

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

## **ESCUELA DE POSGRADO**



**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS**

**TESIS:**

**CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO DE LAS INTERSECCIONES  
SEMAFORIZADAS DE LA VÍA DE EVITAMIENTO NORTE EN LA  
CIUDAD DE CAJAMARCA, USANDO EL HCM 2010 Y  
MODELAMIENTO EN ARCGIS- 2020**

Para optar el Grado Académico de

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MENCIÓN: INGENIERÍA CIVIL**

Presentada por:

**ABEL PRIETO ORTIZ**

Asesora:

**M.Cs. MARÍA SALOMÉ DE LA TORRE RAMÍREZ**

Cajamarca, Perú

2025

### CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador: Abel Prieto Ortiz  
DNI: 46993639  
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. Programa de Maestría en Ciencias. Mención: Ingeniería Civil
2. Asesora: M. Cs. María Salome De La Torre Ramírez
3. Grado académico o título profesional  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
4. Tipo de Investigación:  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:  
Capacidad y nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas de la vía de Evitamiento Norte en la ciudad de Cajamarca, usando el HCM 2010 y modelamiento en Arcgis- 2020
6. Fecha de evaluación: 21 jul 2025
7. Software antiplagio:  TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 16%
9. Código Documento:TRN: OID:3117:474817082
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:  
 APROBADO       PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión:24/07/25

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 M.Cs. María Salomé De la Torre Ramírez DNI: 26731541

\* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2025 by  
**ABEL PRIETO ORTIZ**  
Todos los derechos reservados



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
CAJAMARCA - PERU  
**PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

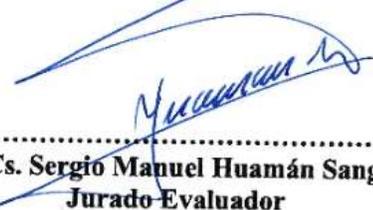
Siendo las 16:15 horas, del día 08 de Julio de dos mil veinticinco, reunidos en el Centro de Idiomas de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **M. en I. JOSÉ BENJAMIN TORRES TAFUR, M. CS. SERGIO MANUEL HUAMÁN SANGAY, M. CS. RONALD JESÚS SALAS BERROSPI**, y en calidad de Asesor el **M. CS. MARÍA SALOMÉ DE LA TORRE RAMÍREZ**. Actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestrías y Doctorados de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se inició la Sustentación de la TESIS titulada: **“CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO DE LAS INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS DE LA VÍA DE EVITAMIENTO NORTE EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA, USANDO EL HCM 2010 Y MODELAMIENTO EN ARCGIS - 2020”**, presentada por el Bachiller en Ingeniería Civil **ABEL PRIETO ORTIZ**.

Realizada la exposición de la TESIS y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBAR con la calificación de 18 (DIECIOCHO) - EXCELENTE la mencionada TESIS; en tal virtud, el Bachiller en Ingeniería Civil, **ABEL PRIETO ORTIZ**, se encuentra apto para recibir en ceremonia especial el Diploma que lo acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de **INGENIERÍA**, con mención en **INGENIERÍA CIVIL**.

Siendo las 17:15 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

  
.....  
**M. Cs. María Salomé de la Torre Ramírez**  
Asesor

  
.....  
**M. en I. José Benjamín Torres Tafur**  
Jurado Evaluador

  
.....  
**M. Cs. Sergio Manuel Huamán Sangay**  
Jurado Evaluador

  
.....  
**M. Cs. Ronald Jesús Salas Berrospi**  
Jurado Evaluador

## **DEDICATORIA**

A:

Todas aquellas personas que, como yo, se enfrentan a los desafíos de la investigación con perseverancia y dedicación. Que este trabajo sirva como ejemplo que, con esfuerzo y pasión, es posible contribuir al conocimiento y dejar una huella positiva en el mundo. Espero que inspire a las nuevas generaciones a superar sus propios límites y a alcanzar sus metas académicas.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, mi más profundo agradecimiento por la salud, la perseverancia y el sostén que me ha otorgado durante este proceso. Sin su gracia, nada hubiese sido posible. A mi asesora la M. Cs. María Salomé De La Torre Ramírez, por su invaluable apoyo y dedicación durante el desarrollo de esta investigación. Su guía, paciencia y conocimientos fueron fundamentales para la culminación exitosa de este trabajo. A mi familia, mi pilar fundamental, mi eterno agradecimiento por su amor incondicional, su apoyo constante y su fe inquebrantable en mí. Su comprensión y sacrificio han sido cruciales para alcanzar esta meta. A mis amigos cercanos, gracias por su amistad sincera, su apoyo en los momentos difíciles y su compañía invaluable. Su presencia ha hecho este camino mucho más llevadero.

