenidas.

Los problemas en esta intersección incluyen largas demoras en los tiempos de cruce, saturación de los carriles, conflictos entre vehículos que realizan giros y el tráfico de paso, así como la dificultad para los peatones y ciclistas de cruzar de manera segura. Estas condiciones no solo incrementan los tiempos de viaje y el consumo de combustible, sino que también afectan negativamente la calidad del aire y aumentan el riesgo de accidentes de tráfico.

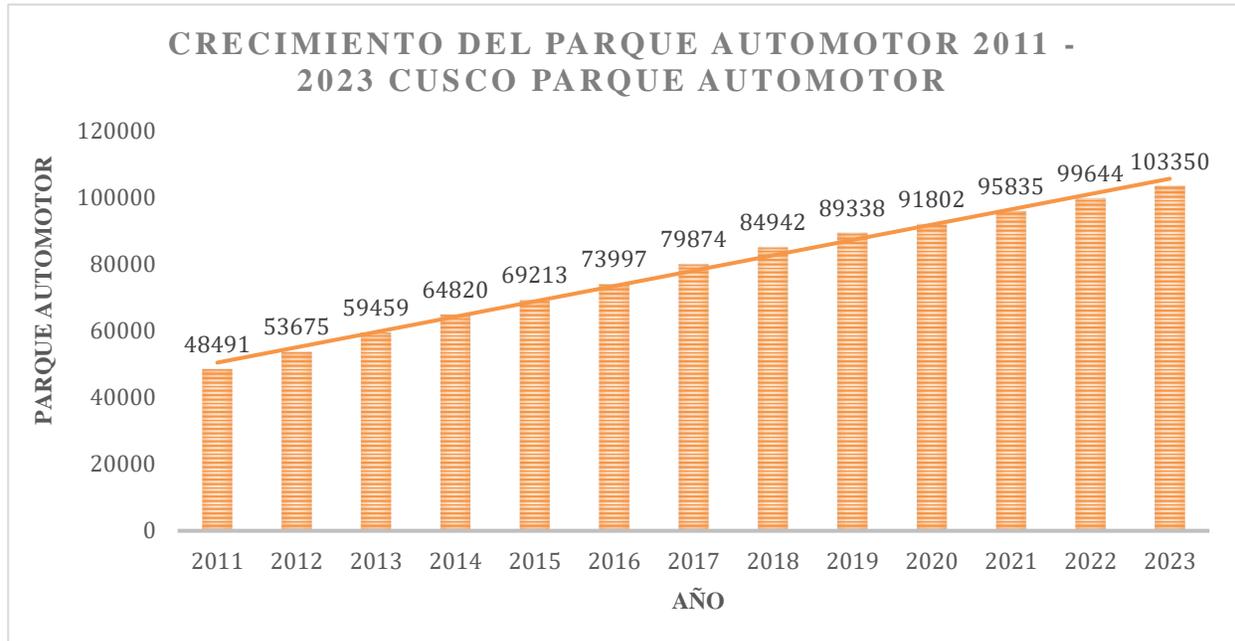
A pesar de algunas intervenciones previas, como la instalación de semáforos y la ampliación de ciertos carriles, la eficiencia operativa de esta intersección sigue siendo insuficiente para manejar adecuadamente la demanda vehicular actual y proyectada. Esto subraya la necesidad de un análisis más profundo y exhaustivo de los niveles de servicio en la intersección, utilizando métodos que puedan ofrecer una visión del rendimiento del tráfico.

En la ciudad del Cusco, el crecimiento demográfico ha impulsado un notable desarrollo urbano, lo que a su vez ha incrementado el parque automotor. Este aumento de vehículos ha puesto en evidencia la falta de planificación en el diseño geométrico de las calles, áreas como la intersección de la Avenida de la Cultura con la Prolongación de la Avenida Tuyro Tupac, donde el tráfico ha superado la capacidad prevista. La Avenida de la Cultura es una de las vías más transitadas de Cusco, conectando importantes zonas de la ciudad y siendo un eje clave para el transporte.

Según los datos estadísticos extraídos de la Superintendencia Nacional de los Registros Públicos, se observa un crecimiento considerable del parque automotor en la ciudad del Cusco entre los años 2011 y 2023, como se detalla a continuación.

Figura 1

Diagrama de barras a partir de datos de la evolución del parque automotor de la ciudad del Cusco 2011 - 2023



Fuente: Superintendencia Nacional de los Registros Públicos; Instituto Nacional de Estadística e Informática – Compendio Estadístico Perú 2023 (Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI, 2023)

Cusco ha emergido como una de las principales ciudades en la venta de vehículos nuevos en el Perú, ocupando el cuarto lugar a nivel nacional. El crecimiento en el parque automotor se debe en gran medida al auge económico que ha experimentado la región en los últimos años, especialmente en el sector de turismo, gastronomía y agroindustria.

Las repercusiones de la congestión vehicular afectan directamente a los vehículos que circulan por las vías urbanas, pero también tienen un impacto en los pasajeros del transporte público. Estos pasajeros no solo experimentan retrasos en sus desplazamientos, sino que, debido a la congestión, enfrentan un aumento en las tarifas que deben pagar. Además, toda la población de

la ciudad se ve afectada por el impacto negativo en su calidad de vida, incluyendo un aumento en la contaminación del aire y el ruido, así como repercusiones adversas en la salud y en la sostenibilidad urbana a largo plazo (Bull, 2003).

La intersección en estudio presenta una infraestructura vial significativa: la Avenida Tomas Tuyro Tupac, que se conecta con la Prolongación de la Avenida de la Cultura, con las siguientes medidas la Av. de la cultura tiene dos calzadas, una de E-W y otra de W-E, cada calzada de tres carriles, y cada carril tiene un ancho promedio de 3.2m y una berma central de 3.8m, mientras que la Av. Tomas Tuyro tupac cuenta con dos calzadas, una de S-N y otra de N-S, cada calzada tiene dos carriles de 2.80m de ancho cada carril y una berma central de 1.00 metro.

Figura

2

Ancho de vía de Avenida de la Cultura carril de subida



Fuente: Fotografía extraída de la intersección de estudio

Ancho de vía de Avenida de la Cultura carril de bajada



Fuente: Fotografía extraída de la intersección de estudio

Figura 4

Ancho de vía de Avenida Tomas Tuyo Tupac carril de subida



Fuente: Elaboración propia

1.1.1.2 Formulación del problema

1.1.1.2.1 Formulación del Problema General

PG: ¿Cuál es el grado de congestión vehicular en la intersección de la Av. Tomás Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura según los métodos determinístico y de seguimiento vehicular, y qué medidas de mejora podrían implementarse para su optimización?

1.1.1.2.2 Formulación de los Problemas Específicos

PE1: ¿Qué tan eficiente es el análisis y evaluación de los niveles de servicio en la intersección de la Av. Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura, al emplear los métodos determinísticos y de seguimiento vehicular?

PE2: ¿Qué limitaciones existen para mantener un flujo vehicular adecuado en la intersección de Av. Tuyro Tupac con prolongación Av. de la Cultura?

PE3: ¿Cómo se puede mejorar los factores que tienen un impacto significativo en la formación de colas en la intersección de Av. Tuyro Tupac con prolongación Av. de la Cultura?

1.2 Justificación de la Investigación

1.2.1 Justificación técnica

El análisis de la circulación vehicular en intersecciones estratégicas de la ciudad del Cusco resulta fundamental ante el crecimiento urbano acelerado y el aumento constante del parque automotor. Estos factores han generado una mayor presión sobre la infraestructura vial existente, ocasionando problemas de congestión, demoras y una disminución en la eficiencia operativa del sistema de transporte urbano.

En este contexto, la intersección de la Avenida Tomás Tuyro Tupac con la Prolongación de la Avenida de la Cultura representa un punto neurálgico dentro de la red vial del distrito de San Sebastián, al conectar zonas residenciales, comerciales y educativas. El elevado flujo vehicular registrado en esta intersección durante las horas punta la convierte en una zona crítica para el análisis de la circulación y la identificación de posibles mejoras.

La presente investigación se justifica técnicamente por la necesidad de evaluar los niveles de servicio actuales mediante el uso de dos enfoques metodológicos complementarios: el método determinístico (basado en el HCM 2010) y el método de seguimiento vehicular, a través de simulaciones dinámicas con el software PTV VISSIM. Esta combinación metodológica permite obtener una visión tanto normativa como realista del comportamiento del tráfico, facilitando la detección de las causas principales de la congestión y los cuellos de botella operacionales.

Además, el uso de simulaciones microscópicas permite analizar de forma detallada las interacciones entre los distintos actores del tránsito (vehículos particulares, transporte público, vehículos pesados), bajo condiciones reales de operación. A partir de estos análisis, será posible plantear alternativas técnicas de mejora, tales como la reubicación de paraderos de transporte público, la restricción del tránsito pesado, y la implementación de un carril exclusivo para el transporte urbano, entre otras medidas. Estas acciones permitirán optimizar la circulación, reducir los tiempos de viaje y mejorar la eficiencia general de la intersección.

1.2.2 Justificación Metodológica

El enfoque metodológico adoptado en esta investigación se justifica en función de la necesidad de contar con herramientas que permitan evaluar la circulación vehicular desde distintas perspectivas técnicas. Para ello, se han seleccionado dos metodologías ampliamente reconocidas:

el método determinístico, basado en el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010), y el método de simulación microscópica, mediante el software PTV VISSIM.

El método HCM proporciona un análisis estructurado y estandarizado de la capacidad y el nivel de servicio de intersecciones, permitiendo evaluar la eficiencia del sistema vial bajo condiciones teóricas y normativas. Sin embargo, su carácter estático puede limitar la representación de ciertas dinámicas reales del tráfico.

Por otro lado, el uso de VISSIM permite desarrollar una simulación detallada del comportamiento del tráfico, considerando la interacción entre distintos tipos de vehículos, la variabilidad de los tiempos de llegada y los efectos del entorno vial. Esto posibilita una evaluación más realista de la congestión y los niveles de servicio.

La aplicación conjunta de ambos métodos permite no solo validar los resultados obtenidos, sino también contrastar sus fortalezas y limitaciones, obteniendo una visión integral de las condiciones actuales del tránsito en la intersección estudiada. Esta combinación metodológica refuerza la rigurosidad del análisis y aporta una base técnica sólida para la formulación de propuestas de mejora.

1.2.3 Justificación social

La presente investigación tiene como propósito reducir la congestión y los tiempos de viaje beneficia a conductores, peatones y ciclistas, mejorando el acceso a servicios y lugares de trabajo. Además, esto puede promover la seguridad vial y tener efectos positivos en la calidad del aire y el medio ambiente, contribuyendo a un entorno urbano más sostenible y a una mejor calidad de vida para todos.

1.2.4 Justificación por relevancia

En un contexto de crecimiento urbano y aumento del tráfico, esta intersección se ha convertido en un punto crítico que afecta la calidad de vida de los ciudadanos y genera desafíos ambientales. Al aplicar los métodos determinísticos y de seguimiento vehicular, esta investigación busca ofrecer soluciones concretas y aplicables que mejoren la fluidez del tráfico, reduzcan los tiempos de viaje y promuevan un entorno urbano más sostenible. Los resultados obtenidos tendrán un impacto directo en la comunidad y en la toma de decisiones de planificadores y autoridades, aportando al avance de la ingeniería vial y la movilidad urbana.

1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

OG: Evaluar el nivel de servicio de la intersección de la Av. Tomás Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura mediante los métodos determinístico y de seguimiento vehicular, y proponer medidas de mejora.

1.3.2 Objetivo Especifico

OE1: Comparar la eficiencia de los métodos determinístico y de seguimiento vehicular en la evaluación del nivel de servicio de la intersección de la Av. Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura.

OE2: Identificar las limitaciones que afectan el mantenimiento de un flujo vehicular adecuado en la intersección de la Av. Tomas Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura.

OE3: Mejorar los factores que impactan significativamente en la formación de colas en la intersección de la Av. Tomas Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura mediante la implementación de medidas de reorganización del tránsito vehicular, optimización de la regulación del transporte público y reestructuración de los flujos de vehículos pesados.

1.4 Formulación de la Hipótesis

1.4.1 Hipótesis General

HG: Si se evalúan los niveles de servicio de la intersección de la Av. Tomás Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura utilizando los métodos determinístico y de seguimiento vehicular, entonces será posible identificar los principales factores que afectan el flujo vehicular y, a partir de ello, proponer medidas de mejora que optimicen su funcionamiento.

1.4.2 Hipótesis Especificas

HE1: El método de seguimiento vehicular permite una evaluación más precisa y representativa del nivel de servicio en la intersección de la Av. Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura, en comparación con el método determinístico.

HE2: Las limitaciones que afectan el mantenimiento de un flujo vehicular adecuado en la intersección de la Av. Tomas Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura se deben a una combinación de factores, como el inadecuado control y orden en la circulación vehicular, y el comportamiento inadecuado tanto de conductores como de peatones.

HE3: La reubicación de los paraderos de transporte público, la redirección del tránsito de vehículos pesados y la implementación de un carril exclusivo para el transporte urbano

contribuirán a mejorar el flujo vehicular y reducir la formación de colas en la intersección de la Av. Tomas Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura.

1.5 Identificación de Variables

- Nivel de servicio (LOS)
- Demanda vehicular
- Diseño geométrico
- Gestión de Tráfico

1.6 Operacionalización de Variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Items	Técnica o Instrumento
Nivel de Servicio (LOS)	Demoras	Tiempos de demora	El tiempo de espera en la intersección durante la hora pico	Observación directa - conteo
	Velocidad	Velocidad promedio	La velocidad promedio de los vehículos que cruzan la intersección	
	Condiciones de Flujo	Grado de congestión	La congestión en la intersección en diferentes momentos del día	
Demanda Vehicular	Flujo vehicular	Vehículos por hora (vph)	Cantidad de vehículos que cruzan la intersección durante la hora pico	Observación directa - conteo
	Composición Vehicular	Proporción de vehículos pesados	Porcentaje de vehículos pesados respecto al total de vehículos	
Diseño Geométrico	Número de carriles	Cantidad de carriles en la intersección	Número de carriles disponibles en cada acceso a la intersección	Observación directa -

	Ancho de carril	Ancho promedio de los carriles	Medición del ancho de los carriles en la intersección	medición in situ
Gestión de Tráfico	Largo de colas	Longitud de cola	Distancia promedio de la fila de vehículos detenidos a partir de la línea de detención en los cruces peatonales	Observación directa - medición in situ
	Carriles Exclusivos	Existencia de carril exclusivo	Presencia de carril exclusivo para transporte público	

Fuente: Elaboración propia

1.7 Limitaciones y Viabilidad de la Investigación

1.7.1 Limitaciones de la Investigación

La presente investigación se enfocará en el análisis y evaluación de una intersección semaforizada, durante el año en que se realiza el estudio. Por tanto, los resultados obtenidos no estarán influenciados por eventos excepcionales, como feriados, días no laborables, movilizaciones u otras situaciones imprevistas.

1.7.2 Viabilidad de la Investigación

Este estudio es viable, ya que se cuenta con las herramientas necesarias para la recopilación de datos, el software de simulación y una bibliografía relevante relacionada con el tema abordado en la tesis.

1.8 Ubicación de la investigación

El presente estudio se desarrolla en la intersección en "T" de la Av. Tomás Tuyo Tupac con la Prolongación Av. de la Cultura, ubicada en el distrito de San Sebastián, provincia y región del Cusco.

1.8.1 Datos geográficos

- Departamento: Cusco
- Provincia: Cusco
- Distrito: San Sebastián

Figura 5

Ubicación de la investigación



Fuente: Elaboración propia

1.8.2 Características de la Zona

La intersección se ubica en una zona de alto flujo vehicular y peatonal, debido a su cercanía con centros educativos, establecimientos comerciales y paraderos de transporte público, lo que genera problemas de congestión y demoras en los desplazamientos.

Algunas características relevantes de la zona incluyen:

- Vías principales: La Av. de la Cultura es una de las más transitadas de Cusco, funcionando como eje estructurante del transporte urbano.
- Flujo vehicular: Presencia de transporte público, vehículos particulares y carga pesada.
- Infraestructura vial: Semáforos, señalización horizontal y vertical, presencia de paraderos de transporte público, calzadas, berma central, y veredas.
- Factores de congestión: Ubicación de paraderos cercanos a la intersección, tiempos de semaforización y falta de infraestructura exclusiva para transporte urbano.

1.8.3 Justificación de la Ubicación

La elección de esta intersección responde a la necesidad de evaluar sus niveles de servicio, dado que representa un punto crítico de tráfico en la ciudad del Cusco. La problemática identificada en esta intersección vial afecta directamente la movilidad urbana, generando impactos en la fluidez del tránsito y la calidad del servicio del transporte público.

Capítulo II Estado del Arte

2.1 Antecedentes del Estudio

2.1.1 Antecedentes internacionales

Según Carrillo y Montoya (2022), en su investigación “Análisis técnico de la capacidad vial y nivel de servicio de la intersección, glorieta barrio Porfía, ubicada en el corredor que conduce de Villavicencio al municipio de Acacías – Meta”, realizada en la Universidad Cooperativa de Colombia, cuyo objetivo principal fue analizar la capacidad vial y el nivel de servicio de la intersección, debido al rápido crecimiento poblacional, económico y vehicular que ha generado congestión en la zona. En este sentido, el objetivo principal de la investigación fue realizar un análisis técnico para evaluar estos aspectos en el contexto del flujo vehicular actual, compuesto por vehículos públicos y privados, livianos y pesados. Para ello, se empleó una metodología que incluyó un aforo vehicular en periodos de 15 minutos con el fin de identificar la Hora de Máxima Demanda. Además, se analizó la capacidad vial y el nivel de servicio. Los datos obtenidos en campo fueron procesados con el software de modelamiento PTV VISSIM, lo que permitió evaluar el comportamiento actual de la intersección y la viabilidad de implementar modificaciones geométricas y técnicas. Los resultados más relevantes mostraron que las vías existentes presentan deficiencias en la capacidad vial y en los niveles de servicio, particularmente durante las horas pico, lo cual afecta la movilidad y la calidad de vida de los usuarios. Por lo tanto, los análisis concluyeron que es necesario realizar modificaciones geométricas y técnicas en la glorieta para mejorar su capacidad vial.

Según Deysi y Delgado (2023), en su investigación titulada “Análisis del nivel de servicio en intersección semaforizada: Avenidas Manabí y América, Portoviejo, Manabí”, realizada en la

Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, se analizó el nivel de servicio en la intersección semaforizada de las avenidas América y Manabí, Ecuador, con el objetivo de establecer medidas para mejorar la movilidad en la zona de estudio. Para ello, se empleó una metodología basada en aforos manuales, registrados en intervalos de 15 minutos durante tres días que no fueron afectados por eventos extraordinarios. Los datos geométricos fueron obtenidos en campo y luego procesados en el software VISSIM, utilizando la metodología propuesta por el Highway Capacity Manual (HCM) para determinar el nivel de servicio. El análisis se centró en identificar la composición vehicular y los puntos críticos de movilidad. Los resultados más relevantes mostraron que los vehículos livianos son los principales generadores de problemas de movilidad. Aunque se observó una leve disminución en su uso, el nivel de servicio de la intersección fue clasificado como "D", con el principal problema localizado en el punto de aproximación 4. Estos hallazgos permiten a las entidades de control aplicar medidas para mitigar los problemas de movilidad actualmente identificados.

Según Jaramillo y Espinel (2022), en su investigación “Análisis de tráfico y alternativas de solución para el congestionamiento vehicular en la intersección de la Avenida Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco en la ciudad de Quito a través del software PTV VISSIM, realizada en la PUCE – Quito”, se plantearon posibles soluciones aplicando conceptos de Ingeniería de Tráfico para resolver los problemas de congestión vehicular en dicha intersección. Para ello, la metodología empleada incluyó un análisis de la composición del tránsito vehicular actual. Con esta información, se generó un modelo en el software VISSIM para contrastar la situación actual de la intersección. A partir de este análisis, se plantearon tres soluciones para mejorar el flujo vehicular, destacando la opción de una intersección tipo paso inferior con rotonda. Los resultados más relevantes del estudio mostraron que esta solución ofrece un nivel de servicio tipo A, lo que

mejora la circulación, reduce la emisión de gases contaminantes y disminuye el consumo de combustible al evitar la formación de colas vehiculares.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Según Ccalli y Coronel (2023), en su estudio “Determinación del nivel de servicio y propuesta de mejora vial con software PTV VISSIM en la Av. Patricio Meléndez, tramo Av. Jorge Basadre Grohmann hasta Av. Industrial, provincia de Tacna – 2022”, se realizó un análisis de las intersecciones semaforizadas mediante el uso del software PTV VISSIM, que emplea un modelo de microsimulación para obtener el nivel de servicio en cada intersección de estudio. La metodología empleada consistió en el conteo vehicular, el análisis de la velocidad de viaje, el tiempo de semaforización y el uso del aforo vehicular, recopilando información a través de grabaciones, mediciones geométricas de las vías y fotografías de las avenidas en estudio. Los resultados mostraron que la intersección tiene un nivel de servicio "Tipo C", mientras que la intersección 02 tiene un nivel de servicio "Tipo B". Además, se observó que, en uno de los accesos de la Av. Patricio Meléndez con la Av. Jorge Basadre Grohmann, el nivel de servicio actual es "Tipo D", con un tiempo de demora de 50,07 segundos, lo que lo acerca al nivel "Tipo E", lo cual se debe al incremento vehicular proyectado en el futuro para la ciudad de Tacna.

Según Huanca (2019), en su investigación “Propuesta de mejora del diseño vial del óvalo La Curva de Chorrillos validado con el software Vissim 9.0, Lima-Perú”, realizada en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, el objetivo fue evaluar las condiciones de servicio, el diseño del óvalo y el tráfico vehicular en el óvalo La Curva, ubicado en Chorrillos, Lima-Perú. La metodología empleada consistió en un modelo microscópico simulado en el software Vissim 9.0, que se dividió en cuatro fases. En la primera fase, se realizó un análisis previo con la recolección y procesamiento de datos; en la segunda fase, se llevó a cabo el modelamiento inicial y la

microsimulación; la tercera fase se centró en analizar el diseño propuesto, evaluando parámetros de eficiencia vehicular, como tiempos de viaje, longitudes de cola y niveles de servicio; finalmente, en la cuarta fase, se evaluaron y compararon los resultados de la situación actual con la alternativa propuesta. Los resultados más relevantes indicaron que la propuesta busca optimizar el sistema de semaforización y modificar el nivel de una avenida con alto flujo vehicular, mostrando mejoras en los parámetros de servicio que podrían reducir la congestión vehicular.

Según Abanto U. (2024), en su investigación sobre la Determinación del nivel de servicio peatonal en los Jirones Pisagua y Del Comercio, Cajamarca, cuyo objetivo fue evaluar el nivel de servicio peatonal en los Jirones Pisagua Cdra. 5 y Del Comercio Cdras. 5, 6 y 7 en Cajamarca, considerando el flujo de peatones y la infraestructura vial, mediante la aplicación de los métodos del HCM (2016) y el software VISSIM (2023). La metodología empleada incluyó levantamientos topográficos, fichas de observación y de flujo peatonal para recolectar datos sobre las características geométricas y las condiciones semaforicas. El nivel de servicio peatonal se determinó mediante el software SYNCHRO 10 (HCM 2016) y VISSIM 2019. Los datos recolectados fueron procesados para calcular la capacidad vial y los niveles de servicio, así como las demoras. Los resultados más relevantes mostraron un nivel de servicio promedio de "C" en las intersecciones evaluadas, con un promedio de 218 peatones y velocidades promedio de 2.96 km/h (HCM 2016) y 2.76 km/h (VISSIM 2023). Además, se detectaron deficiencias en el ancho de las veredas, la presencia de rampas y la señalización horizontal y vertical. En base a esto, se propusieron medidas de mejora, como la instalación de rampas para discapacitados, señales podotáctiles y una correcta señalización.

2.1.3 Antecedentes locales

Según Calloquispe A. (2019), en su investigación “Análisis comparativo de la capacidad vial y niveles de servicio, usando metodologías determinísticas del HCM y modelos de seguimiento vehicular en VISSIM, caso de estudio: Av. La Cultura de la ciudad del Cusco”, realizada en la Universidad Andina del Cusco, el propósito fue contrastar dos enfoques para estimar las demoras y niveles de servicio: uno basado en el método determinístico del Manual de Capacidad Vial HCM 2010 y otro mediante un método de seguimiento vehicular, desarrollado en Alemania, simulado en un entorno virtual de tráfico. La metodología empleada consistió en comparar el método determinístico, que utiliza el software SYNCHRO basado en HCM 2010, con el método de seguimiento vehicular desarrollado por PTV, que emplea microsimulación de tráfico en un entorno virtual. Ambos métodos se utilizaron con los mismos datos de entrada para evaluar las demoras y niveles de servicio en las intersecciones, y los resultados fueron analizados y comparados. Los resultados más relevantes mostraron que los valores de demoras obtenidos fueron similares para ambos métodos, con diferencias menores al 10%. Sin embargo, la microsimulación permitió una mayor precisión y modeló mejor los comportamientos de circulación vehicular, especialmente en intersecciones con geometrías complejas, recomendándose su uso para escenarios no típicos debido a su flexibilidad superior frente al método determinístico.

Según Zapana (2021), en su investigación “Determinación de los niveles de servicio y la capacidad vial de las intersecciones semaforizadas y no semaforizadas de la Avenida Agustín Gamarra y Prolongación Avenida Grau, Cusco”, el objetivo fue analizar los niveles de servicio y la capacidad vial en las intersecciones, tanto semaforizadas como no semaforizadas, de la Avenida Agustín Gamarra y la Prolongación de la Avenida Grau en la ciudad del Cusco. La metodología empleada consistió en la toma de datos de campo, incluyendo aforos vehiculares durante las horas pico y levantamientos topográficos. Posteriormente, la información obtenida fue desagregada y

agrupada para calcular la capacidad vial y los niveles de servicio, utilizando el método determinístico del Highway Capacity Manual (HCM 2016) en el software SYNCHRO 10, y un modelo de seguimiento vehicular con el método probabilístico en el software VISSIM 2019. Los resultados mostraron que los niveles de servicio para las intersecciones semaforizadas y no semaforizadas eran similares cuando se compararon ambos métodos, con diferencias dentro de un rango aceptable, lo que valida la utilización de ambas metodologías para el análisis de intersecciones con características estandarizadas y no típicas.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Usuario

Según Cal y Mayor, Reyes Spíndola y Cárdenas Grisales (2018), los seres humanos, al ser los principales usuarios de los diversos sistemas de transporte, constituyen un elemento fundamental del tráfico en calles y carreteras. Por esta razón, es fundamental analizarlos y comprenderlos adecuadamente para poder dirigir y regular su comportamiento de manera eficaz. El modo en que el individuo actúa dentro del flujo vehicular suele ser un factor determinante que influye en las características del tránsito.

Por lo tanto, se puede afirmar que constituye la pieza fundamental dentro de un modelo de ingeniería de tránsito, en el cual se consideran los siguientes aspectos:

2.2.2 Peatón

Según el **Congreso de la Republica** (2009, 22 abril), se define como peatón a toda persona que transita por los espacios públicos desplazándose a pie, incluyendo, en este caso particular, a quienes hacen uso de una intersección con semáforo.

2.2.3 Conductor

El conductor es el individuo responsable de operar un vehículo, cuyo principal propósito es trasladar personas, mercancías o bienes desde un punto de partida hasta un lugar de destino. Para cumplir esta tarea, el conductor debe hacer uso adecuado y seguro de la infraestructura vial disponible, lo que incluye calles, avenidas, autopistas y demás elementos que componen la red urbana de transporte

2.2.4 Clasificación Vehicular

Cal y Mayor, Reyes Spíndola y Cárdenas Grisales (2018), señalan que los vehículos se clasifican en ligeros y pesados. Los vehículos ligeros cuentan con dos ejes y cuatro llantas, dentro de los cuales se incluyen automóviles, camionetas y otros similares. Por otro lado, los vehículos pesados tienen dos o más ejes e incluyen autobuses, camiones, entre otros.

De acuerdo con el Reglamento Nacional de Vehículos establecido mediante el Reglamento Nacional de Vehículos, establecido mediante el Decreto Supremo N.º 058-2003-MTC la clasificación de los distintos tipos de vehículos es la siguiente:

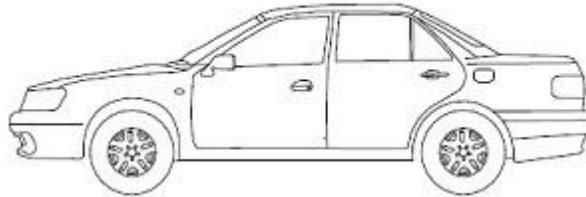
2.2.4.1 Categoría M

Corresponde a vehículos motorizados diseñados para el transporte de personas y su equipaje. Se subdividen en:

- Categoría M1: Vehículos diseñados para el transporte de personas con un máximo de nueve asientos, incluyendo el del conductor.

Figura 6

Vehículos de categoría M1, carrocería Sedan

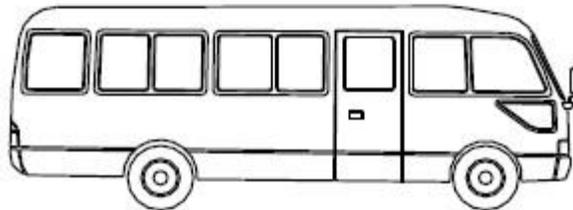


Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) - Clasificación de licencias de conducir.

- Categoría M2: Vehículos diseñados para el transporte de más de nueve pasajeros, incluyendo al conductor, con una masa máxima que no supera las 5 toneladas.

Figura 7

Vehículo de categoría M2, microbús

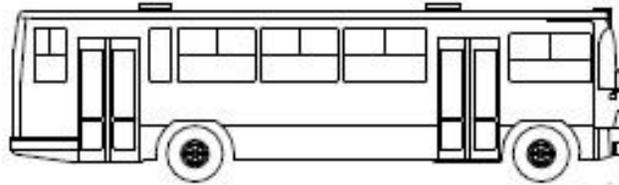


Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) - Clasificación de licencias de conducir.

- Categoría M3: Vehículos diseñados para transportar a más de nueve pasajeros, incluido el conductor, con una masa máxima superior a 5 toneladas.

Figura 8

Vehículo de categoría M3, ómnibus urbano



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) - Clasificación de licencias de conducir.

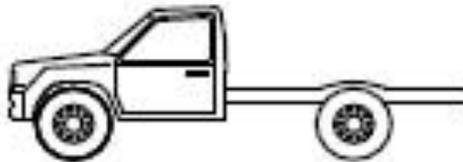
2.2.4.2 Categoría N

Incluye vehículos motorizados destinados al transporte de mercancías, con subdivisiones según su masa máxima:

- Categoría N1: Vehículos cuya masa máxima no supera las 3,5 toneladas.

Figura 9

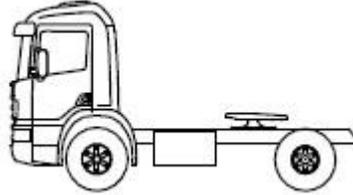
Vehículo de categoría N1, chasis cabinado



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) - Clasificación de licencias de conducir.

Figura 10

Vehículo de categoría N2, chasis cabinado

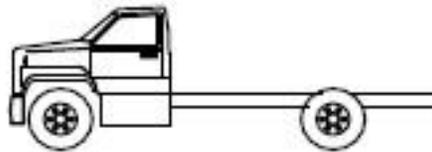


Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) - Clasificación de licencias de conducir.

- Categoría N2: Vehículos con una masa máxima mayor a 3.5 toneladas, pero que no supera las 12 toneladas.

Figura 11

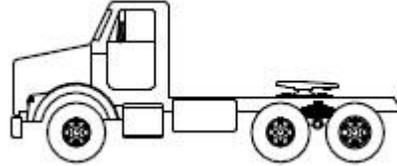
Vehículo de categoría N2 chasis cabinado



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) - Clasificación de licencias de conducir.

Figura 12

Vehículo de categoría N2 remolcador

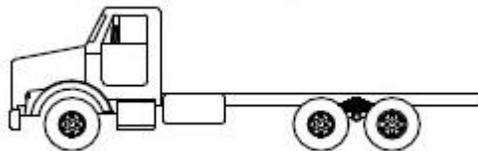


Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) - Clasificación de licencias de conducir.

- Categoría N3: Vehículos con masa máxima superior a 12 toneladas.

Figura 13

Vehículo de categoría N3 chasis cabinado



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) - Clasificación de licencias de conducir.

2.2.4.3 Categoría O

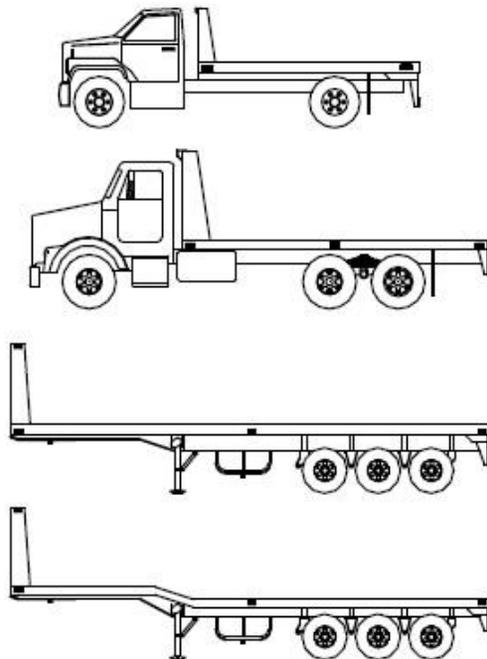
Comprende los remolques y semirremolques utilizados para transportar personas, mercancías o con fines de alojamiento. Se clasifican según su masa máxima:

- Categoría O1: Remolques con una masa máxima de 0.75 toneladas o menos.
- Categoría O2: Remolques cuya masa es mayor a 0.75 toneladas, pero no supera las 3.5 toneladas.

- Categoría O3: Remolques con una masa máxima superior a 3.5 toneladas, pero inferior o igual a 10 toneladas.
- Categoría O4: Remolques con una masa máxima que excede las 10 toneladas.

Figura 14

Vehículos de categoría N1, N2, N3, O1, O2, O3 Y O4 con plataforma



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) - Clasificación de licencias de conducir.

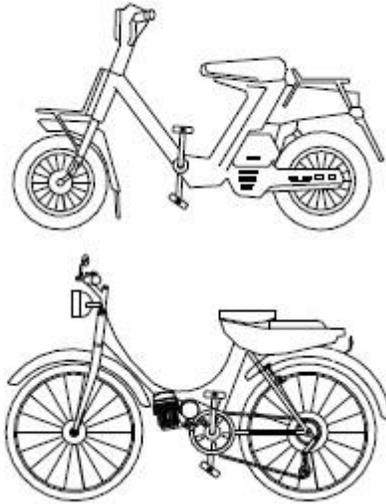
2.2.4.4 Categoría L

Incluye vehículos motorizados con menos de cuatro ruedas, clasificados según cilindrada y velocidad máxima:

- Categoría L1: Vehículos de dos ruedas con una cilindrada inferior a 50 cm³ y una velocidad máxima de 50 km/h.

Figura 15

Vehículos de categoría L1, bicimotos



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) - Clasificación de licencias de conducir.

- Categoría L2: Vehículos de tres ruedas con una cilindrada menor a 50 cm³ y una velocidad máxima de 50 km/h.

Figura 16

Vehículo de categoría L2, trimoto

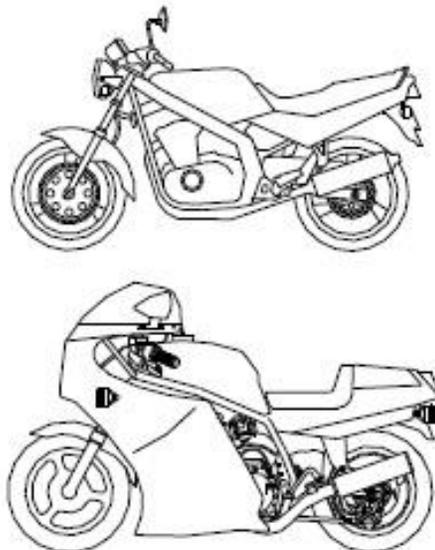


Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) - Clasificación de licencias de conducir.

- Categoría L3: Motocicletas de dos ruedas con una cilindrada mayor a 50 cm³ y capacidad para superar los 50 km/h.

Figura 17

Vehículos de categoría L3, motocicletas

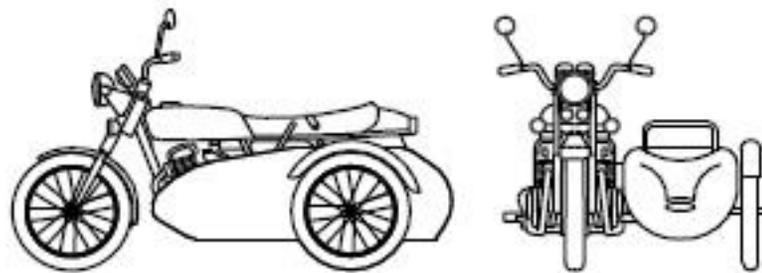


Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) - Clasificación de licencias de conducir.

- Categoría L4: Vehículos de tres ruedas con disposición asimétrica, cuya cilindrada excede los 50 cm³ y pueden alcanzar velocidades superiores a 50 km/h.

Figura 18

Vehículo de categoría L4, moto sidecar

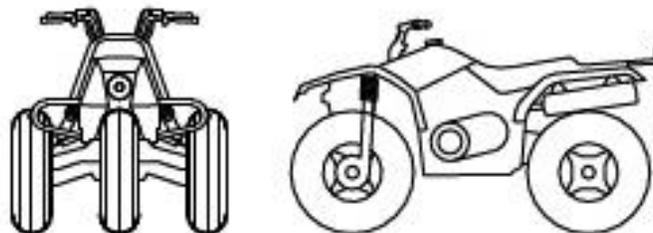


Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) - Clasificación de licencias de conducir.

- Categoría L5: Vehículos de tres ruedas con diseño simétrico, con una cilindrada mayor a 50 cm³ y una velocidad que supera los 50 km/h.

Figura 19

Vehículo de categoría L5, trimoto



Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC) - Clasificación de licencias de conducir.

2.2.4.5 Categoría T

Se incluyen en esta categoría aquellos vehículos de dos o más ejes que han sido diseñados específicamente para realizar tareas como remolcar, empujar o transportar implementos, maquinaria o remolques agrícolas.

2.2.5 Estructura del Sistema Vial Urbano en la Ciudad del Cusco

Según lo señalado por la Municipalidad Provincial del Cusco (2013), la estructura vial urbana de la provincia se organiza mediante un sistema jerárquico que diferencia varios niveles de vías: la red vial nacional, departamental, vecinal y urbana. Dentro de esta última, las calles se categorizan en función de su propósito y cobertura, dividiéndose en vías de primer orden, segundo orden y vías urbanas.

2.2.5.1 Categorías de Vías en la Red Urbana de Cusco

De acuerdo con la Municipalidad Provincial del Cusco (2013), las vías urbanas de la ciudad se agrupan en tres categorías principales: vías de primer orden, vías de segundo orden y vías locales. Cada una de estas clases posee características específicas en términos de capacidad de tránsito y función dentro del sistema vial de la ciudad.

2.2.5.1.1 Vías de Primer Orden

Estas carreteras están diseñadas para soportar un Índice Medio Diario Anual (IMDA) de entre 2,001 y 4,000 vehículos por día. Su infraestructura incluye una calzada con dos carriles, cada

uno con un ancho mínimo de 3.60 metros. En la mayoría de los casos, presentan intersecciones a nivel y, en zonas urbanas, se recomienda la instalación de puentes peatonales o, en su defecto, la implementación de medidas de seguridad vial que permitan garantizar una operación segura a las velocidades establecidas. Además, el pavimento debe garantizar condiciones óptimas para la circulación vehicular.

2.2.5.1.2 Vías de Segundo Orden.

Estas carreteras están planificadas para soportar un Índice Medio Diario Anual (IMDA) que varía entre 400 y 2,000 vehículos diarios. Disponen de una calzada con dos carriles, cada uno con un ancho mínimo de 2.80 metros. Al igual que las vías de primera categoría, pueden incluir intersecciones a nivel, y en zonas urbanas se sugiere la implementación de puentes peatonales o estrategias de seguridad vial que garanticen un tránsito seguro y eficiente. Además, la superficie de rodadura debe estar correctamente pavimentada para asegurar un adecuado desempeño vehicular.

2.2.5.1.3 Vías Urbanas

Las Vías Urbanas, está compuesta por las vías que forman parte del área urbana y se clasifica de acuerdo con sus características funcionales y técnicas, considerando factores como los sistemas de transporte disponibles, la capacidad vial, la demanda de tránsito y su vínculo con las actividades de la población. Esta red abarca vías expresas, arterias principales, arterias secundarias, vías colectoras, vías locales, ciclovías y rutas peatonales, cada una cumpliendo una función específica en la conectividad y el flujo del transporte dentro del entorno urbano.

Tabla 2

Clasificación de las vías de estudio

Vía	Clasificación vial
Avenida de la cultura	Vía de primer orden
Avenida Tomás Tuyru Tupac	Vía de segundo orden

2.2.6 Volumen de tránsito

El término tránsito se refiere al movimiento de distintos usuarios, como peatones y vehículos, que utilizan el espacio público a través de diversos medios de transporte. La calidad del transporte tiene un impacto directo tanto en las personas como en su entorno (Fernández A, 2011). Entre estos efectos, se encuentra el congestionamiento vehicular, que ocurre cuando las infraestructuras públicas, como calles, carreteras y aceras, no tienen la capacidad suficiente para soportar el volumen de tránsito existente.

Según Cal, R., & Cárdenas (2018), el volumen de tránsito se describe como la cantidad de vehículos o peatones que cruzan un punto determinado en un periodo específico, expresado a través de la siguiente ecuación:

$$q = \frac{N}{T}$$

Ecuación 1: Volumen de tránsito

2.2.6.1 Clasificación de los Volúmenes de Tránsito

Los volúmenes de tránsito fluctúan según las características de la infraestructura vial, por lo que es fundamental entender las distintas clases de volúmenes para adaptarlos al uso correspondiente de cada vía. Entre los tipos más comunes tenemos:

2.2.6.1.1 Volúmenes de tránsito absolutos o totales

Uno de los tipos más frecuentes se refiere al número total de vehículos que circulan por un punto determinado durante un periodo de tiempo específico.

- Tránsito Anual (TA). Cantidad total de vehículos que pasan durante un año.
- Tránsito Mensual (TM). Cantidad total de vehículos que pasan durante un mes.
- Tránsito Semanal (TS). Cantidad total de vehículos que pasan durante una semana.
- Tránsito Diario (TD). Cantidad total de vehículos que pasan durante un día.
- Tránsito Horario (TH). Cantidad total de vehículos que pasan durante una hora.

2.2.6.1.2 Volumen horario de máxima demanda.

Este tipo de volumen hace referencia al número máximo de vehículos que pasan por un punto durante un intervalo de 60 minutos. Este volumen es representativo de un día específico y es crucial para los estudios de tráfico (Cal, R., & Cardenas, 2018).

2.2.6.1.3 Tasa de flujo

Según Cal y Mayor, Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales (2018), la tasa de flujo se define como la periodicidad con la que los vehículos atraviesan un punto o una sección transversal de un carril o calzada. Se mide en unidades como vehículos por minuto (veh/min) o vehículos por segundo (veh/s), aunque también puede expresarse en vehículos por hora (veh/h). Es importante señalar que la tasa de flujo no debe confundirse con el volumen horario, ya que no refleja el total de vehículos que transitan a lo largo de una hora completa, sino que se estima a partir de intervalos de tiempo más cortos.

Para calcular la tasa de flujo, se utiliza la siguiente ecuación:

$$q = \frac{N}{T}$$

Ecuación 2: Ecuación de tasa de flujo

2.2.6.2 Características de los volúmenes de tránsito.

De acuerdo con Cal y Mayor, Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales (2018), el flujo vehicular es una variable dinámica, válida únicamente dentro del periodo en el que se realiza su medición. Sin embargo, sus fluctuaciones suelen presentar patrones cíclicos y repetitivos. Es imprescindible comprender estas particularidades para llevar a cabo estudios de tráfico precisos, establecer correlaciones entre los volúmenes registrados y anticipar posibles inconvenientes en la circulación.

2.2.6.3 Distribución y composición del volumen de tránsito

Según Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales (2018), la manera en que el tráfico se reparte en los distintos carriles de una vía se asemeja al comportamiento de un flujo de líquido en movimiento. En una carretera urbana con tres carriles, la evaluación del volumen vehicular se enfoca comúnmente en el carril central, ya que los laterales suelen verse afectados por detenciones de transporte público, vehículos de servicio o maniobras de giro. Como consecuencia, la movilidad en los carriles externos se vuelve menos eficiente. En cuanto a la composición del tráfico, este se desglosa en diversas categorías vehiculares, expresadas en función de su porcentaje dentro del volumen total registrado.

2.2.6.4 Variación del volumen de tránsito en la hora de máxima demanda

Según Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales (2018), indica que el comportamiento de los volúmenes de tránsito durante la hora de máxima demanda, especialmente en intersecciones, es generalmente repetitivo y consistente a lo largo de varios días de la semana. No obstante, este comportamiento puede variar de una calle a otra. Es fundamental conocer las variaciones dentro de la hora de máxima demanda y cuantificar la duración de estos flujos máximos para poder implementar medidas adecuadas como la prohibición de ciertos giros, la optimización de los ciclos semafóricos y otras soluciones.

El volumen horario de máxima demanda tiende a mantenerse relativamente estable en términos generales; sin embargo, esto no significa que el flujo sea uniforme a lo largo de toda la hora. En intervalos específicos dentro de ese período, las tasas de flujo pueden incrementarse de forma considerable. Este fenómeno se conoce como el factor de mayor afluencia vehicular (FHMD) y se calcula como el cociente entre el volumen de tráfico en la hora de máxima demanda (VHMD) y el caudal máximo (Q_{\max}) registrado en un periodo específico dentro de dicha hora.

$$FHMD = \frac{VHMD}{N(Q_{\max})}$$

Ecuación 3: Ecuación de factor de hora de máxima demanda

N: Numero de periodos durante la hora máxima demanda

2.2.7 Análisis de la Intensidad del Tráfico Vehicular

El proceso de aforo de tráfico en un punto específico de una vía proporciona datos importantes sobre el flujo vehicular, incluyendo la tipología de los vehículos y su movimiento a lo

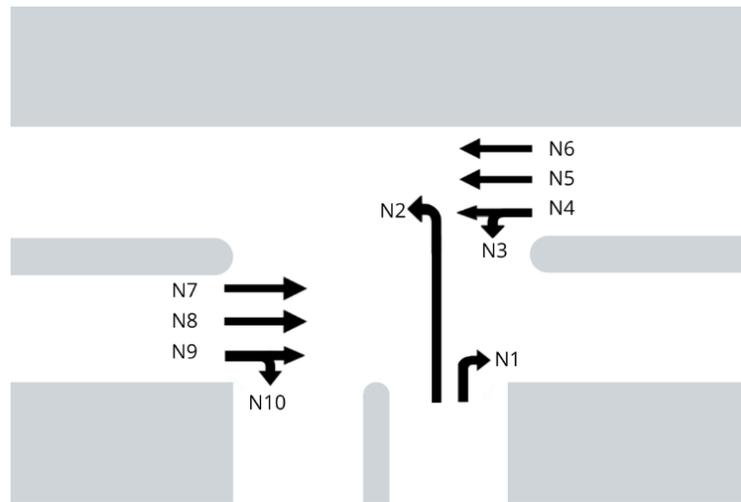
largo del tiempo y el espacio en esa sección de la vía. Estos datos son esenciales para realizar estudios de tránsito y planificar mejoras en la infraestructura vial (Tapia & Veizaga, 2006).

2.2.7.1 Proceso del Aforo.

El proceso de recolección de datos de tránsito varía según los movimientos direccionales y la composición vehicular, y depende de los periodos de conteo que pueden ser de corta o larga duración. El propósito de estos aforos es obtener un panorama claro del volumen de tránsito en diferentes momentos, utilizando técnicas que van desde aforos manuales hasta el uso de equipos electrónicos avanzados (Cal, R., & Cardenas, 2018).

Figura 20

Esquema de la intersección en T y los movimientos existentes



Fuente: Elaboración propia

2.2.7.2 Métodos de Medición del Tráfico

Existen diversos métodos para realizar aforos, entre los cuales destacan los siguientes:

2.2.7.2.1 Registro Manual del Flujo Vehicular

Este procedimiento se basa en la observación directa, donde un operario anota la cantidad y tipos de vehículos que circulan en un punto específico de la vía o en una intersección.

2.2.7.2.2 Registro Automatizado del Tráfico

Este enfoque utiliza dispositivos tecnológicos para la recopilación de datos vehiculares. Entre los más utilizados se encuentran:

- **Sensores Neumáticos:** Se instalan mangueras en la calzada que detectan la presión generada por el paso de los vehículos, transformándola en señales que permiten contabilizar el flujo vehicular (Tapia & Veizaga, 2006).
- **Contacto Eléctrico:** Una placa de acero recubierta con hule contiene una tira de acero flexible que cierra un circuito al ser presionada por las ruedas de los vehículos. Este dispositivo permite contar los vehículos por carril y dirección (Tapia & Veizaga, 2006)

2.2.7.2.3 Aforos con Equipos Electrónicos

Este enfoque resulta especialmente efectivo para evaluar altos volúmenes de tráfico, ya que facilita la grabación en video de los vehículos, lo que permite analizar posteriormente tanto los movimientos direccionales como la ocupación de los carriles. En este estudio, se ha utilizado este método para asegurar una mayor exactitud en la medición de los volúmenes de tránsito vehicular.

2.2.8 Tipología de Intersecciones

2.2.8.1 Intersección a Nivel

Las intersecciones a nivel son puntos donde dos o más vías se cruzan en un mismo plano horizontal. Este tipo de diseño permite tanto a vehículos como a peatones realizar maniobras para

cambiar de dirección, favoreciendo el flujo en las áreas compartidas. Su organización se rige por las normas de prioridad, que establecen el orden de paso en función de la llegada de los vehículos a la intersección, determinando quién debe ceder el paso.

2.2.8.1.1 **Intersecciones No Semaforizadas.**

Este tipo de intersección carece de semáforos u otros dispositivos de control de tráfico. En su lugar, el flujo se gestiona mediante normas de prioridad, las cuales dependen de la vía y del momento en que los vehículos llegan al cruce. Estas intersecciones pueden encontrarse en cruces de vías con la misma categoría o con diferentes niveles de jerarquía.

Figura 21

Intersección no semaforizada en T



Fuente: Sitio web “La sexta”

2.2.8.1.2 **Intersecciones Semaforizadas.**

Las intersecciones controladas por semáforos utilizan estos dispositivos para gestionar el flujo de vehículos y peatones, asignando prioridad a las distintas vías. Los semáforos pueden ser de varios tipos, como vehiculares, peatonales o especiales, según los requerimientos de regulación del tráfico en la intersección.

Figura 22

Gráfico de una intersección semaforizada



Fuente: Diseño operacional de semáforos

2.2.8.2 Intersecciones a Desnivel.

Las intersecciones a desnivel son estructuras donde las vías se cruzan en diferentes planos, permitiendo que los vehículos realicen movimientos sin interferencias. Este diseño minimiza los conflictos y optimiza el flujo vehicular, siendo especialmente útil en zonas con altos volúmenes de tráfico o donde la seguridad es una prioridad. Su implementación busca incrementar la capacidad y la eficiencia del tránsito, mejorando el nivel de servicio ofrecido.

Figura 23

Paso a desnivel en cruce de Panamericana Norte y avenida Los Alisos



Fuente: Sitio web “Andina” agencia peruana de noticias

2.2.9 Demanda Vehicular y capacidad vial

La demanda vehicular y la capacidad vial son dos factores clave para comprender los problemas de tránsito en las vías urbanas. La información sobre ambos aspectos es esencial para realizar un análisis adecuado del flujo de tráfico en una zona específica (Cal, R., & Cardenas, 2018).

2.2.9.1 Demanda Vehicular.

La demanda vehicular se refiere al número de vehículos que necesitan circular por un determinado sistema vial en un periodo de tiempo específico (Cal, R., & Cardenas, 2018).

2.2.9.2 Capacidad Vial

La capacidad vial se refiere a la cantidad máxima de vehículos que pueden circular por una determinada vía. Este límite está influenciado principalmente por la cantidad de carriles disponibles y la velocidad a la que los vehículos se desplazan en la vía.

2.2.9.3 Equilibrio entre Demanda Vehicular y Capacidad Vial

La interacción entre la demanda vehicular y la capacidad vial es un factor determinante para entender el comportamiento y desempeño del tráfico. A lo largo de un día, la demanda vehicular varía, mientras que la capacidad vial permanece constante. Esta variación puede influir en la fluidez del tránsito, como se muestra en los estudios comparativos de demanda y oferta vial (Cal, R., & Cardenas, 2018).

Según Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales (2018), se pueden identificar tres escenarios en relación con la demanda y la capacidad vial:

- Demanda vehicular < Capacidad vial: El flujo de tráfico no alcanza su capacidad máxima y los niveles de operación son desde excelentes hasta aceptables. Este escenario es el más deseable.
- Demanda vehicular = Capacidad vial: El sistema alcanza su capacidad máxima, lo que provoca un tránsito inestable y puede generar congestión.
- Demanda vehicular > Capacidad vial: El flujo de tráfico se ve forzado, con frecuentes detenciones y grandes demoras, lo que resulta en una situación no deseable.

2.2.10 Semáforos

2.2.10.1 Generalidades

Los semáforos son dispositivos utilizados para controlar el tráfico, regulando el flujo de vehículos y peatones a través de señales luminosas. Estas señales se presentan en tres colores: rojo, verde y ámbar. El color rojo indica que está prohibido circular para vehículos o peatones en la dirección señalada durante un tiempo determinado. El color verde permite el paso de vehículos o

peatones en la dirección indicada, también por un periodo específico. El color ámbar advierte a los conductores que deben reducir la velocidad y detenerse antes de entrar en la intersección.

2.2.10.2 Clasificación de Semáforos

De acuerdo con el tipo de usuario y el sistema de gestión del tráfico, los semáforos pueden clasificarse en distintas categorías.

2.2.10.2.1 Dispositivos Semafóricos para Vehículos

Los sistemas semafóricos destinados al control del tránsito vehicular están diseñados para optimizar la circulación de los automóviles en función del flujo de tráfico y la jerarquía de la vía.

Dentro de esta clasificación, se encuentran los siguientes tipos:

- **Semáforos fijos o predefinidos:** Funcionan con una secuencia de cambios de luces establecida previamente, donde las fases e intervalos pueden ajustarse, pero la programación de su operación mantiene una estructura rígida.
- **Semáforos sincronizados por el tránsito:** Estos semáforos están coordinados en todos los accesos a la intersección, considerando la demanda vehicular y utilizando detectores de vehículos y/o peatones para ajustar los tiempos de las fases del semáforo.
- **Semáforos adaptativos o inteligentes:** También llamados semáforos inteligentes, estos dispositivos ajustan automáticamente los tiempos de las fases del semáforo según el flujo vehicular. Recogen información a través de detectores de tráfico y envían los datos a una estación central para realizar ajustes en tiempo real

2.2.10.2.2 Semáforos para Peatones

Estos semáforos están diseñados específicamente para regular el paso de los peatones, asegurando que los cruces peatonales sean seguros y cómodos para quienes transitan a pie.

2.2.11 Nivel de servicio

Según Bañon (2000), en el análisis del tránsito, es fundamental contar con un indicador que permita evaluar el rendimiento de una intersección, teniendo en cuenta tanto la demanda vehicular como la capacidad vial. Este indicador se conoce como Nivel de Servicio, y se utiliza para medir la calidad de la vía, identificándose principalmente con la demora que experimenta el conductor. De acuerdo con el Manual de Capacidad de Carreteras, las intersecciones semaforizadas se evalúan en función de seis niveles de servicio, cada uno representando el grado de fluidez y eficiencia en la circulación vehicular. Estos niveles permiten medir la calidad del tránsito en función del tiempo de demora, la densidad del tráfico y la capacidad de la intersección.

2.2.11.1 Nivel de Servicio A.

En este nivel, se observa una operación con demoras muy bajas, de hasta 10 segundos por vehículo. Las relaciones volumen/capacidad (v/c) son mínimas, lo que implica que la mayoría de los vehículos llegan durante la fase verde y no se detienen por completo (Cal, R., & Cardenas, 2018).

Figura 24

Vía con nivel de servicio A



Fuente: Fotografía de Gargzdai lithuania 19 de abril de 2022

2.2.11.2 Nivel de Servicio B.

En este nivel, los tiempos de espera oscilan entre 10 y 20 segundos por vehículo. A pesar de que ciertos conductores deben realizar paradas momentáneas, la proporción entre la demanda vehicular y la capacidad de la intersección permanece reducida, lo que permite que el flujo de tránsito se mantenga en condiciones óptimas (Cal, R., & Cárdenas, 2018).

Figura 25

Vía con nivel de servicio B



Fuente: Fotografía extraída de la vía expresa, Lima

2.2.11.3 Nivel de Servicio C.

En esta categoría, los tiempos de demora oscilan entre 20 y 35 segundos por vehículo, manteniendo una relación volumen/capacidad menor a 1. Aunque el flujo vehicular sigue siendo aceptable, la eficiencia de algunos ciclos empieza a disminuir. Además, se observa un incremento notable en la cantidad de vehículos que deben detenerse (Cal, R., & Cárdenas, 2018).

Figura 26

Vía con nivel de servicio C



Fuente: Imagen extraída de una autopista en Milán, Italia

2.2.11.4 Nivel de Servicio D

En este nivel, las demoras están entre 35 y 55 segundos por vehículo y la relación volumen/capacidad es inferior a 1. Las demoras suelen ser causadas por un tránsito más congestionado. Un número considerable de vehículos debe detenerse, y el mal funcionamiento de los ciclos de semáforo se vuelve evidente (Cal, R., & Cardenas, 2018).

Figura 27

Vía con nivel de servicio D



Fuente: Imagen extraída de una autopista en CDMX

2.2.11.5 Nivel de Servicio E.

Se distingue por tiempos de demora que fluctúan entre 55 y 80 segundos por vehículo, con una relación volumen/capacidad que, aunque sigue siendo menor a 1, se encuentra en valores elevados. En esta etapa, las condiciones de circulación se tornan deficientes, lo que impacta negativamente en la fluidez del tráfico (Cal, R., & Cárdenas, 2018).

Figura 28

Vía con nivel de servicio E



Fuente: Página web, Bogotá cómo vamos

2.2.11.6 Nivel de Servicio F

Se presentan demoras superiores a 80 segundos por vehículo. Los flujos vehiculares que ingresan superan la capacidad vial de la intersección, lo que provoca congestión. En este caso, la relación volumen/capacidad es superior a 1 (Cal, R., & Cardenas, 2018).

Figura 29

Vía con nivel de servicio F



2.3 Metodología HCM 2010 para Intersecciones Semaforizadas

2.3.1 Introducción

La metodología HCM 2010 (Highway Capacity Manual 2010) proporciona un enfoque detallado para evaluar la capacidad y el rendimiento de las intersecciones semaforizadas. Esta metodología se basa en parámetros como el volumen de tráfico, la duración de las fases semafóricas y las características del flujo vehicular, permitiendo analizar la eficiencia de las intersecciones bajo diferentes condiciones de tráfico. Su aplicación es fundamental para el diseño y la optimización de sistemas de control de tráfico, contribuyendo a la mejora de la movilidad urbana. (Board, 2010).

2.3.1.1 Perspectivas de la metodología

El enfoque metodológico presentado en el capítulo 18 del Highway Capacity Manual (2010) está diseñado para evaluar el desempeño de intersecciones semaforizadas con tres o cuatro accesos, así como de vías donde los semáforos funcionan de manera independiente respecto a otras intersecciones cercanas. Para su correcta aplicación, es fundamental tener en cuenta ciertos aspectos generales, los cuales se describen a continuación:

2.3.1.1.1 Área de análisis

No se establece un límite rígido para el área de estudio de estas intersecciones, ya que su extensión es flexible y depende de la zona de influencia del flujo vehicular. Como referencia, se

recomienda que dicha área de influencia abarque al menos 76.2 metros desde la línea de detención en dirección opuesta al sentido de circulación.

2.3.1.1.2 Enfoques de análisis

Esta metodología se aplica en tres niveles:

- Operacional: Requiere la mayor cantidad de información detallada sobre las condiciones de tráfico, la geometría de la intersección y la señalización.
- Diseño: También requiere información detallada, pero su objetivo es determinar valores razonables para condiciones no proporcionadas.
- Planificación e ingeniería preliminar: Solo requiere información esencial y utiliza valores predeterminados como datos de entrada.

2.3.1.1.3 Periodo de estudio y periodo de análisis

Respecto a Highway Capacity Manual (2010), el período de estudio es el intervalo de tiempo en el que se evalúa el desempeño del tráfico y puede estar compuesto por uno o varios períodos de análisis consecutivos.

El intervalo de evaluación corresponde a un tiempo determinado en el que se implementa la metodología de estudio del tráfico. Se asume que, dentro de este periodo, las condiciones de circulación se mantienen estables, sin variaciones significativas a lo largo del tiempo. Debido a esta premisa, la duración de los intervalos de análisis suele situarse entre 15 minutos y 1 hora, siendo los más extensos empleados, por lo general, en investigaciones de planificación vial.

Es importante que el analista sea prudente al utilizar períodos de análisis superiores a 1 hora, ya que las condiciones del tráfico pueden variar significativamente en lapsos prolongados.

Además, los picos breves en la demanda de tráfico podrían no reflejarse adecuadamente en la evaluación.

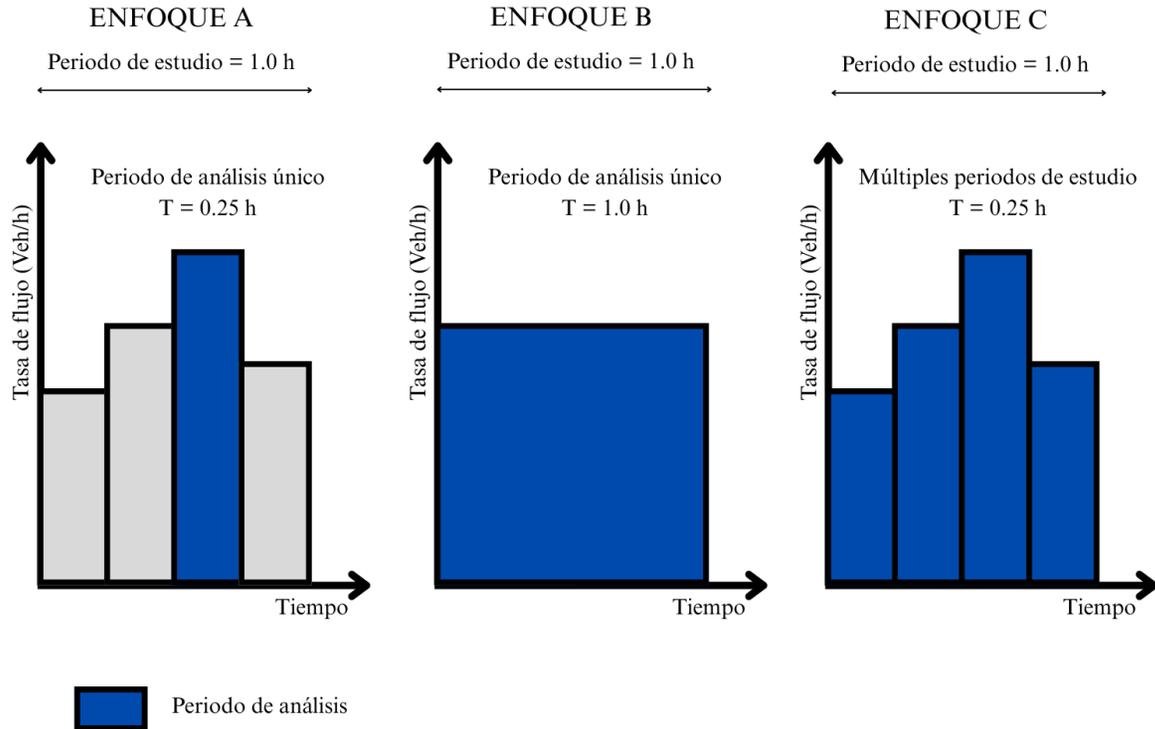
Si en un período de análisis la demanda de tráfico supera la capacidad de la vía, el período de estudio debe incluir un período inicial sin acumulación de vehículos y un período final sin congestión residual. Esto permite obtener una estimación más precisa del tiempo de demora causado por la congestión.

Cuando se requiere analizar varios períodos de análisis, es fundamental reportar los resultados por separado. En estos casos, no se recomienda calcular un promedio del período de estudio, ya que esto podría ocultar valores extremos y dar una impresión errónea de un funcionamiento aceptable, cuando en realidad algunos períodos pueden presentar niveles de servicio deficientes.

La figura 30 presenta tres posibles estrategias para llevar a cabo la evaluación. Existen otras alternativas, y el período de estudio puede superar 1 hora si es necesario. Sin embargo, el Enfoque A es el más utilizado tradicionalmente y se recomienda su uso, salvo que haya una justificación para emplear otro método.

Figura 30

Enfoques de estudio según el HCM



Fuente: Traducido del capítulo 18 del HCM

- El Enfoque A se centra en analizar el intervalo de mayor demanda dentro de un período de estudio, tomando como referencia los 15 minutos más críticos. En este método, el tiempo de evaluación (T) equivale a 0.25 horas. Para obtener la tasa de flujo horario expresada en vehículos por hora (veh/h), se emplean dos estrategias de cálculo: multiplicar por cuatro el número de vehículos contabilizados en el período pico de 15 minutos o dividir el volumen total registrado en una hora entre el factor de la hora pico. Se prefiere la primera opción cuando se dispone de conteos de tráfico. Se proporciona una discusión adicional sobre el uso del factor de la hora pico en la subsección de datos de entrada requeridos.

- Enfoque B se basa en la evaluación de un período de análisis de 1 hora, el cual coincide exactamente con el tiempo total del estudio. En este caso, el intervalo de evaluación (T) es de 1.0 hora, y la tasa de flujo utilizada corresponde directamente al volumen de demanda registrado en ese lapso, sin necesidad de aplicar un factor de ajuste para la hora pico. Este método parte del supuesto de que la llegada de vehículos se mantiene constante a lo largo de la hora analizada. No obstante, esta premisa puede generar una subestimación de los niveles de congestión y retraso, ya que no captura los picos de demanda que pueden ocurrir dentro de la hora de estudio.
- Enfoque C, en cambio, trabaja con un período de evaluación de 1 hora, pero lo desglosa en cuatro intervalos de 15 minutos cada uno (0.25 horas). A través de este método, es posible analizar de manera más detallada las fluctuaciones en la tasa de flujo dentro del período de estudio. Además, permite considerar el impacto de las colas acumuladas entre intervalos, lo que proporciona una estimación más realista de los retrasos experimentados por los vehículos.

2.3.1.1.4 Medidas de desempeño

El rendimiento de una intersección se evalúa a través de diversas métricas cuantitativas, tales como la relación volumen/capacidad, las longitudes de las colas y las demoras, entre otras. En este caso, se empleará el nivel de servicio como indicador de desempeño, tal como se establece en el ítem 2.2.9 de este manual.

2.3.1.1.5 Modos de viaje

En el capítulo 18 del Highway Capacity Manual (2010), se describen tres metodologías para evaluar el desempeño de las intersecciones: la metodología del automóvil, la del peatón y la

del ciclista. Dado que esta tesis se enfoca en el tráfico vehicular, se utilizará la metodología del automóvil.

2.3.1.2 Datos de entrada requeridos.

Según el **Highway Capacity Manual (2010)**, los datos necesarios para aplicar la metodología en intersecciones semaforizadas se clasifican en varias categorías, como las características del tráfico, el diseño geométrico y la semaforización. Estos datos incluyen:

Tabla 3

Datos de entrada

Categoría de dato	Dato de entrada
Características del tráfico	<ul style="list-style-type: none">• Tipo de área.• Duración del periodo de análisis.• Tasa de flujo de demanda.• Porcentaje de vehículos pesados.• Factor de hora pico en la intersección.• Cola inicial.• Tasa de flujo de saturación base.• Factor de ajuste por utilización de carril.• Tasa de flujo peatonal.

Diseño geométrico	<ul style="list-style-type: none"> • Número de carriles. • Ancho promedio de carriles. • Número de carriles receptores. • Pendiente del acceso.
Semaforización	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de señal • Secuencia del ciclo. • Modo operativo de giro a la izquierda. • Duración verde.
Otros	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de área • Duración del periodo de análisis

2.3.1.2.1 Propiedades del tráfico.

El análisis de las características del tráfico implica considerar diversos factores esenciales para evaluar el funcionamiento de una intersección. Entre estos, uno de los más relevantes es la tasa de flujo de demanda, la cual se define como la cantidad de vehículos que acceden a la intersección dentro del lapso de estudio, dividida entre la duración de dicho período.

- **Tasa de flujo de demanda**

Este indicador refleja la cantidad de vehículos que transitan por la intersección en el tiempo de análisis, determinada al dividir el número total de vehículos observados en ese intervalo entre su duración. Es importante destacar que este cálculo no incorpora el factor de la hora pico y se expresa

en términos de flujo vehicular por hora, conforme a lo establecido en el Highway Capacity Manual (2010).

- **Tasa de flujo de vehículos que giran a la derecha en rojo.**

Este parámetro mide la proporción de vehículos que ejecutan giros a la derecha mientras el semáforo se encuentra en rojo. Para su cálculo, se divide el número total de estos movimientos entre la duración del período de estudio, permitiendo así una evaluación más precisa del comportamiento del tráfico en la intersección. Su estimación es complicada, ya que depende de múltiples factores variables, como la visibilidad de los conductores que realizan el giro, la relación volumen/capacidad de los movimientos en conflicto, la presencia de peatones y los patrones de llegada de los vehículos que giran a la derecha. Debido a estas variaciones, se recomienda obtener datos en campo en lugar de utilizar valores estándar para este parámetro (Highway Capacity Manual, 2010).

- **Porcentaje de vehículos pesados.**

El porcentaje de vehículos pesados representa la fracción de este tipo de unidades que acceden a una intersección dentro del período de estudio, en comparación con el total de vehículos observados en ese mismo intervalo de tiempo. Este indicador permite evaluar la influencia de los vehículos pesados en el flujo de tráfico y en el desempeño de la intersección, según lo establecido en el Highway Capacity Manual (2010).

Según el Highway Capacity Manual (2010), un vehículo pesado se define como aquel que cuenta con más de cuatro ruedas en contacto con el pavimento. Debido a esta clasificación, los buses locales no se incluyen dentro de esta categoría.

- **Factor de hora de máxima demanda en la intersección.**

De acuerdo con Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales (2018), el factor de la hora pico es un indicador que permite caracterizar el flujo vehicular durante los períodos de mayor demanda. Refleja la distribución de los picos de tráfico dentro de una hora de análisis (pág. 180).

Este concepto refleja que el ingreso de vehículos a una intersección no se distribuye de manera homogénea durante toda la hora de análisis. Para cuantificar esta variabilidad, se utiliza el factor de hora pico, también denominado factor de máxima demanda, el cual se calcula aplicando la Ecuación 4.

$$FHP = \frac{n_{60}}{4n_{15}}$$

Ecuación 4: Factor de hora de máxima demanda en la intersección

Donde:

FHP: factor de hora pico

n_{60} : cantidad de vehículos que llegan a la intersección durante un periodo de una hora (veh)

n_{15} : cantidad de vehículos que llegan a la intersección durante el periodo pico de 15 minutos (veh)

El cálculo del factor de hora pico se lleva a cabo inicialmente para la intersección en su conjunto y, posteriormente, se asigna a cada uno de los movimientos vehiculares que la conforman. Este factor suele presentar valores dentro de un rango que varía entre 0.80 y 0.95. (Alferes Hualverde & Díaz Quiroz, 2020, pág. 57).

- **Factor de ajuste por ingreso de vehículos provenientes de intersecciones semaforizadas cercanas.**

El factor considera el impacto que tiene un semáforo cercano sobre el flujo vehicular que llega a la intersección en estudio. En términos específicos, representa cómo un semáforo ubicado aguas arriba influye en la cantidad de vehículos que ingresan a la intersección en cada ciclo semafórico (Alferes Hualverde & Díaz Quiroz, 2020, págs. 57-58).

- **Cola inicial.**

Cuando una intersección experimenta una condición de sobresaturación prolongada, combinada con el impacto de la luz roja del semáforo, se forman acumulaciones de vehículos en espera. La existencia de estas filas al comienzo del período de análisis disminuye la eficiencia operativa de la intersección, lo que hace imprescindible incorporar este factor en las estimaciones y evaluaciones del desempeño del tráfico. (Alferes Hualverde & Díaz Quiroz, 2020, pág. 58).

- **Tasa de flujo de saturación base.**

Según el Highway Capacity Manual (2010), la tasa de flujo de saturación base representa la cantidad máxima de vehículos que pueden cruzar un carril durante el tiempo en que el semáforo está en verde. Este valor se obtiene bajo condiciones ideales, considerando un carril con un ancho de 3.6 metros y sin la presencia de factores que puedan afectar el flujo, como vehículos pesados, paradas de transporte público, zonas de estacionamiento o maniobras de giro..

El HCM (2010) sugiere valores predeterminados para este parámetro según el contexto:

- 1,900 veh/h/carril en áreas metropolitanas con población que sea mayor o igual a 250,000 habitantes.
- 1,750 veh/h/carril en otros entornos.

- **Factor de ajuste por utilización de carril.**

Este factor refleja la variabilidad en la distribución del tráfico en los carriles dentro de un grupo de movimientos con más de un carril exclusivo. Ajusta la tasa de flujo de saturación base al considerar el uso desigual de los carriles. Su aplicación es necesaria únicamente cuando el grupo de movimiento analizado cuenta con más de un carril exclusivo y se determina mediante una ecuación específica.

$$f_{LU} = \frac{v_g}{N_e v_{gl}}$$

Ecuación 5: Factor de ajuste por utilización de carril

Donde:

f_{LU} : factor de ajuste por utilización de carril

v_g : tasa de flujo de demanda para el grupo de movimiento (veh/h).

v_{gl} : tasa de flujo de demanda para el carril exclusivo con el mayor flujo entre todos los carriles exclusivos del grupo de movimiento (veh/h).

N_e : número de carriles exclusivos en el grupo de movimiento.

- **Tasa de flujo peatonal**

Se define como la cantidad de peatones que cruzan la intersección en cada dirección durante el periodo de análisis (Alferes Hualverde & Díaz Quiroz, 2020, pág. 59).

- **Tasa de parada de buses**

Según Cal y Mayor Reyes Spíndola & Cárdenas Grisales (2018), esta tasa representa la cantidad de autobuses que realizan paradas dentro del área de análisis, afectando el flujo vehicular en un grupo de movimiento específico. Dicha área abarca desde la línea de parada hasta una distancia de 76.2 metros antes de la intersección. En casos donde el número de autobuses que se detienen para recoger o dejar pasajeros supera los 250 por hora, se sugiere emplear este valor como umbral máximo para evaluar su impacto en la circulación.

2.3.1.2.2 Diseño geométrico

Los datos en esta categoría recopilan información sobre las características geométricas de la intersección que influyen en el tránsito. El Highway Capacity Manual (HCM) 2010 identifica cuatro elementos clave:

- Número de carriles

Hace referencia a la cantidad de carriles habilitados en la intersección para el tránsito vehicular.

Pueden ser:

- **Carriles exclusivos:** destinados a un solo tipo de movimiento (recto o de giro).
- **Carriles compartidos:** permiten tanto movimientos rectos como giros.

- Ancho promedio de carriles

Es la medida promedio de los carriles dentro de un grupo de movimientos. Según el HCM 2010, el ancho estándar es de 3.6 metros, mientras que el mínimo aceptable es 2.4 metros. Si un carril mide más de 4.8 metros, podría considerarse como dos carriles dependiendo de su uso previsto.

- Número de carriles receptores.

Corresponde a la cantidad de carriles hacia los cuales se dirigen los vehículos que atraviesan la intersección tras realizar un movimiento determinado (Alferes Hualverde & Díaz Quiroz, 2020, pág. 59).

- Pendiente del acceso.

Describe la inclinación promedio del acceso a la intersección, medida desde la línea de parada hasta 30 metros aguas arriba (Alferes Hualverde & Díaz Quiroz, 2020, pág. 59).

2.3.1.2.3 SemafORIZACIÓN.

Incluye datos sobre los dispositivos de control de tráfico que regulan la intersección.

- Tipo de señal
- Secuencia de fases
- Modo operativo de giro a la izquierda

Dentro del modo operativo de giro a la izquierda en la intersección existen tres modos:

- **Protegido:** el giro se realiza sin conflictos, ya que el resto de los movimientos tienen la señal en rojo.
- **Permitido:** los vehículos deben ceder el paso a otros antes de completar el giro.
- **Protegido-permitido:** combinación de los dos anteriores, con un tiempo asignado tanto para el giro seguro como para el giro condicionado al tráfico circundante.
 - a. Duración de verde
 - b. Intervalo amarillo
 - c. Intervalo de despeje o todo rojo.

2.3.2 Estructura de la metodología

El estudio de intersecciones reguladas por semáforos con tiempos preestablecidos o de control fijo se lleva a cabo mediante una metodología definida por (Board, 2010). A continuación, se describe detalladamente cada uno de los pasos que componen esta metodología, que está diseñada para evaluar el rendimiento de la intersección y su impacto en el flujo vehicular.

2.3.2.1 Paso 1: Determinación de grupos de movimiento y grupos carril.

El propósito de este primer paso es identificar y clasificar los grupos de movimiento y los grupos de carril que pueden surgir en la intersección semaforizada. Las pautas para su asignación son las siguientes:

2.3.2.1.1 Grupo de Movimiento.

Un grupo de movimiento se asigna a los giros que están destinados a uno o más carriles exclusivos y no compartidos. Los carriles que no se asignan a un grupo de movimiento según la regla anterior se agrupan para formar un nuevo grupo de movimiento.

2.3.2.1.2 Grupo Carril

- Los carriles exclusivos para giros a la izquierda o a la derecha son asignados como grupos carril.
- Los carriles compartidos (para movimiento de frente y giro) también deben formar un grupo carril.
- Los carriles que no son exclusivos ni compartidos se agrupan para formar un grupo carril.

Los grupos de carril que pueden formarse incluyen:

- Carril o carriles exclusivos para giro a la izquierda.
- Carril o carriles exclusivos para movimiento de frente.
- Carril o carriles exclusivos para giro a la derecha.
- Carriles compartidos para los movimientos de frente y giro a la izquierda, o frente y giro a la derecha.

Figura 31

Configuraciones típicas de carriles para el análisis

Número de carriles	Movimiento por carril	Grupos de movimiento	Grupos de carriles
1	Izquierda, de frente y derecha:	GM1:	GC1:
2	Giro exclusivo a la izquierda: De frente y derecha:	GM1: GM2:	GC1: GC2:
2	Izquierda y recto: De frente y derecha:	GM1:	GC1: GC2:
3	Giro exclusivo a la izquierda: Giro exclusivo a la izquierda: De frente: De frente: De frente y derecha:	GM1: GM2:	GC1: GC2: GC3:

Fuente: Traducido del HCM, capítulo 18

2.3.2.2 Paso 2: Determinación de la tasa de flujo de los grupos de movimiento.

En este paso, se calcula la tasa de flujo de cada grupo de movimiento en la intersección, lo que permite evaluar el volumen de tráfico que cada grupo de movimiento puede manejar en función de su capacidad.

2.3.2.3 Paso 3: Determinación de la tasa de flujo de los grupos de carril.

Este paso se centra en calcular la tasa de flujo de los grupos de carriles, lo que consiste en determinar la cantidad de vehículos que pueden circular por cada carril, considerando las características geométricas y el tipo de uso de cada carril (exclusivo, compartido, etc.).

2.3.2.4 Paso 4: Determinación de la tasa de flujo de saturación ajustada.

La tasa de flujo de saturación ajustada es un factor crucial para entender la capacidad de cada grupo carril. Este valor se ajusta mediante varios factores específicos de la intersección, como el ancho del carril, la presencia de vehículos pesados, pendientes en el acceso, estacionamiento, paradas de autobuses, y otros.

$$s = s_o f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb}$$

Ecuación 6: Ecuación de tasa de flujo de saturación ajustada

- s : tasa de flujo de saturación ajustada (veh/h/carril).
- s_o : tasa de flujo de saturación base (veh/h/carril).
- f_w : factor de ajuste por ancho de carril.
- f_{HV} : factor de ajuste por presencia de vehículos pesados.
- f_g : factor de ajuste por pendiente del acceso.
- f_p : factor de ajuste por presencia de estacionamiento de vehículos.
- f_{bb} : factor de ajuste por presencia de parada de buses.
- f_a : factor de ajuste por tipo de área.
- f_{LU} : factor de ajuste por utilización de carril.
- f_{LT} : factor de ajuste por presencia de giro a la izquierda.
- f_{RT} : factor de ajuste por presencia de giro a la derecha.
- f_{Lpb} : factor de ajuste por presencia de peatones en giro a la izquierda.
- f_{Rpb} : factor de ajuste por presencia de peatones en giro a la derecha.

2.3.2.5 Paso 5: Determinación de la capacidad y la relación volumen-capacidad.

En este paso, se calcula la capacidad de cada grupo de carriles y se analiza la relación entre el volumen de vehículos que circulan y la capacidad total de la intersección. Esta relación es clave para determinar si la intersección funciona de manera eficiente o si está operando a su máxima capacidad, lo que podría generar congestión.

$$c = N \cdot s \cdot \frac{g}{C}$$

Ecuación 7: Ecuación de capacidad vial

c: Capacidad del grupo carril (veh/h)

N: número de carriles del grupo carril

g: Tiempo de verde efectivo (s)

C: Longitud del ciclo semafórico (s)

s: tasa de flujo de saturación ajustado (veh/h)

2.3.2.6 Paso 6: Determinación de demora.

Las demoras son cruciales para evaluar el impacto de los semáforos y el flujo de tráfico. Se calculan varios tipos de demoras:

$$d = d_1 + d_2 + d_3$$

Ecuación 8: Ecuación de demora media por control

d: Demora media por control (s/veh).

d1: demora uniforme (s/veh).

d2: demora incremental (s/veh).

d3: demora por cola inicial (s/veh).

- Demora uniforme: Demora que ocurriría si los vehículos llegaran de manera uniforme sin que se produzca saturación.
- Demora incremental: Refleja el impacto de la sobrecarga de tráfico que ocurre cuando algunos ciclos se sobresaturan.
- Demora por cola inicial: Se toma en cuenta la demora adicional que ocurre cuando existe una cola de vehículos antes de que comience el análisis del ciclo.

2.3.2.7 Paso 7: Determinación de niveles de servicio.

Finalmente, se determina el nivel de servicio de la intersección, los grupos de movimiento, y los grupos carril. Este nivel se clasifica según los valores establecidos en una tabla de niveles de servicio, que permite identificar la eficiencia y el desempeño de la intersección.

2.4 Modelación del Tránsito

La modelización del tránsito es una herramienta que posibilita simular de forma virtual el comportamiento de los flujos de vehículos y peatones, utilizando software especializado. Esta técnica es esencial para analizar y prever la dinámica del tráfico en diversos escenarios, facilitando la evaluación de cambios en la infraestructura vial, la gestión de semáforos, el diseño de intersecciones y la optimización de la circulación de vehículos y peatones. Existen distintos tipos de modelización del tránsito, que varían en su naturaleza, aleatoriedad y nivel de detalle, lo que permite adaptar los modelos a las características específicas de cada estudio o proyecto.

2.4.1 Tipos de modelación del tránsito

En el presente trabajo de investigación se abordarán los principales tipos de modelos utilizados para el estudio de intersecciones semaforizadas

2.4.1.1 Modelos según su naturaleza

2.4.1.1.1 Modelos Continuos.

En estos modelos, las variables utilizadas varían de manera continua a lo largo del tiempo. Un ejemplo de ello son la velocidad de los vehículos o las longitudes de las colas, que se modifican de forma gradual durante el transcurso del análisis.

2.4.1.1.2 Modelos Discretos.

Los modelos discretos son aquellos en los que las variables cambian de forma instantánea en momentos específicos del tiempo. Un ejemplo claro es el comportamiento individual de los vehículos, que realiza movimientos direccionales en intervalos discretos de tiempo.

2.4.1.2 Modelos según su aleatoriedad

2.4.1.2.1 Modelos Determinísticos.

Según el Highway Capacity Manual (2010), en los modelos determinísticos, la solución es única para las condiciones dadas, ya que las variables de entrada son conocidas y predecibles. Esto permite que el análisis proporcione resultados exactos bajo las condiciones establecidas.

2.4.1.2.2 Modelos Estocásticos.

Por el contrario, los modelos estocásticos consideran que las variables de entrada son aleatorias, lo que significa que la solución no es única, sino un conjunto de posibles soluciones. Estos modelos tienden a aproximarse mejor al comportamiento real del tráfico, ya que incorporan la incertidumbre inherente al sistema. (Board, 2010).

2.4.1.3 Modelos según su nivel de detalle.

Los modelos de tránsito se diferencian también por el nivel de detalle con el que representan los flujos vehiculares. A continuación, se describen los principales enfoques según este criterio

2.4.1.3.1 Modelos Macroscópicos.

Estos modelos representan grandes grupos de vehículos sin considerar las características individuales de cada uno. Permiten analizar el tráfico de manera rápida y eficiente, lo que los hace útiles para proyectos que requieren soluciones en corto plazo. Sin embargo, no permiten un análisis detallado del comportamiento de los vehículos o los conductores (Elefteriadou, 2014).

2.4.1.3.2 Modelos Microscópicos.

Estos modelos replican los flujos de tráfico con un alto grado de precisión, considerando las características individuales de cada vehículo y su comportamiento en la red vial. Son especialmente valiosos para estudios de tráfico detallados, como el análisis de intersecciones particulares o la evaluación de cómo los cambios en la infraestructura afectan el tráfico.

2.4.1.3.3 Modelos Mesoscópicos.

Los modelos mesoscópicos integran aspectos tanto de los modelos macroscópicos como microscópicos. En estos modelos, se examina un grupo limitado de vehículos, pero se tienen en cuenta ciertas características individuales, como los movimientos realizados, los tiempos de entrada y salida de las intersecciones, entre otros.