La tecnología es sólo una herramienta. En cuanto a si ella nos hará bien o mal, eso depende de los hombres

-Abraham Maslow

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE CUADROS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS.....	xv
GLOSARIO.....	xvii
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
CAPÍTULO I.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.1.1 Contextualización.....	1
1.1.2 Descripción del problema.....	2
1.1.3 Formulación del problema (Pregunta general y auxiliares).....	4
1.2 Justificación e importancia.....	4
1.3 Delimitación de la investigación.....	5
1.4 Limitaciones.....	5
1.5 Objetivo (s) de la investigación: general y específicos.....	5
1.5.1 Objetivo General:.....	5
1.5.2 Objetivo Específicos:.....	5
CAPITULO II.....	6
2 MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Antecedentes de la investigación o marco referencial.....	6
2.1.1 Antecedentes internacionales.....	6
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	8
2.1.3 Antecedentes locales.....	10
2.2 Marco doctrinal de las teorías particulares en el campo de la ciencia en la que se ubica el objeto de estudio (Bases teóricas).....	11
2.2.1 Semaforización.....	11
2.2.2 Capacidad.....	12
2.2.3 Nivel de Servicio.....	13
2.2.4 Condiciones geométricas.....	16
2.2.5 Condiciones del tránsito.....	19
2.2.6 Metodología HCM 2016 para el cálculo de niveles de servicio.....	21

2.2.7	Vehículo patrón.....	35
2.2.8	ArcGIS.....	35
2.3	Marco conceptual .....	37
2.4	Definición de términos básicos .....	38
CAPITULO III.....		40
3	PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	40
3.1	Hipótesis:.....	40
3.1.1	Hipótesis general. ....	40
3.1.2	Hipótesis específicas.....	40
3.2	Variables.....	40
3.2.1	Variable independiente.....	40
3.2.2	Variable dependiente. ....	40
3.3	<i>Operacionalización / categorización</i> de los componentes de las hipótesis.....	41
CAPITULO IV .....		42
4	MARCO METODOLÓGICO .....	42
4.1	Ubicación geográfica (de acuerdo a la naturaleza de la investigación) .....	42
4.1.1	Área de Estudio y Área de Influencia. ....	43
4.2	Diseño de la investigación .....	44
4.3	Métodos de investigación .....	45
4.4	Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación .....	46
4.5	Técnicas e instrumentos de recopilación de información .....	46
4.6	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información .....	48
4.7	Equipos, materiales, insumos. ....	49
4.8	Matriz de consistencia metodológica: .....	50
CAPITULO V .....		51
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	51
5.1	Presentación de resultados.....	51
5.1.1	Características geométricas.....	51
5.1.2	Aforo Vehicular.....	52
5.1.3	Hora pico de máxima demanda.....	55
5.1.4	Composición Del Trafico. ....	62
5.1.5	Conversión a vehículo patrón por intersección. ....	63
5.1.6	Módulo de Ajuste de volúmenes.....	69
5.1.7	Módulo de flujo de saturación.....	75
5.1.8	Módulo de análisis de capacidad.....	83
5.1.9	Módulo de nivel de servicio .....	87