2.4.2 Micro simulación del tránsito

Los modelos microscópicos son utilizados en numerosos proyectos de tránsito en base a sus características distintivas. La micro simulación se ha consolidado como una herramienta eficaz para examinar de manera detallada los datos, especialmente en el análisis del comportamiento individual de los vehículos y sus interacciones con otros. Esto proporciona información más precisa y realista. Hoy en día, existen diversos programas informáticos para micro simulación, entre los cuales se destacan AIMSUN ,VISSIM, SIMTRAFFIC, entre otros.

2.4.3 Fundamentos de la micro simulación

Los fundamentos de la microsimulación constituyen la base para modelar de manera efectiva, abordando los siguientes conceptos clave:

2.4.3.1 Nivel de aleatoriedad en el flujo vehicular.

La aleatoriedad en la micro simulación se puede dividir en modelos estocásticos y determinísticos. Los modelos estocásticos se acercan más a la realidad, ya que analizan el comportamiento del tráfico a través de distribuciones estadísticas que tienen en cuenta las variaciones en el estilo de conducción de los usuarios. Por otro lado, los modelos determinísticos son más rígidos y no capturan las diferencias individuales en los patrones de manejo de los conductores.

2.4.3.2 Número de semilla.

El número de semilla es el valor aleatorio inicial utilizado en un análisis. A partir de este valor, se generan diferentes patrones de comportamiento mediante números aleatorios. Este valor está relacionado con el tipo de vehículo y el estilo de conducción. Al cambiar el número de semilla, se crean nuevos escenarios que posibilitan la exploración de distintas situaciones en el modelo.

2.4.3.3 Número de corridas.

El número de semilla tiene un impacto directo en la cantidad de simulaciones requeridas para un análisis de micro simulación. Cada simulación representa una ejecución diferente del modelo, y los resultados obtenidos tienden a aproximarse a la media estadística. Para establecer la cantidad adecuada de simulaciones, es necesario realizar un análisis estadístico utilizando una muestra representativa que refleje a la población objetivo.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Ecuación 9: Ecuación de desviación estándar

S: Desviación estándar

X: Resulta el parámetro de eficiencia de una corrida específica

\bar{x} : Media del parámetro en todas las corridas

n: Numero de corridas

El número mínimo de simulaciones necesarias depende de la variabilidad de las medidas de efectividad y del margen de error que se considere aceptable. En general, se recomienda realizar entre 5 y 20 simulaciones, aunque en casos de asignaciones más complejas puede ser necesario realizar más de 20.

2.4.3.4 Warm-up (tiempo de estabilidad)

El warm-up es la fase inicial de la simulación en la que el modelo alcanza un equilibrio, a medida que los flujos vehiculares y peatonales comienzan a ingresar de manera progresiva. La duración de este periodo debe ser lo suficientemente larga para que las variables del modelo se estabilicen antes de iniciar la calibración. La FHWA sugiere un mínimo de 10 minutos para este proceso. Una

vez completado el warm-up, se procede a evaluar indicadores de eficiencia, como los volúmenes de tráfico, los tiempos de viaje y las longitudes de cola. La representación gráfica del warm-up muestra un aumento gradual del flujo vehicular hasta llegar a un estado estable.

2.4.3.5 Interacción de vehículos

La interacción entre los vehículos es un componente clave en los modelos microscópicos. Esta interacción se examina a través de modelos que analizan el comportamiento de los conductores en cuanto a su decisión de seguir a otros vehículos y cambiar de carril. Los modelos de seguimiento describen cómo los conductores ajustan su velocidad, aceleran o desaceleran, mientras que los modelos de cambio de carril reflejan la necesidad de los conductores de moverse a otro carril, ya sea por su estilo de conducción o por la presencia de vehículos más lentos.

2.4.3.6 Calibración del modelo

La calibración del modelo implica realizar comparaciones repetidas entre los resultados simulados y los valores reales, ajustando los parámetros del modelo para obtener una representación más exacta de la realidad.

El proceso de calibración involucra los siguientes pasos:

2.4.3.6.1 Definir parámetros de efectividad

Determinar variables como tiempos de viaje, velocidades y longitudes de cola.

2.4.3.6.2 Pruebas estadísticas:

$$\bar{x} = \frac{(x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + \dots + x_n)}{n}$$

Ecuación 10: Ecuación promedio de “n” datos

- \bar{x} : promedio “n” de datos
- n: datos

Si $n < 30$

$$IC = \bar{X} + t\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot N - 1 \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Ecuación 11: Ecuación intervalo de confianza

2.4.3.6.3 Comprobación de la calibración

El modelo se considera calibrado si los valores simulados caen dentro del intervalo de confianza calculado a partir de los datos observados en campo.

2.4.4 Modelos de seguimiento vehicular (car following models)

Los modelos de seguimiento vehicular tienen como objetivo analizar cómo reacciona un conductor al seguir a otro vehículo. Algunos de los modelos más conocidos son el de General Motors, el modelo de Gipps y el modelo de Wiedemann.

2.4.4.1 Modelo de General Motors

Este modelo se basa en la idea de estímulo y sensibilidad del conductor del vehículo que sigue. El estímulo se refiere a la diferencia en las velocidades entre el vehículo líder y el seguidor, mientras que la sensibilidad está relacionada con la percepción del conductor del vehículo que sigue. La reacción se manifiesta en ajustes de aceleración o desaceleración del vehículo seguidor.

2.4.4.2 Modelo de Wiedemann

El modelo de Wiedemann se basa en los parámetros psicofísicos del conductor, desarrollado con enfoques estocásticos y dinámicas de velocidad. Este modelo describe cómo los conductores perciben y responden a otros vehículos en su entorno (Castillo Polo, 2020).

El modelo se centra en cómo un conductor responde al alcanzar un umbral perceptual, considerando factores como la velocidad, la distancia y el comportamiento del vehículo líder. En función de estas percepciones, el conductor ajusta su velocidad mediante aceleraciones o desaceleraciones.

2.4.4.2.1 Área de conducción libre

En esta etapa, el conductor mantiene su velocidad deseada de manera independiente, sin que otros vehículos interfieran en su comportamiento. No hay influencia del vehículo que lidera el tráfico sobre el vehículo que sigue.

2.4.4.2.2 Área de aproximación

En esta etapa, el conductor del vehículo seguidor reduce su velocidad para igualarla con la del vehículo líder, lo que lleva a una desaceleración progresiva hasta eliminar la diferencia de velocidades y lograr una distancia de seguridad apropiada.

2.4.4.2.3 Área de seguimiento

En esta fase, el vehículo seguidor conserva una distancia de seguridad estable en relación con el vehículo líder. No ocurren variaciones importantes en la velocidad, ya que ambos vehículos alcanzan un equilibrio.

2.4.4.2.4 Área de frenado o desaceleración

Esta fase se presenta cuando la distancia de seguridad se reduce por debajo del nivel adecuado. Las principales causas son una variación abrupta en la velocidad del vehículo seguidor o la intervención de un tercer vehículo que ocupa el carril entre el vehículo líder y el seguidor.

2.4.5 Modelos de cambio de carril

Los modelos de cambio de carril se clasifican en dos categorías principales: cambio de carril obligatorio y cambio de carril voluntario.

2.4.5.1 Cambio de carril obligatorio

El cambio de carril obligatorio se da cuando es necesario para seguir la ruta establecida. En estos casos, el conductor debe reducir la velocidad para realizar el cambio de carril, ya que, de no hacerlo, podría salirse del recorrido planeado.

2.4.5.2 Cambio de carril voluntario

El cambio de carril voluntario se produce cuando un conductor adelanta a otro vehículo y realiza el cambio de carril sin interferir en el trayecto del vehículo adelantado. Esta maniobra generalmente implica un aumento de velocidad por parte del conductor que adelanta.

2.4.6 Micro-simulación peatonal

La micro-simulación peatonal es un enfoque que emplea modelos computacionales para estudiar cómo los peatones interactúan con la infraestructura vial. Esta técnica se utiliza para comprender el comportamiento de los peatones en relación con elementos urbanos como cruces peatonales, el transporte público y áreas públicas. Programas especializados, como Viswalk, que

se basa en el modelo de fuerza social de Dirk Helbing, permiten simular estas interacciones de manera precisa.

2.4.6.1 Modelo de fuerza social.

El modelo de fuerza social, inspirado en la mecánica newtoniana, adapta sus principios al comportamiento social, psicológico y físico de los peatones. Este enfoque describe el movimiento de los individuos mediante una fuerza resultante, que proviene de varios factores, como el objetivo de llegar a su destino, la influencia de otros peatones y los obstáculos en el entorno. Esta fuerza se traduce en un parámetro físico observable, como la aceleración.

2.5 Software de Micro simulación - VISSIM

2.5.1 Vissim

VISSIM es un programa utilizado para realizar simulaciones microscópicas y mesoscópicas, centrado en modelar el comportamiento del tráfico en zonas urbanas y rurales. Emplea el modelo de Wiedemann para simular el comportamiento de los flujos vehiculares y, adicionalmente, incluye Viswalk para modelar el movimiento peatonal, basado en el modelo de fuerza social. Así, VISSIM se presenta como una herramienta completa para la simulación y análisis del tráfico.

2.5.2 Antecedentes de Vissim

VISSIM es un software de simulación de tráfico desarrollado por PTV (Planung Transport Verkehr) en Karlsruhe, Alemania. Su origen se remonta a la década de 1970 en la Universidad de Karlsruhe, y su comercialización inició en 1973 a través de PTV América Inc. La primera

implementación práctica ocurrió en Eugene, Oregón, en 1995. En 1999, el software incorporó un modelo de seguimiento vehicular para autopistas, y en 2001 se integró con VISUM, una herramienta de planificación del transporte y análisis geográfico. Posteriormente, en 2004, se rediseñó su interfaz gráfica utilizando la tecnología Microsoft.NET. Actualmente, PTV Group actualiza VISSIM de forma anual.

2.5.3 Funcionamiento del software Vissim

El software Vissim está diseñado para simular los flujos de tráfico y gestionar el control de semáforos. Su simulación de flujos se realiza a nivel microscópico, permitiendo un análisis detallado de factores como la geometría de las vías, los tipos de vehículos, los movimientos de estos vehículos y la gestión de las señales de tráfico. Para ello, Vissim utiliza dos programas distintos: uno para modelar el flujo de tráfico y otro para controlar las señales de tráfico.

El modelo de flujo de tráfico de Vissim simula el movimiento de varios tipos de elementos en la vía, tales como automóviles, camiones, buses, trenes, motos, bicicletas y peatones. Esta simulación permite un análisis detallado del comportamiento de cada uno de estos componentes en diversas condiciones. Además, considera los datos de los detectores de tráfico y el estado en tiempo real de las señales, proporcionando una representación más precisa de la situación real.

En cuanto al control de señales, Vissim se enfoca en gestionar las señales de tráfico mediante sistemas de control con tiempos fijos o basados en el flujo vehicular. Este modelo permite generar las indicaciones necesarias para optimizar el tráfico, mejorando la eficiencia de las intersecciones y cruces.

Por último, la simulación de tráfico en Vissim no solo evalúa el movimiento de vehículos, sino también otros parámetros relacionados con el tráfico, como los tiempos de viaje, los volúmenes de tránsito y las longitudes de las colas en las intersecciones. También se incluyen datos

sobre la distribución del tiempo verde en los semáforos y las razones de los cambios de estado de las señales, lo que facilita un análisis completo del control del tráfico en la red vial.

2.5.4 Componentes estáticos

Los componentes estáticos corresponden a la infraestructura del área de influencia del modelo, que se representa mediante los enlaces y los conectores. En este contexto, los enlaces representan los carriles, mientras que los conectores sirven como los elementos que unen dichos enlaces, permitiendo así los movimientos dentro de los carriles (Verkehr, 2023).

2.5.5 Componentes dinámicos

Los componentes dinámicos, como los semáforos, influyen directamente en las acciones de los conductores. Estos elementos son fundamentales dentro del área de influencia del modelo, ya que el grado de detalle requerido en una simulación microscópica depende en gran medida de la presencia y operación de estos componentes.

2.5.6 Infraestructura del modelo

El desarrollo del modelo dependerá del propósito específico del análisis. Por ejemplo, si el objetivo es evaluar las operaciones de tránsito y su comportamiento, será necesario un modelo detallado. Para ello, se utilizará un modelo a escala, apoyándose en recursos como imágenes satelitales, planos CAD, mediciones de campo y otros datos relevantes.

2.5.6.1 Interfaz de VISSIM 2023

La interfaz del software Vissim se compone de seis elementos principales, que se detallan a continuación:

2.5.6.1.1 Barra de Título

La barra de título en VISSIM 2023 muestra el nombre del archivo actual y el estado del programa, proporcionando información útil sobre el proyecto en el que se está trabajando.

2.5.6.1.2 Barra de Menús

La barra de menús es un conjunto de opciones desplegables que permiten acceder a diferentes funciones y herramientas del programa. Aquí se encuentran opciones para crear, modificar, guardar y ejecutar simulaciones, entre otras.

2.5.6.1.3 Barra de Herramientas

Esta barra contiene iconos que proporcionan acceso rápido a las funciones más utilizadas en VISSIM. Permite realizar tareas como crear enlaces, editar parámetros o gestionar semáforos sin necesidad de navegar por los menús.

2.5.6.1.4 Editor de Red

El editor de red es la sección donde se define y configura la infraestructura de la red vial, como enlaces, conectores y nodos. Es una herramienta clave para modelar el comportamiento de la red de tráfico en la simulación.

2.5.6.1.5 Editor de Herramientas

Este editor permite personalizar y gestionar las herramientas utilizadas en la simulación, facilitando la adaptación del software a las necesidades específicas del análisis de tráfico.

2.5.6.1.6 Vista Rápida

La vista rápida ofrece una representación visual de la simulación en curso, permitiendo una evaluación instantánea de los flujos de tráfico y los comportamientos vehiculares en la red modelada.

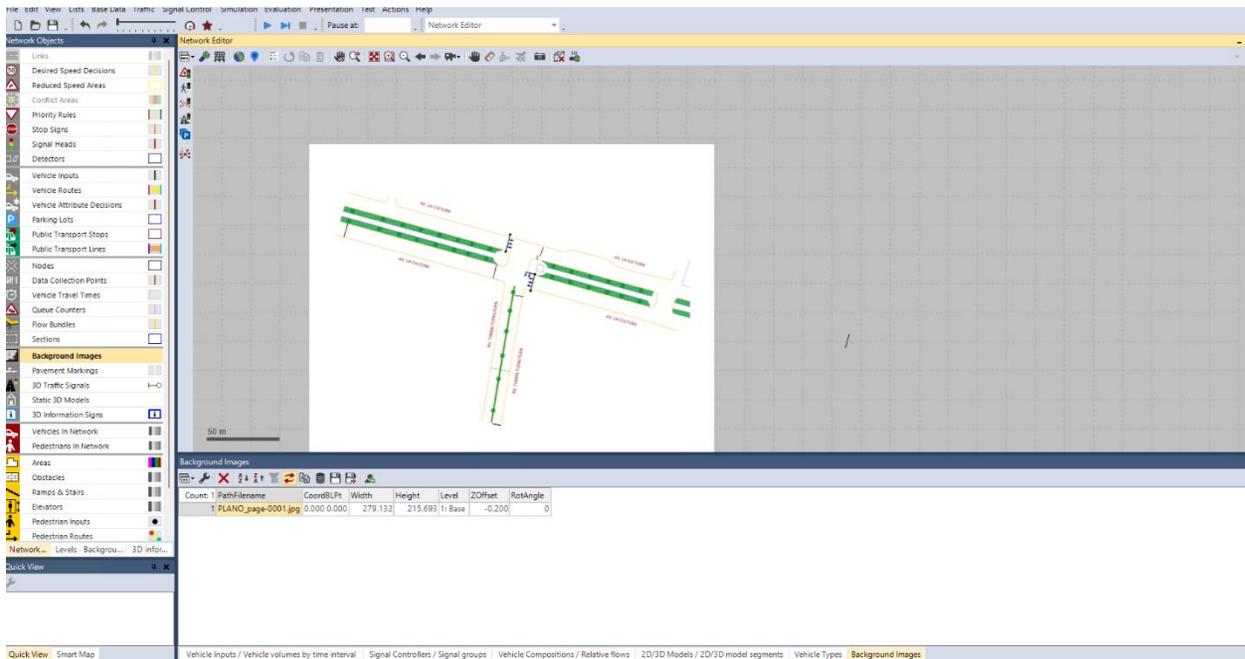
2.5.7 Construcción del modelo

Paso 1: Incorporación de Imagen de Fondo (Background Images)

Este paso consiste en la utilización de una imagen de fondo, que facilita el trazado de los enlaces (links) y otros elementos del modelo.

Figura 32

Background Images



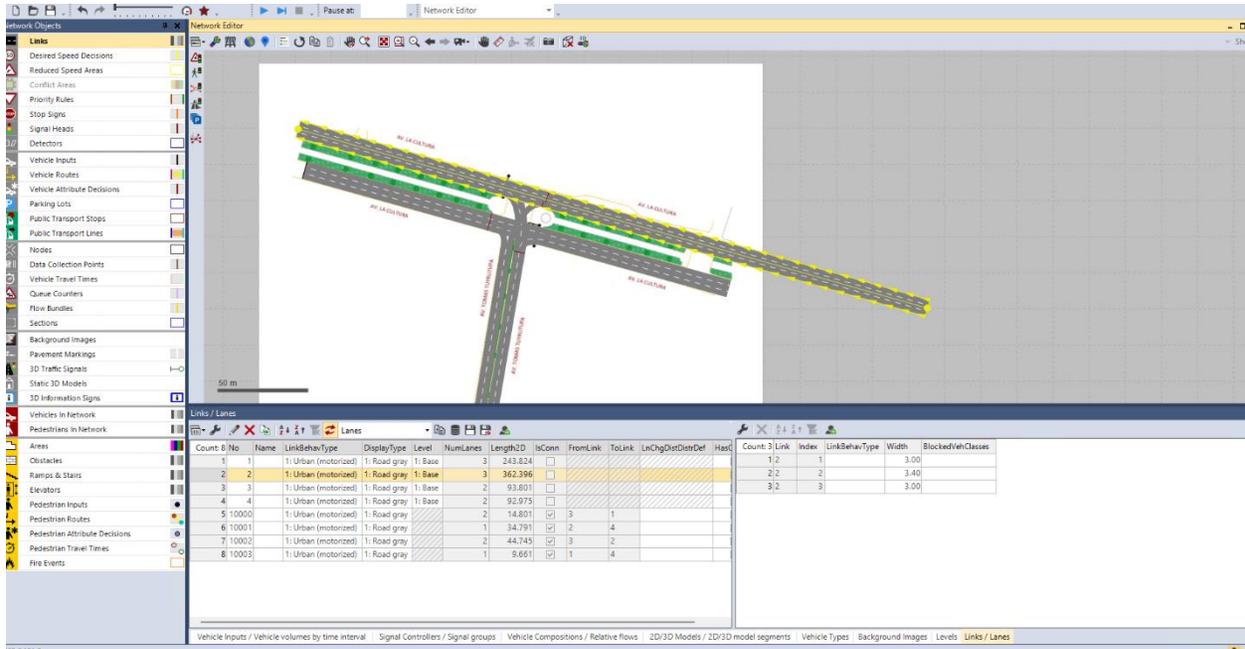
Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Paso 2: Links y conectores

Son herramientas utilizadas para delinear las vías o áreas designadas para el tránsito de peatones y vehículos.

Figura 33

Establecimiento de enlaces y conectores



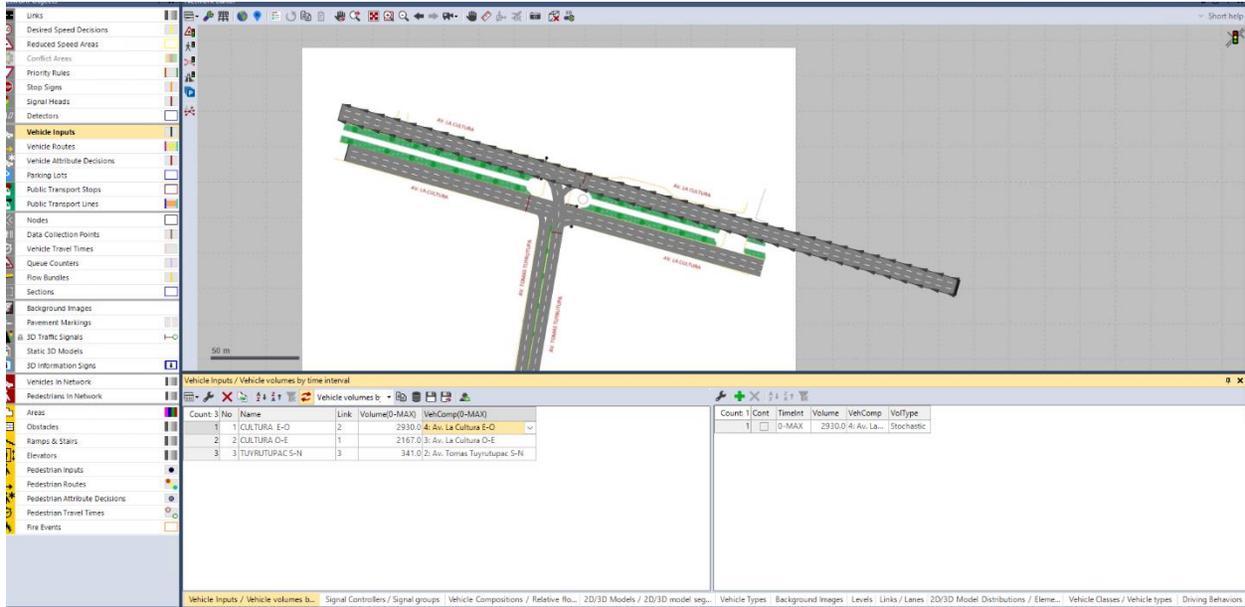
Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Paso 3: Registro de Datos Vehiculares (Vehicle Inputs)

La herramienta de Links y Conectores permite ingresar los volúmenes de tráfico por hora, los cuales varían según la composición vehicular.

Figura 34

Vehicle Inputs



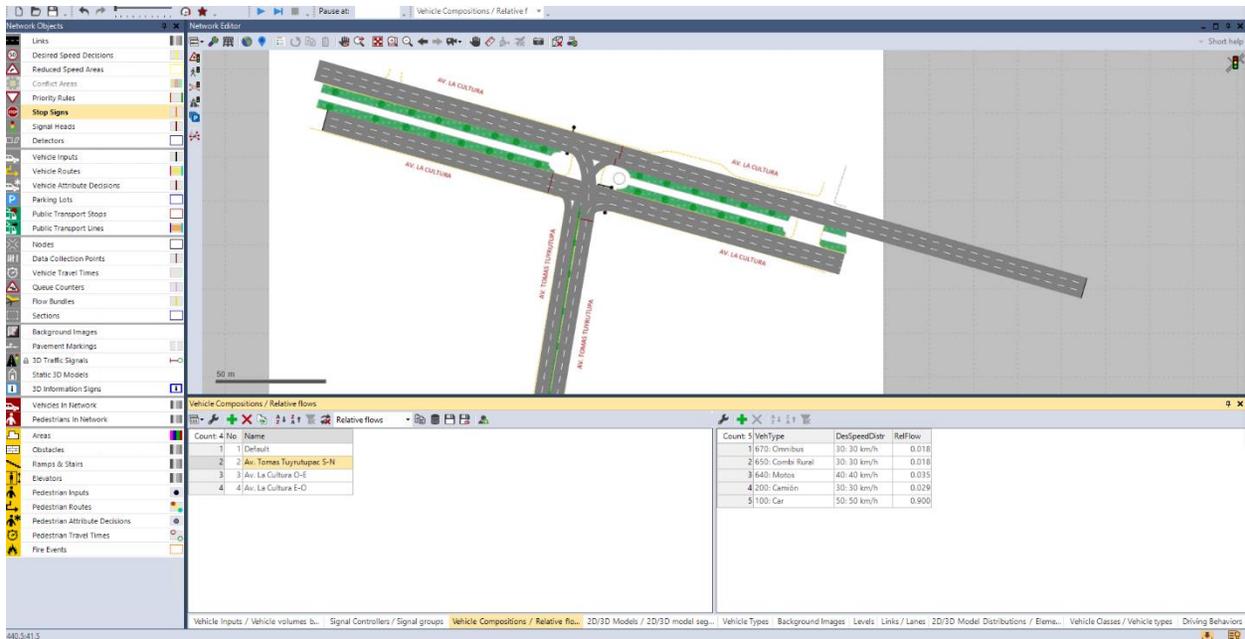
Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Paso 4: Configuración de Velocidad Deseada (Desired Speed)

Cada vehículo posee una velocidad característica, por lo que VISSIM permite definir diferentes distribuciones de velocidad según el tipo de vehículo utilizado en la simulación.

Figura 35

Cuadro con los valores de velocidad asignados a cada categoría vehicular.



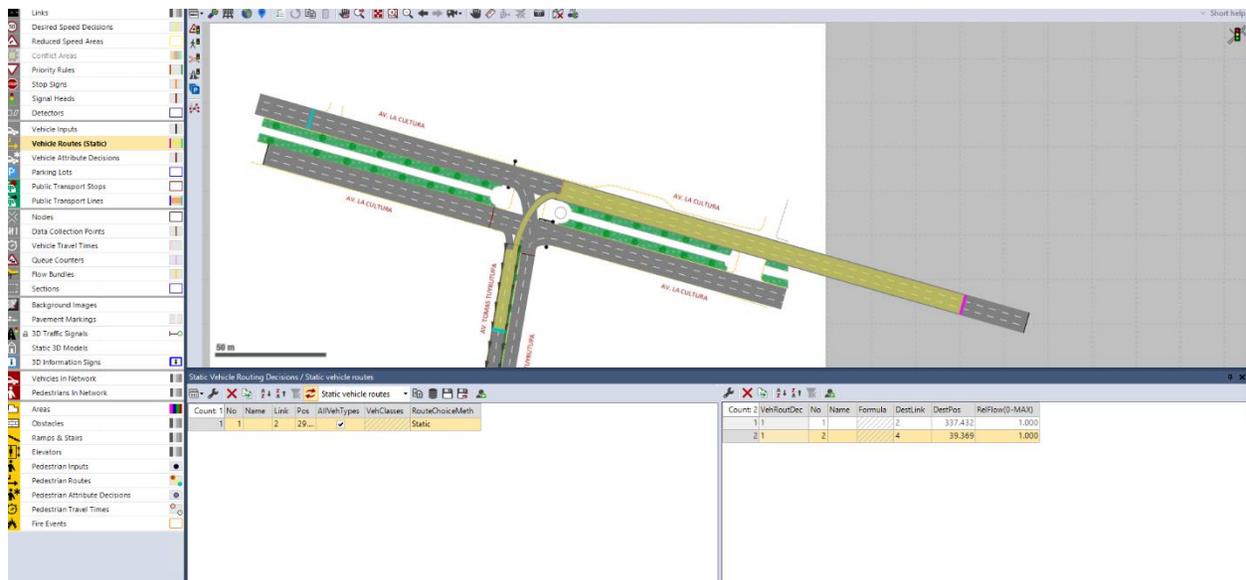
Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Paso 5: Definición de Rutas Vehiculares (Vehicle Routes)

En la simulación, cada vehículo debe contar con un punto de origen y un destino dentro de la red vial. Para ello, se asignan rutas específicas que determinan la dirección de su desplazamiento.

Figura 36

Vehicle Routes

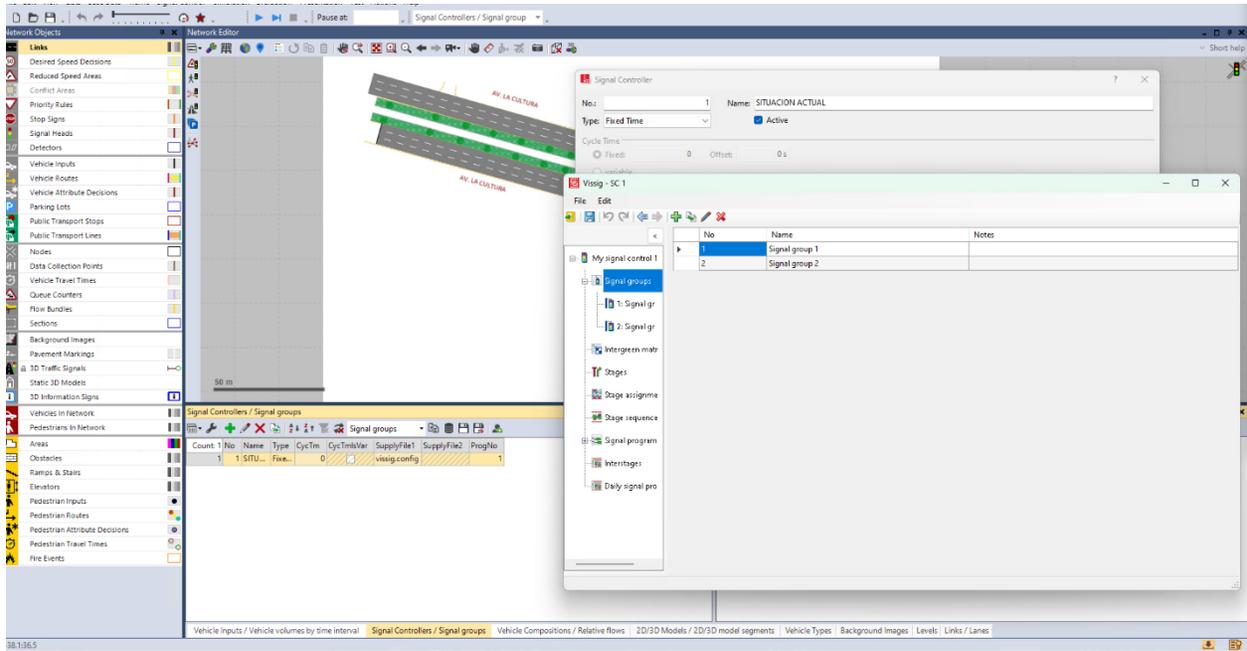


Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Paso 6: Signal Controllers

Es la herramienta utilizada para gestionar la operación de los semáforos dentro de la simulación. Permite definir los tiempos de los ciclos semafóricos, las fases de señalización y la coordinación de los semáforos en la red vial.

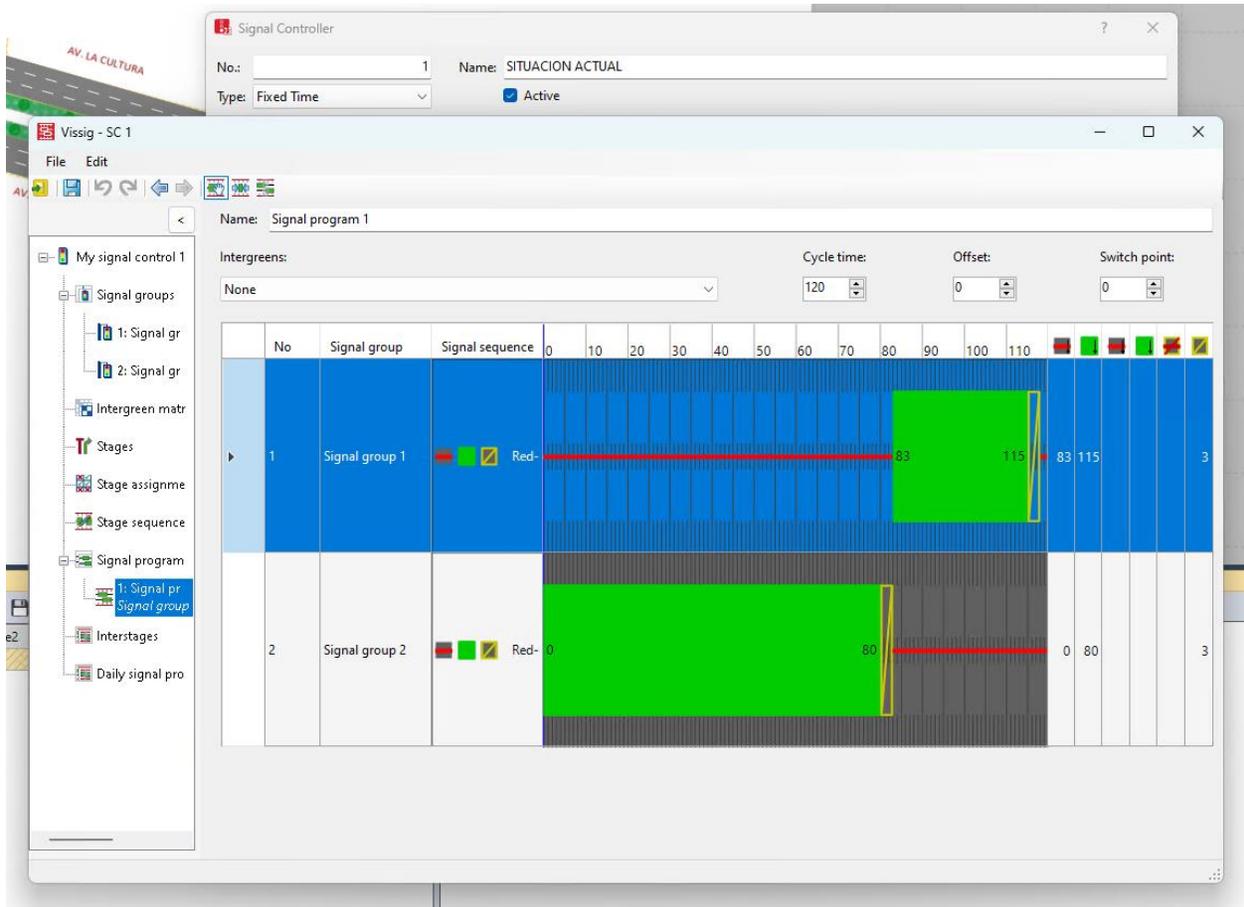
Cantidad de fases semafóricas



Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Figura 38

Tiempos semafóricos



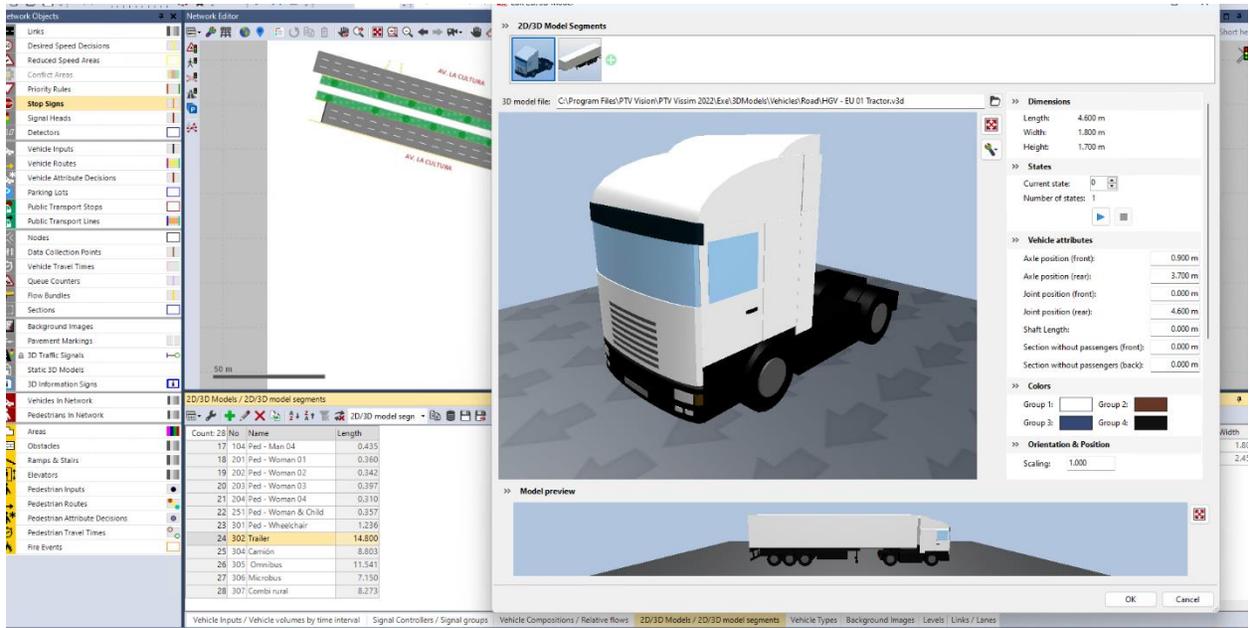
Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Paso 7: Model Segments

Se refieren a los elementos tridimensionales que se utilizan para mejorar la visualización de la simulación del tráfico. Estos segmentos permiten representar de manera más realista la infraestructura vial y los vehículos dentro del entorno simulado.

Figura 39

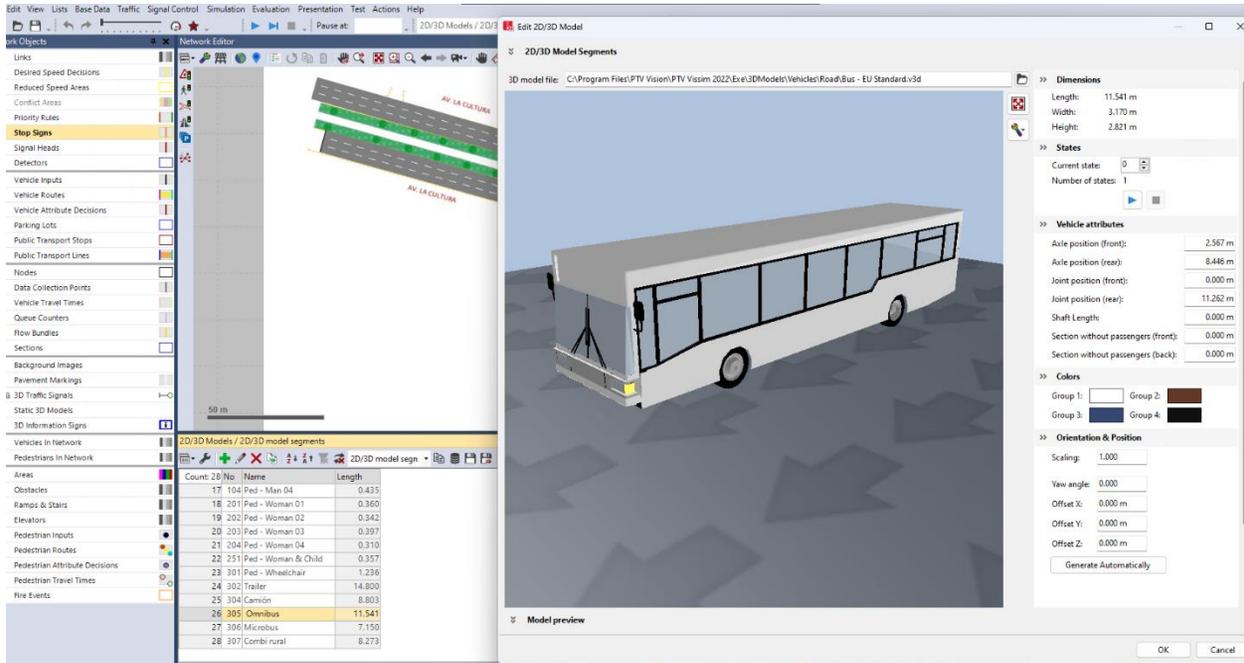
Representación gráfica de un tráiler



Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Figura 40

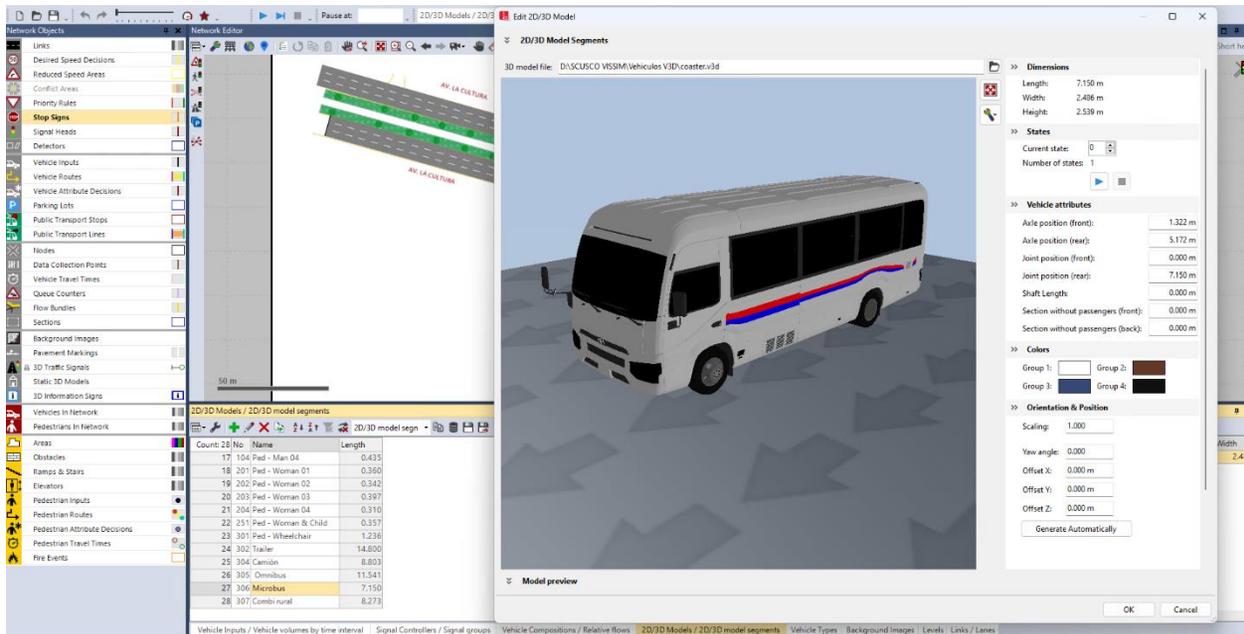
Representación gráfica de un Ómnibus



Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Figura 41

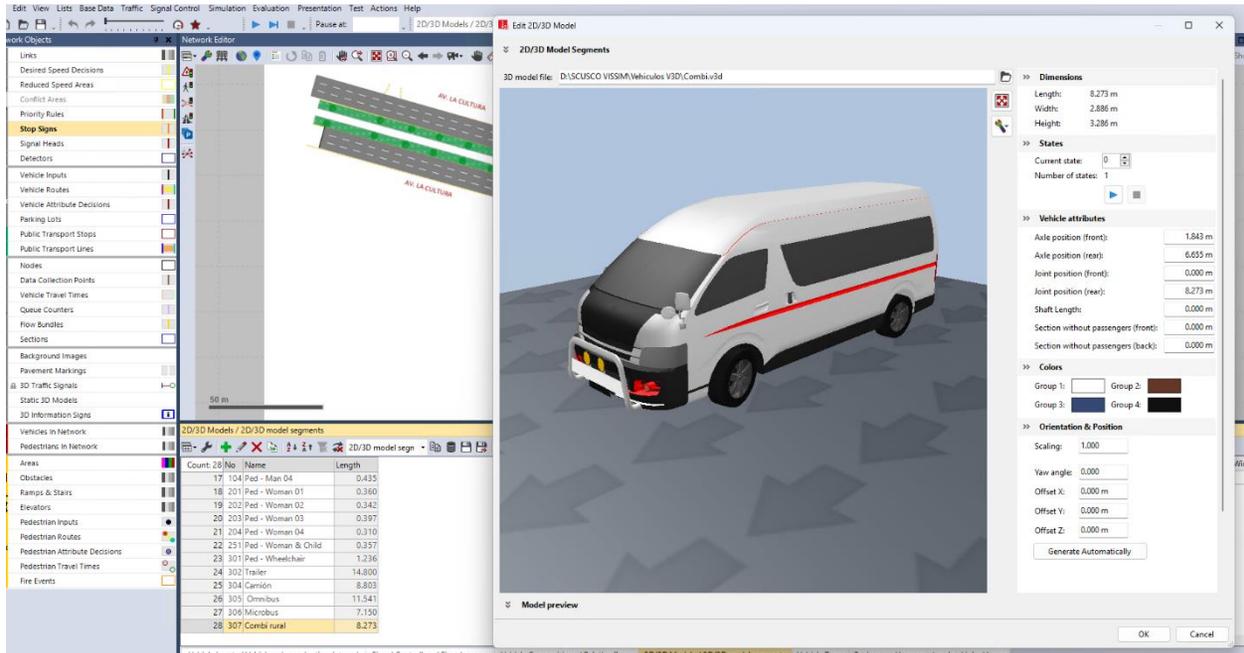
Representación gráfica de un microbús



Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Figura 42

Representación gráfica de una combi rural



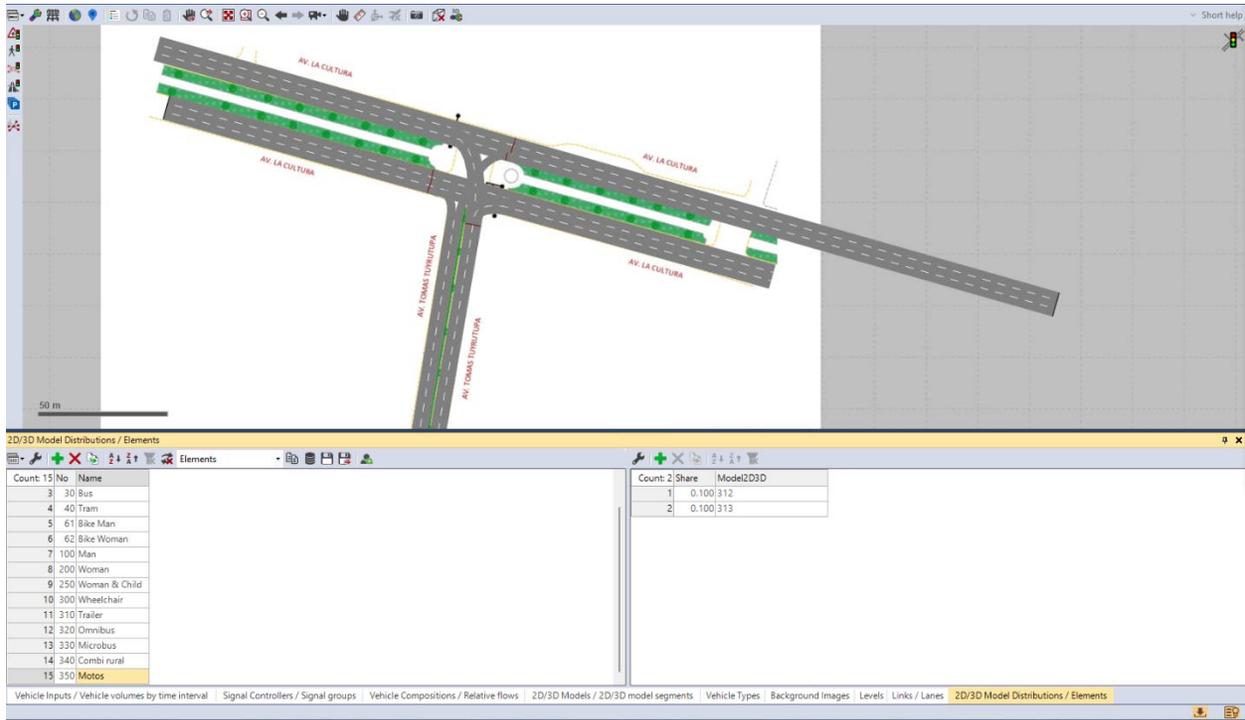
Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Paso 8: Model Distribution

Se refiere a la distribución de modelos dentro de la simulación, es decir, cómo se asignan características específicas a los diferentes elementos del tráfico, como vehículos, peatones y semáforos.

Figura 43

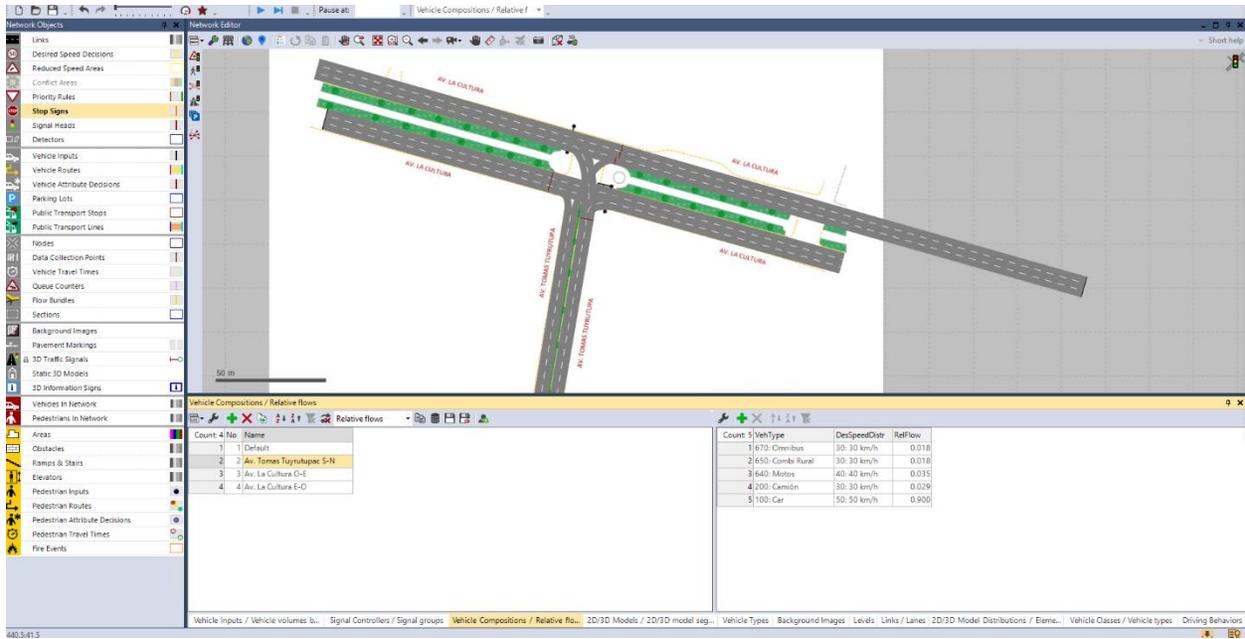
Configuración de rutas que siguen los vehículos en la simulación



Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Paso 9: Vehicle Composition / Relative Flows

Esta herramienta es fundamental para definir la distribución de los diferentes tipos de vehículos que circulan en la red de simulación. Permite establecer la composición vehicular, es decir, la proporción de cada tipo de vehículo dentro del flujo de tráfico.



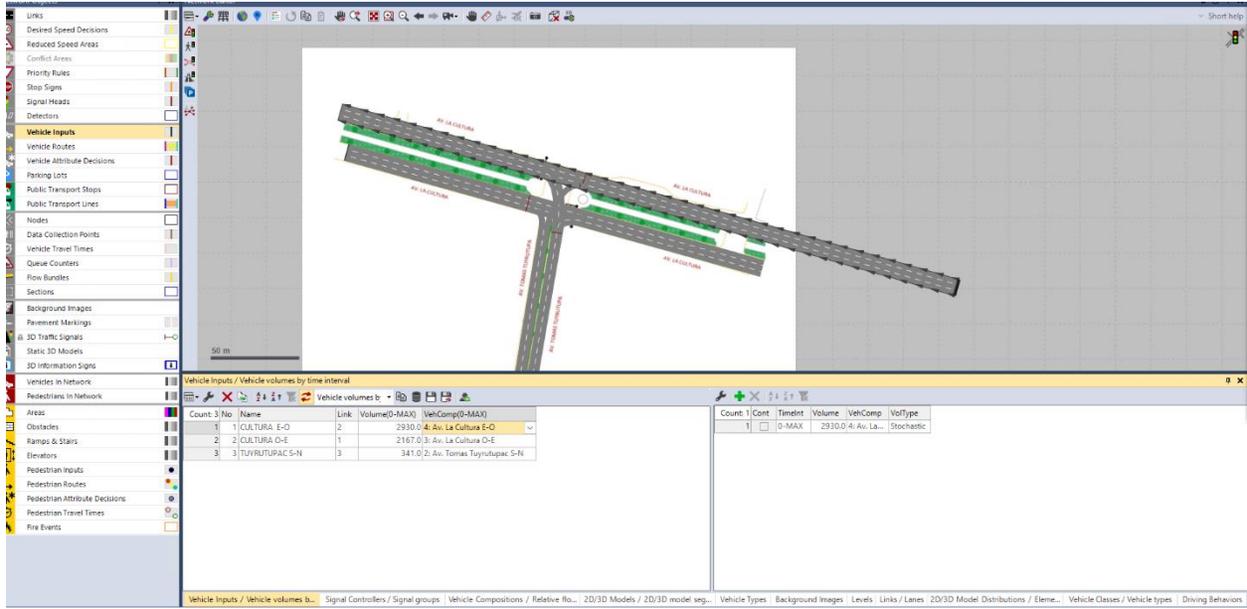
Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Paso 10: Vehicle Inputs

Es la herramienta en VISSIM que permite ingresar la tasa de entrada de vehículos en una vía o intersección. Se expresa en términos de vehículos por hora (veh/h).

Figura 44

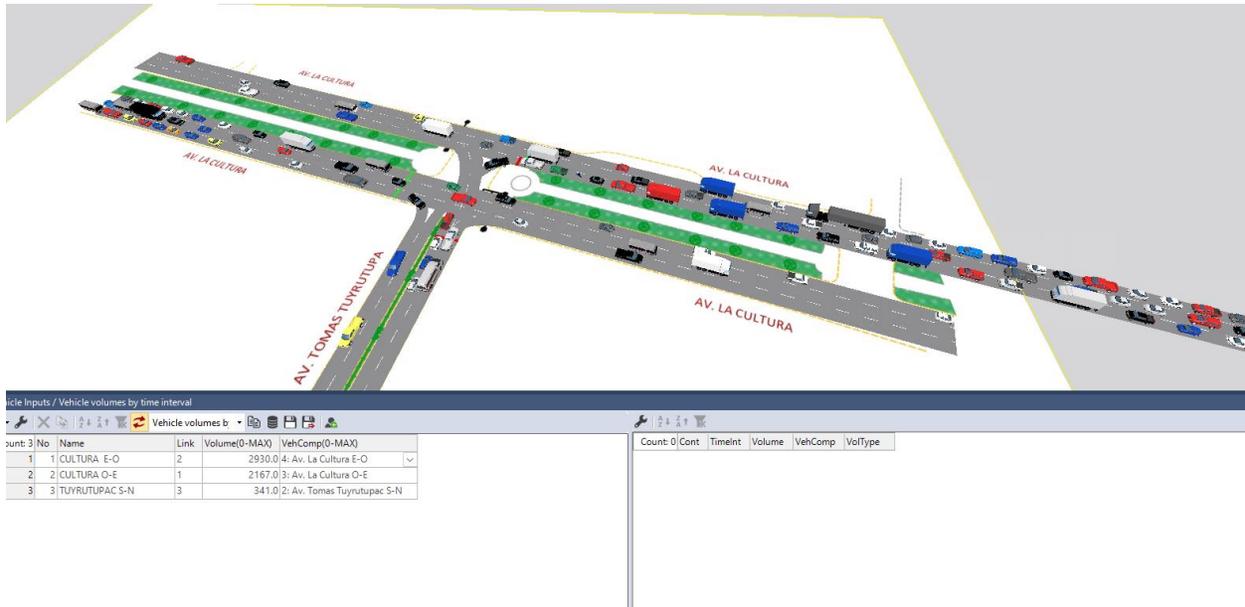
Inserción de datos en el modelado



Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Figura 45

Modelo en función a los valores de la velocidad insertados



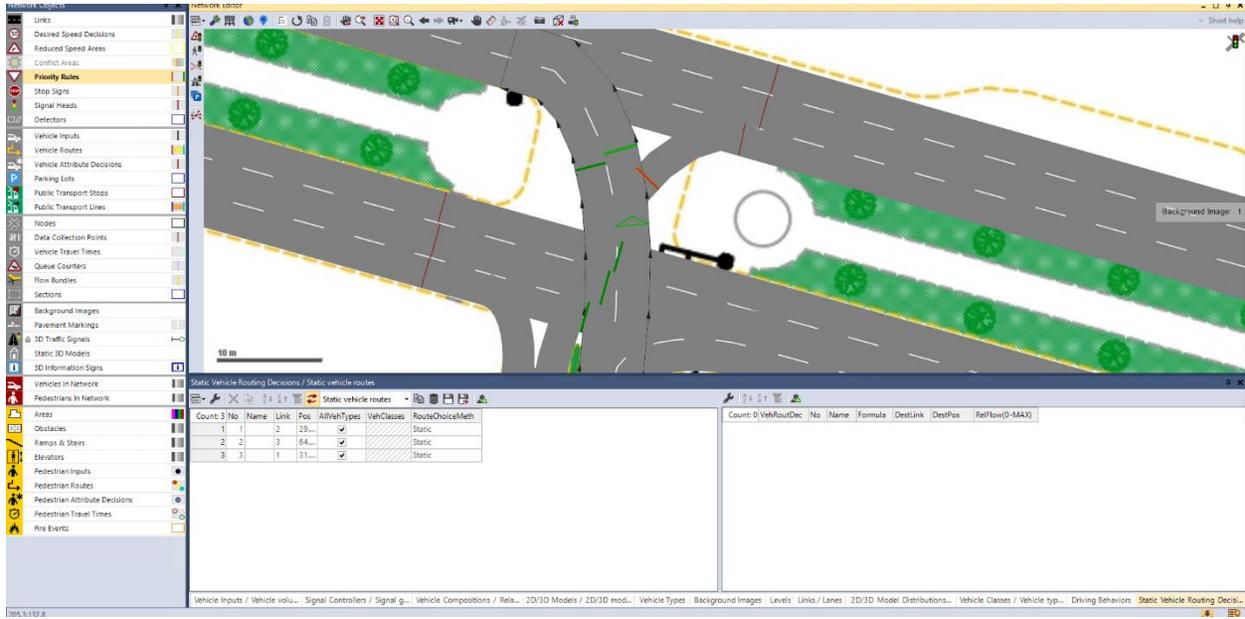
Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Paso 11: Static vehicle routing decision

Es una herramienta que permite definir las rutas de los vehículos en una red de tráfico de manera estática, es decir, las rutas son predefinidas y no cambian en función del tráfico o condiciones dinámicas.

Figura 46

Static vehicle routing decision



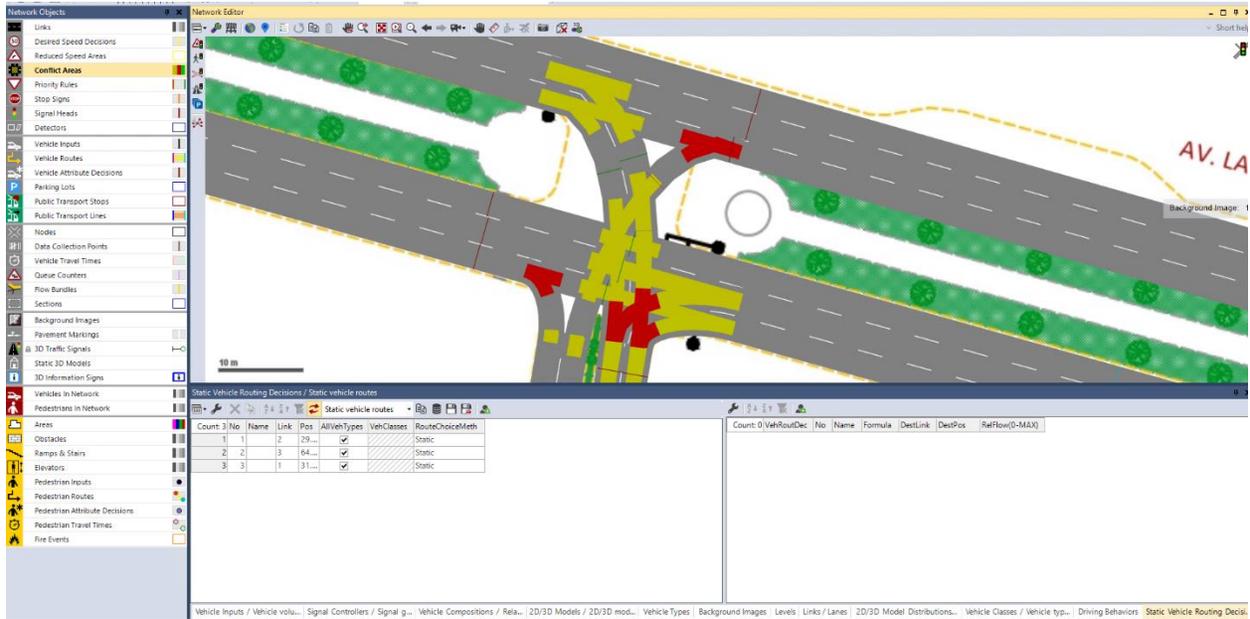
Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Paso 12: Las Conflict Areas

Representan zonas donde pueden ocurrir interacciones entre vehículos debido a maniobras como cruces, fusiones o divergencias en una red vial.

Figura 47

Zonas donde existen interacciones



Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

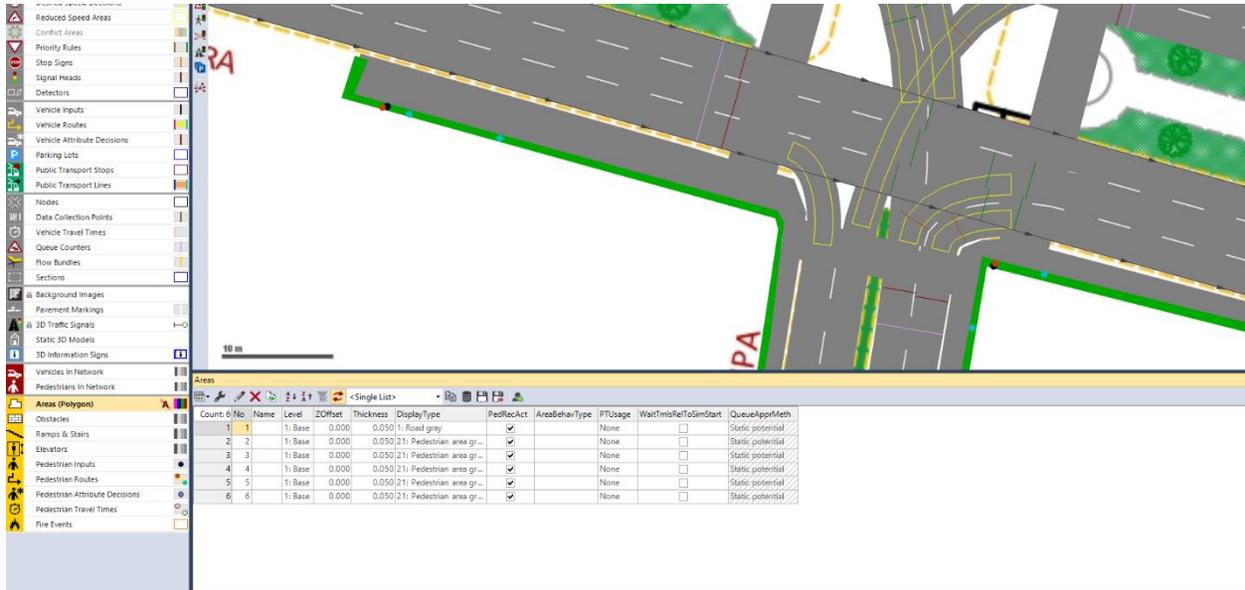
Paso 13: Areas (Polygons)

Los Polygons (Áreas) se utilizan para agregar elementos visuales y mejorar la representación del entorno vial sin afectar la simulación de tráfico.

- ◆ Aceras y zonas peatonales
- ◆ Áreas de estacionamiento
- ◆ Separadores viales y bermas
- ◆ Vegetación o áreas verdes
- ◆ Edificaciones o estructuras

Figura 48

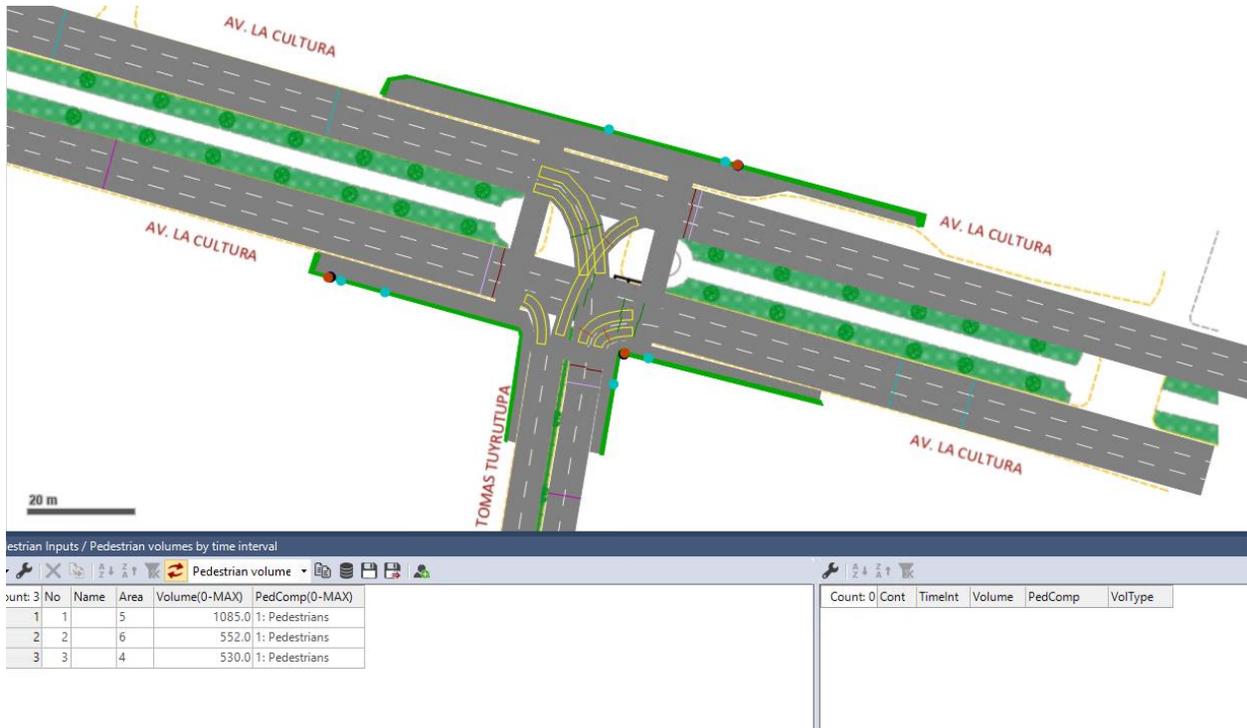
Elementos visuales en la intersección



Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Figura 49

Áreas establecidas



Fuente: Captura extraída de la modelación en VISSIM

Capítulo III Metodología

3.1 Metodología de la Investigación

3.1.1 Tipo de investigación

3.1.1.1 Investigación Cuantitativa

Dado que el objetivo de esta investigación es determinar cuantitativamente las demoras que caracterizan el nivel de servicio en la intersección entre la Avenida Tomás Tuyro Tupac y la Prolongación de la Avenida de la Cultura.

3.1.2 Estrategia de investigación

3.1.2.1 Enfoque Basado en Hipótesis y Deducción

Este estudio parte de una hipótesis, cuyas conclusiones serán extraídas mediante la comparación entre las suposiciones iniciales y los resultados obtenidos.

3.2 Estructura de la Investigación

3.2.1 Enfoque Metodológico

3.2.1.1 Diseño cuasi experimental

Los diseños cuasiexperimentales constituyen un tipo de investigación en el que se modifica intencionalmente al menos una variable independiente con el propósito de analizar su impacto en una o más variables dependientes. A diferencia de los experimentos completamente controlados, estos diseños no garantizan una asignación aleatoria ni un control absoluto sobre la equivalencia inicial de los grupos evaluados, lo que puede generar la presencia de factores externos que influyan

en los resultados y, en consecuencia, limitar la precisión en la determinación de relaciones causales.

3.2.2 Diseño de ingeniería

La metodología para el diseño de ingeniería se fundamentará en las directrices establecidas por la Federal Highway Administration (FHWA) en su publicación de 2004 y por el Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010). Estos documentos proporcionan los marcos de referencia necesarios para evaluar y mejorar el rendimiento de las vías, enfocándose en la capacidad, operación y seguridad del sistema de transporte.

Etapa 1: Proceso para definir la hora de aforo del tráfico

Tabla 4

Pasos para definir la hora de aforo

Paso 1	Definir el área donde se registra mayor congestión
Paso 2	Recolección de datos respecto al conteo realizado en tramos de tiempo establecidos respecto a la demanda.
Paso 3	Registrar grabaciones por al menos 9 horas por día mínimamente en tres días.
Paso 4	Analizar los volúmenes obtenidos a través de histogramas
Paso 5	Determinar la hora representativa.

Etapa 2: Proceso para el levantamiento de información de campo

Tabla 5

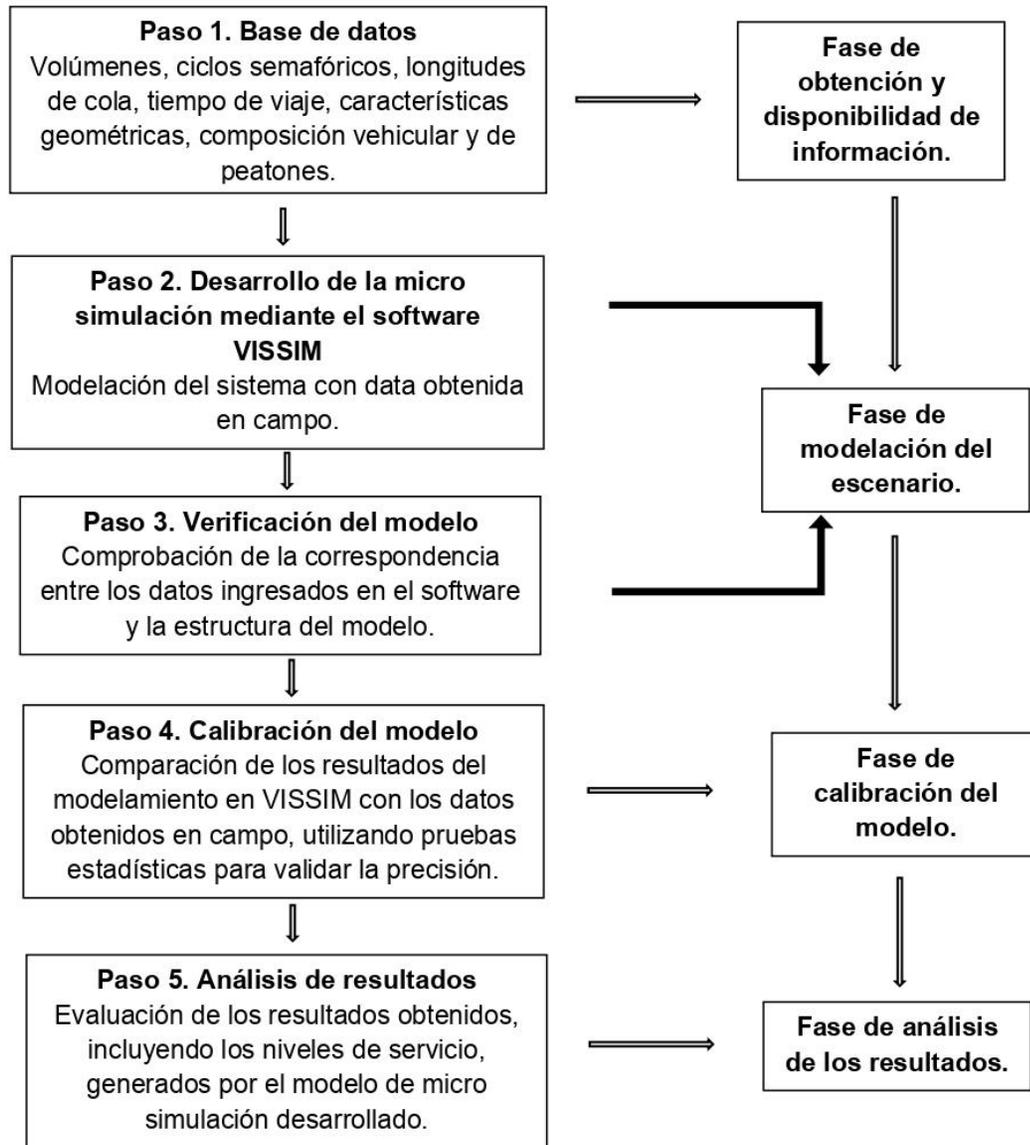
Pasos para la toma de datos en campo

Paso 1	Identificar la intersección a estudiarse.
Paso 2	Recolección de información necesaria.
Paso 3	Procesamiento de la información recolectada en campo.
Paso 4	Base de datos de entrada para procesarla según el HCM 2010 y modelación en el software VISSIM.

Etapa 3: Proceso de análisis y evaluación utilizando la metodología determinística del HCM 2010.

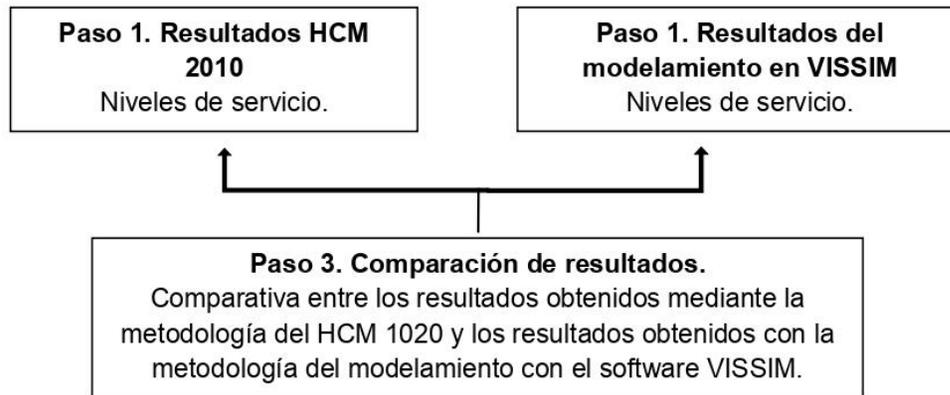
Ver capítulo 2.3

Etapa 4: Proceso de modelación utilizando el software VISSIM, que implementa la metodología de seguimiento vehicular.



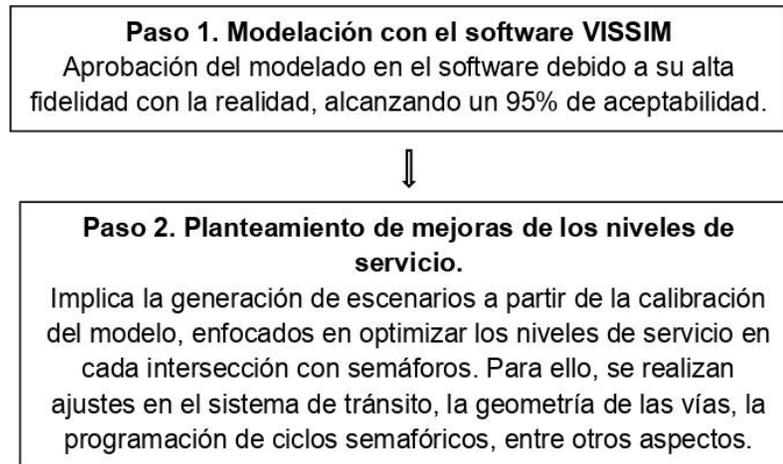
Fuente: Elaboración propia

Etapas 5: Proceso de comparación de resultados.



Fuente: Elaboración propia

Etapa 6: Proceso de planteamiento de mejoras



Fuente: Elaboración propia

3.3 Población y Muestra

3.3.1 Unidad de Análisis

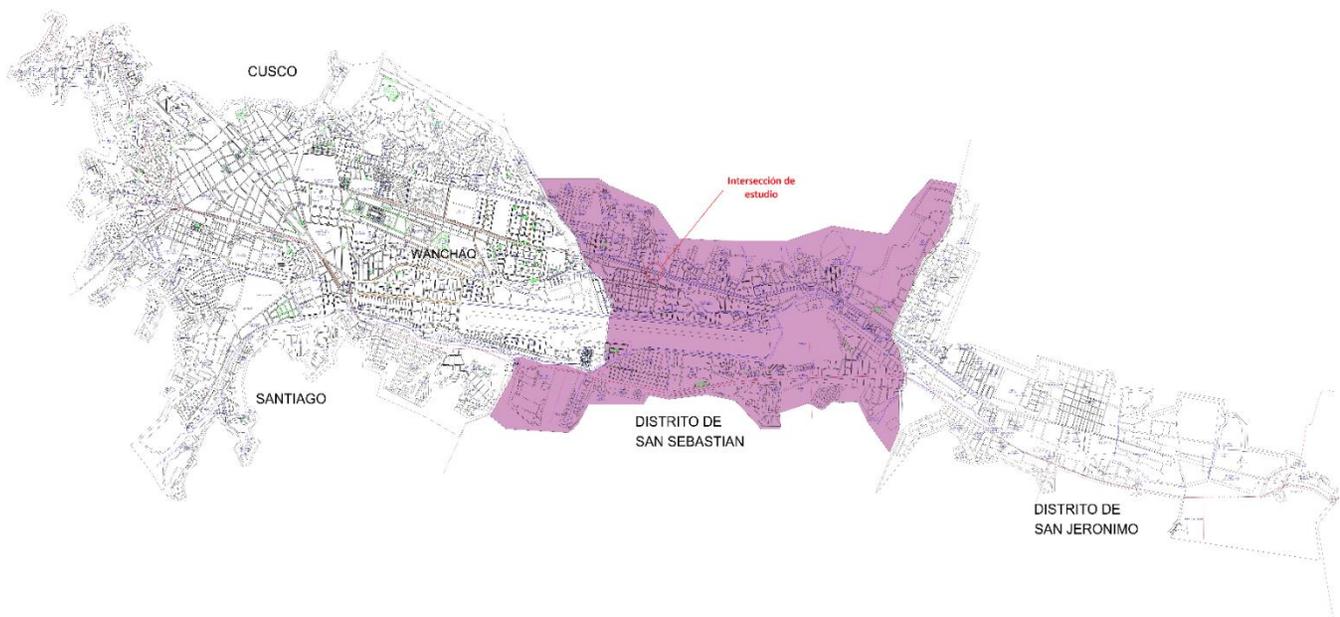
La identificación de las demoras en intersecciones controladas por semáforos, expresados en niveles de servicio.

3.3.2 Población de estudio

La población de estudio se localiza en la intersección de dos avenidas situadas en el distrito de San Sebastián, provincia Cusco y región de Cusco.

Figura 50

Mapa Catastral Cusco



Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Muestra

La muestra de análisis comprende tramos de dos avenidas: una vía principal, la Avenida de la Cultura, y otra de concurrencia media, la Avenida Tomás Tuyro Tupac. Esta intersección se encuentra regulada por semáforos.

3.3.4 Tipo de Muestreo

3.3.4.1 Muestra probabilística

De acuerdo con Hernández Sampieri (2014), en los muestreos probabilísticos cada individuo dentro de la población cuenta con la misma posibilidad de ser elegido. Para obtener este tipo de muestra, es necesario definir previamente las características de la población y el tamaño muestral, seguido de un procedimiento de selección que puede ser aleatorio o mecánico (p. 175).

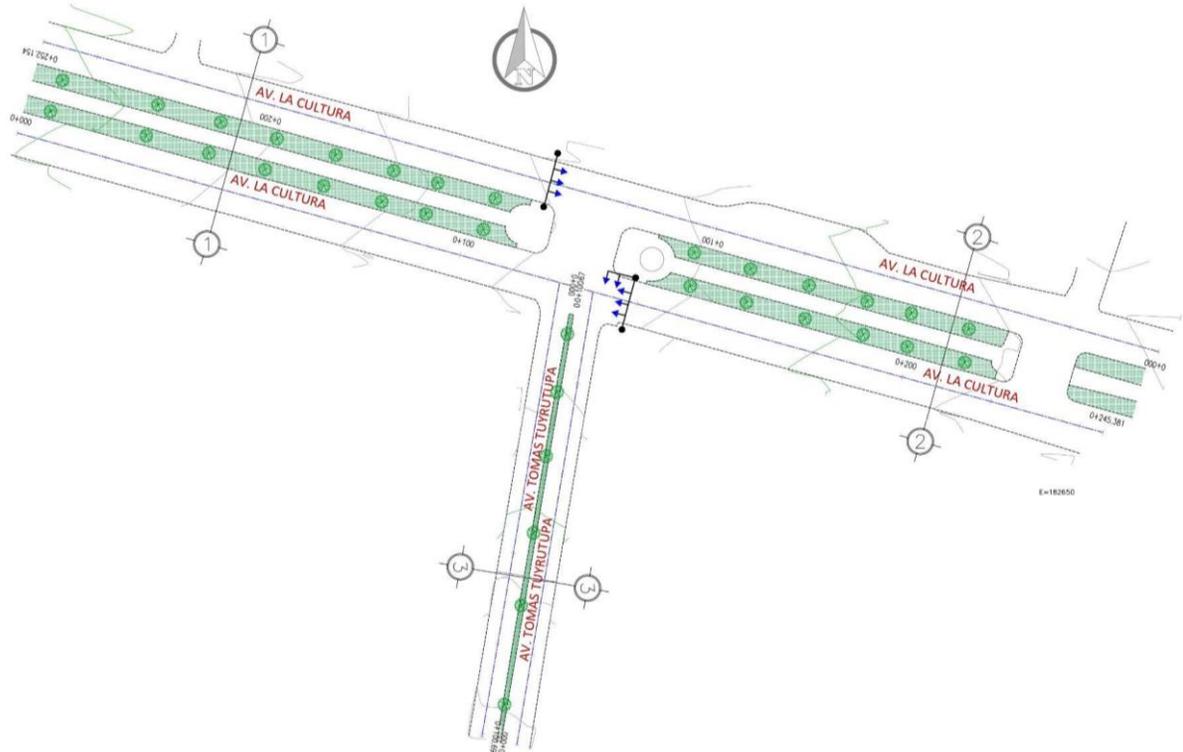
En determinadas situaciones, el investigador pretende contrastar los resultados entre diferentes sectores, grupos o segmentos poblacionales, conforme a lo planteado en el problema de investigación (Hernández Sampieri, 2014, p. 180).

3.3.5 Tamaño de la muestra

Para el presente estudio se evaluará una intersección semaforizada.

Figura 51

Intersección semaforizada de estudio



Fuente: Elaboración propia

3.4 Estudio experimental y toma de datos e información de campo

La recolección de datos se realizó como se indica anteriormente respecto al punto 3.2.2 Diseño de ingeniería.

3.4.1 Delimitación de tiempo de estudio

El comportamiento del tráfico puede cambiar considerablemente según la hora del día. Las horas pico suelen mostrar congestionamientos y un mayor flujo vehicular, mientras que en las horas valle se observa una reducción en el número de vehículos. Estas variaciones son importantes para identificar problemas específicos en la circulación y proponer soluciones eficaces.

Para el presente estudio se realizó el conteo vehicular en tres horarios del día de 6am a 9 am, de 12md a 3pm y de 5pm a 8pm durante 7 días de la semana, con el fin de capturar las variaciones en los flujos de tráfico durante diferentes periodos del día. Estas franjas horarias suelen coincidir con los momentos de mayor y menor demanda vehicular, lo que permite obtener una imagen completa de cómo se comporta el tráfico en la zona.

3.4.2 Intersecciones de análisis

Figura 52

La intersección semaforizada a estudiarse es Av. de la cultura



Fuente: Google Earth

3.4.3 Estudios de campo

3.4.3.1 Estudio de volúmenes de tránsito

El estudio de volúmenes de tránsito se centra en determinar la cantidad de vehículos que acceden a la intersección, considerando su tipología y los movimientos direccionales que realizan.

Para esta investigación se llevó a cabo un análisis de volúmenes en intervalos de tres horas en el transcurso de la mañana, tarde y noche, durante los siete días de la semana. Se seleccionaron días representativos para el conteo vehicular, excluyendo aquellos festivos o especiales, ya que se consideran atípicos.

3.4.3.1.1 Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de los datos requeridos para la investigación, se utilizaron grabaciones que permitieron realizar el conteo y completar los formatos con la información necesaria para el presente estudio.

Figura 53

Celular Samsung A35



Figura 54

Cámara de grabación de seguridad



3.4.3.1.2 Registro de formatos

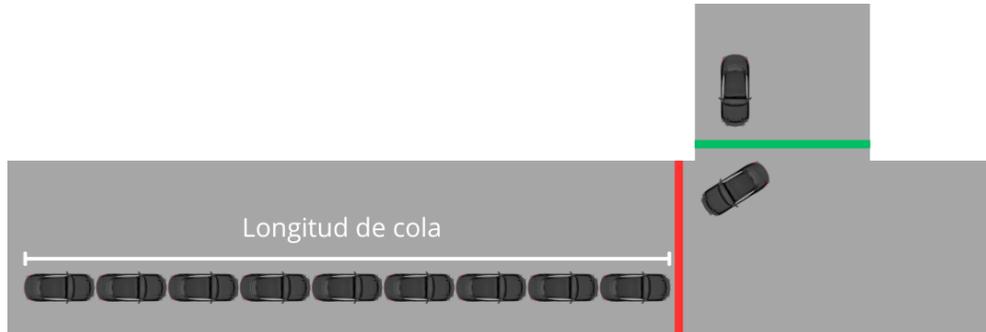
Se utilizaron registros para los conteos vehiculares y peatonales, estos se encuentran respectivamente en los apéndices.

3.4.3.2 Estudio de longitudes de colas

El presente estudio en campo se basa en la observación de los vehículos detenidos a partir de la línea de detención en los cruces peatonales de la respectiva intersección semaforizada. La Figura 46 presenta una ilustración que describe el procedimiento para medir la longitud de la cola vehicular.

Figura 55

Representación de longitud de cola



Fuente: Elaboración propia

Para el estudio sobre longitudes de colas, se diseñaron los formatos necesarios para recolectar los datos, obteniendo 20 registros por cada carril en cada una de las intersecciones analizadas. Cada carril fue codificado según su ubicación en las intersecciones estudiadas. Los estudios de colas empleados en esta investigación se encuentran en el apéndice D.

Es relevante señalar que las longitudes de colas no constituyen un dato de entrada para el modelo, sino que se utilizan como un parámetro clave para la calibración del modelo en el software.

3.4.3.3 Estudio de Geometría del Sistema

El estudio de la geometría consiste en la recolección de información de medidas de la intersección semaforizada como ancho de calzada, ancho de vereda, ancho de bermas, dimensiones de los estacionamientos.