5.1.10	Reporte del modelamiento en ArcGIS. ....	92
5.2	Análisis, interpretación y discusión de resultados. ....	96
5.2.1	Demora promedio de las intersecciones semaforizadas.....	96
5.2.2	Capacidad de las intersecciones semaforizadas en la Av. Vía de Evitamiento norte. .....	97
5.2.3	Nivel de servicio de la Av. Vía de Evitamiento norte.....	99
5.2.4	Modelamiento en el programa ArcGis. ....	100
5.2.5	Determinación de ciclo semafórico.....	101
5.3	Contrastación de hipótesis.....	102
5.3.1	Contrastación de hipótesis general. ....	102
5.3.2	Contrastación de hipótesis específicas.....	102
	CONCLUSIONES.....	104
	RECOMENDACIONES.....	106
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	107
	ANEXOS.....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Nivel de servicio LOS para vehículos motorizados en una intersección semaforizada</i> .....	14
Tabla 2. <i>Factor de ajuste de ancho de carril</i> .....	26
Tabla 3: <i>Unidades Vehiculares Equivalentes</i> .....	35
Tabla 4. <i>Coordenadas de ubicación UTM en zona de estudio</i> .....	42
Tabla 5: <i>Características geométricas de la vía</i> .....	51
Tabla 6. <i>Resumen del aforo semanal vehicular intersección con Hoyos Rubio</i> .....	53
Tabla 7. <i>Resumen del aforo vehicular semanal intersección con Sta. Teresa</i> .....	53
Tabla 8. <i>Resumen del aforo vehicular semanal intersección con Miguel Iglesias</i> .....	53
Tabla 9. <i>Resumen del aforo vehicular semanal intersección con Chanchamayo</i> .....	54
Tabla 10. <i>Resumen del aforo vehicular semanal intersección con Angamos</i> .....	54
Tabla 11. <i>Conteo de vehículos durante la hora pico intersección Av. Hoyos Rubio</i> .....	55
Tabla 12. <i>Factor de conversión a vehículo patrón</i> .....	64
Tabla 13. <i>Conversión a vehículo patrón intersección Vía de Evitamiento y Av. Hoyos Rubio</i> .....	64
Tabla 14. <i>Conversión a vehículo patrón Intersección Vía de Evitamiento y Jr. Santa teresa</i> .....	65
Tabla 15. <i>Conversión a vehículo patrón Intersección Vía de Evitamiento y Jr. Miguel Iglesias</i> .....	65
Tabla 16. <i>Conversión a vehículo patrón Intersección Vía de Evitamiento y Jr. Chanchamayo</i> .....	65
Tabla 17. <i>Conversión a vehículo patrón Intersección Vía de Evitamiento y Jr. Angamos</i> .....	66
Tabla 18. <i>Ajuste de volumen para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte- Av. Hoyos Rubio</i> .....	72

Tabla 19. <i>Ajuste de volumen para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Sta. Teresa</i> .....	72
Tabla 20. <i>Ajuste de volumen para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Miguel Iglesias</i> .....	73
Tabla 21. <i>Ajuste de volumen para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Chanchamayo</i> .....	74
Tabla 22. <i>Ajuste de volumen para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Angamos</i> .....	74
Tabla 23. <i>Flujo de saturación para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Av. Hoyos Rubio</i> .....	79
Tabla 24. <i>Flujo de saturación para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Santa Teresa</i> .....	80
Tabla 25. <i>Flujo de saturación para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Miguel Iglesias</i> .....	80
Tabla 26. <i>Flujo de saturación para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Chanchamayo</i> .....	81
Tabla 27. <i>Flujo de saturación para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Angamos</i> .....	82
Tabla 28. <i>Nivel de capacidad para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte- Av. Hoyos Rubio</i> .....	85
Tabla 29. <i>Nivel de capacidad para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Santa Teresa</i> .....	85
Tabla 30. <i>Nivel de capacidad para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Miguel Iglesias</i> .....	85
Tabla 31. <i>Nivel de capacidad para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Chanchamayo</i> .....	86

Tabla 32. <i>Nivel de capacidad para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Angamos</i> .....	86
Tabla 33. <i>Nivel de servicio para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte- Av. Hoyos Rubio.</i> .....	90
Tabla 34. <i>Nivel de servicio para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Santa Teresa</i> .....	90
Tabla 35. <i>Nivel de servicio para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Miguel Iglesias.</i> .....	91
Tabla 36. <i>Nivel de servicio para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Chanchamayo</i> .....	91
Tabla 37. <i>Nivel de servicio para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Angamos</i>	92