Para el presente estudio se apoyó en un levantamiento topográfico, el cual se detalla en el anexo.

3.4.4 Conteo Vehicular

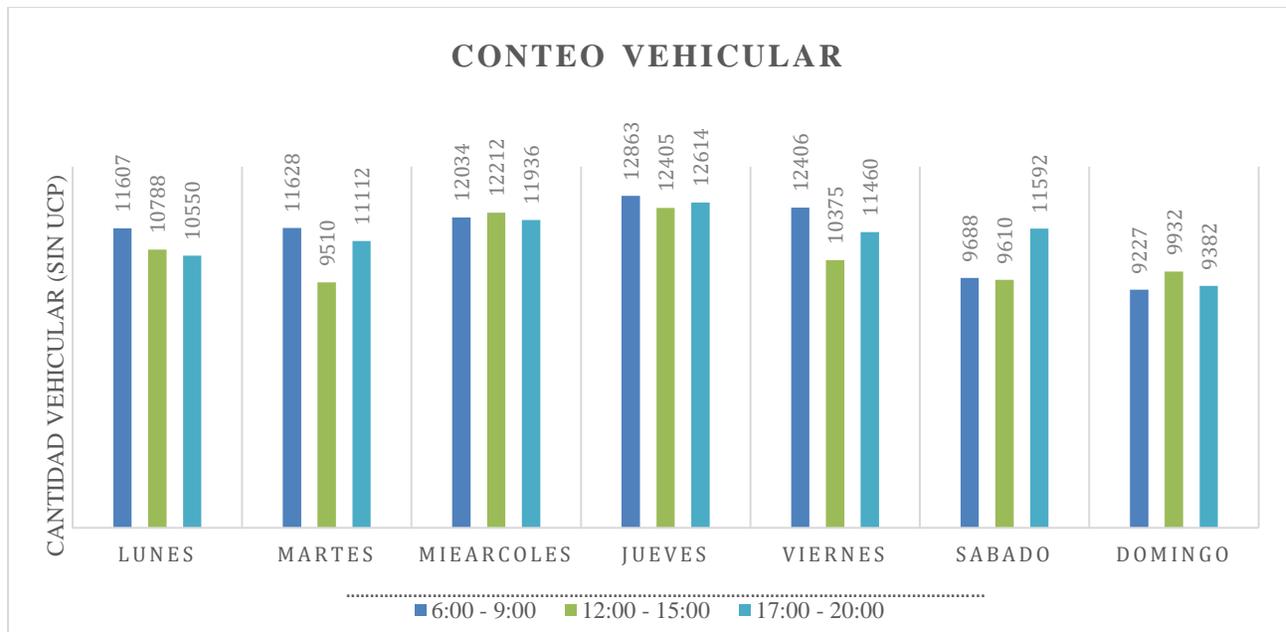
Para analizar el flujo vehicular en la intersección en estudio, se realizó un conteo vehicular manual, siguiendo un procedimiento estructurado que permitió identificar los periodos de mayor congestión y obtener datos detallados sobre la distribución del tránsito.

3.4.4.1 Definición de Horarios de Observación

Se establecieron tres franjas horarias clave para el registro de vehículos, con el fin de identificar los momentos de mayor demanda vehicular:

- Mañana: 06:00 - 09:00 h
- Mediodía: 12:00 - 15:00 h
- Tarde-noche: 17:00 - 20:00 h

El conteo se llevó a cabo de lunes a domingo, considerando que estos días presentan los mayores volúmenes de tráfico en la intersección.



3.4.4.2 Segmentación del Conteo por Zona

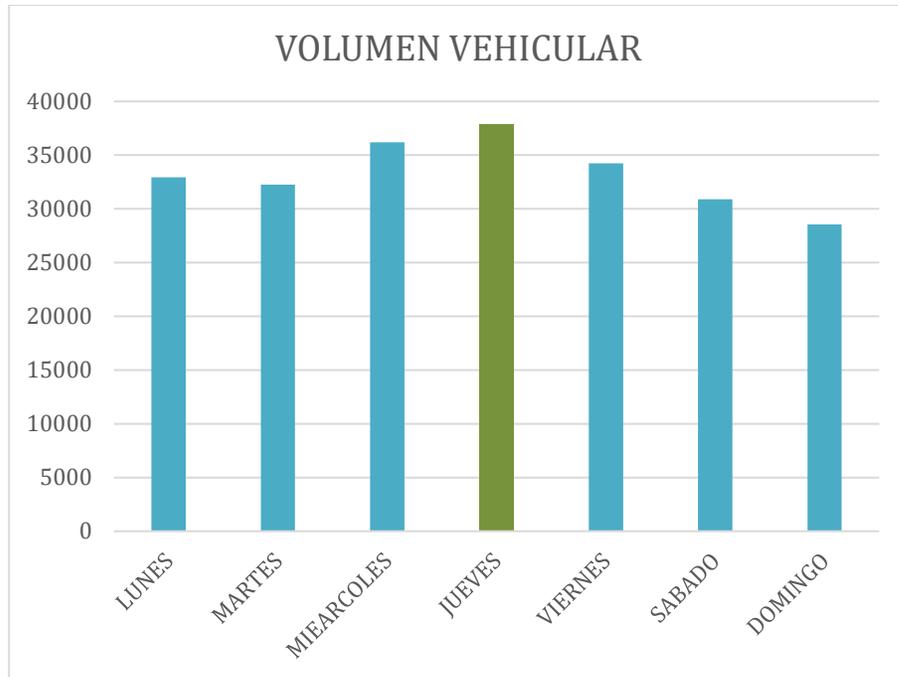
Dado que la intersección en estudio tiene una configuración en “T”, se dividió el conteo en tres zonas específicas para obtener mayor precisión en la distribución del tránsito:

- Zona Este: Vehículos que circulan desde la Prolongación Av. de la Cultura.
- Zona Sur: Vehículos que provienen de la Av. Tuyro Tupac.
- Zona Oeste: Vehículos que continúan por la Prolongación Av. de la Cultura en sentido contrario.

Esta segmentación permitió analizar de manera más detallada los patrones de circulación en cada acceso y salida de la intersección.

3.4.4.3 Determinación del Día de Mayor Flujo

Una vez obtenidos los datos de conteo para cada día de la semana, se identificó el día con el mayor volumen vehicular, con el objetivo de seleccionar una muestra representativa del tráfico en condiciones de máxima demanda.



3.4.4.4 Identificación de la Hora Punta

Para el día de mayor flujo vehicular, se compararon los registros de cada franja horaria y se determinó la hora con la mayor cantidad de vehículos. Esta hora punta fue seleccionada para realizar un análisis más detallado del comportamiento del tráfico.

3.4.4.5 Conteo Detallado en la Hora Punta

Durante la hora punta identificada, se llevó a cabo un conteo desagregado considerando:

- Tipología vehicular
- Distribución por carril: Se registró la cantidad de vehículos en cada carril dentro de las tres zonas de la intersección.

Figura 56

Conteo vehicular de la hora pico respecto al movimiento realizado en cada carril

SUR	MOTO LINEAL				AUTO				CAMIONETA				COMBI RURAL				MICROBUS				CAMIÓN				ÓMNIBUS				TRAYLER																
HORA PICO	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13					
7:00-7:15	1	0	0	0	1	28	0	0	0	15	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:15-7:30	1	0	0	0	0	29	0	0	0	18	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:30-7:45	2	0	0	0	1	30	0	0	0	25	2	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:45-8:00	1	0	0	0	4	27	0	0	0	29	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL H.P.	5	0	0	0	6	114	0	0	0	87	3	0	0	0	5	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	7	0	0	0	0	8	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ESTE	MOTO LINEAL				AUTO				CAMIONETA				COMBI RURAL				MICROBUS				CAMIÓN				ÓMNIBUS				TRAYLER																
HORA PICO	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23					
7:00-7:15	0	5	10	7	3	0	244	206	71	23	0	20	16	0	1	0	4	16	0	0	0	1	26	39	0	0	3	4	1	1	0	6	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
7:15-7:30	0	8	8	9	1	0	202	238	90	22	0	14	12	1	3	0	7	12	0	0	0	2	9	46	0	0	6	4	0	4	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0					
7:30-7:45	0	3	8	18	1	0	185	201	93	24	0	13	18	0	0	0	6	18	3	0	0	2	12	49	0	0	12	7	1	1	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0					
7:45-8:00	0	1	2	12	4	0	124	189	91	26	0	9	10	1	3	0	4	10	3	0	0	0	7	48	0	0	3	6	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0					
TOTAL H.P.	0	17	28	46	9	0	755	834	345	95	0	56	56	2	7	0	21	56	6	0	0	5	54	182	0	0	24	21	3	7	0	8	8	5	0	0	0	1	1	0					

OESTE	MOTO LINEAL				AUTO				CAMIONETA				COMBI RURAL				MICROBUS				CAMIÓN				ÓMNIBUS				TRAYLER											
HORA PICO	31	32.A	32.B	32.C	23	31	32.A	32.B	32.C	23	31	32.A	32.B	32.C	23	31	32.A	32.B	32.C	23	31	32.A	32.B	32.C	23	31	32.A	32.B	32.C	23	31	32.A	32.B	32.C	23	31	32.A	32.B	32.C	23
7:00-7:15	0	1	6	18	0	22	16	134	151	0	0	0	7	8	0	1	0	7	1	0	0	49	11	0	0	2	0	2	11	0	0	2	3	2	0	0	0	0	0	0
7:15-7:30	0	0	4	11	0	13	25	130	165	0	1	0	10	13	0	0	1	5	6	0	0	52	12	5	0	0	1	3	7	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0
7:30-7:45	0	0	7	10	0	26	5	177	208	0	1	0	13	16	0	1	1	5	4	0	0	49	17	0	0	1	0	3	8	0	0	2	5	4	0	0	0	0	0	1
7:45-8:00	0	0	7	12	0	19	32	155	203	0	0	1	12	12	0	1	0	7	7	0	0	37	10	1	0	0	0	4	10	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
TOTAL H.P.	0	1	24	51	0	80	78	596	727	0	2	1	42	49	0	3	2	24	18	0	0	187	50	6	0	3	1	12	36	0	2	4	11	7	0	0	0	0	0	2

Fuente: Elaboración propia

Figura 57

Conteo vehicular de la hora pico respecto al movimiento realizado en cada carril convertido a

Unidades Coche Patrón

ACCESO SUR - UCP		ACCESO ESTE - UCP				ACCESO OESTE - UCP			
GIRO IZQUIERDA	GIRO DERECHA	CARRIL IZQUIERDO	CARRIL DEL MEDIO	CARRIL DERECHO	CARRIL IZQUIERDO	CARRIL DEL MEDIO	CARRIL DERECHO	GIRO IZQUIERDA	GIRO DERECHA
118	160	124	757	1171	954	100	471	849	958

Fuente: Elaboración propia

3.5 Análisis de datos de campo

3.5.1 Datos de volúmenes

Los datos de volúmenes vehiculares fueron obtenidos a través de aforos realizados durante las horas de máxima demanda. Estos volúmenes se determinaron en función de intervalos de

tiempo específicos, seleccionados con base en los periodos de mayor actividad, según lo descrito previamente en este trabajo de investigación.

3.5.1.1 Análisis de volumen vehicular y peatonal

3.5.1.1.1 Análisis del volumen vehicular actual en las intersecciones

Los datos de volúmenes vehiculares recopilados a través de los aforos fueron registrados teniendo en cuenta la tipología de los vehículos y las direcciones de movimiento autorizadas en las intersecciones analizadas. Para ello, se llevaron a cabo mediciones que permitieron identificar el intervalo de mayor demanda dentro de los horarios establecidos.

A continuación, se muestra un resumen del flujo vehicular correspondiente a la hora de máxima demanda en todas las intersecciones evaluadas.

3.5.2 Datos de longitud de cola

La toma de datos de la longitud de cola fue en el día de la hora de máxima demanda, este es un parámetro de calibración dentro de la aplicación del software VISSIM.

A continuación, se presenta el resumen de datos obtenidos en campo de los largos de cola observados.

Figura 58

Resumen de datos observados en campo-longitudes de cola

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO									
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL									
UBICACIÓN:	CUSCO-CUSCO-SAN SEBASTIAN								
INTERSECCIÓN:	Av. De la Cultura con Av. Tomás Tuyo Tupac								
AFORADOR:									
FECHA:									
HORA:									
LONGITUD DE COLA									
N°	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	
1	174	168	124	56	39	156	117	124	
2	215	156	116	34	41	148	98	115	
3	177	149	122	28	27	141	75	122	
4	154	165	134	16	16	139	99	99	
5	149	128	129	29	21	145	121	137	
6	153	166	107	23	25	132	118	126	
7	161	147	135	32	27	147	128	118	
8	196	139	124	41	17	159	93	142	
9	175	145	112	29	18	166	117	135	
10	159	161	144	33	42	179	107	118	
11	176	186	109	36	35	193	121	121	
12	184	154	114	45	38	185	96	122	
13	160	136	126	29	29	174	126	87	
14	207	187	131	37	25	146	131	93	
15	197	198	127	52	34	129	143	92	
16	217	153	117	50	36	147	122	107	
17	168	173	130	17	43	163	95	127	
18	188	158	115	21	51	172	88	142	
19	173	168	102	44	33	143	79	86	
20	155	147	99	32	27	173	83	97	
PROMEDIO POR CARRIL	176.9	159.2	120.85	34.2	31.2	156.85	107.85	115.5	
PROMEDIO POR ACCESO	152.32			32.7		126.73			
VALOR MÁXIMO	217	198	144	56	51	193	143	142	
VALOR MÍNIMO	149	128	99	16	16	129	75	86	

Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Datos de velocidades

Los tiempos de viaje de los usuarios, ya sea como conductores de vehículos o como peatones, se utilizan para calcular la velocidad de desplazamiento de estos. La ecuación que describe un movimiento con velocidad constante se expresa en función de la distancia recorrida (d), el tiempo (t) y la velocidad (v), representada mediante la siguiente fórmula.

$$v = \frac{d}{t}$$

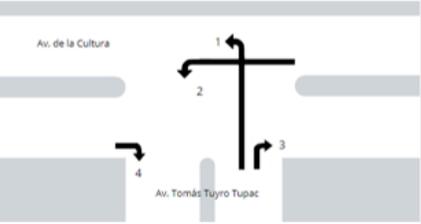
Ecuación 11: Ecuación: básica del movimiento

3.5.3.1 Velocidad vehicular

La velocidad vehicular promedio se calculó considerando los tiempos registrados por los vehículos, asumiendo que las velocidades desarrolladas por estos permanecen constantes. El estudio se llevó a cabo en la Avenida de la Cultura con Avenida Tomas Tuyro Tupac, tanto en dirección de bajada como de subida, obteniéndose así una base de datos de velocidades, que se detalla a continuación.

Figura 59

Resumen de datos observados en campo-velocidades vehiculares

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL			
UBICACIÓN:	CUSCO-CUSCO-SAN SEBASTIAN		
INTERSECCIÓN:	Av. De la Cultura con Av. Tomás Túyro Tupac		
AFORADOR:			
FECHA:			
HORA:			
N°	VELOCIDAD LINEAL KM/H	VELOCIDAD DE GIRO KM/H	
		1 Y 2	3 Y 4
1	38.16	19.19	4.16
2	37.37	12.55	3.74
3	51.92	15.70	4.36
4	45.00	17.61	3.78
5	37.76	14.86	3.44
6	44.26	13.98	4.97
7	33.13	16.39	3.90
8	45.76	18.33	3.60
9	42.19	17.18	3.45
10	57.75	15.70	3.83
11	48.87	13.94	3.74
12	39.85	12.31	4.33
13	37.11	15.20	3.70
14	43.72	17.15	4.84
15	54.55	14.86	4.92
16	45.57	16.87	3.67
17	36.61	14.65	3.28
18	57.45	18.23	4.27
19	40.00	17.06	3.85
20	36.86	15.54	3.41
PROMEDIO	43.69	15.87	3.96

Fuente: Elaboración propia

3.5.3.2 Velocidad peatonal

La velocidad peatonal se obtuvo a partir de los tiempos empleados por los peatones para cruzar los cruces peatonales en ambos sentidos.

Figura 60

Resumen de datos observados en campo-velocidades peatonales

N°	m/s
1	1.78
2	2.17
3	2.01
4	1.85
5	1.62
6	1.43
7	2.14
8	1.73
9	2.29
10	1.87
11	1.82
12	1.52
13	1.55
14	1.90
15	1.80
16	1.45
17	1.56
18	1.72
19	2.06
20	1.66

Fuente: Elaboración propia

3.5.4 Datos de geometría del sistema

Para obtener los datos de la geometría de la intersección semaforizada, se llevó a cabo un levantamiento topográfico, complementado con mediciones in situ de variables clave, como el ancho de la calzada, el ancho de la vereda, dimensiones de los paraderos y estacionamientos.

3.5.5 Datos de semaforización

Para la toma de datos de la semaforización en la intersección semaforizada se consideran los tiempos de los ciclos semafóricos, tanto para semáforos vehiculares como peatonales, considerando las fases correspondientes (rojo, ámbar y verde).

Capítulo IV Ajuste, Evaluación y Análisis de Resultados mediante el Software VISSIM y la Metodología HCM 2010

4.1 Aplicación de la Metodología HCM 2010

Con el fin de aplicar la metodología del HCM 2010 en la intersección semaforizada, se deben seguir los pasos establecidos que se especifican en los anexos. El desglose de los cálculos de encuentran en los siguientes cuadros.

Figura 61

Demanda ajustada

	FASE	ACCESO	CARRIL	MOV	q _{mov}	q _{carril}	q _{acceso}	q _{GC}	q _{GM}		
	AJUSTADO	Φ1	S	1	D	171	171	297	171	171	
2				I	126	126	126		126		
Φ2		E		3	F	1016	1016	3200	2262	3200	
				4	F	1246	1246				
				5	F	805	938				
					I	133					
		O			3	D	107	107	2531	608	2531
					4	F	501	501			
					5	F	904	1923			
						F	1019				

Fuente: Elaboración propia

Figura 62

Datos iniciales para el análisis vehicular

ACCESO	GC	W(m)	P _T (%)	E _T	P _g (%)	N	N _m	N _b	ZONA	N _e
S	1	3	9.35%	2	3.68	1	0	0	CENTRO	2
	2	3	7.41%	2	3.68	1	0	0	CENTRO	2
E	3	3.13	3.24%	2	2.75	2	0	36	CENTRO	3
	4	3.13	2.12%	2	2.75	1	0	0	CENTRO	3
O	5	3.23	2.75%	2	-2.77	1	0	41	CENTRO	3
	6	3.23	4.11%	2	-2.77	2	0	0	CENTRO	3

Fuente: Elaboración propia

Figura 63

Factor de ajuste vehicular de giro a la izquierda

DATOS PARA FACTOR		f _{LT}		
ACCESO	GC	CASO	FLUJO OP.	Interp. EL
S	1			
	2			
E	3			
	4	3	2279	4.500
O	5			
	6			

Fuente: Elaboración propia

Figura 64

Factor de ajuste peatonal de giro a la izquierda

DATOS PARA FACTOR		f _{Lpb}														
ACCESO	GC	C	g _{ped}	V _{ped}	V _{pedg}	OCC _{pedg}	g _p	g _u	g _a =g _p -g _u	OCC _{pedu}	V _o	OCC _y	carriles de recep.	carriles vuelta	Ap _{bT}	
S	1	120														
	2	120														
E	3	120														
	4	120	37	294	954	0.477	80	32	48	0	2279	0	2	1	1.000	
O	5	120														
	6	120														

Fuente: Elaboración propia

Figura 65

Factor de ajuste vehicular de giro a la derecha

DATOS PARA FACTOR		f _{RT}	
ACCESO	GC	Carriles	f _{RT}
S	1		0.847
	2		
E	3		
	4		
O	5		0.847
	6		

Fuente: Elaboración propia

Figura 66

Factor de ajuste peatonal de giro a la derecha

DATOS PARA FACTOR f_{Rpb}											
ACCESO	GM	C	g_{ped}	V_{ped}	V_{pedg}	OCC $_{pedg}$	g	OCC $_v$	carriles recep.	carriles vuelta	ApbT= f_{Rpb}
S	1	120	85	509	718.588	0.359	32	0.954	3	1	0.428
	2	120									
E	3	120									
	4	120									
O	5	120	37	294	953.514	0.477	80	0.221	2	1	0.867
	6	120									

Fuente: Elaboración propia

Figura 67

Flujo de saturación ajustada

FASE	ACCESO	GC	So	f_w	F_{hv}	f_g	f_p	f_{bb}	f_a	f_{LU}	f_{LT}	f_{RT}	SPREL	f_{Lpb}	f_{Rpb}	S
Ø1	S	1	1900	1	0.999	0.982	0.90	1.000	0.9	1	1	0.847	1279	1	0.428	548
		2	1900	1	0.999	0.982	0.90	1.000	0.9	1	1	1.000	1510	1	1	1510
Ø2	E	3	1900	1	1.000	0.986	0.95	0.928	0.9	1	1	1.000	1486	1	1	1486
		4	1900	1	1.000	0.986	0.90	1.000	0.9	1	0.222	1.000	337	1	1	337
	O	5	1900	1	1.000	1.014	0.90	0.836	0.9	1	1	0.847	1106	1	0.867	959
		6	1900	1	1.000	1.014	0.95	1.000	0.9	1	1	1.000	1647	1	1	1647

Fuente: Elaboración propia

Figura 68

Niveles de servicio respecto a cada carril y acceso

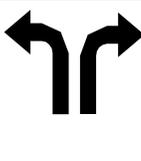
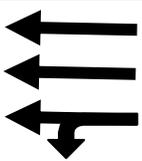
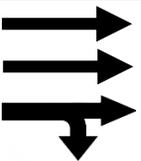
Por grupo de carril GC			Por intersección		Por Grupo de Carril						Carril	Acceso	
Q	q	X	Yi	TPC	X	d1	xa	d2	Ni	d3	d	NS	NS
146	171	1.171	0.31204	10	3.377	44	0.742	28.474	0	0	72	F	E
403	126	0.313	0.08344			35.205	0.742	11.672	0	0	47	D	
1981	2262	1.142	0.7611			20	1	20.221	0	0	40	F	F
225	938	4.169	2.78338			20	1	60	0	0	80	F	
639	608	0.951	0.63399			18.215	0.914	19.804	0	0	38	D	D
2196	1923	0.876	0.58379			16.026	0.914	7.325	0	0	23	C	

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se muestra un resumen de los datos obtenidos mediante la aplicación de la metodología HCM 2010.

Tabla 6

Resumen de resultados obtenidos con la utilización del manual HCM

INTERSECCIÓN AV. TOMAS TUYRO TUPAC CON PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA						
	SUR		ESTE		OESTE	
ACCESOS						
Grupo de carril						
Tasa de flujo de demanda ajustada, S (veh/h - carril)	1510.00	548.00	1486.00	337.00	1647.00	959.00
Capacidad, q (veh/h)	126.00	171.00	2262.00	938.00	1923.00	608.00
Grado de saturación	0.31	1.17	1.14	4.17	0.88	0.95
Demora total: d (s/veh)	47.00	72.00	40.00	80.00	23.00	38.00
Nivel de servicio del grupo de carriles	F	D	F	F	D	C

Fuente: Elaboración propia

4.2 Calibración del Modelo

4.2.1 Evaluación del modelo en VISSIM

4.2.1.1 Justificación del tamaño de muestra para el tránsito vehicular

4.2.1.1.1 Parámetro de eficiencia: Tiempo de viaje (segundos)

Datos extraídos en campo de los tiempos de viaje vehicular entre dos líneas de referencia para la calibración del modelo.

Tabla 7

Datos extraídos en campo para calibrar el modelo – Tránsito vehicular

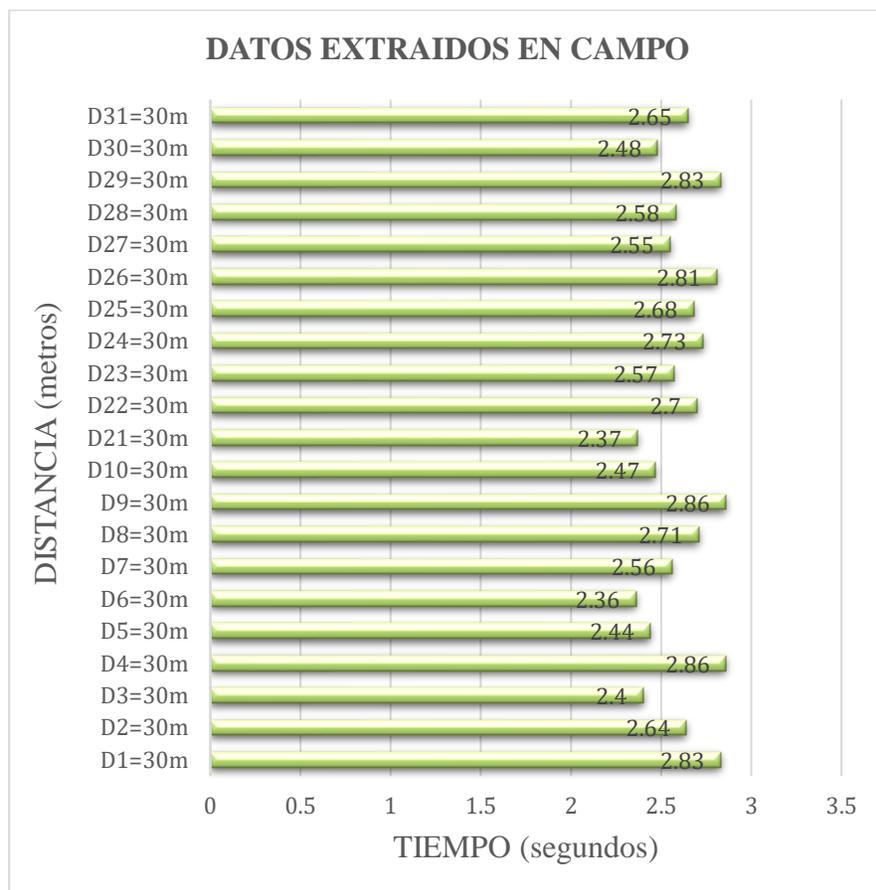
DATOS EXTRAIDOS EN CAMPO	
Tiempo (Segundos)	Distancia (m)
2.83	30
2.64	30
2.4	30
2.86	30
2.44	30
2.36	30
2.56	30
2.71	30
2.86	30
2.47	30
2.37	30
2.7	30
2.57	30
2.73	30
2.68	30
2.81	30

2.55	30
2.58	30
2.83	30
2.48	30
2.65	30

Fuente: Elaboración propia

Figura 69

Datos extraídos en campo para ajustar el modelo



Fuente: Elaboración propia

Tabla 8

Modelo estadístico para el mínimo de numero de muestras necesarias para alcanzar el 95% de confiabilidad – Tránsito vehicular

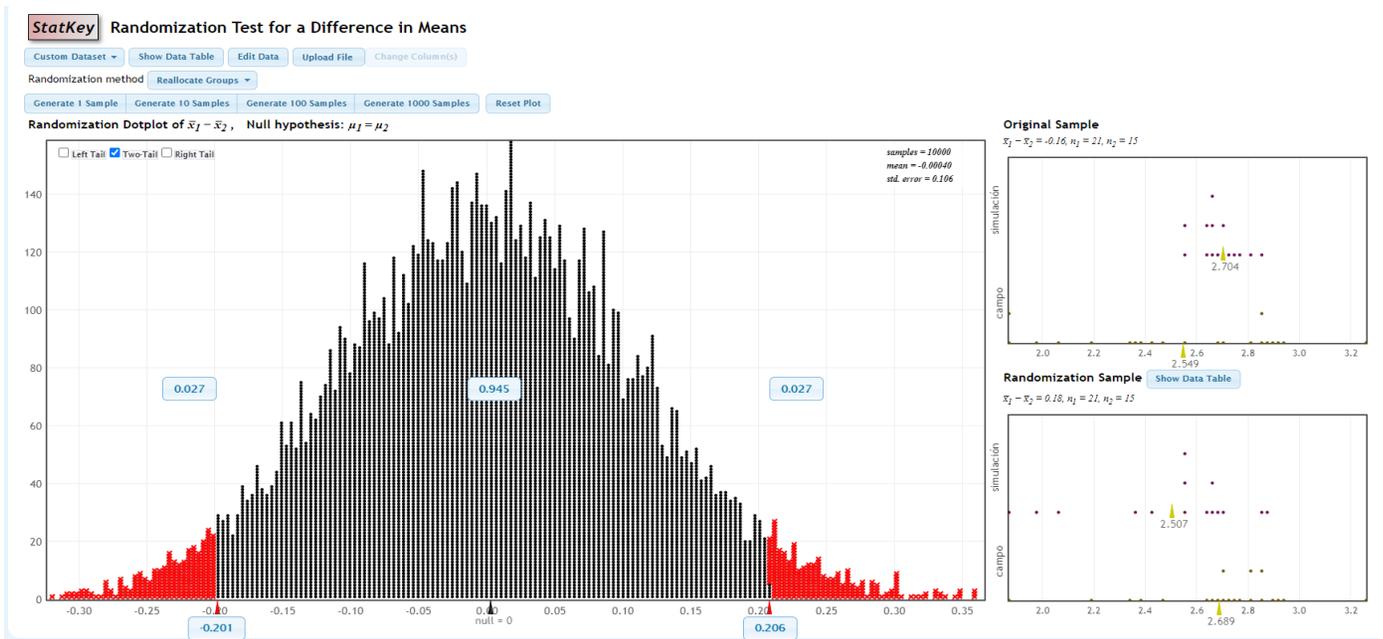
s (desviación estándar)	0.2777084	0.08373257
x (media)	2.59766667	2.70426827
n (muestra mínima)	20	N/A
x (media) - s(desviación estándar)	2.31995827	2.6205357
x (media) + s(desviación estándar)	2.87537506	2.78800084

Fuente: Elaboración propia

Prueba de hipótesis: Test de aleatoriedad a dos colas (randomization test) con margen de error del 5% (nivel de confianza al 95%)

Figura 70

Test de aleatoriedad-StatKey – Tránsito vehicular

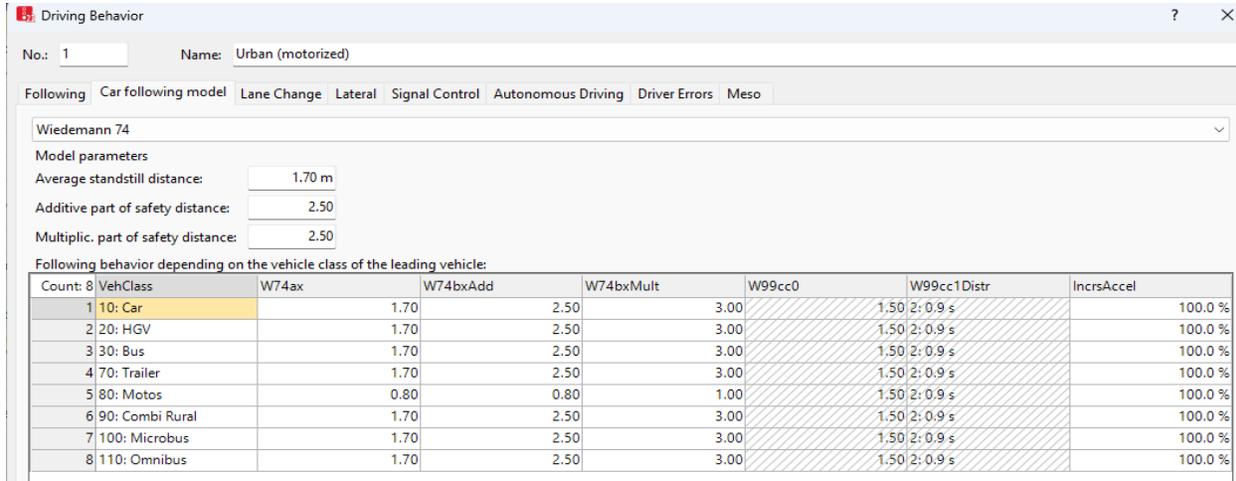


Fuente: Programa StarKey

Parámetros finales del modelo de Seguimiento Vehicular Wiedemann 74 empleados para la calibración

Figura 71

Modelo de Seguimiento Vehicular Wiedemann 74



Fuente: Programa Vissim

4.2.1.2 Justificación del tamaño de muestra para el tránsito peatonal

Datos extraídos en campo de los tiempos de paso peatonal entre dos líneas de referencia para la calibración del modelo.

Tabla 9

Datos extraídos en campo de los tiempos de paso peatonal

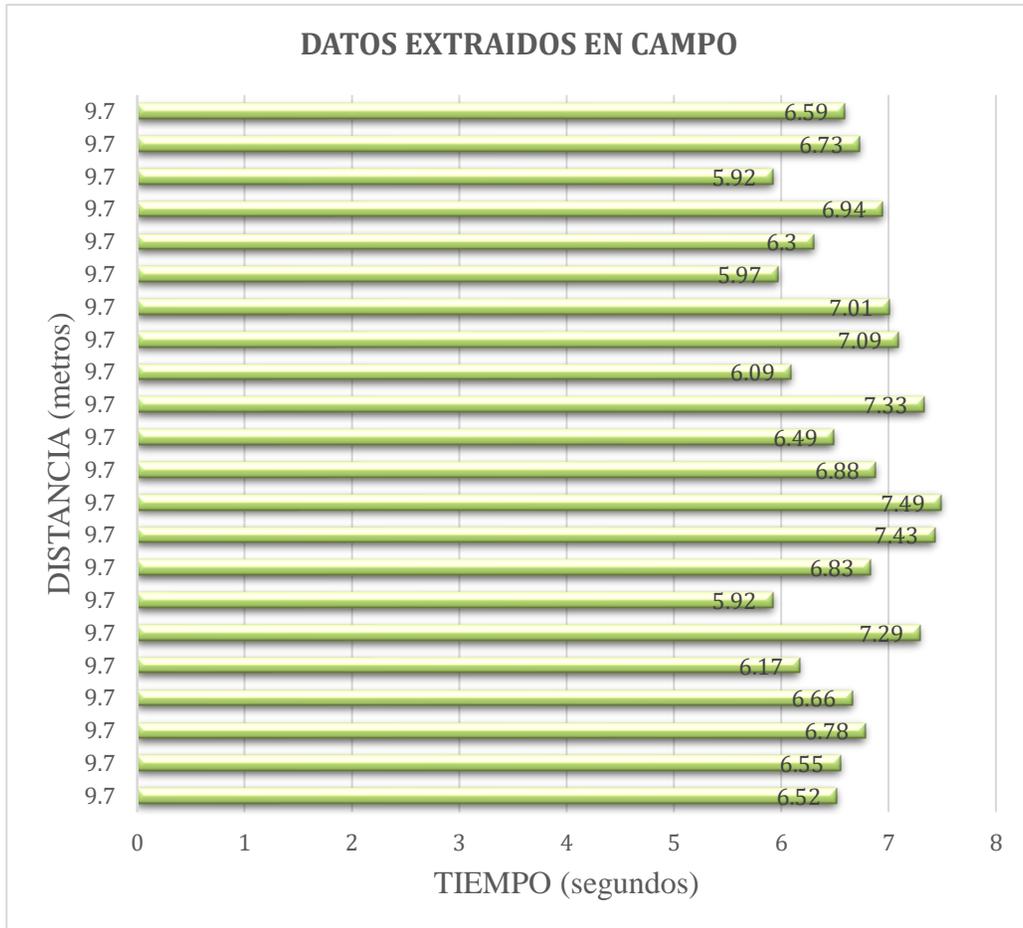
DATOS EXTRAIDOS EN CAMPO	
Tiempo (Segundos)	Distancia (m)
6.52	9.7
6.55	9.7
6.78	9.7
6.66	9.7
6.17	9.7

7.29	9.7
5.92	9.7
6.83	9.7
7.43	9.7
7.49	9.7
6.88	9.7
6.49	9.7
7.33	9.7
6.09	9.7
7.09	9.7
7.01	9.7
5.97	9.7
6.3	9.7
6.94	9.7
5.92	9.7
6.73	9.7
6.59	9.7

Fuente: Elaboración propia

Figura 72

Datos extraídos en campo para calibrar el modelo



Fuente: Elaboración propia

Modelo estadístico para el mínimo de numero de muestras necesarias para alcanzar el 95% de confiabilidad

Tabla 10

Modelo estadístico para el mínimo de numero de muestras necesarias para alcanzar el 95% de confiabilidad – Tránsito peatonal

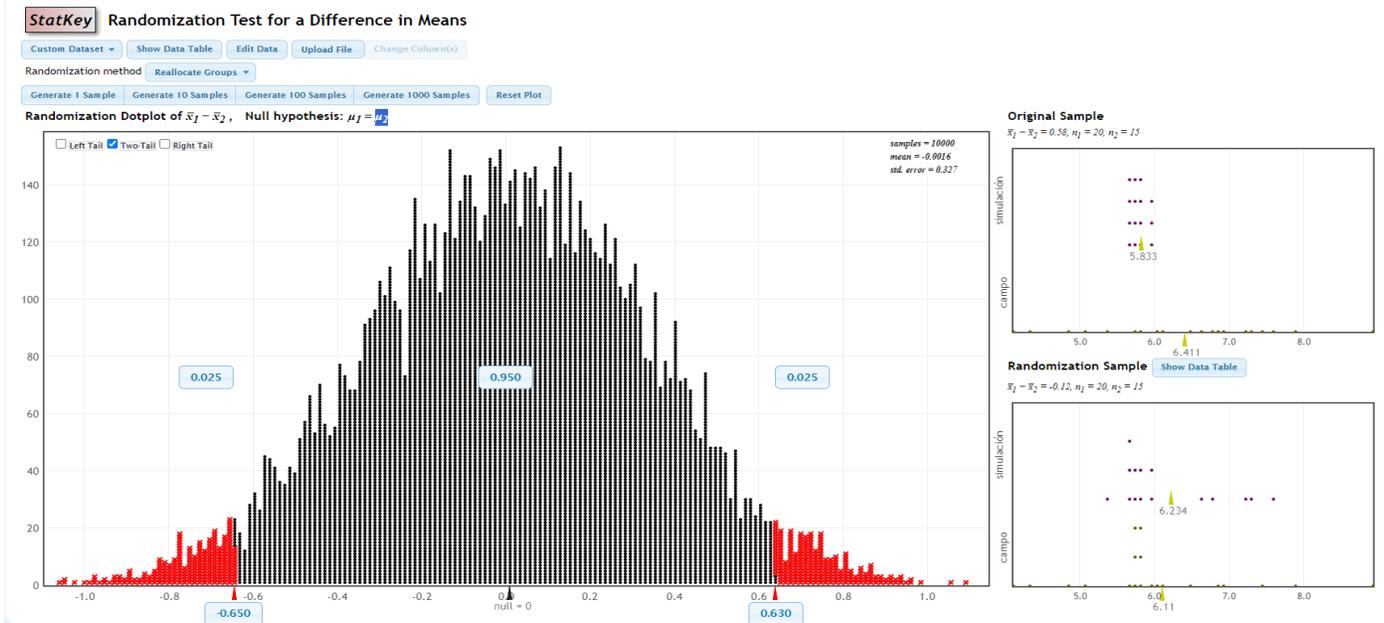
s (desviación estándar)	0.81188656	0.10213219
x (media)	6.64741935	5.83257747
n (muestra mínima)	25	N/A
x (media) - s(desviación estándar)	5.8355328	5.73044528
x (media) + s(desviación estándar)	7.45930591	5.93470965

Fuente: Elaboración propia

Prueba de hipótesis: Test de aleatoriedad a dos colas (randomization test) con margen de error del 5% (nivel de confianza al 95%)

Figura 73

Test de aleatoriedad-StatKey para el tránsito peatonal



Fuente: Elaboración propia

Parámetros finales del modelo de la Fuerza Social empleados para la calibración

Figura 74

Regulaciones para el tránsito peatonal

Walking Behaviors												
Count	No	Name	Tau	ReactToN	ASoclso	BSoclso	Lambda	ASocMean	BSocMean	VD	Noise	SidePref
1	1	Comportamiento peatonal	0.160	8	1.800	0.200	0.176	0.400	2.800	3.000	1.200	None
2	2	Elevator (In Cab)	0.400	8	2.720	0.200	0.176	0.400	2.800	3.000	0.300	None
3	3	Elevator (Alighting)	0.200	8	2.040	0.300	0.176	0.400	2.800	3.000	1.200	None

Fuente: Vissim

4.3 Evaluación, Análisis y Comparación de los Resultados

4.3.1 Resultados obtenidos en Vissim

4.3.1.1 Longitud de colas en la intersección estudiada

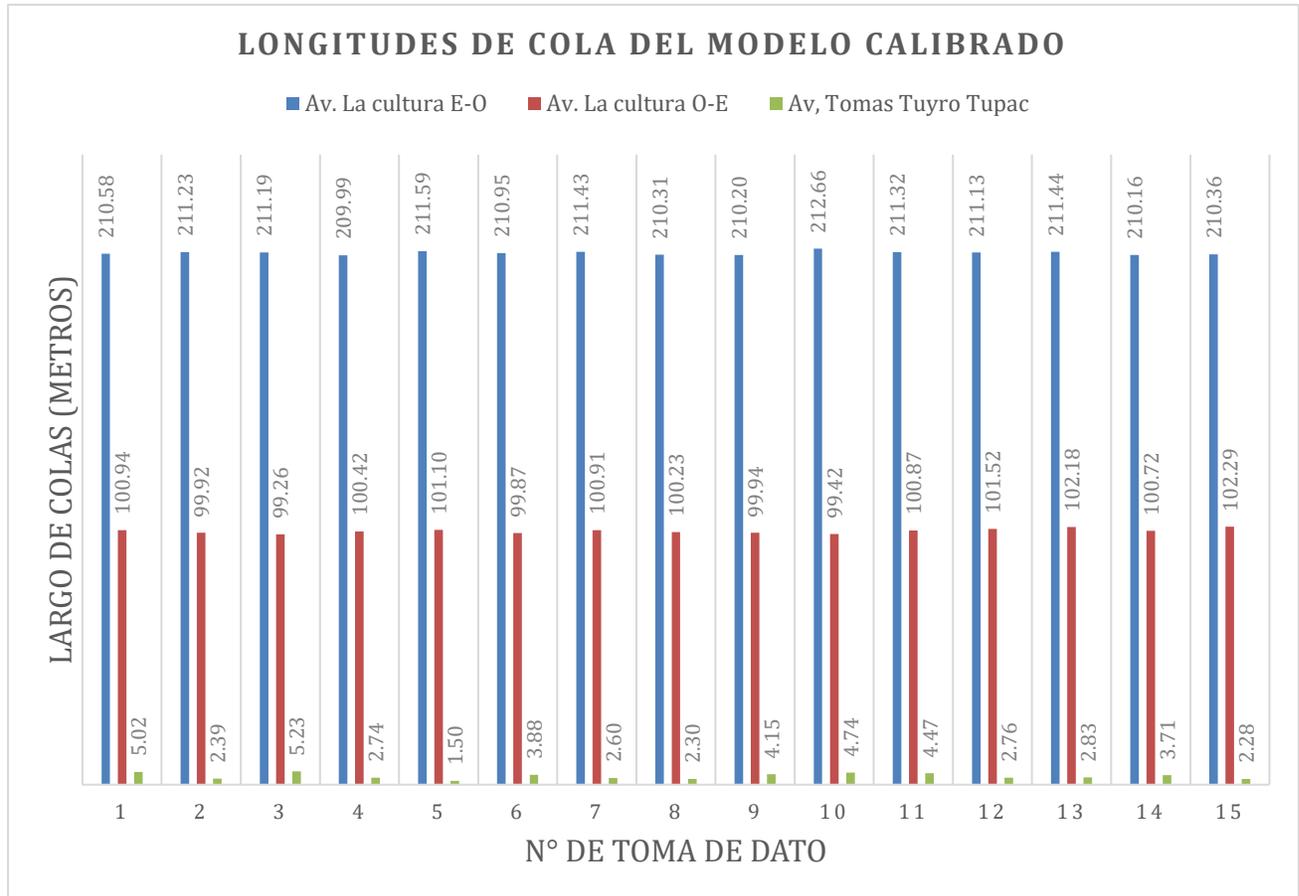
Tabla 11*Longitudes de cola del modelo calibrado en la intersección de estudio*