**ÍNDICE DE CUADROS**

Cuadro 1. <i>Datos de entrada requeridos para el análisis de vehículos motorizados</i> .....	19
Cuadro 2. <i>Grupo de movimientos y grupo de carriles</i> .....	22
Cuadro 3. <i>Operacionalización de las variables</i> .....	41
Cuadro 4. <i>Matriz de consistencia</i> .....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Congestión y capacidad vial insuficiente en la Av. Vía de Evitamiento Norte</i> .....	3
Figura 2. <i>Capacidad vial insuficiente en la Av. Vía de Evitamiento Norte</i> .....	4
Figura 3. <i>Metodología HCM 2016</i> .....	21
Figura 4: <i>Localización de la avenida Vía de Evitamiento norte</i> .....	43
Figura 5: <i>Flujo vehicular del día sábado, para la Intersección Av. Hoyos Rubio – Vía de Evitamiento Sur</i> .....	57
Figura 6. <i>Flujo vehicular del día sábado, para la Intersección Jr. Revilla Pérez – Vía de Evitamiento Sur</i> .....	57
Figura 7: <i>Flujo vehicular del día sábado, para la Intersección Jr. Miguel Iglesias – Vía de Evitamiento Sur</i> .....	58
Figura 8: <i>Flujo vehicular del día sábado, para la Intersección Jr. Chanchamayo – Vía de Evitamiento Sur</i> .....	58
Figura 9: <i>Flujo vehicular del día sábado, para la Intersección Jr. Angamos – Vía De Evitamiento Sur</i> .....	59
Figura 10: <i>Flujo peatonal del día sábado, para la Intersección Av. Hoyos Rubio – Vía de Evitamiento Sur</i> .....	59
Figura 11. <i>Flujo peatonal del día sábado, para la Intersección Jr. Revilla Pérez – Vía de Evitamiento Sur</i> .....	60
Figura 12. <i>Flujo peatonal del día sábado, para la Intersección Jr. Miguel Iglesias – Vía de Evitamiento Sur</i> .....	60
Figura 13. <i>Flujo peatonal del día sábado, para la Intersección Jr. Chanchamayo – Vía de Evitamiento Sur</i> .....	61
Figura 14. <i>Flujo peatonal del día sábado, para la Intersección Jr. Angamos– Vía de Evitamiento Sur</i> .....	61

Figura 15. <i>Composición del tráfico intersección Vía de Evitamiento y Av. Hoyos Rubio. .</i>	62
Figura 16. <i>Composición del tráfico intersección Vía de Evitamiento y Jr. Santa Teresa...</i>	62
Figura 17. <i>Composición del tráfico intersección Vía de Evitamiento y Jr. Miguel Iglesias.</i>	62
Figura 18. <i>Composición del tráfico intersección Vía de Evitamiento y Jr. Chanchamayo.</i>	63
Figura 19. <i>Composición del tráfico intersección Vía de Evitamiento y Jr. Angamos.....</i>	63
Figura 20. <i>Diagrama de flujo de la intersección de Vía de Evitamiento y Jr. Hoyos Rubio</i>	67
Figura 21. <i>Diagrama de flujo de la intersección de Vía de Evitamiento y Jr. Santa Teresa</i> .....	67
Figura 22. <i>Diagrama de flujo de la intersección de Vía de Evitamiento y Jr. Miguel Iglesias</i> .....	68
Figura 23. <i>Diagrama de flujo de la intersección de Vía de Evitamiento y Jr. Chanchamayo</i> .....	68
Figura 24. <i>Diagrama de flujo de la intersección de Vía de Evitamiento y Jr. Angamos ....</i>	69
Figura 25. <i>Creación de puntos geolocalizados con los datos de entrada .....</i>	93
Figura 26. <i>Tabla de atributos con los datos de entrada.....</i>	93
Figura 27. <i>Uso de herramientas de análisis geoespacial y modelado del software .....</i>	94
Figura 28. <i>Escala de colores para la representación de los niveles de servicio. ....</i>	95
Figura 29. <i>Inserción fotos geolocalizadas del aforo vehicular en el programa de arcgis ..</i>	96

## LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS

%HV: Porcentaje de vehículos pesados.

$\Sigma Da$ : Demora total por puntos de acceso.