Colas (metros)		
Av. La cultura E-O	Av. La cultura O-E	Av, Tomas Tuyro Tupac
210.584173	100.939919	5.022023
211.229576	99.923561	2.387197
211.191421	99.261488	5.232437
209.988791	100.415927	2.739963
211.593691	101.09816	1.500953
210.949455	99.870702	3.88246
211.4329	100.914467	2.601062
210.310201	100.227967	2.30155
210.203959	99.943335	4.147249
212.662011	99.418878	4.740834
211.317229	100.873603	4.473261
211.129007	101.518577	2.762704
211.440035	102.18156	2.829131
210.158261	100.715071	3.714749
210.364534	102.292539	2.278923

Fuente: Elaboración propia

Figura 75

Longitudes de cola del modelo calibrado



Fuente: Elaboración propia

4.3.1.2 Retrasos en la intersección estudiada

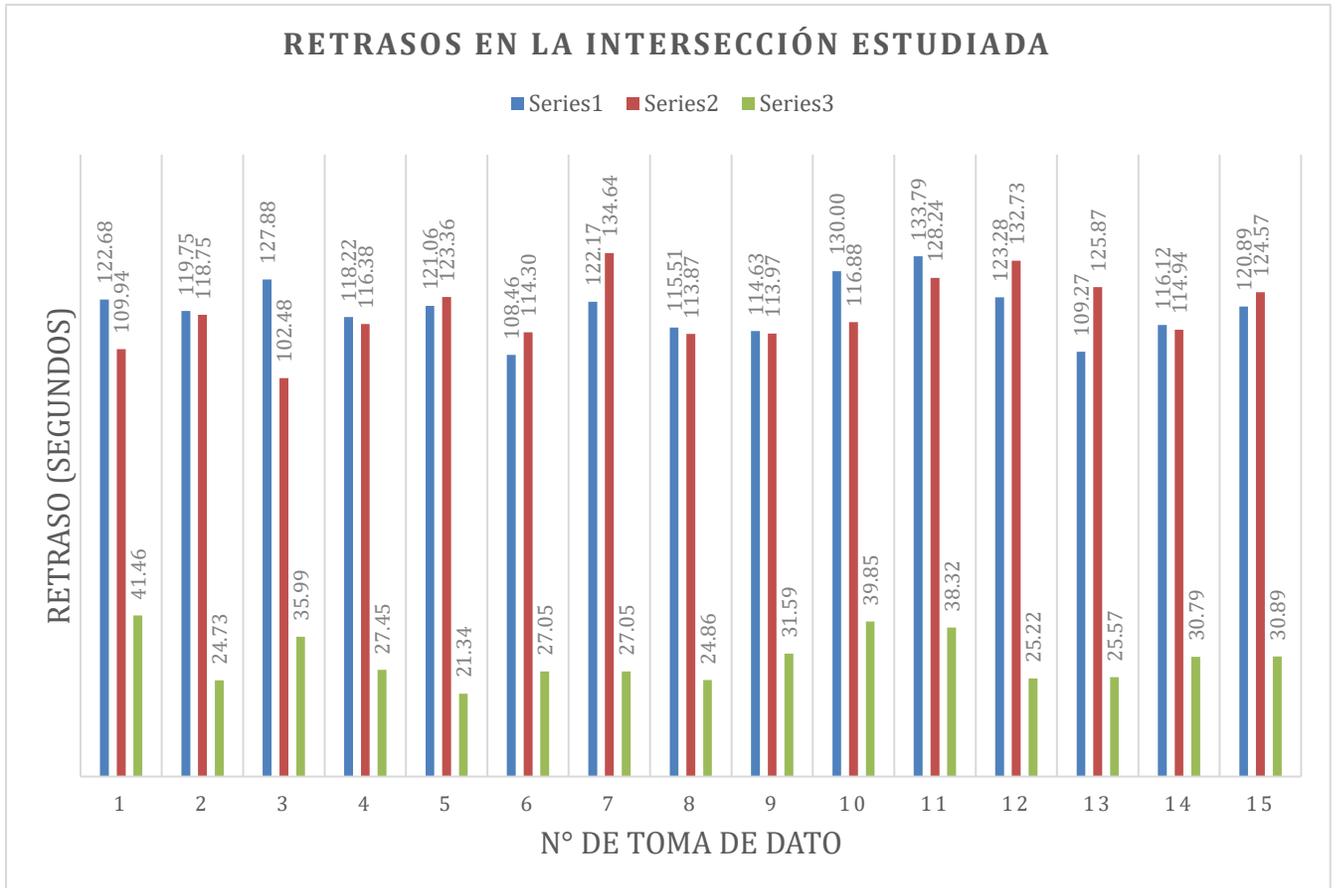
Delay (segundos)		
Av. La cultura E-O	Av. La cultura O-E	Av, Tomas Tuyro Tupac
122.682062	109.939088	41.464097
119.747683	118.745589	24.726045

127.879245	102.480982	35.990598
118.216267	116.381244	27.451699
121.063134	123.3594	21.339865
108.455747	114.299975	27.04929
122.167919	134.636006	27.054296
115.512874	113.866642	24.859088
114.632682	113.965507	31.586239
129.997251	116.876647	39.851603
133.792896	128.241895	38.320059
123.278537	132.726643	25.217762
109.267739	125.874508	25.574514
116.119656	114.941586	30.793297
120.890682	124.566558	30.889395

Fuente: Elaboración propia

Figura 76

Retrasos en la intersección estudiada



Fuente: Elaboración propia

4.3.1.3 Niveles de servicio (Level of Service) en la intersección estudiada

4.3.1.3.1 Niveles de servicio en el sentido Este-Oeste de la Avenida de la Cultura

Tabla 12

Movimiento: E-O Av. De La Cultura; E-O Avenida de la Cultura

N°	Intervalo de tiempo	Movimiento	Longitud promedio de cola	Longitud máxima de cola	Número total de vehículos	Nivel de servicio	Retraso promedio por vehículo	Tiempo de parada promedio	Paradas totales
1	600-4200	E-O Av. De La Cultura: E-O Avenida de la Cultura	211.33	225.75	737	F	199.04	131.7	8.04
2	600-4200	E-O Av. De La Cultura: E-O Avenida de la Cultura	211.97	227.96	749	F	191.62	121.66	8.52
3	600-4200	E-O Av. De La Cultura: E-O Avenida de la Cultura	211.93	227.24	697	F	206.43	135.26	8.66
4	600-4200	E-O Av. De La Cultura: E-O Avenida de la Cultura	210.73	227.85	745	F	192.93	125.28	8.03
5	600-4200	E-O Av. De La Cultura: E-O Avenida de la Cultura	212.33	227.96	764	F	192.58	121.78	8.65
6	600-4200	E-O Av. De La Cultura: E-O Avenida de la Cultura	211.69	227.93	824	F	172.67	108.18	7.57

N°	Intervalo de tiempo	Movimiento	Longitud promedio de cola	Longitud máxima de cola	Número total de vehículos	Nivel de servicio	Retraso promedio por vehículo	Tiempo de parada promedio	Paradas totales
7	600-4200	E-O Av. De La Cultura: E-O Avenida de la Cultura	212.17	227.97	789	F	195.92	124.31	8.78
8	600-4200	E-O Av. De La Cultura: E-O Avenida de la Cultura	211.05	225.71	818	F	186.35	121.51	7.51
9	600-4200	E-O Av. De La Cultura: E-O Avenida de la Cultura	210.95	225.72	806	F	182.18	115.79	7.71
10	600-4200	E-O Av. De La Cultura: E-O Avenida de la Cultura	213.4	227.89	713	F	208.54	134.32	9.11
11	600-4200	E-O Av. De La Cultura: E-O Avenida de la Cultura	212.06	225.65	729	F	216.47	141.77	9.5
12	600-4200	E-O Av. De La Cultura: E-O Avenida de la Cultura	211.87	227.95	772	F	194.15	124.25	8.08
13	600-4200	E-O Av. De La Cultura: E-O Avenida de la Cultura	212.18	227.92	837	F	174.75	110.7	7.44
14	600-4200	E-O Av. De La Cultura: E-O Avenida de la Cultura	210.9	225.71	804	F	184.69	120.4	7.7
15	600-4200	E-O Av. De La Cultura: E-O Avenida de la Cultura	211.11	227.14	810	F	192.53	126.25	7.85

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.3.2 Niveles de servicio en el sentido Oeste- Este de la Avenida de la Cultura

Tabla 13

Movimiento: O-E Av. De La Cultuta; O-E Av. De La Cultuta

Ejecución de la simulación	Intervalo de tiempo	Movimiento	Longitud promedio de cola	Longitud máxima de cola	Número total de vehículos	Nivel de servicio	Retraso promedio por vehículo	Tiempo de parada promedio	Paradas totales
1	600-4200	O-E Av. De La Cultuta: O-E Av. De La Cultuta	101.25	112.58	610	F	133.28	103.49	3.26
2	600-4200	O-E Av. De La Cultuta: O-E Av. De La Cultuta	100.23	115.9	568	F	144.88	114.44	3.37
3	600-4200	O-E Av. De La Cultuta: O-E Av. De La Cultuta	99.57	114.03	622	F	124.93	97.9	2.95
4	600-4200	O-E Av. De La Cultuta: O-E Av. De La Cultuta	100.72	114.27	598	F	142.23	112.99	3.15
5	600-4200	O-E Av. De La Cultuta: O-E Av. De La Cultuta	101.41	118.23	561	F	147.32	116.51	3.45
6	600-4200	O-E Av. De La Cultuta: O-E Av. De La Cultuta	100.18	115.92	660	F	139.12	110.06	3.15
7	600-4200	O-E Av. De La Cultuta: O-E Av. De La Cultuta	101.22	113.22	551	F	167.45	130.8	4.13

Ejecución de la simulación	Intervalo de tiempo	Movimiento	Longitud promedio de cola	Longitud máxima de cola	Número total de vehículos	Nivel de servicio	Retraso promedio por vehículo	Tiempo de parada promedio	Paradas totales
8	600-4200	O-E Av. De La Cultuta: O-E Av. De La Cultuta	100.54	118.13	584	F	139.39	110.24	3.25
9	600-4200	O-E Av. De La Cultuta: O-E Av. De La Cultuta	100.25	112.62	547	F	138.08	111.14	2.82
10	600-4200	O-E Av. De La Cultuta: O-E Av. De La Cultuta	99.73	118.12	623	F	145.63	114.25	3.64
11	600-4200	O-E Av. De La Cultuta: O-E Av. De La Cultuta	101.18	113.21	574	F	154.97	123.08	3.69
12	600-4200	O-E Av. De La Cultuta: O-E Av. De La Cultuta	101.83	115.59	570	F	163.44	130.1	3.87
13	600-4200	O-E Av. De La Cultuta: O-E Av. De La Cultuta	102.49	115.93	527	F	152.11	121.75	3.59
14	600-4200	O-E Av. De La Cultuta: O-E Av. De La Cultuta	101.02	118.17	586	F	141.28	109.91	3.42
15	600-4200	O-E Av. De La Cultuta: O-E Av. De La Cultuta	102.6	114.4	622	F	154.53	122.18	3.43

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.3.3 Niveles de servicio en el sentido Sur-Norte de la Avenida Tomás Tuyro Tupac y Este-Oeste de la Avenida de la Cultura

Tabla 14

Movimiento: S-N: Av. Tomas Tuyro Tupac; E-O Av. De la Cultura

Ejecución de la simulación	Intervalo de tiempo	Movimiento	Longitud promedio de cola	Longitud máxima de cola	Número total de vehículos	Nivel de servicio	Retraso promedio por vehículo	Tiempo de parada promedio	Paradas totales
1	600-4200	S-N: Av. Tomas Tuyro Tupac; E-O Av. De la Cultura	7.08	41.32	97	D	44.54	31.3	2.74
2	600-4200	S-N: Av. Tomas Tuyro Tupac; E-O Av. De la Cultura	4.49	27.88	114	C	27.15	17.06	2.08
3	600-4200	S-N: Av. Tomas Tuyro Tupac; E-O Av. De la Cultura	7.29	47.08	111	D	40.44	26.72	3.48
4	600-4200	S-N: Av. Tomas Tuyro Tupac; E-O Av. De la Cultura	4.72	30.38	104	C	30.16	18.96	2.5
5	600-4200	S-N: Av. Tomas Tuyro Tupac; E-O Av. De la Cultura	3.11	29.02	96	C	23.62	14.42	1.81
6	600-4200	S-N: Av. Tomas Tuyro Tupac; E-O Av. De la Cultura	5.86	37.53	114	C	30.01	18.43	2.32
7	600-4200	S-N: Av. Tomas Tuyro Tupac; E-O Av. De la Cultura	4.58	28.56	115	C	29.62	18.12	2.66

Ejecución de la simulación	Intervalo de tiempo	Movimiento	Longitud promedio de cola	Longitud máxima de cola	Número total de vehículos	Nivel de servicio	Retraso promedio por vehículo	Tiempo de parada promedio	Paradas totales
8	600-4200	S-N: Av. Tomas Tuyro Tupac: E-O Av. De la Cultura	4.13	26.85	114	C	27.19	16.44	2.32
9	600-4200	S-N: Av. Tomas Tuyro Tupac: E-O Av. De la Cultura	6.28	28.39	98	C	34.38	22.81	3.02
10	600-4200	S-N: Av. Tomas Tuyro Tupac: E-O Av. De la Cultura	6.92	47.81	112	D	43.77	29.83	2.9
11	600-4200	S-N: Av. Tomas Tuyro Tupac: E-O Av. De la Cultura	6.64	33.69	107	D	41.21	29.07	3.5
12	600-4200	S-N: Av. Tomas Tuyro Tupac: E-O Av. De la Cultura	4.46	35.24	102	C	27.98	16.85	2.43
13	600-4200	S-N: Av. Tomas Tuyro Tupac: E-O Av. De la Cultura	4.54	41.25	94	C	28.93	17.76	1.89
14	600-4200	S-N: Av. Tomas Tuyro Tupac: E-O Av. De la Cultura	5.9	36.1	113	C	33.8	21.69	2.65
15	600-4200	S-N: Av. Tomas Tuyro Tupac: E-O Av. De la Cultura	4.76	35.58	96	C	33.89	22.06	2.58

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.3.4 Niveles de servicio en el sentido Sur-Norte de la Avenida Tomás Tuyro Tupac y Oeste-Este de la Avenida de la Cultura

Tabla 15*Movimiento: S-N Av. Tomas Tuyro Tupac; O-E Av. De La Cultuta*

Ejecución de la simulación	Intervalo de tiempo	Movimiento	Longitud promedio de cola	Longitud máxima de cola	Número total de vehículos	Nivel de servicio	Retraso promedio por vehículo	Tiempo de parada promedio	Paradas totales
1	600-4200	S-N Av. Tomas Tuyro Tupac: O-E Av. De La Cultuta	7.08	41.32	165	B	19.54	10.34	1.52
2	600-4200	S-N Av. Tomas Tuyro Tupac: O-E Av. De La Cultuta	4.49	27.88	130	B	17.16	9.78	1.36
3	600-4200	S-N Av. Tomas Tuyro Tupac: O-E Av. De La Cultuta	7.29	47.08	147	C	22.48	12.43	1.78
4	600-4200	S-N Av. Tomas Tuyro Tupac: O-E Av. De La Cultuta	4.72	30.38	151	B	18.82	11.21	1.83
5	600-4200	S-N Av. Tomas Tuyro Tupac: O-E Av. De La Cultuta	3.11	29.02	138	B	13.9	7.81	1.05
6	600-4200	S-N Av. Tomas Tuyro Tupac: O-E Av. De La Cultuta	5.86	37.53	155	C	21.87	13.3	1.45
7	600-4200	S-N Av. Tomas Tuyro Tupac: O-E Av. De La Cultuta	4.58	28.56	141	B	18.81	0	1.53
8	600-4200	S-N Av. Tomas Tuyro Tupac: O-E Av. De La Cultuta	4.13	26.85	145	B	16.12	8.78	1.27

Ejecución de la simulación	Intervalo de tiempo	Movimiento	Longitud promedio de cola	Longitud máxima de cola	Número total de vehículos	Nivel de servicio	Retraso promedio por vehículo	Tiempo de parada promedio	Paradas totales
9	600-4200	S-N Av. Tomas Tuyro Tupac: O-E Av. De La Cultuta	6.28	28.39	169	C	23.97	14.37	2.05
10	600-4200	S-N Av. Tomas Tuyro Tupac: O-E Av. De La Cultuta	6.92	47.81	167	C	22.23	12.34	1.76
11	600-4200	S-N Av. Tomas Tuyro Tupac: O-E Av. De La Cultuta	6.64	33.69	142	C	23.78	14.54	2.11
12	600-4200	S-N Av. Tomas Tuyro Tupac: O-E Av. De La Cultuta	4.46	35.24	132	B	19.6	11.41	1.52
13	600-4200	S-N Av. Tomas Tuyro Tupac: O-E Av. De La Cultuta	4.54	41.25	139	B	19.04	10.7	1.29
14	600-4200	S-N Av. Tomas Tuyro Tupac: O-E Av. De La Cultuta	5.9	36.1	155	B	18.5	9.91	2.03
15	600-4200	S-N Av. Tomas Tuyro Tupac: O-E Av. De La Cultuta	4.76	35.58	139	B	16.83	9.28	1.33

Fuente: Elaboración propia

Capítulo V: Propuestas de mejora

5.1 Propuestas para la mejora de niveles de servicio en la intersección de estudio

5.1.1 Propuesta de mejora 01

Se propone implementar un carril exclusivo para el transporte público en la intersección semaforizada, delimitado con bolardos para garantizar que los vehículos particulares no invadan esta zona, con el objetivo de mejorar los niveles de servicio y optimizar la movilidad. Esta medida busca reducir la congestión vehicular al otorgar prioridad al transporte público, permitiendo que los autobuses operen de manera más eficiente, con tiempos de recorrido más cortos y sin interferencias con el tráfico general. La separación de flujos facilita la optimización del ciclo semafórico, ya que, al disminuir los conflictos entre vehículos privados y transporte público, se pueden ajustar los tiempos de los semáforos para atender de manera más eficiente las necesidades de cada flujo, aumentando la capacidad de la intersección y reduciendo los tiempos de espera. Además, esta medida mejora la seguridad vial, ordena el tránsito y contribuye a una experiencia de movilidad más eficiente para todos los usuarios, fomentando el uso del transporte público y beneficiando tanto a los pasajeros como a los vehículos privados. La correcta señalización, supervisión y control serán clave para garantizar la efectividad de esta intervención.

5.1.2 Propuesta de mejora 02

Se propone redirigir el tránsito de vehículos pesados hacia una vía alterna con el objetivo de aliviar la congestión en la intersección semaforizada. Al desviar camiones y vehículos de gran tamaño hacia rutas específicas fuera de las arterias principales, se busca disminuir la interferencia con los vehículos ligeros y el transporte público, con la intención de reducir los tiempos de espera

y favorecer un flujo vehicular más eficiente. Esta medida se plantea como una posible estrategia para lograr una circulación más fluida y priorizar la eficiencia operativa en una intersección clave.

También se espera que esta estrategia contribuya a incrementar la seguridad vial, ya que los vehículos pesados suelen generar conflictos en las maniobras dentro de las intersecciones debido a su tamaño, velocidad y radio de giro. Al proponer la separación de este tipo de tránsito del flujo general, se considera que podrían reducirse las posibilidades de accidentes y ofrecer un entorno vial más seguro tanto para conductores como para peatones.

5.1.3 Propuesta de mejora 03

Se propone reubicar el paradero de buses actualmente situado dentro de la intersección semaforizada, a una distancia de 100 metros. Esta acción tiene como objetivo principal mejorar los niveles de servicio y evitar la formación de cuellos de botella ocasionados por los buses deteniéndose en los carriles de circulación general. Al trasladar el paradero a un área dedicada y diseñada exclusivamente para el transporte público, se elimina la interferencia directa con el flujo de vehículos privados, permitiendo un tráfico más eficiente y continuo.

Además, esta reubicación no solo optimizará los tiempos de los ciclos semafóricos al reducir el retardo general de la intersección, sino que también incrementará la seguridad de los usuarios del transporte público. Estos podrán abordar y descender de los buses en un espacio más seguro y adecuado, sin interrumpir la circulación vehicular. En conjunto, esta medida contribuirá significativamente a una movilidad más fluida y segura en toda la zona, alineándose con las estrategias de mejora integral del flujo vehicular en la intersección.

5.1.4 Propuesta de mejora 04

Propuesta de optimización de la intersección semaforizada mediante mejoras estratégicas, se plantea la implementación conjunta de tres medidas complementarias para mejorar la movilidad y los niveles de servicio en la intersección semaforizada. La primera consiste en la creación de un carril exclusivo para el transporte público, delimitado con bolardos para evitar que vehículos particulares lo invadan. Esto permitirá a los autobuses circular de manera fluida y eficiente, reduciendo tiempos de recorrido y conflictos con el tráfico general. Paralelamente, se reubicará el paradero de buses actualmente situado dentro de la intersección a una zona específica a 100 metros de distancia, diseñada para evitar que los autobuses interrumpen el flujo vehicular al detenerse en los carriles principales.

A estas dos acciones se suma la redirección del tránsito de vehículos pesados hacia vías alternas. Al desviar estos vehículos de gran tamaño, se elimina una fuente significativa de congestión y se reducen los conflictos en la intersección, favoreciendo un flujo vehicular más eficiente. Además, esta estrategia mejora la seguridad vial, ya que los camiones suelen generar maniobras complicadas debido a su tamaño y radio de giro. La combinación de estas medidas facilita la separación de flujos, optimiza los ciclos semafóricos y disminuye los tiempos de espera en la intersección.

En conjunto, la implementación de un carril exclusivo, la reubicación del paradero de buses y el desvío de vehículos pesados generará un entorno vial más ordenado, seguro y eficiente para todos los usuarios. Estas acciones no solo priorizan el transporte público, sino que también benefician a los vehículos privados, promueven una movilidad más sostenible y aseguran una mejor experiencia para conductores, pasajeros y peatones en esta zona estratégica.

5.2 Resultados de las propuestas de mejora

Para presentar los resultados de esta investigación, se utilizó el modelamiento en VISSIM, debido a que demostró mayor precisión en la simulación de escenarios reales de tráfico. La elección de la propuesta más óptima se basó en un análisis comparativo de estos resultados obtenidos en el modelamiento.

5.2.1 Resultados de las propuestas de mejora en la intersección semaforizada

5.2.1.1 Resultado de la propuesta 01

Tabla 16

Longitud de colas – propuesta 01

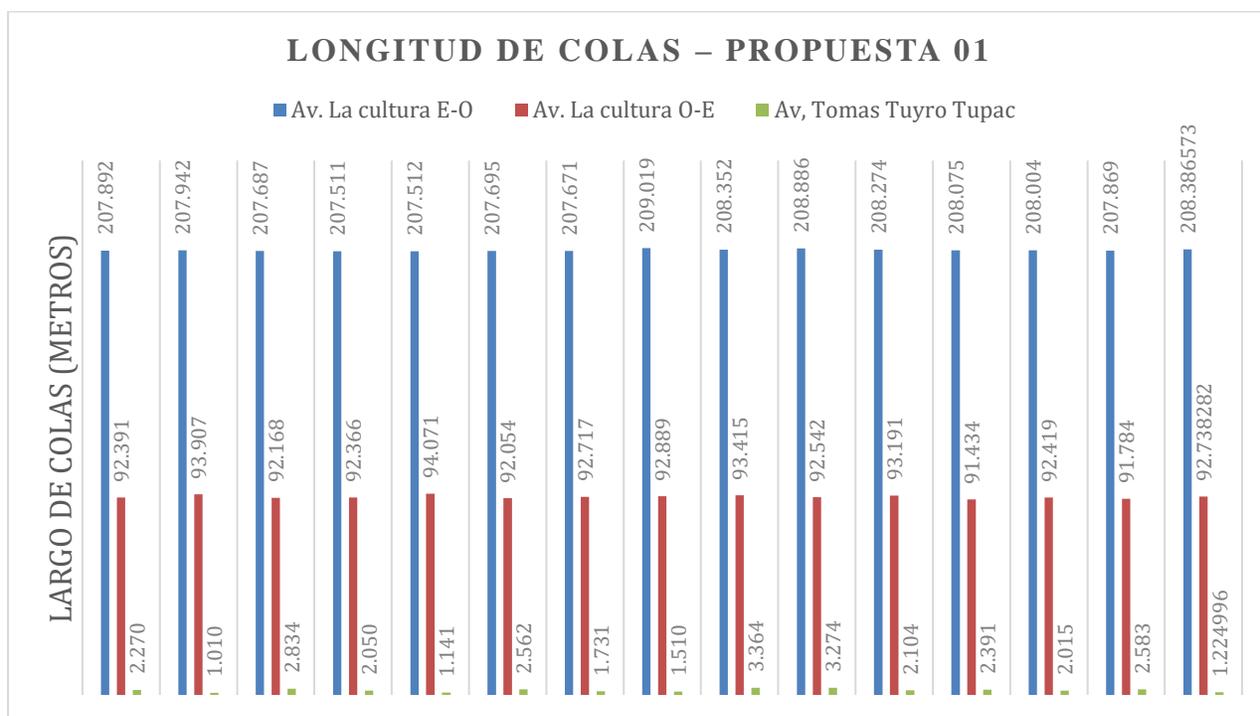
Colas (metros)		
Av. La cultura E-O	Av. La cultura O-E	Av, Tomas Tuyro Tupac
207.892242	92.391072	2.269636
207.942146	93.906818	1.010493
207.687432	92.167957	2.834415
207.510721	92.365889	2.04998
207.511855	94.070688	1.141344
207.694515	92.054351	2.562094
207.671308	92.716972	1.731344
209.019071	92.888976	1.510127
208.351918	93.414815	3.363793

208.886312	92.541634	3.273879
208.274138	93.19122	2.104232
208.074632	91.433777	2.391473
208.00377	92.419479	2.015409
207.869177	91.784321	2.582934
208.386573	92.738282	1.224996

Fuente: Elaboración propia

Figura 77

Longitud de colas – propuesta 01



Fuente: Elaboración propia

Tabla 17

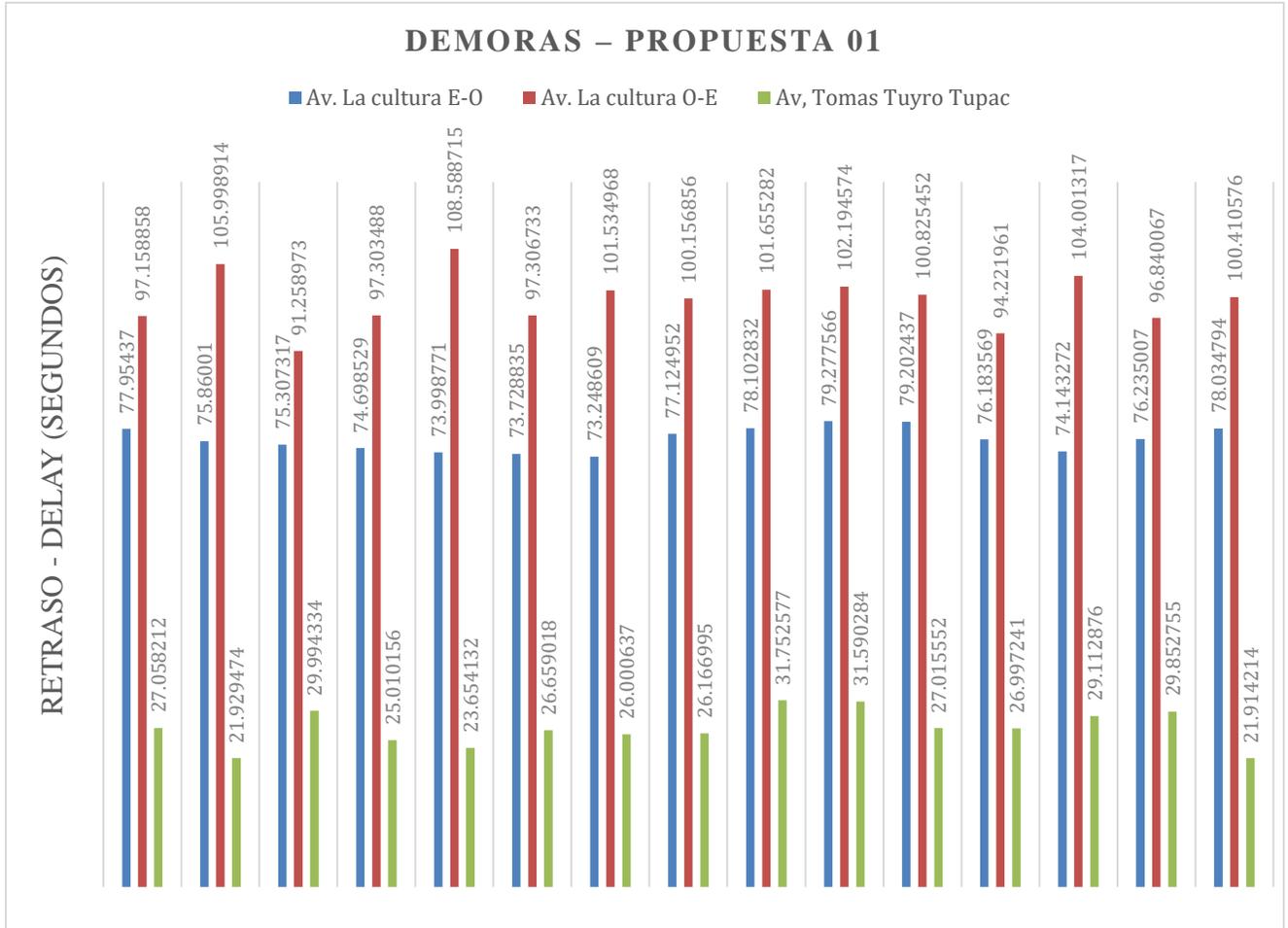
Demoras – propuesta 01

Retraso - Delay (segundos)		
Av. La cultura E-O	Av. La cultura O-E	Av, Tomas Tuyro Tupac
77.95437	97.158858	27.058212
75.86001	105.998914	21.929474
75.307317	91.258973	29.994334
74.698529	97.303488	25.010156
73.998771	108.588715	23.654132
73.728835	97.306733	26.659018
73.248609	101.534968	26.000637
77.124952	100.156856	26.166995
78.102832	101.655282	31.752577
79.277566	102.194574	31.590284
79.202437	100.825452	27.015552
76.183569	94.221961	26.997241
74.143272	104.001317	29.112876
76.235007	96.840067	29.852755
78.034794	100.410576	21.914214

Fuente: Datos extraídos de la simulación

Figura 78

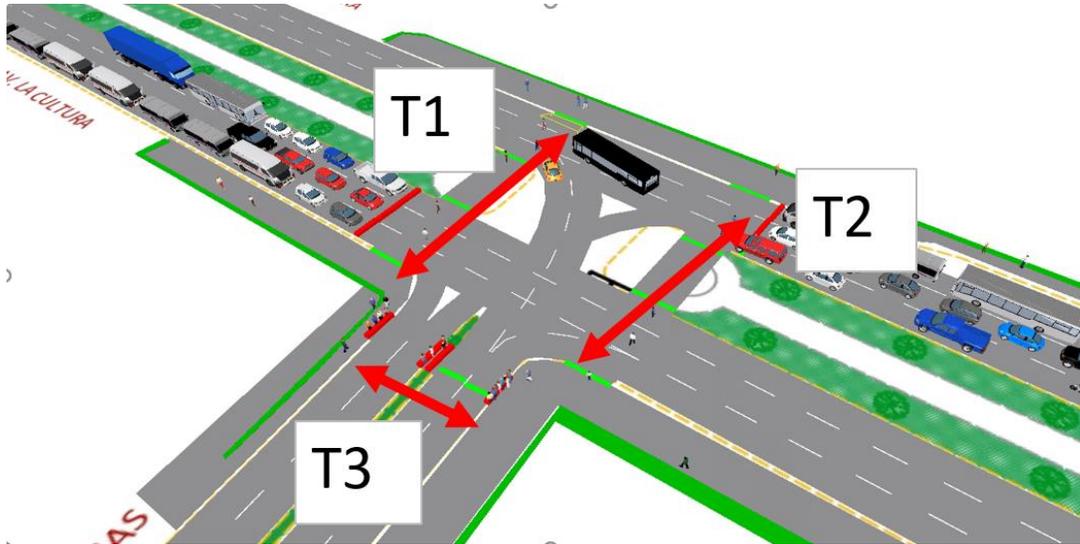
Demoras – propuesta 01



Fuente: Elaboración propia

Figura 79

Imagen referencial de movimiento peatonal



Fuente: Elaboración propia

Tabla 18

Tiempos de viaje peatonal - propuesta 01

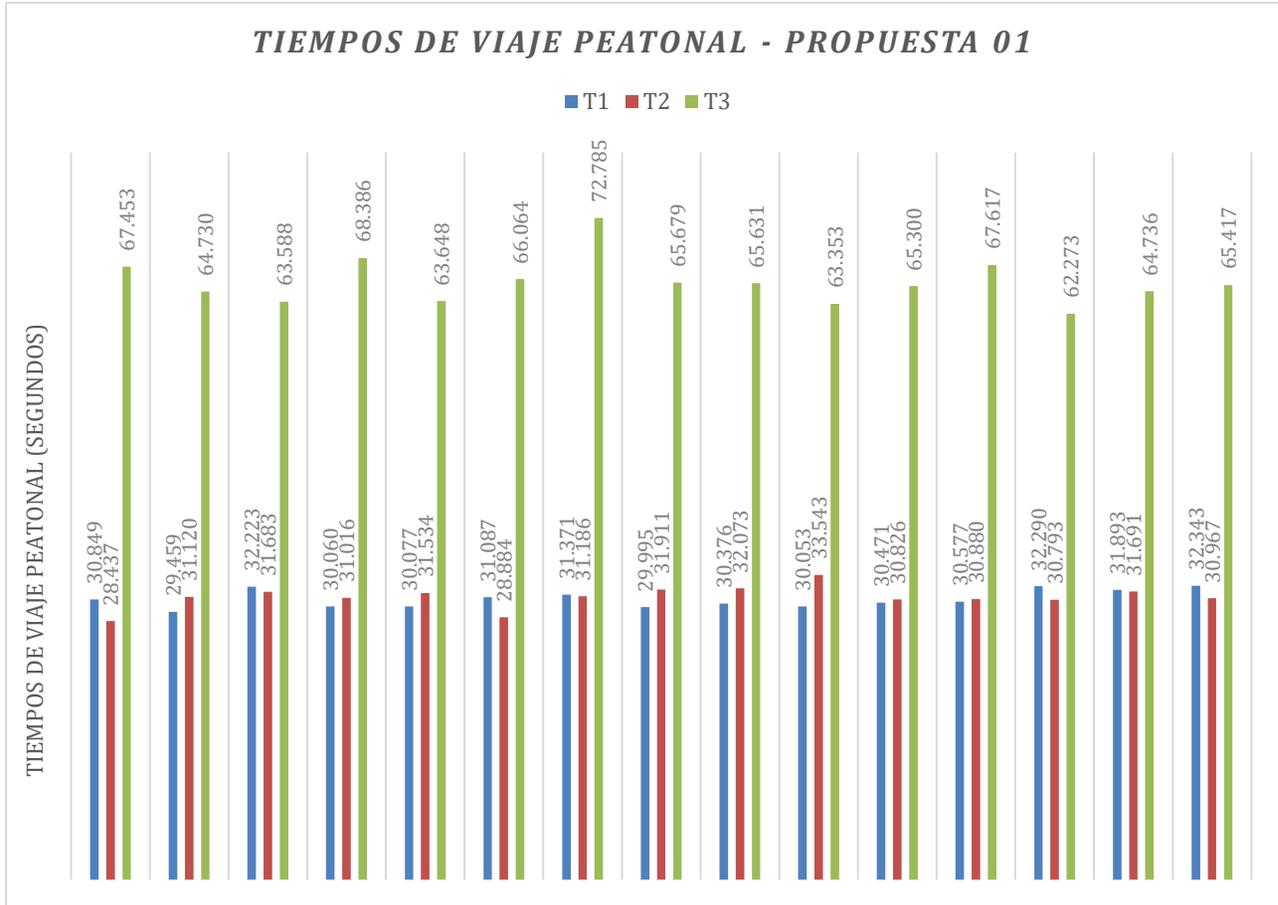
Tiempos de viaje peatonal		
T1	T2	T3
30.849	28.436895	67.453045
29.458734	31.119972	64.729991
32.222508	31.683104	63.587559
30.060215	31.015983	68.38564
30.077333	31.533851	63.648009
31.086544	28.884201	66.064142

31.37147	31.186394	72.78473
29.995398	31.911325	65.678586
30.375622	32.073259	65.630652
30.053495	33.542889	63.352804
30.471172	30.825613	65.300275
30.577295	30.880347	67.617318
32.290145	30.792608	62.27266
31.89308	31.691405	64.736367
32.343202	30.96738	65.416528

Fuente: Elaboración propia

Figura 80

Tiempos de viaje peatonal - propuesta 01



Fuente: Elaboración propia

5.2.1.2 Resultado de la propuesta 02

Tabla 19

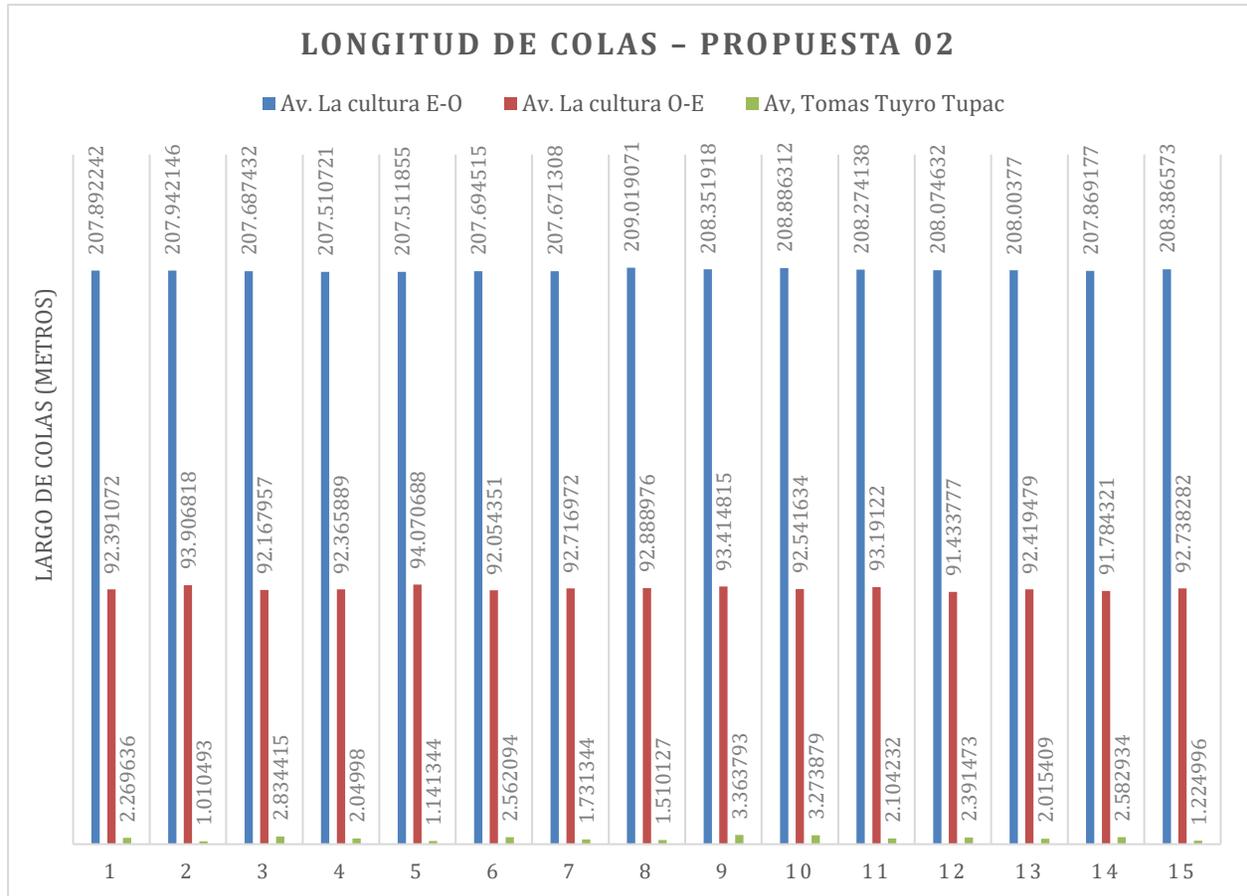
Longitud de colas – propuesta 02

Colas (metros)		
Av. La cultura E-O	Av. La cultura O-E	Av, Tomas Tuyro Tupac
207.892242	92.391072	2.269636
207.942146	93.906818	1.010493
207.687432	92.167957	2.834415
207.510721	92.365889	2.04998
207.511855	94.070688	1.141344
207.694515	92.054351	2.562094
207.671308	92.716972	1.731344
209.019071	92.888976	1.510127
208.351918	93.414815	3.363793
208.886312	92.541634	3.273879
208.274138	93.19122	2.104232
208.074632	91.433777	2.391473
208.00377	92.419479	2.015409
207.869177	91.784321	2.582934
208.386573	92.738282	1.224996