$c_i$  = Capacidad del grupo de carriles  $i$

$C$  = Longitud del ciclo

$d$ : Demora por control.

$d_1$ : Demora uniforme.

$d_2$ : Demora incremental.

$d_A$  = Demora en el acceso.

$f_w$ : Factor de ajuste por ancho de carril

$f_{HV}$  = Factor de ajuste por vehículos pesados

$f_p$  = Factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles

$f_{bb}$  = Factor de ajuste por bloqueo de buses

$f_a$  = Factor de ajuste por tipo de área

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

$f_{LT}$  = Factor de ajuste por vueltas a la izquierda

$f_{RT}$  = Factor de ajuste por vueltas a la derecha

$f_{Lpb}$  = Factor de ajuste por peatones para vueltas a la izquierda

$f_{wz}$  = Factor de ajuste por la presencia de una zona de obras en la intersección

$f_{Rpb}$  = Factor de ajuste por peatones para vueltas a la derecha

$f_{ms}$  = Factor de ajuste para el bloqueo del carril aguas abajo

$f_{sp}$  = Factor de ajuste por refluo sostenido

$g/C$ : Relación verde/ciclo/efectivo.

HCM: Highway Capacity Manual 2016.

$I$ : Número de accesos de la intersección

LOS: niveles de servicio

NS: Nivel de servicio.

N: Número de Carriles.

$PHF$  = Factor de hora pico

RTOR: Girar a la derecha con luz roja

$S_i$ : Flujo de saturación.

$S_o$ : Flujo de saturación base.

T: Duración del periodo de análisis.

VHMD: Volumen horario de máxima demanda.

$W_i$ : Ancho de intersección aguas arriba.

X: Grado de saturación.

## GLOSARIO

### A

**Ancho de carril:** Ancho promedio de los carriles que comparten un grupo de movimientos de tráfico. El ancho mínimo recomendado es de 3.66 metros.

**ArcGIS:** Conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) producidos y comercializados por ESRI.

**ArcMap:** Aplicación central utilizada en ArcGIS, que permite visualizar y explorar datos SIG, crear y editar datasets, realizar análisis y publicar mapas.

**ArcCatalog:** Herramienta para organizar y documentar datos geográficos (metadata), administrar, crear y acondicionar la geodatabase.

**ArcToolBox:** Herramienta para el geo-procesamiento, combinar capas de información, manipular datos, definir y transformar sistemas de coordenadas, entre otras funciones.

### C

**Capacidad vial:** Número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones existentes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control.

**Carril:** Espacio de calzado en la que transitan vehículos semaforizados con un determinado sentido.

**Condiciones geométricas:** Características físicas de una intersección, incluyendo el ancho de los carriles, la pendiente, la existencia de carriles exclusivos y la longitud de las bahías de giro.

**Condiciones semafóricas:** Parámetros de los tiempos semafóricos, como la longitud del ciclo, el tiempo verde, el tiempo verde + amarillo, la operación accionada o prefijada y el plan de fases.

### D

**Demora:** Tiempo perdido de viaje debido a las detenciones en una intersección.

## F

**Flujo:** Tasa equivalente por hora en la cual los vehículos pasan sobre una sección determinada de la vía durante un intervalo de tiempo menor a una hora, usualmente 15 minutos.

**Flujo de saturación:** Máximo flujo que puede circular por un carril durante la fase de verde, sin considerar la presencia de vehículos pesados ni autobuses.

**Factor horario de máxima demanda (FHMD):** Factor que se utiliza para ajustar el volumen de tráfico durante un período de 15 minutos a una tasa horaria.

## G

**Geodatabase:** Sistema de gestión de datos geográficos que permite almacenar, editar y analizar información geográfica.

## H

**Highway Capacity Manual (HCM):** Manual de capacidad vial que proporciona una metodología para evaluar la capacidad y el nivel de servicio de las vías y las intersecciones.

## I

**IMD:** Índice medio diario, que se refiere al número de vehículos promedio que transitan por una vía durante un día.

**Intersección semaforizada:** Puntos estratégicos del sistema vial urbano que regula y controla el flujo de vehículos motorizados creando orden y seguridad vial.

## N

**Nivel de servicio (NS):** Medida cualitativa que describe el estado de operación de un flujo vehicular y su confort para los motoristas y/o pasajeros.

## P

**PTV Vissim:** Software de simulación de tráfico que permite modelar y analizar el flujo vehicular en una red de vías.

**R**

**Relación volumen-capacidad (V/C):** Relación entre el volumen de tráfico actual o proyectado y la capacidad de la vía o intersección.

**S**

**Sistema de Información Geográfica (SIG):** Sistema que permite capturar, almacenar, analizar y visualizar información geográfica.

**Synchro Plus 11.1:** Software de simulación de tráfico que permite modelar y analizar el flujo vehicular en una red de vías.

**V**

**Velocidad de flujo libre:** Velocidad promedio de los vehículos medida en condiciones de bajo volumen, donde los conductores son libres de circular a la velocidad deseada.

**Velocidad media:** Valor numérico que resulta de dividir la distancia recorrida en kilómetros entre el tiempo en horas que demoró recorrer la distancia.

**Volumen:** Número total de vehículos que pasan sobre una sección determinada de la vía durante un intervalo de tiempo.

**VISSIM:** Software de simulación de tráfico que permite modelar y analizar el flujo vehicular en una red de vías.

**Z**

**Zona de conflicto:** Área en una intersección donde los usuarios compiten por espacio, como peatones y vehículos que dan vuelta a la derecha.

## RESUMEN

Esta investigación aborda la problemática de la congestión vehicular en la Av. Vía de Evitamiento Norte en la ciudad de Cajamarca, la cual experimenta alta congestión vehicular en sus intersecciones semaforizadas debido al creciente parque automotor (incluyendo un alto número de mototaxis), la insuficiente capacidad vial, y la falta de optimización en la programación semafórica. El objetivo principal fue evaluar la capacidad vial y el nivel de servicio de cinco intersecciones semaforizadas en la Av. Vía de Evitamiento Norte usando la metodología HCM 2016 y ArcGIS. Se modeló la capacidad y el nivel de servicio de las intersecciones. Los resultados indican que la mayoría de las intersecciones presentan un nivel de servicio F (congestión extrema), con demoras promedio superiores a 80 segundos por vehículo. Específicamente, la intersección Av. Hoyos Rubio mostró la mayor demora (92 segundos). Los hallazgos sugieren que la capacidad de las intersecciones es insuficiente para satisfacer la creciente demanda vehicular, especialmente durante las horas pico. Las relaciones volumen-capacidad (V/C) superaron 1.0 en la mayoría de los casos, confirmando la saturación del sistema, especialmente durante las horas pico. Las intersecciones con Av. Hoyos Rubio, Jr. Chanchamayo, y Jr. Angamos mostraron las relaciones V/C más altas, indicando congestión extrema. El modelamiento en ArcGIS corroboró estos hallazgos, visualizando espacialmente la distribución de las demoras y los niveles de servicio. Llegando a la conclusión que los ciclos semafóricos actuales no son óptimos y contribuyen significativamente a las demoras vehiculares en la Av. Vía de Evitamiento Norte. Se destaca la importancia de herramientas digitales, como ArcGIS, en el análisis geoespacial y la simulación de escenarios de tráfico.

**Palabras clave:** Capacidad vial, nivel de servicio, intersecciones semaforizadas, HCM 2016, ArcGIS.

## ABSTRACT

This research addresses the issue of vehicular congestion on Av. Vía de Evitamiento Norte in Cajamarca, Peru. High congestion at signalized intersections is due to a growing motor vehicle fleet (including a high number of mototaxis), insufficient road capacity, and suboptimal traffic signal timing. The main objective was to evaluate the road capacity and level of service of five signalized intersections on Av. Vía de Evitamiento Norte using the HCM 2016 methodology and ArcGIS. The capacity and level of service of the intersections were modeled. Results indicate that most intersections exhibit Level of Service F (extreme congestion), with average delays exceeding 80 seconds per vehicle. Specifically, the Av. Hoyos Rubio intersection showed the highest delay (92 seconds). Findings suggest that intersection capacity is insufficient to meet the growing vehicular demand, especially during peak hours. Volume-to-capacity (V/C) ratios exceeded 1.0 in most cases, confirming system saturation, particularly during peak hours. The intersections with Av. Hoyos Rubio, Jr. Chanchamayo, and Jr. Angamos showed the highest V/C ratios, indicating extreme congestion. ArcGIS modeling corroborated these findings, spatially visualizing the distribution of delays and levels of service. The conclusion is that the current traffic signal timings are not optimal and significantly contribute to vehicular delays on Av. Vía de Evitamiento Norte. The importance of digital tools, such as ArcGIS, in geospatial analysis and traffic scenario simulation is highlighted.