Fuente: Elaboración propia

Figura 81

Longitud de colas – propuesta 02



Fuente: Elaboración propia

Tabla 20

Demoras – propuesta 02

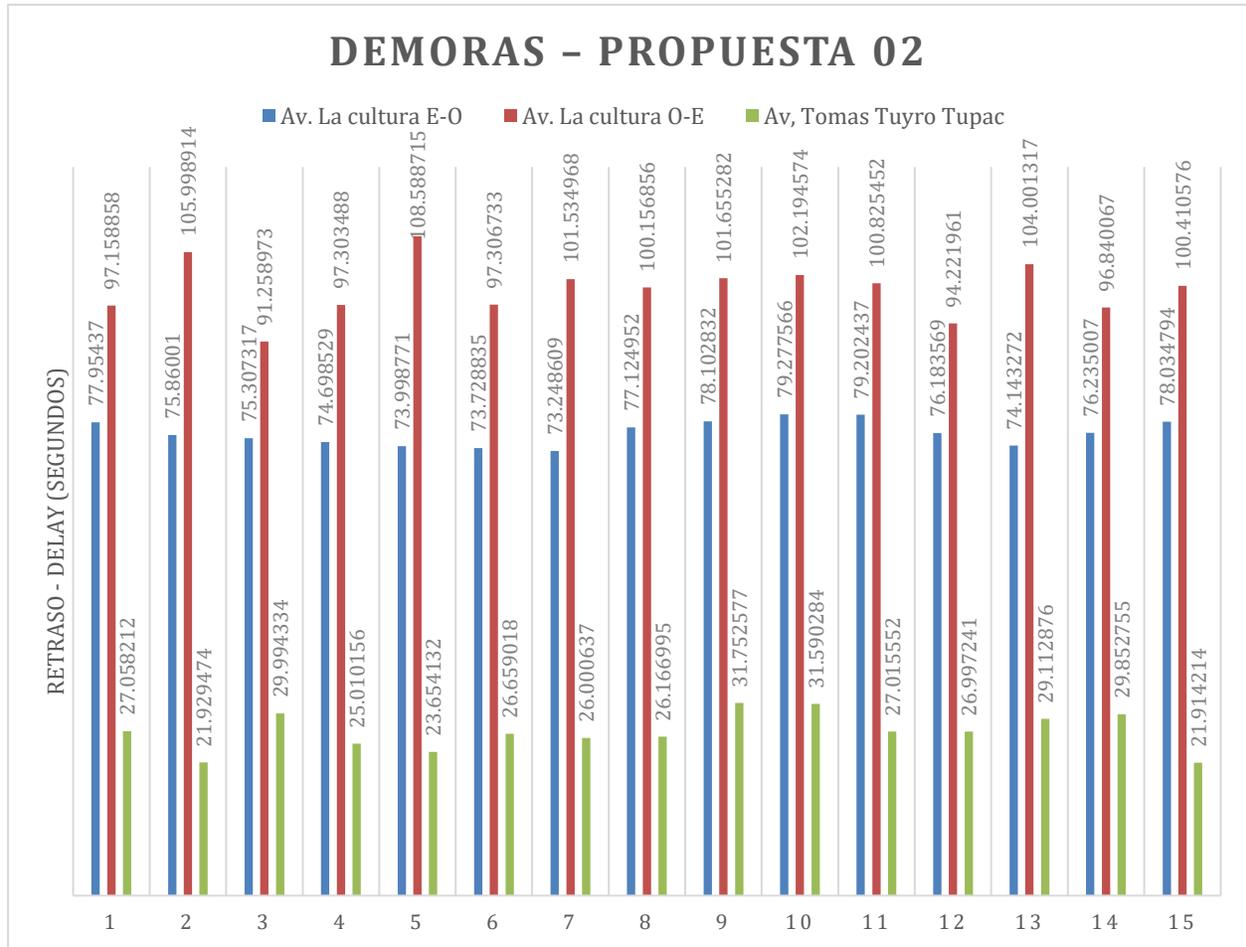
Delay (segundos)		
Av. La cultura E-O	Av. La cultura O-E	Av, Tomas Tuyro Tupac
77.95437	97.158858	27.058212

75.86001	105.998914	21.929474
75.307317	91.258973	29.994334
74.698529	97.303488	25.010156
73.998771	108.588715	23.654132
73.728835	97.306733	26.659018
73.248609	101.534968	26.000637
77.124952	100.156856	26.166995
78.102832	101.655282	31.752577
79.277566	102.194574	31.590284
79.202437	100.825452	27.015552
76.183569	94.221961	26.997241
74.143272	104.001317	29.112876
76.235007	96.840067	29.852755
78.034794	100.410576	21.914214

Fuente: Elaboración propia

Figura 82

Demoras – propuesta 02



Fuente: Elaboración propia

Tabla 21

Tiempos de viaje peatonal – propuesta 02

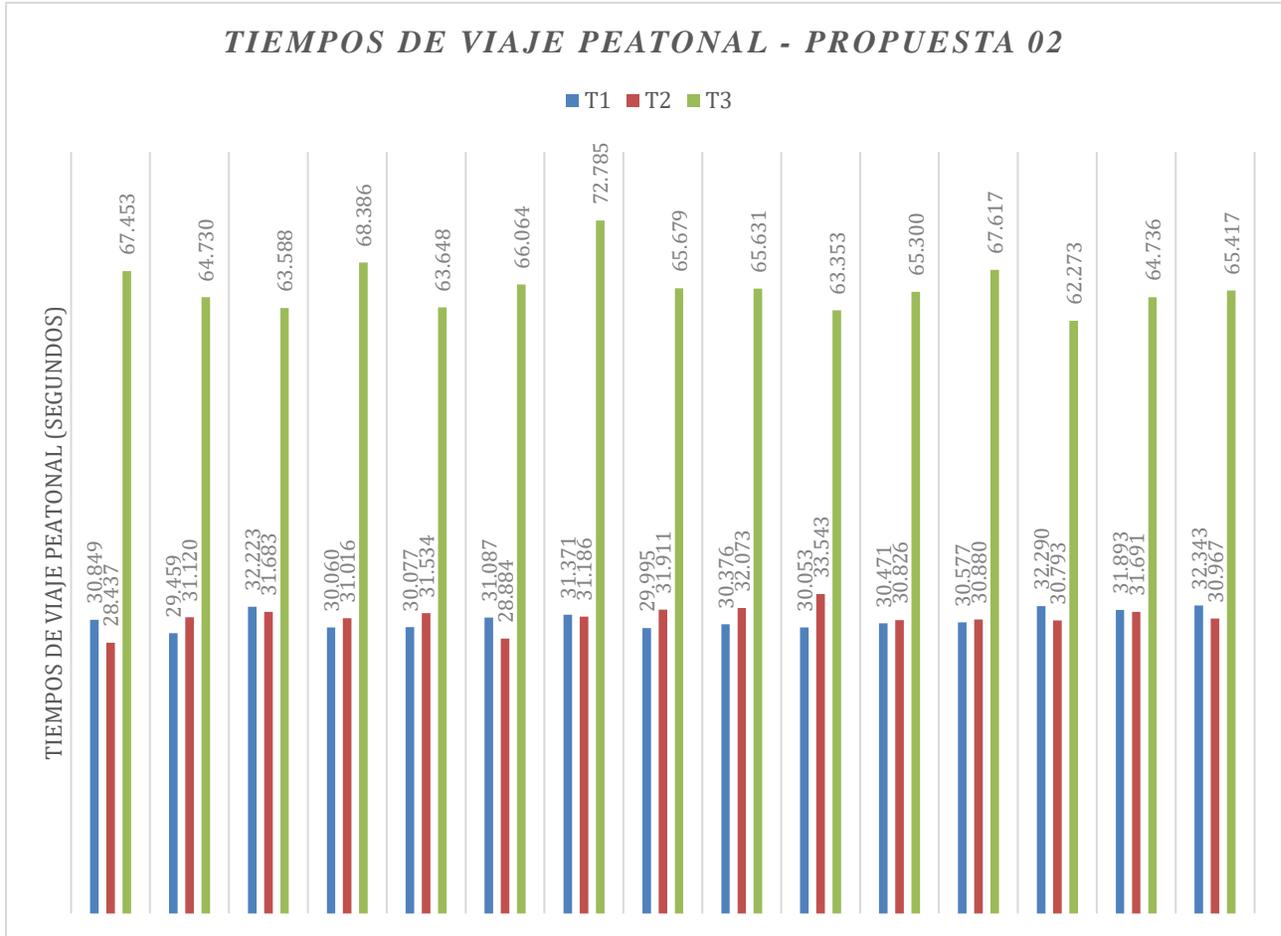
Tiempos de viaje peatonal		
T1	T2	T3
30.849	28.436895	67.453045

Tiempos de viaje peatonal		
T1	T2	T3
29.458734	31.119972	64.729991
32.222508	31.683104	63.587559
30.060215	31.015983	68.38564
30.077333	31.533851	63.648009
31.086544	28.884201	66.064142
31.37147	31.186394	72.78473
29.995398	31.911325	65.678586
30.375622	32.073259	65.630652
30.053495	33.542889	63.352804
30.471172	30.825613	65.300275
30.577295	30.880347	67.617318
32.290145	30.792608	62.27266
31.89308	31.691405	64.736367
32.343202	30.96738	65.416528

Fuente: Elaboración propia

Figura 83

Tiempos de viaje peatonal - propuesta 02



Fuente: Elaboración propia

5.2.1.3 Resultado de la propuesta 03

Tabla 22

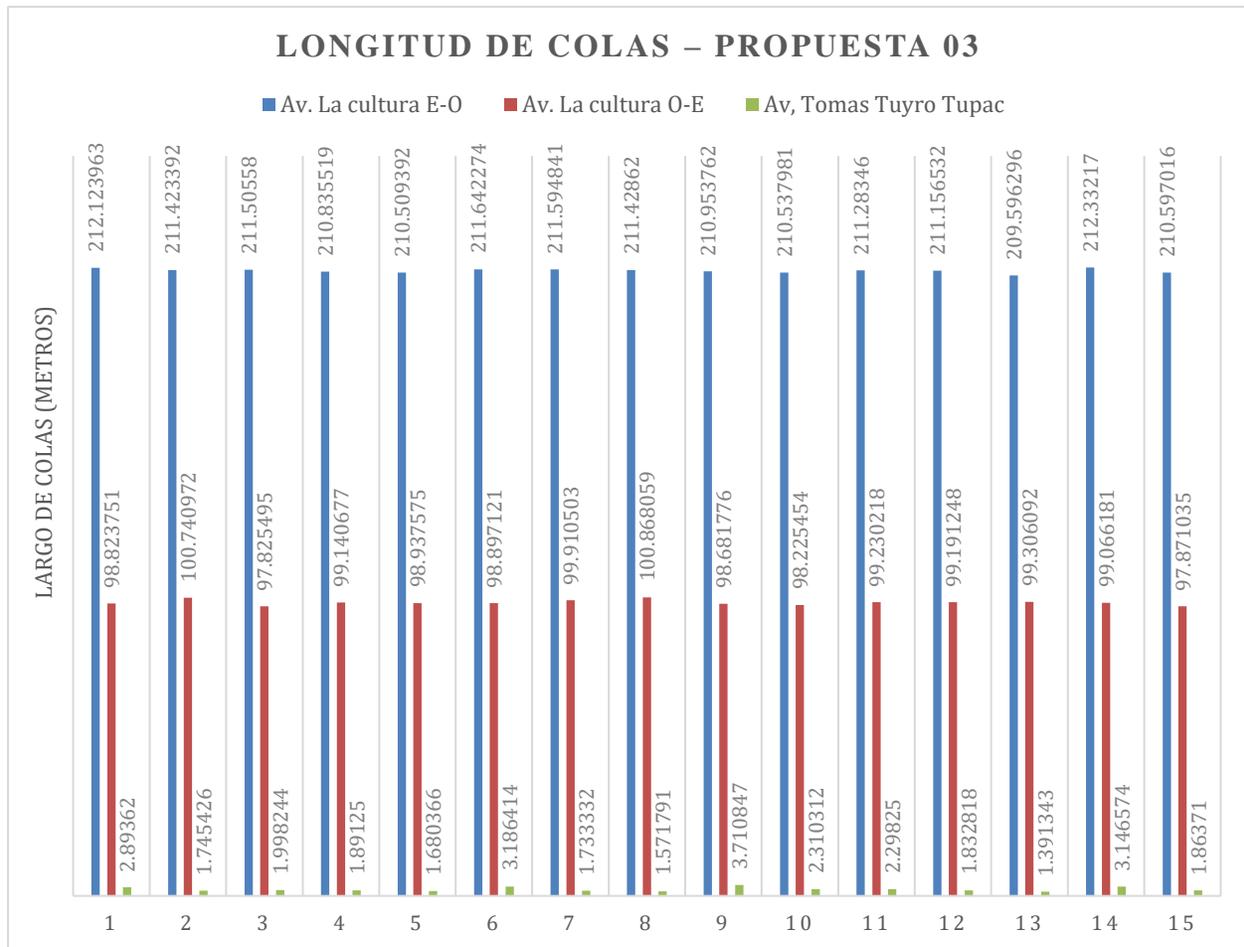
Longitud de colas – propuesta 03

Colas (metros)		
Av. La cultura E-O	Av. La cultura O-E	Av, Tomas Tuyro Tupac
212.123963	98.823751	2.89362
211.423392	100.740972	1.745426
211.50558	97.825495	1.998244
210.835519	99.140677	1.89125
210.509392	98.937575	1.680366
211.642274	98.897121	3.186414
211.594841	99.910503	1.733332
211.42862	100.868059	1.571791
210.953762	98.681776	3.710847
210.537981	98.225454	2.310312
211.28346	99.230218	2.29825
211.156532	99.191248	1.832818
209.596296	99.306092	1.391343
212.33217	99.066181	3.146574
210.597016	97.871035	1.86371

Fuente: Elaboración propia

Figura 84

Longitud de colas – propuesta 03



Fuente: Elaboración propia

Tabla 23

Demoras – propuesta 03

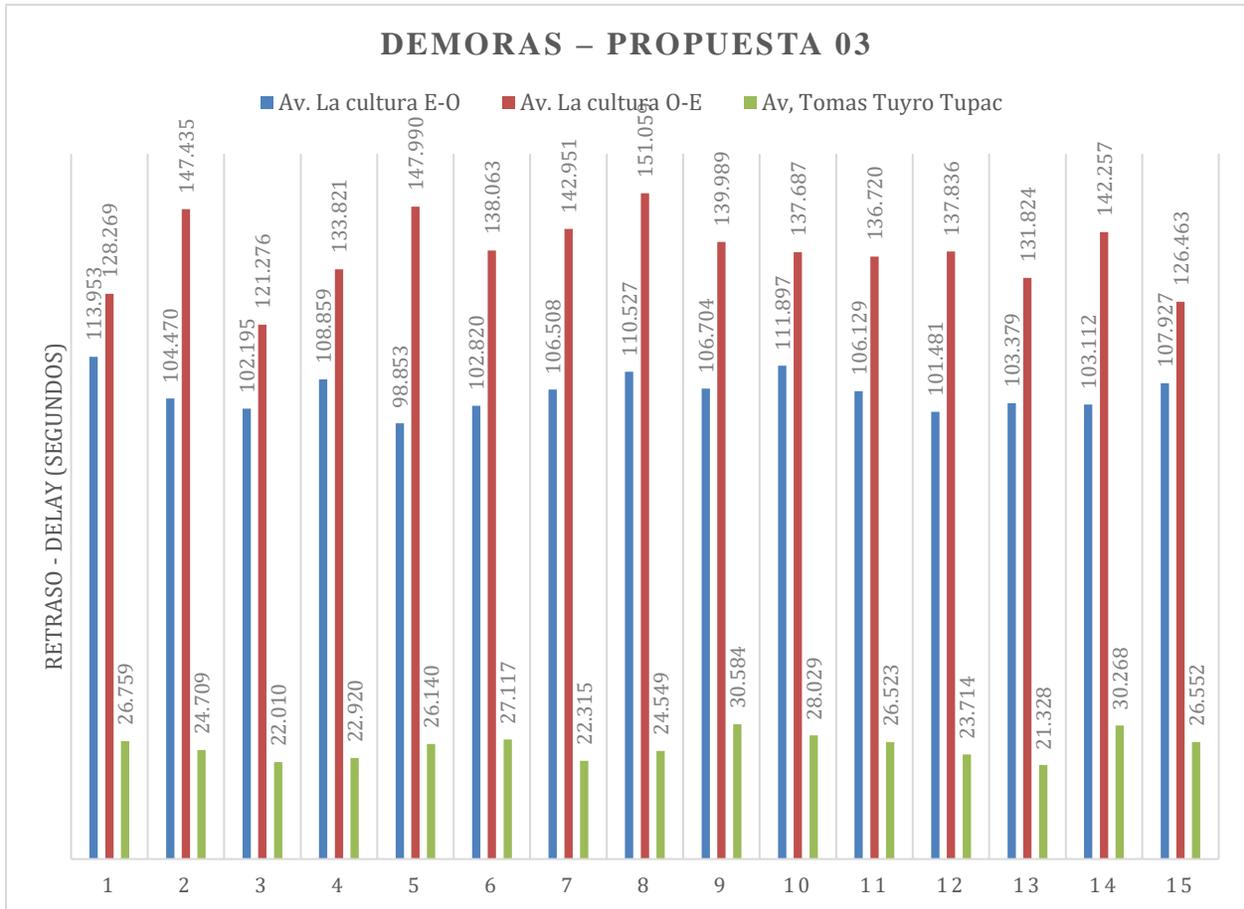
Delay (segundos)		
Av. La cultura E-O	Av. La cultura O-E	Av, Tomas Tuyro Tupac

113.952687	128.26874	26.75897
104.470148	147.435211	24.709318
102.19457	121.275908	22.010103
108.858659	133.821045	22.920347
98.853236	147.990342	26.139974
102.820324	138.062726	27.117306
106.508428	142.950614	22.314786
110.526645	151.058588	24.549393
106.704479	139.989097	30.583896
111.897091	137.687415	28.028691
106.129468	136.720471	26.522531
101.48065	137.835732	23.713645
103.378662	131.8237	21.327991
103.111885	142.256722	30.267739
107.926543	126.462979	26.551752

Fuente: Elaboración propia

Figura 85

Demoras – propuesta 03



Fuente: Elaboración propia

Tabla 24

Tiempos de viaje peatonal – propuesta 03

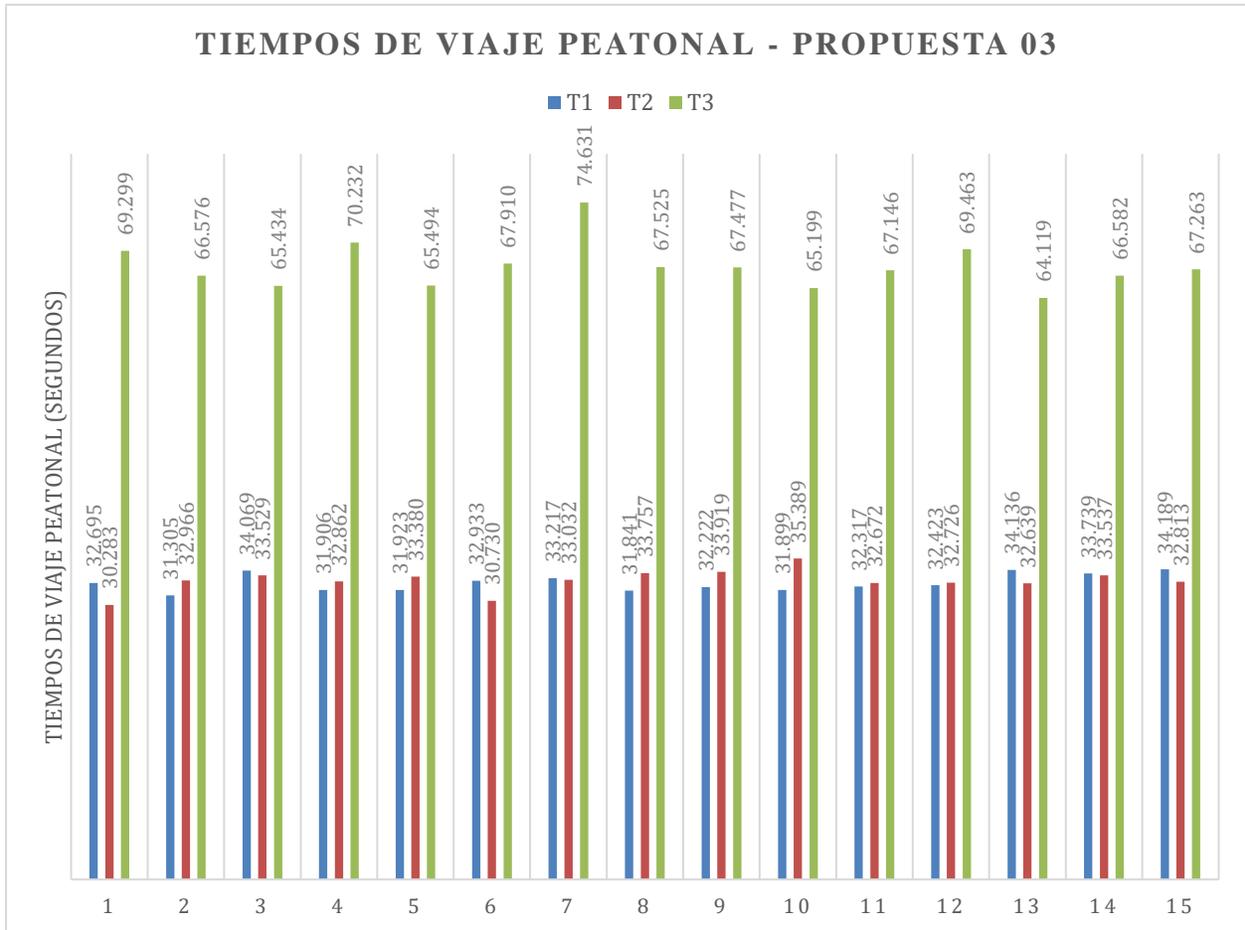
Tiempos de viaje peatonal		
T1	T2	T3
32.695	30.282895	69.299045
31.304734	32.965972	66.575991

Tiempos de viaje peatonal		
T1	T2	T3
34.068508	33.529104	65.433559
31.906215	32.861983	70.23164
31.923333	33.379851	65.494009
32.932544	30.730201	67.910142
33.21747	33.032394	74.63073
31.841398	33.757325	67.524586
32.221622	33.919259	67.476652
31.899495	35.388889	65.198804
32.317172	32.671613	67.146275
32.423295	32.726347	69.463318
34.136145	32.638608	64.11866
33.73908	33.537405	66.582367
34.189202	32.81338	67.262528

Fuente: Elaboración propia

Figura 86

Tiempos de viaje peatonal - propuesta 03



Fuente: Elaboración propia

5.2.1.4 Resultado de la propuesta 04

Tabla 25

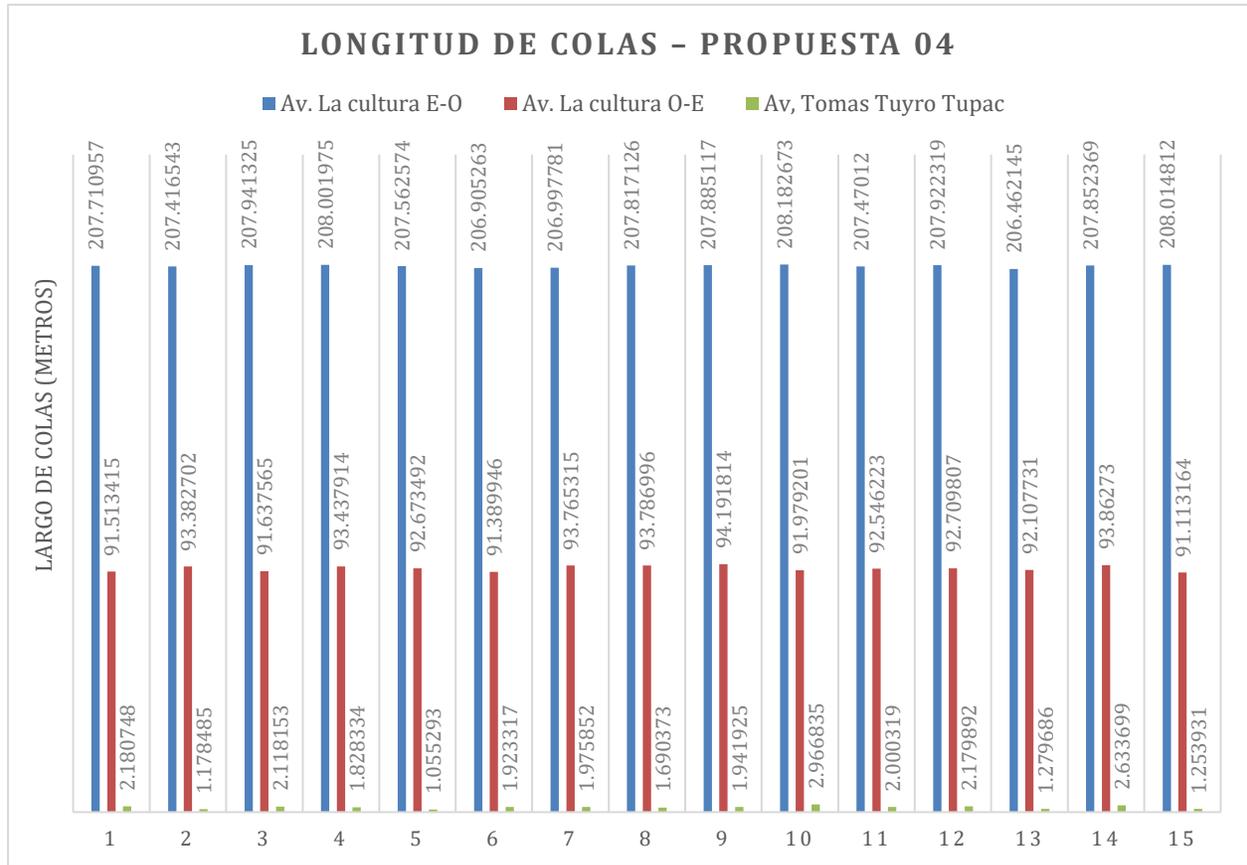
Longitud de colas – propuesta 04

Colas (metros)		
Av. La cultura E-O	Av. La cultura O-E	Av, Tomas Tuyro Tupac
207.710957	91.513415	2.180748
207.416543	93.382702	1.178485
207.941325	91.637565	2.118153
208.001975	93.437914	1.828334
207.562574	92.673492	1.055293
206.905263	91.389946	1.923317
206.997781	93.765315	1.975852
207.817126	93.786996	1.690373
207.885117	94.191814	1.941925
208.182673	91.979201	2.966835
207.47012	92.546223	2.000319
207.922319	92.709807	2.179892
206.462145	92.107731	1.279686
207.852369	93.86273	2.633699
208.014812	91.113164	1.253931

Fuente: Elaboración propia

Figura 87

Longitud de colas – propuesta 04



Fuente: Elaboración propia

Tabla 26

Demoras – propuesta 04

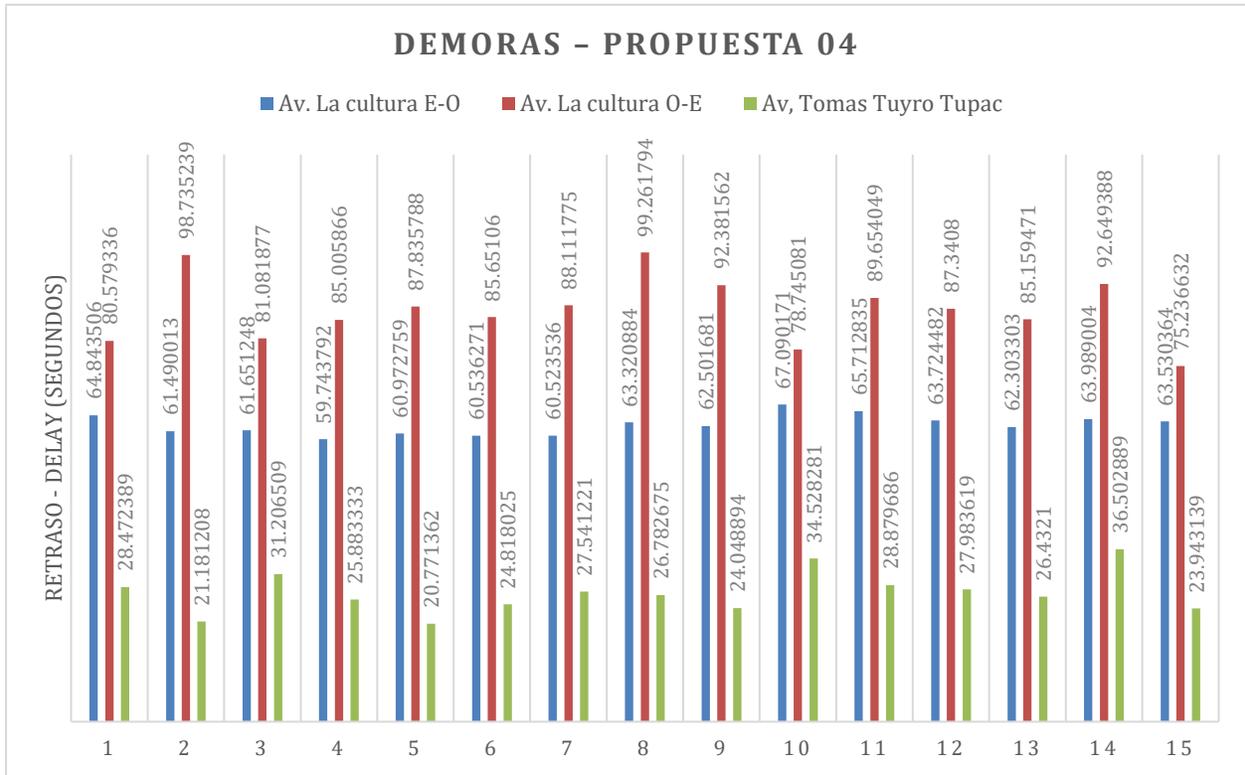
Delay (segundos)		
Av. La cultura E-O	Av. La cultura O-E	Av, Tomas Tuyro Tupac
64.843506	80.579336	28.472389

Delay (segundos)		
Av. La cultura E-O	Av. La cultura O-E	Av, Tomas Tuyro Tupac
61.490013	98.735239	21.181208
61.651248	81.081877	31.206509
59.743792	85.005866	25.883333
60.972759	87.835788	20.771362
60.536271	85.65106	24.818025
60.523536	88.111775	27.541221
63.320884	99.261794	26.782675
62.501681	92.381562	24.048894
67.090171	78.745081	34.528281
65.712835	89.654049	28.879686
63.724482	87.3408	27.983619
62.303303	85.159471	26.4321
63.989004	92.649388	36.502889
63.530364	75.236632	23.943139

Fuente: Elaboración propia

Figura 88

Demoras – propuesta 04



Fuente: Elaboración propia

Tabla 27

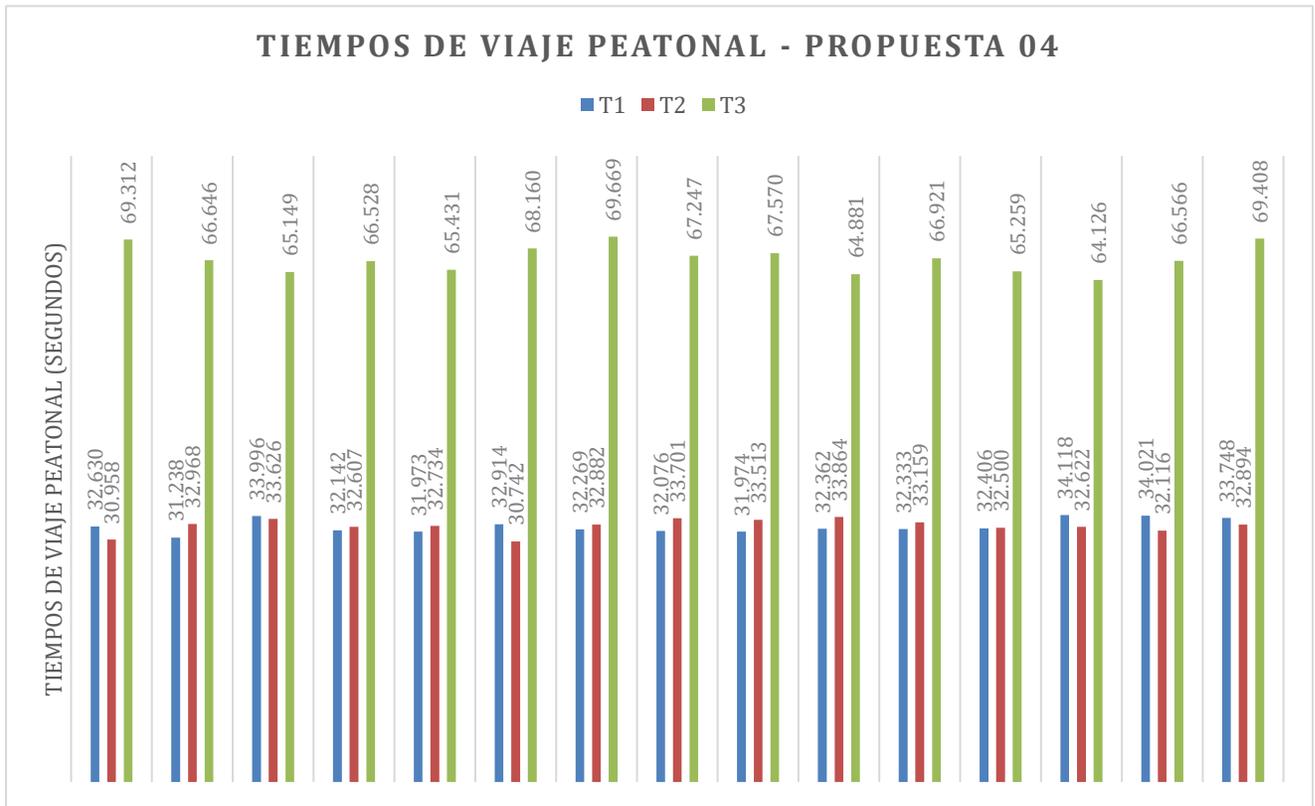
Tiempos de viaje peatonal – propuesta 04

Tiempos de viaje peatonal		
T1	T2	T3
32.63	30.95817	69.311933
31.238462	32.968056	66.645921
33.996133	33.626119	65.149327

Tiempos de viaje peatonal		
T1	T2	T3
32.141808	32.606612	66.527714
31.972778	32.734328	65.430805
32.914201	30.741611	68.159906
32.268675	32.88169	69.669444
32.076344	33.701266	67.246809
31.974054	33.512593	67.570485
32.362121	33.86358	64.8811
32.332828	33.159355	66.920767
32.405682	32.5	65.259112
34.118072	32.622152	64.125598
34.02069	32.116031	66.565893
33.747887	32.893662	69.408204

Figura 89

Tiempos de viaje peatonal - propuesta 04



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Conclusión general

Se realizó un análisis y evaluación del tránsito vehicular en la intersección de la Avenida de la Cultura con la Avenida Tomás Tuyro Tupac, identificándose niveles de servicio críticos en dos puntos de la intersección. Para abordar esta problemática, se desarrolló un modelo de simulación en VISSIM, el cual logró replicar de la manera más precisa posible las condiciones reales del flujo vehicular y peatonal. Durante la construcción del modelo, VISSIM proporcionó herramientas útiles para la calibración, considerando tanto el comportamiento de los vehículos como el de los peatones. Estas características hacen que el software sea una herramienta eficaz para el análisis del tránsito. Al ser un modelo estocástico, VISSIM ofrece una variabilidad en los resultados a través de múltiples simulaciones, lo que permite obtener una representación más cercana a la realidad en comparación con los modelos determinísticos, que no cuentan con esta capacidad de variabilidad. Con base en el modelo construido, se plantearon propuestas para mejorar la fluidez del tránsito vehicular, aprovechando las ventajas del software de microsimulación, que permite analizar de manera detallada y precisa el comportamiento dinámico y cambiante del tráfico vehicular. Esto resulta particularmente adecuado para abordar las características complejas del flujo vehicular en la intersección evaluada.

Conclusión N° 01

Se identificaron deficiencias en la fluidez vehicular en la intersección de la Av. Tomás Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura. Estas incluyen conflictos generados por movimientos permitidos, como los giros a la izquierda; la presencia de paraderos de transporte

público ubicados cerca de los semáforos, que provocan interferencias entre vehículos; y ciclos semaforicos peatonales inadecuados, que generan conflictos entre peatones y vehículos.

Conclusión N°02

Para analizar el comportamiento del tráfico en la intersección de la Av. Tomás Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura mediante VISSIM, se consideran factores como la longitud de las filas de vehículos, los tiempos de demora y, en consecuencia, los niveles de servicio. A partir de estos elementos, se puede llevar a cabo un diagnóstico integral del flujo vehicular en la zona, empleando VISSIM como herramienta clave para evaluar y plantear alternativas que optimicen las condiciones actuales de operación.

Conclusión N°03

En conclusión, la optimización de la intersección semaforizada mediante mejoras estratégicas demuestra ser una solución integral que combina tres medidas complementarias: la creación de un carril exclusivo para el transporte público, la reubicación del paradero de buses a una zona más adecuada y el desvío de vehículos pesados hacia rutas alternas. Aunque las mejoras en los niveles de servicio no son drásticas, los resultados evidencian una reducción en las demoras y una optimización del flujo vehicular. Estas acciones contribuyen a un entorno más ordenado, eliminando conflictos entre diferentes usuarios de la vía y resolviendo indirectamente problemas de seguridad vial que se presentan en el escenario actual.

Recomendaciones

Recomendación general

Se recomienda ampliar esta investigación realizando un análisis más integral del tránsito en otras avenidas del distrito de San Sebastián y zonas adyacentes. Estas vías influyen en el comportamiento del flujo vehicular en la intersección analizada, ya que concentran un alto volumen de desplazamientos hacia áreas de alta demanda, especialmente en horarios pico.

Un estudio más amplio permitiría evaluar cómo las condiciones de estas arterias principales influyen en la congestión vehicular, las demoras y los niveles de servicio en la intersección de interés. Además, se podrían identificar patrones de movilidad regional, zonas críticas de embotellamiento y posibles áreas de intervención para mejorar la capacidad y funcionalidad de la red vial en su conjunto. Este enfoque holístico no solo enriquecería los resultados del análisis, sino que también facilitaría la planificación de medidas que optimicen la movilidad urbana y reduzcan los tiempos de viaje, promoviendo un sistema de transporte más eficiente y sostenible.

Recomendación N°1

Se sugiere a la Gerencia de Tránsito de la Municipalidad Provincial del Cusco implementar de manera integral todas las estrategias propuestas en este estudio, incluyendo la habilitación de un carril exclusivo para el transporte público en la intersección entre la Av. Tomás Tuyro Tupac y la Prolongación de la Av. de la Cultura, el traslado estratégico de los paraderos ubicados cerca de la intersección. Los resultados obtenidos no solo evidencian una mejora en los niveles de servicio, una reducción de los tiempos de espera y la disminución de las colas vehiculares, sino también un

mayor orden en el flujo vehicular, eliminando conflictos en la intersección y resolviendo, de manera indirecta, problemas relacionados con la seguridad vial.

Recomendación N°2

Se propone llevar a cabo un análisis detallado de tránsito en intersecciones estratégicas que desempeñan un papel crucial en el funcionamiento de las principales vías de la ciudad del Cusco. Este estudio permitiría identificar de manera precisa los problemas más relevantes, tales como congestión vehicular y conflictos entre peatones y vehículos. Con base en los resultados, sería posible desarrollar propuestas integrales que no solo optimicen la circulación vehicular en las principales avenidas y calles, sino que también contribuyan a mejorar la movilidad en toda la red vial urbana. Estas mejoras tendrían un impacto positivo en los tiempos de viaje, la seguridad vial y la calidad de vida de los ciudadanos, especialmente en aquellas áreas que registran mayor concurrencia de tránsito hacia el centro histórico y otros puntos clave de la ciudad.

Referencias

- Abanto U., P. (2024). *Micro simulación mediante el software Vissim y el nivel de servicio peatonal, en los jirones Pisagua y Del Comercio, ciudad de Cajamarca – 2022 [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.14074/7004>
- Bañon, L. B. (2000). *Manual de carreteras. Volumen I: elementos y proyecto*. Universidad de Alicante, Alicante. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10045/1788>
- Board, T. R. (2010). *Highway capacity manual 2010*. Washington DC: National Research Council. Obtenido de <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://www.jpautoceste.ba/wp-content/uploads/2022/05/Highway-Capacity-Manual-2010-PDFDrive-.pdf>
- Cal, R., R., M., & Cardenas, J. (2018). *Ingenieria de transito*. Mexico: Alfaomega. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9789587784169_A43738446/preview-9789587784169_A43738446.pdf
- Calloquispe A., M. (2019). *Análisis comparativo de la capacidad vial y niveles de servicio, usando metodologías determinísticas del HCM y modelos de seguimiento vehicular en VISSIM, caso de estudio: Av. La Cultura de la ciudad del Cusco [Tesis de grado, UAC]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12557/3998>
- Carrillo R., D., & Montoya R., O. (2022). *Análisis técnico de la capacidad vial y nivel de servicio de la intersección, glorieta barrio Porfía, ubicada en el corredor que conduce de Villavicencio al municipio de Acacías – Meta [Tesis de pregrado, Universidad*

- Cooperativa de Colombia*]. Repositorio Institucional. Obtenido de
<https://hdl.handle.net/20.500.12494/47172>
- Castillo Polo, P. J. (2020). *Parámetros psicofísicos del modelo de Wiedemann para la simulación de tráfico vehicular*. Repositorio Institucional. Obtenido de
https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/652674/Castillo_PJ.pdf
- Ccalli A., F., & Coronel A., J. (2023). *Determinación del nivel de servicio y propuesta de mejora vial con software PTV VISSIM en av. Patricio Meléndez tramo av. Jorge Basadre Grohmann hasta av. Industrial, provincia de Tacna – 2022 [Tesis de grado, Universidad Privada de Tacna]*. Repositorio Institucional. Obtenido de
<http://hdl.handle.net/20.500.12969/2708>
- Congreso de la republica. (2003). *Reglamento Nacional de Vehículos* . Peru: Diario el Peruano.
- Congreso de la Republica. (2009, 22 abril). *Reglamento nacional de transito*. Diario oficial el peruano.
- Deysi, L. I., & Delgado, D. (2023). *Análisis del nivel de servicio en la intersección de las avenidas Manabí y América, Portoviejo, Ecuador [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo]*. Repositorio Institucional.
doi:<https://www.polodelconocimiento.com/>
- Elefteriadou, L. (2014). *Traffic flow theory: A state-of-the-art report*. Springer. Obtenido de
https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/35775/dot_35775_DS1.pdf
- Fernández A, R. (2011). *Elementos de la teoría del tráfico vehicular*. Lima: Fondo Editorial.
doi:<https://doi.org/10.18800/9789972429538>

- Huanca T., S., & Rojas Q., A. (2019). *Propuesta de mejora del diseño vial del óvalo La Curva de Chorrillos validado con el software Vissim 9.0. [Tesis de grado, UPC]*. Repositorio Institucional. Obtenido de Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)
- Jaramillo V., J., & Espinel G., Á. (2022). *Análisis de tráfico y alternativas de solución para el congestionamiento vehicular en la intersección de la Avenida Mariscal Sucre y San Francisco de Rumihurco en la ciudad de Quito a través del software PTV VISSIM [Tesis de pregrado, PUCE]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/25838>
- Municipalidad Provincial de Cusco. (2013). *Urbanismo*. Recuperado el 17 de Febrero de 2025, de Redes viales: <https://www.web.cusco.gob.pe/>
- Tapia, J., & Veizaga, R. (2006). *APOYO DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA DE INGENIERÍA DE TRÁFICO*. Repositorio Institucional, Cochabamba. Obtenido de <https://www.coursehero.com/es/file/12188597/libro-de-Ingenier%C3%ADa-de-Tr%C3%A1nsito/>
- Verkehr, P. T. (2023). *WHAT'S NEW in PTV Vissim/Viswalk 2023*. PTV group. Obtenido de chromeextension://efaidnbmninnibpcjpcglclefindmkaj/https://ptvpartner.ro/sites/default/files/inline-files/ptv-vissim-2023_whats-new_EN.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Zapana H., F., & Ojeda Q., J. (2021). *Análisis de la capacidad vial y nivel de servicio de las principales intersecciones semaforizadas y no semaforizadas de la Avenida Agustín Gamarra y prolongación Avenida Grau [Tesis de grado, UAC]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12557/5554>

Anexos

Anexo A

Figura 90

Matriz de consistencia

TEMA: "ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE SERVICIO UTILIZANDO LOS MÉTODOS DETERMINÍSTICOS Y DE SEGUIMIENTO VEHICULAR EN LA INTERSECCIÓN AV. TOMAS TUYRO TUPAC CON PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA"				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES DE ESTUDIO	INDICADORES
1.PROBLEMA GENERAL	1. OBJETIVO GENERAL	1. HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADOR DEPENDIENTE
¿Cuál es el nivel de servicio de la intersección de la Av. Tomás Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura según los métodos determinístico y de seguimiento vehicular, y qué medidas de mejora podrían implementarse para su optimización?	Evaluar el nivel de servicio de la intersección de la Av. Tomás Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura mediante los métodos determinístico y de seguimiento vehicular, y proponer medidas de mejora.	Si se evalúan los niveles de servicio de la intersección de la Av. Tomás Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura utilizando los métodos determinístico y de seguimiento vehicular, entonces será posible identificar los principales factores que afectan el flujo vehicular y, a partir de ello, proponer medidas de mejora que optimicen su funcionamiento.	Nivel de servicio	Demoras (s/veh)
2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2. HIPOTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES INDEPENDIENTES	
¿Qué tan eficiente es el análisis y evaluación de los niveles de servicio en la intersección de la Av. Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura, al emplear los métodos determinísticos y de seguimiento vehicular?	Comparar la eficiencia de los métodos determinístico y de seguimiento vehicular en la evaluación del nivel de servicio de la intersección de la Av. Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura.	El método de seguimiento vehicular permite una evaluación más precisa y representativa del nivel de servicio en la intersección de la Av. Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura, en comparación con el método determinístico.	Método de análisis aplicado	Grado de precisión respecto a los datos reales

TEMA: "ANÁLISIS DE LOS NIVELES DE SERVICIO UTILIZANDO LOS MÉTODOS DETERMINISTICOS Y DE SEGUIMIENTO VEHICULAR EN LA INTERSECCIÓN AV. TOMAS TUYRO TUPAC CON PROLONGACIÓN AV. DE LA CULTURA"

<p>¿Qué limitaciones existen para mantener un flujo vehicular adecuado en la intersección de Av. Tuyro Tupac con prolongación Av. De la Cultura?</p>	<p>Identificar las limitaciones que afectan el mantenimiento de un flujo vehicular adecuado en la intersección de la Av. Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura.</p>	<p>Las limitaciones que afectan el mantenimiento de un flujo vehicular adecuado en la intersección de la Av. Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura se deben a una combinación de factores, como el inadecuado control y orden en la circulación vehicular, y el comportamiento inadecuado tanto de conductores como de peatones.</p>	<p>Demanda vehicular</p>	<p>Volumen vehicular por hora</p>
<p>¿Cómo se puede mejorar los factores que tienen un impacto significativo en la formación de colas en la intersección de Av. Tuyro Tupac con prolongación Av. De la Cultura?</p>	<p>Mejorar los factores que impactan significativamente en la formación de colas en la intersección de la Av. Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura mediante la implementación de medidas de reorganización del tránsito vehicular, optimización de la regulación del transporte público y reestructuración de los flujos de vehículos pesados.</p>	<p>La reubicación de los paraderos de transporte público, la redirección del tránsito de vehículos pesados y la implementación de un carril exclusivo para el transporte urbano contribuirán a mejorar el flujo vehicular y reducir la formación de colas en la intersección de la Av. Tuyro Tupac con la Prolongación de la Av. de la Cultura.</p>	<p>Gestion de trafico</p>	<p>Largo de colas</p>

Fuente: Elaboración propia

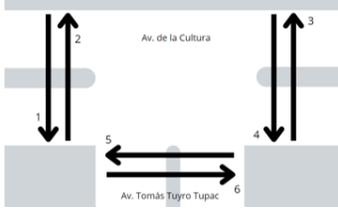
Anexo B

Anexo C

Figura 92

Formato para conteo peatonal

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
UBICACIÓN:	CUSCO-CUSCO-SAN SEBASTIAN					
INTERSECCIÓN:	Av. De la Cultura con Av. Tomás Tuyro Tupac					
AFORADOR:						
FECHA:						
INTERVALO DE TIEMPO	1	2	3	4	5	6
7:00-7:15						
7:15-7:30						
7:30-7:45						
7:45-8:00						
TOTAL						



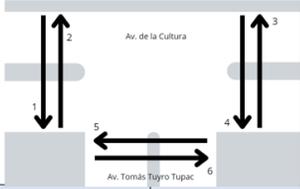
Fuente. Elaboración propia

Anexo D

Figura 93

Datos del conteo peatonal extraídos en campo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
UBICACIÓN:	CUSCO-CUSCO-SAN SEBASTIAN					
INTERSECCIÓN:	Av. De la Cultura con Av. Tomás Tuyro Tupac					
AFORADOR:						
FECHA:						
INTERVALO DE TIEMPO	1	2	3	4	5	6
7:00-7:15	129	60	49	50	36	41
7:15-7:30	87	77	74	73	34	36
7:30-7:45	72	90	73	71	37	32
7:45-8:00	99	68	56	63	44	34



Fuente. Elaboración propia

Anexo E

Figura 94

Formato de la toma de datos de longitud de cola

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO									
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL									
UBICACIÓN:	CUSCO-CUSCO-SAN SEBASTIAN								
INTERSECCIÓN:	Av. De la Cultura con Av. Tomás Tuyo Tupac								
AFORADOR:									
FECHA:									
HORA:									
LONGITUD DE COLA									
N°	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	
1	174	168	124	56	39	156	117	124	
2	215	156	116	34	41	148	98	115	
3	177	149	122	28	27	141	75	122	
4	154	165	134	16	16	139	99	99	
5	149	128	129	29	21	145	121	137	
6	153	166	107	23	25	132	118	126	
7	161	147	135	32	27	147	128	118	
8	196	139	124	41	17	159	93	142	
9	175	145	112	29	18	166	117	135	
10	159	161	144	33	42	179	107	118	
11	176	186	109	36	35	193	121	121	
12	184	154	114	45	38	185	96	122	
13	160	136	126	29	29	174	126	87	
14	207	187	131	37	25	146	131	93	
15	197	198	127	52	34	129	143	92	
16	217	153	117	50	36	147	122	107	
17	168	173	130	17	43	163	95	127	
18	188	158	115	21	51	172	88	142	
19	173	168	102	44	33	143	79	86	
20	155	147	99	32	27	173	83	97	
PROMEDIO POR CARRIL	176.9	159.2	120.85	34.2	31.2	156.85	107.85	115.5	
PROMEDIO POR ACCESO	152.32			32.7		126.73			
VALOR MÁXIMO	217	198	144	56	51	193	143	142	
VALOR MÍNIMO	149	128	99	16	16	129	75	86	

Fuente. Elaboración propia

Anexo F

Figura 95

Conteo vehicular en campo dentro de la hora pico

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL			
UBICACIÓN:	CUSCO-CUSCO-SAN SEBASTIAN		
INTERSECCIÓN:	Av. De la Cultura con Av. Tomás Tuyro Tupac		
AFORADOR:			
FECHA:			
HORA:			
N°	VELOCIDAD LINEAL KM/H	VELOCIDAD DE GIRO KM/H	
		1 Y 2	3 Y 4
1	38.16	19.19	4.16
2	37.37	12.55	3.74
3	51.92	15.70	4.36
4	45.00	17.61	3.78
5	37.76	14.86	3.44
6	44.26	13.98	4.97
7	33.13	16.39	3.90
8	45.76	18.33	3.60
9	42.19	17.18	3.45
10	57.75	15.70	3.83
11	48.87	13.94	3.74
12	39.85	12.31	4.33
13	37.11	15.20	3.70
14	43.72	17.15	4.84
15	54.55	14.86	4.92
16	45.57	16.87	3.67
17	36.61	14.65	3.28
18	57.45	18.23	4.27
19	40.00	17.06	3.85
20	36.86	15.54	3.41
PROMEDIO	43.69	15.87	3.96

Fuente. Elaboración propia

Anexo G

Figura 96

Formato de toma de datos de la velocidad peatonal, dentro de dos puntos de referencia

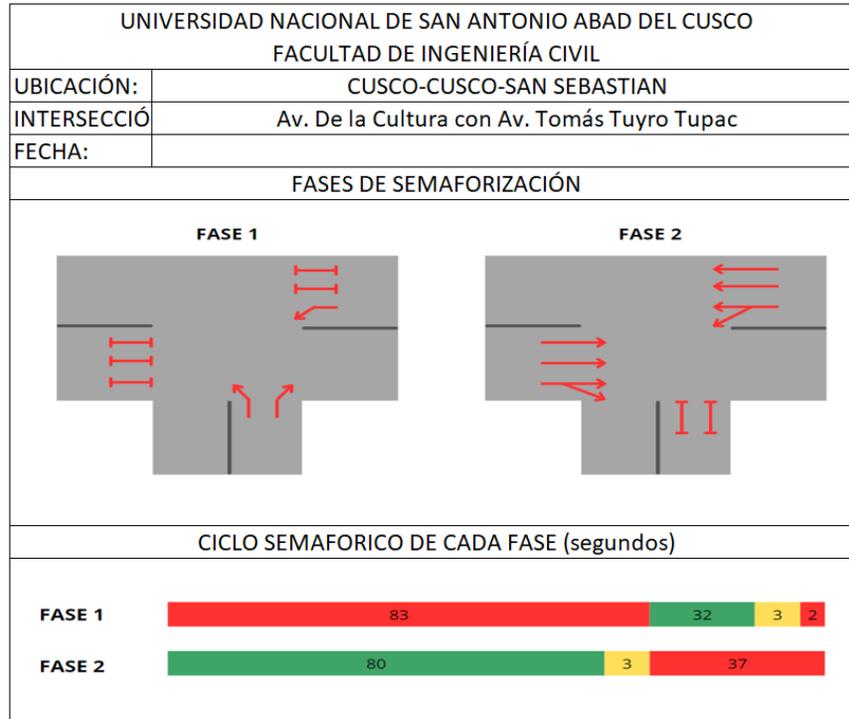
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL				
UBICACIÓN:	CUSCO-CUSCO-SAN SEBASTIAN			
INTERSECCIÓN:	De la Cultura con Av. Tomás Tuyo Tupac			
AFORADOR:				
FECHA:				
HORA:				
N°	VELOCIDAD LINEAL KM/H	VELOCIDAD DE GIRO		
		1 Y 2	3 Y 4	
1	38.16	19.19	4.16	
2	37.37	12.55	3.74	
3	51.92	15.70	4.36	
4	45.00	17.61	3.78	
5	37.76	14.86	3.44	
6	44.26	13.98	4.97	
7	33.13	16.39	3.90	
8	45.76	18.33	3.60	
9	42.19	17.18	3.45	
10	57.75	15.70	3.83	
11	48.87	13.94	3.74	
12	39.85	12.31	4.33	
13	37.11	15.20	3.70	
14	43.72	17.15	4.84	
15	54.55	14.86	4.92	
16	45.57	16.87	3.67	
17	36.61	14.65	3.28	
18	57.45	18.23	4.27	
19	40.00	17.06	3.85	
20	36.86	15.54	3.41	
PROMEDIO	43.69	15.87	3.96	

Fuente. Elaboración propia

Anexo H

Figura 97

Datos extraídos en campo del ciclo semafórico de la intersección de estudio

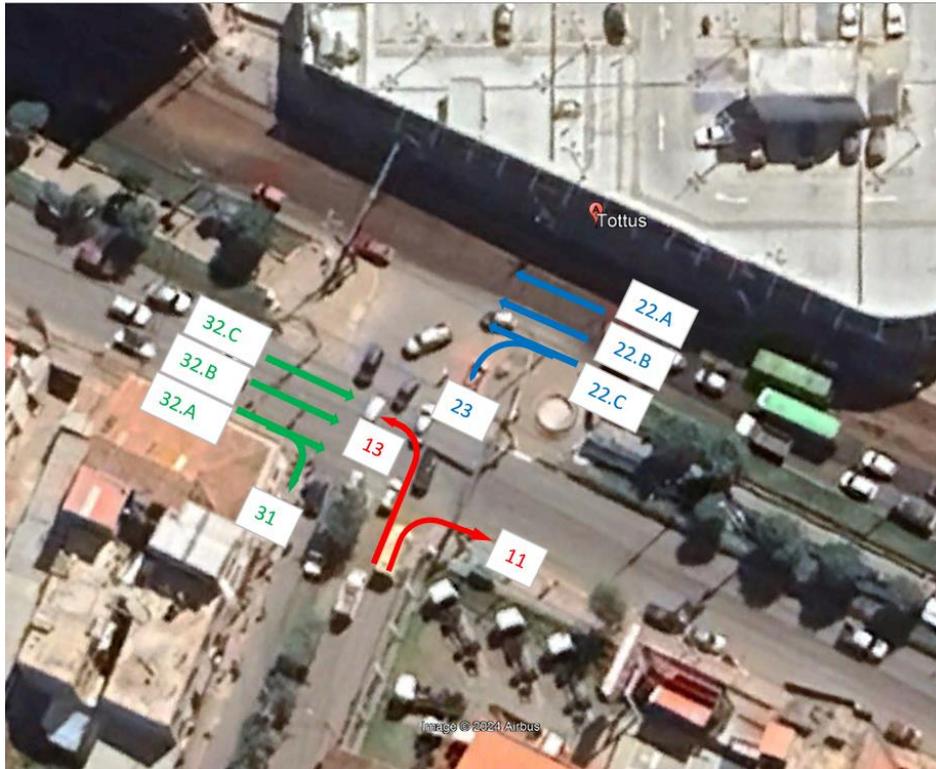


Fuente. Elaboración propia

Anexo I

Figura 98

Imagen referencial para la consideración del conteo vehicular respecto al HCM 2010



Fuente. Elaboración propia

Anexo J

Figura 99

Conteo vehicular organizado para el HCM en hora pico - SUR

SUR	MOTO LINEAL					AUTO					CAMIONETA					COMBI RURAL					MICROBUS					CAMIÓN					ÓMNIBUS					TRAYLER									
	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13					
HORA PICO	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13	11	12.A	12.B	12.C	13
7:00-7:15	1	0	0	0	1	28	0	0	0	15	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:15-7:30	1	0	0	0	0	29	0	0	0	18	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:30-7:45	2	0	0	0	1	30	0	0	0	25	2	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:45-8:00	1	0	0	0	4	27	0	0	0	29	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL H.P.	5	0	0	0	6	114	0	0	0	87	3	0	0	0	5	4	0	0	0	2	2	0	0	0	0	7	0	0	0	0	8	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F.C.	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1	1	1	1	1	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	2	2	2	2	2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3	3	3	3	3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5					
U.C.P.	1.65	0	0	0	1.98	114	0	0	0	87	3.75	0	0	0	6.25	5	0	0	0	2.5	0	0	0	0	0	17.5	0	0	0	20	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
F.H.P.	0.88																																												

Fuente: Elaboración propia

Anexo K

Figura 100

Conteo vehicular organizado para el HCM en hora pico - ESTE

ESTE	MOTO LINEAL					AUTO					CAMIONETA					COMBI RURAL					MICROBUS					CAMIÓN					ÓMNIBUS					TRAYLER									
	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23					
HORA PICO	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23	21	22.A	22.B	22.C	23
7:00-7:15	0	5	10	7	3	0	244	206	71	23	0	20	16	0	1	0	4	16	0	0	0	1	26	39	0	0	3	4	1	1	0	6	3	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
7:15-7:30	0	8	8	9	1	0	202	238	90	22	0	14	12	1	3	0	7	12	0	0	0	2	9	46	0	0	6	4	0	4	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:30-7:45	0	3	8	18	1	0	185	201	93	24	0	13	18	0	0	0	6	18	3	0	0	2	12	49	0	0	12	7	1	1	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7:45-8:00	0	1	2	12	4	0	124	189	91	26	0	9	10	1	3	0	4	10	3	0	0	0	7	48	0	0	3	6	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
TOTAL H.P.	0	17	28	46	9	0	755	834	345	95	0	56	56	2	7	0	21	56	6	0	0	5	54	182	0	0	24	21	3	7	0	8	8	5	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
F.C.	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1	1	1	1	1	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	2	2	2	2	2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3	3	3	3	3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5					
U.C.P.	0	5.61	9.24	15.2	2.97	0	755	834	345	95	0	70	70	2.5	8.75	0	26.3	70	7.5	0	0	10	108	364	0	0	60	52.5	7.5	17.5	0	24	24	15	0	0	3.5	3.5	0	0	0	0	0	0	0
F.H.P.	0.93																																												

Fuente: Elaboración propia

Anexo L

Figura 101

Conteo vehicular organizado para el HCM en hora pico - OESTE

OESTE	MOTO LINEAL					AUTO					CAMIONETA					COMBI RURAL					MICROBUS					CAMIÓN					ÓMNIBUS					TRAYLER				
	31	32.A	32.B	32.C	23	31	32.A	32.B	32.C	23	31	32.A	32.B	32.C	23	31	32.A	32.B	32.C	23	31	32.A	32.B	32.C	23	31	32.A	32.B	32.C	23	31	32.A	32.B	32.C	23	31	32.A	32.B	32.C	23
HORA PICO	0	1	6	18	0	22	16	134	151	0	0	0	7	8	0	1	0	7	1	0	0	49	11	0	0	2	0	2	11	0	0	0	2	3	2	0	0	0	0	0
7:00-7:15	0	0	4	11	0	13	25	130	165	0	1	0	10	13	0	0	1	5	6	0	0	52	12	5	0	0	1	3	7	0	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0
7:15-7:30	0	0	7	10	0	26	5	177	208	0	1	0	13	16	0	1	1	5	4	0	0	49	17	0	0	1	0	3	8	0	0	2	5	4	0	0	0	0	0	1
7:30-7:45	0	0	7	12	0	19	32	155	203	0	0	1	12	12	0	1	0	7	7	0	0	37	10	1	0	0	0	4	10	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
7:45-8:00	0	1	24	51	0	80	78	596	727	0	2	1	42	49	0	3	2	24	18	0	0	187	50	6	0	3	1	12	36	0	2	4	11	7	0	0	0	0	0	2
TOTAL H.P.	0	1	24	51	0	80	78	596	727	0	2	1	42	49	0	3	2	24	18	0	0	187	50	6	0	3	1	12	36	0	2	4	11	7	0	0	0	0	0	2
F.C.	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	1	1	1	1	1	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	1.25	2	2	2	2	2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3	3	3	3	3	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
U.C.P.	0	0.33	7.92	16.8	0	80	78	596	727	0	2.5	1.25	52.5	61.3	0	3.75	2.5	30	22.5	0	0	374	100	12	0	7.5	2.5	30	90	0	6	12	33	21	0	0	0	0	0	7
F.H.P.	0.89																																							

Fuente. Elaboración propia

Anexo M

Figura 102

Composición vehicular de la intersección

UCP	TIPO DE VEHICULO	COMPOSICIÓN VEHICULAR															TOTAL	%
		SUR-NORTE					ESTE-OESTE					OESTE ESTE						
		11	12.A	12.B	12.C	13	21	22.A	22.B	22.C	23	31	32.A	32.B	32.C	23		
0.3	MOTO LINEAL	5	0	0	0	6	0	17	28	46	9	0	1	24	51	0	187	3.80%
1	AUTO	114	0	0	0	87	0	755	834	345	95	80	78	596	727	0	3711	75.46%
1.3	CAMIONETA	3	0	0	0	5	0	56	56	2	7	2	1	42	49	0	223	4.53%
1.3	COMBI RURAL	4	0	0	0	2	0	21	56	6	0	3	2	24	18	0	136	2.77%
2	MICROBUS	0	0	0	0	0	0	5	54	182	0	0	187	50	6	0	484	9.84%
2.5	CAMIÓN	7	0	0	0	8	0	24	21	3	7	3	1	12	36	0	122	2.48%
3	ÓMNIBUS	6	0	0	0	0	0	8	8	5	0	2	4	11	7	0	51	1.04%
3.5	TRAYLER	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0	4	0.08%
	TOTAL VEHICULOS	139	0	0	0	108	0	887	1058	589	118	90	274	759	896	0	4918	100.00%
	UCP	161	0	0	0	118	0	958	1176	756	125	100	471	852	960	0	5674	

Fuente. Elaboración propia

Anexo L

Figura 103

Ordenamiento de datos en Unidad Coche Patrón respecto a la metodología del HCM

UCP	ACCESO	CARRIL	MOV	Q _{mov}	Q _{carril}	Q _{acceso}	Q _{GC}	Q _{GM}
	S	1	D		160	160	278	160
2		I		118	118	118		118
E	3	F		955	955	3009	2127	3009
	4	F		1172	1172		882	
	5	F		757	882			
		I		125				
O	3	D		100	100	2379	571	2379
	4	F		471	471			
	5	F		850	1808			
		F		958				

Fuente: Elaboración propia

Anexo O

Figura 104

Ordenamiento de datos ajustados respecto a la metodología del HCM

AJUSTADO	ACCESO	CARRIL	MOV	Q _{mov}	Q _{carril}	Q _{acceso}	Q _{GC}	Q _{GM}
	S	1	D		171	171	297	171
2		I		126	126	126		126
E	3	F		1016	1016	3200	2262	3200
	4	F		1246	1246		938	
	5	F		805	938			
		I		133				
O	3	D		107	107	2531	608	2531
	4	F		501	501			
	5	F		904	1923			
		F		1019				

Fuente: Elaboración propia

Anexo P

Figura 105

Ordenamientos de los datos de entrada para la metodología del HCM

ACCESO	GC	W(m)	Pr(%)	E _T	P _g (%)	N	N _m	N _b	ZONA	N _e
S	1	3	9.35%	2	3.68	1	0	0	CENTRO	0
	2	3	7.41%	2	3.68	1	0	0	CENTRO	0
E	3	3.13	3.24%	2	2.75	2	0	36	CENTRO	3
	4	3.13	2.12%	2	2.75	1	0	0	CENTRO	3
O	5	3.23	2.75%	2	-2.77	1	0	41	CENTRO	3
	6	3.23	4.11%	2	-2.77	2	0	0	CENTRO	3

Fuente: Elaboración propia

Anexo Q

Figura 106

Factor de ajuste con giro a la izquierda

DATOS PARA FACTOR		f _{LT}		
ACCESO	GC	CASO	FLUJO OP.	Interp. El.
S	1			
	2		no hay	
E	3			
	4	3	2279	4.500
O	5			
	6			

Fuente: Elaboración propia

Anexo R

Figura 107

Ajuste de tiempo de zona desocupada por ajuste de giro a la izquierda

ACCESO	GC	C	g_{ped}	V_{ped}	V_{pedg}	OCC_{pedg}	g_p	g_u	$g_a = g_p - g_u$	OCC_{pedu}	V_o	OCC_y	carriles de recep.	carriles vuelta	A_{pbT}
S	1	120													
	2	120													
E	3	120										0			
	4	120	37	294	954	0.477	80	32	48	0	2279	0	2	1	1.000
O	5	120													
	6	120													

Fuente: Elaboración propia

Anexo S

Figura 108

Factor de ajuste de giro a la derecha

ACCESO	GC	Carriles	f_{RT}
S	1		0.847
	2		
E	3		
	4		
O	5		0.847
	6		

Fuente: Elaboración propia

Anexo T

Figura 109

Ajuste de tiempo de zona desocupada por ajuste de giro a la derecha

ACCESO	GM	C	g_{ped}	V_{ped}	V_{pedg}	OCC_{pedg}	g	OCC_y	carriles recep.	carriles vuelta	$A_{pbT} = f_{Rpb}$
S	1	120	85	509	718.588	0.359	32	0.954	3	1	0.428
	2	120									
E	3	120									
	4	120									
O	5	120	37	294	953.514	0.477	80	0.221	2	1	0.867
	6	120									

Fuente: Elaboración propia

Anexo U

Figura 110

Factor por peatones y bicicletas para grupos con giro a la izquierda y derecha

FASE	ACCESO	GC	S_o	f_w	F_{hv}	f_g	f_p	f_{bb}	f_a	f_{LU}	f_{LT}	f_{RT}	$SPREL$	f_{Lpb}	f_{Rpb}
Φ1	S	1	1900	1	0.999	0.982	0.90	1.000	0.9	1	1	0.847	1279	1	0.428
		2	1900	1	0.999	0.982	0.90	1.000	0.9	1	1	1.000	1510	1	1
Φ2	E	3	1900	1	1.000	0.986	0.95	0.928	0.9	1	1	1.000	1486	1	1
		4	1900	1	1.000	0.986	0.90	1.000	0.9	1	0.222	1.000	337	0.523	1
	O	5	1900	1	1.000	1.014	0.90	0.836	0.9	1	1	0.847	1106	1	0.867
		6	1900	1	1.000	1.014	0.95	1.000	0.9	1	1	1.000	1647	1	1

Fuente: Elaboración propia

Anexo V

Figura 111

Niveles de servicio respecto al HCM 2010

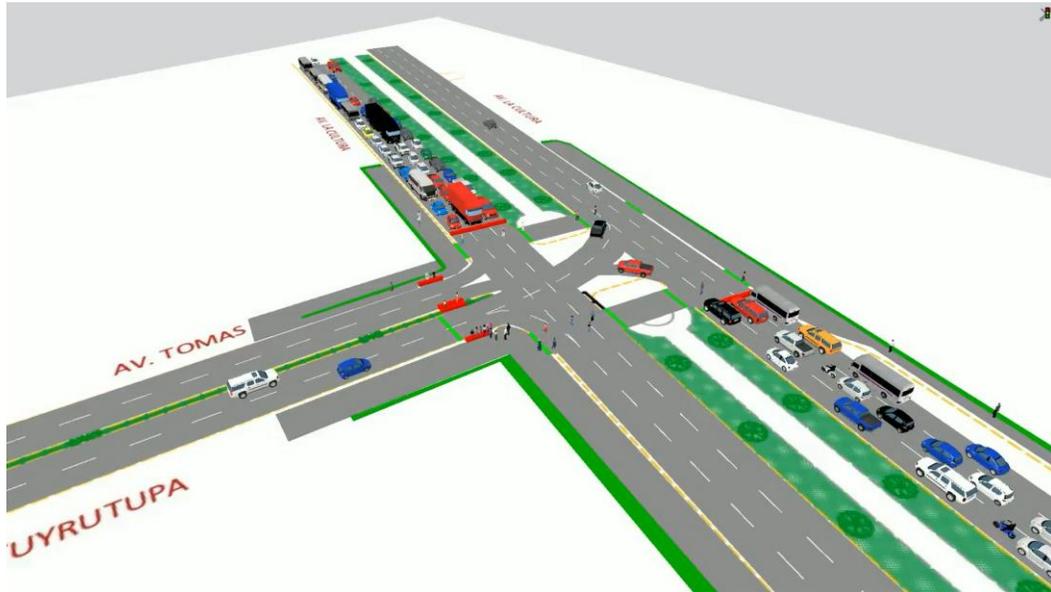
S	N	g _j	C	Por grupo de carril GC			Por intersección			Por Grupo de Carril						NS
				Q	q	X	Yi	TPC	X	d1	xa	d2	Ni	d3	dt	
548	1	32	120	146	171	1.171	0.31204	10	6.154	44	0.742	28.474	0	0	72	F
1510	1	32	120	403	126	0.313	0.08344			35.205	0.742	11.672	0	0	47	D
1486	2	80	120	1981	2262	1.142	0.7611			20	1	20.221	0	0	40	F
176	1	80	120	117	938	8.017	5.32955			20	1	83.205	0	0	103	F
959	1	80	120	639	608	0.951	0.63399			18.215	0.914	19.804	0	0	38	D
1647	2	80	120	2196	1923	0.876	0.58379			16.026	0.914	7.325	0	0	23	C

Fuente: Elaboración propia

Anexo W

Figura 112

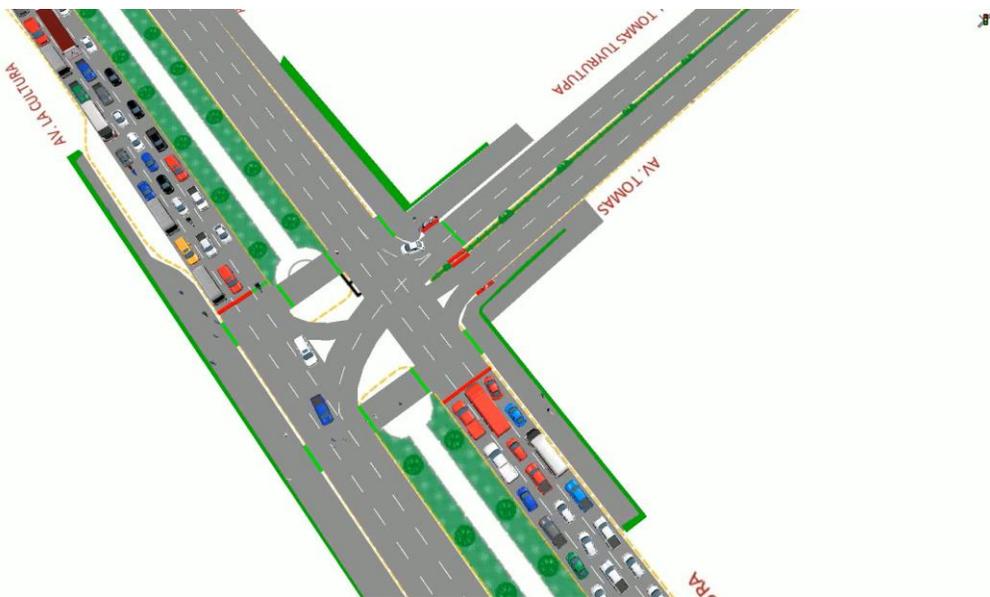
Situación actual de la intersección en un modelo de VISSIM



Fuente: Captura extraída del modelado en VISSIM

Figura 113

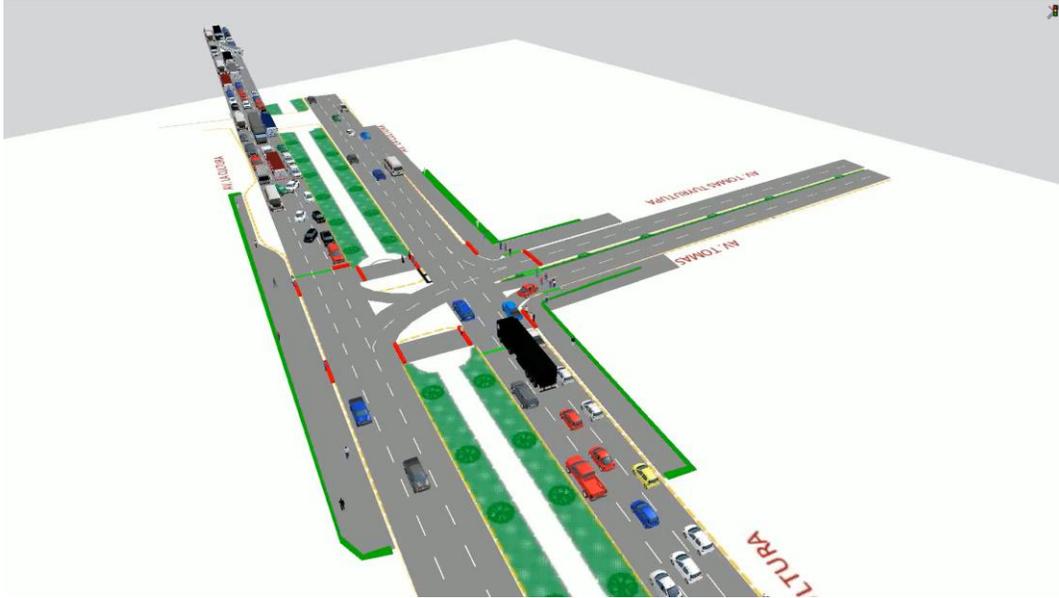
Situación actual de la intersección en la fase 2



Fuente: Captura extraída del modelado en VISSIM

Figura 114

Situación actual de la intersección en un punto de baja flujo vehicular



Fuente: Captura extraída del modelado en VISSIM

Figura 115

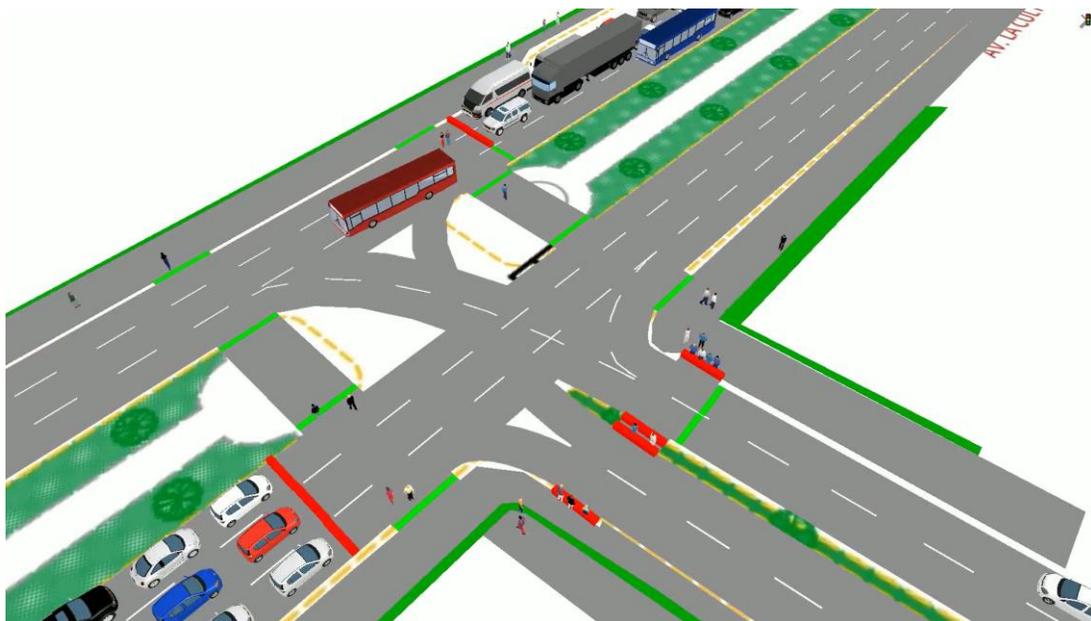
Situación actual de la intersección con el flujo peatonal



Fuente: Captura extraída del modelado en VISSIM

Figura 116

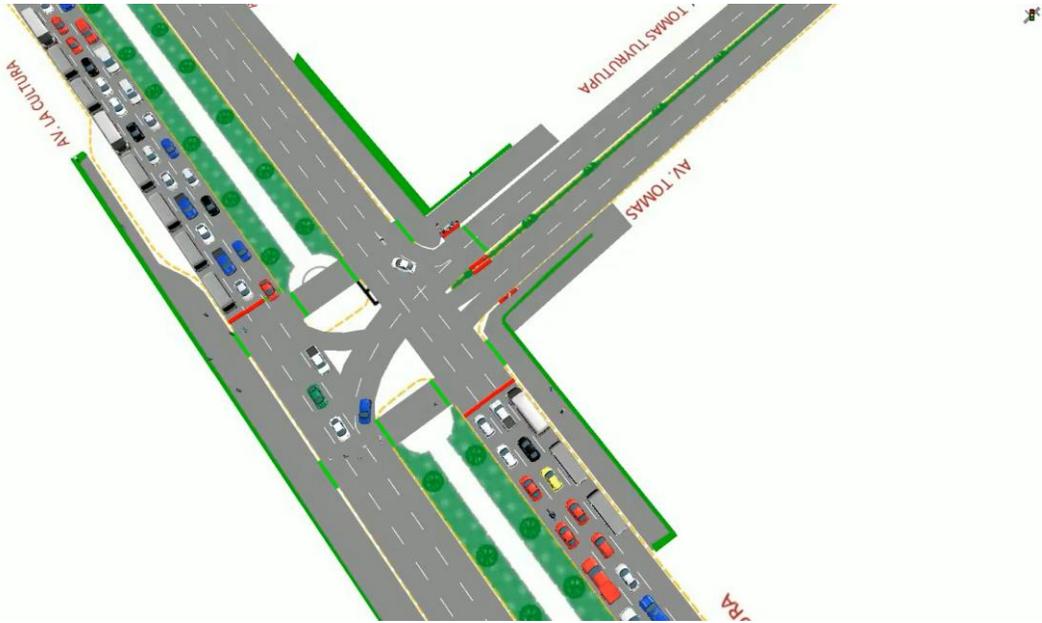
Detalles de los carriles en el modelo VISSIM



Fuente: Captura extraída del modelado en VISSIM

Figura 117

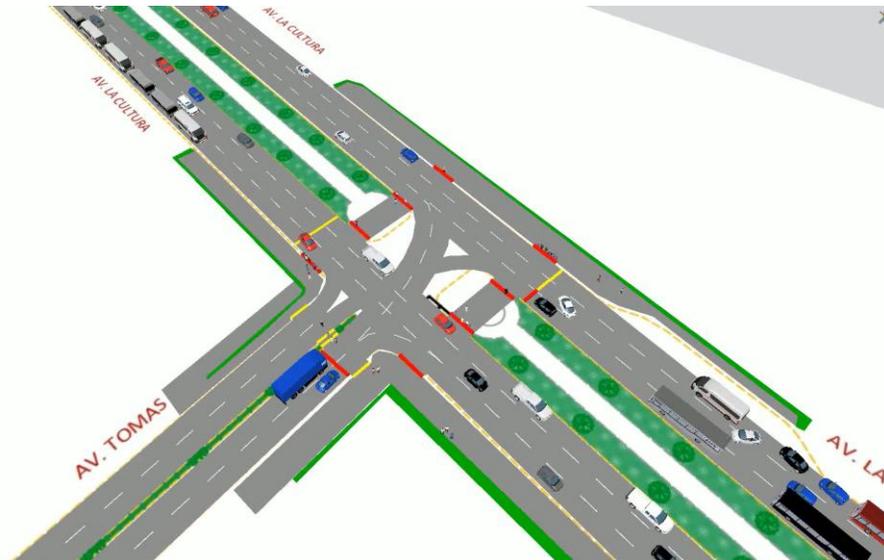
Respuesta a los cambios de mejora en el modelo VISSIM



Fuente: Captura extraída del modelado en VISSIM

Figura 118

Situación con mejoras, se observa el carril de vehículos de transporte urbano utilizados correctamente



Fuente: Captura extraída del modelado en VISSIM

Figura 119

Congestión en Av. de la Cultura sentido Este-Oeste



Figura 120

Presencia de vehículos pesados en la intersección

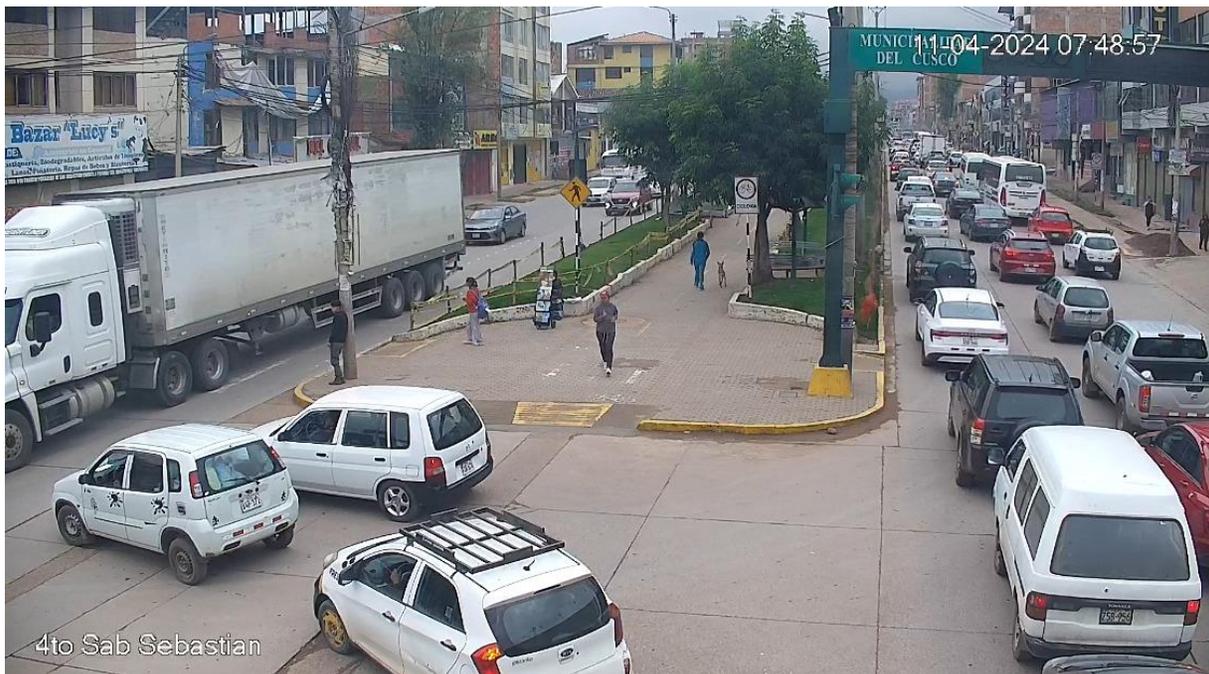


Figura 121

Congestión vehicular nocturna



Figura 122

Problemática asociada a los giros en la intersección.



Figura 123

Presencia del supermercado Tottus cercana a la intersección



Figura 124

Paradero en la Av. de la Cultura en el sentido Este - Oeste



Figura 125

Paradero en la Av. de la Cultura en el sentido Oeste - Este



Anexo x

Figura 126

Licencia para el uso del programa VISSIM

PTV Thesis license activation 364919 Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco - ORD-24787-B5F9C3

1 mensaje

PTV Order Management <ordermanagement@ptvgroup.com>
Para: "171597@unsaac.edu.pe" <171597@unsaac.edu.pe>
Cc: "Beatriz FIERRO (PTV Group)" <beatriz.fierro@ptvgroup.com>

15 de julio de 2024, 7:58

Hello Maylee Espinoza Pontici,

Thank you for your order! To start using your thesis license, please follow the step-by-step instructions in our help on [Activating a new single-user license](#). The license is valid for product version 2021 or later.

Please be aware that this is a license for a **soft container**, which has the following implications:

1. It cannot be installed on a virtual machine due to software protection reasons. Please let us know if you require a solution for a virtual machine.
2. The license will be stored in encrypted files on your computer. If you need to reinstall Windows or exchange the PC later, you must **return** the license first as described in our help here.

License key: 66832-ZLPFT-6Q3QV-WUSF5-SLFLW

License ID: 54403

Expires: 15th January 2025

Product: PTV Vissim

Order ID: ORD-24787-B5F9C3

If you have any questions about your order, please reply to this e-mail. If you need help installing or using the software, please contact our [Technical Support](#).

Fuente: Captura extraída del correo institucional

Anexo Y

Figura 127

Plano de la Intersección Avenida Tomás Tuyro Tupac con Prolongación Avenida de la Cultura