**Keywords:** Road capacity, level of service, signalized intersections, HCM 2016, ArcGIS.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Planteamiento del problema

##### 1.1.1 Contextualización

Thomson & Bull (2001), señalan que la congestión vehicular urbana en América Latina es causada por el aumento en la cantidad de automóviles, diseños viales deficientes, prácticas de conducción inadecuadas, y la falta de información sobre el tránsito. Las consecuencias incluyen mayores costos económicos y sociales, afectando principalmente a usuarios de transporte público, con impactos adicionales en la calidad de vida por contaminación, ruido, e irritabilidad.

Asimismo, la congestión vehicular es un problema común en las áreas urbanas y tiene impactos negativos en el tiempo de viaje, costo de transporte, emisiones de carbono y calidad de vida de los ciudadanos. En Guayaquil, Ecuador, se ha identificado un problema de congestión vehicular en las rutas de la Metrovía, específicamente en la ruta 3, diseñada para la circulación de dos vehículos articulados simultáneamente. (Dominguez et al., 2022)

La movilidad es uno de los principales problemas que enfrenta el Distrito Metropolitano de Quito, donde el crecimiento poblacional ha llevado a un aumento desproporcionado del tráfico vehicular. Este incremento ha generado dificultades para desplazarse, causando molestias, estrés y contaminación, lo que afecta directamente el desarrollo de diversas actividades en la ciudad. Para abordar esta problemática, es necesario realizar estudios de medición de índices de tráfico que permitan identificar y cuantificar las causas de los retrasos en las avenidas de mayor movimiento vehicular. La situación actual ha llevado a la urgencia de analizar parámetros como la intensidad del tráfico, velocidades, recorridos, paradas y demoras de vehículos. (Arias, 2016)

Asimismo, en la ciudad de Lima el diseño urbano prioriza el vehículo motorizado, generando graves problemas ambientales, económicos y sociales. La falta de planificación vial adecuada, sumada a la ausencia de un sistema de transporte público eficiente y la proliferación de vehículos, resulta en un alto índice de accidentes (especialmente atropellos), una congestión vehicular crónica, y una baja calidad de vida para los peatones. La falta de una autoridad única para fiscalizar el transporte público exacerba el problema. (Ascue, 2016)

La congestión vehicular en Cajamarca, agravada por rutas ineficientes y el aumento de la demanda, requiere una solución integral. Las principales arterias, como las avenidas de Evitamiento Norte y Sur sufren saturación en horas pico, incrementando los tiempos de viaje. El estacionamiento desordenado, la falta de estacionamientos públicos adecuados y la informalidad del transporte público contribuyen al caos vial, especialmente en el centro. La Av. de Evitamiento Norte, parte de la PE-3N, soporta un alto flujo de vehículos pesados, intensificando el problema. Se requiere una colaboración entre autoridades y comunidad para implementar soluciones sostenibles que incluyan mejoras al transporte público, planificación urbana eficiente e inversión en infraestructura vial, desincentivando el uso excesivo de vehículos privados.

El propósito de esta investigación es determinar la capacidad y el nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas de la Avenida de Evitamiento Norte en Cajamarca, debido a su relevancia y problemas relacionados. Se utilizarán los resultados para desarrollar medidas preventivas, correctivas y/o mitigadoras para mejorar el servicio y abordar los problemas del transporte urbano en la ciudad.

### **1.1.2 Descripción del problema**

El acelerado crecimiento poblacional de Cajamarca, resultado de la inmigración (218,741 habitantes según INEI 2017), ha incrementado la densidad demográfica,

absorbiendo la antigua Vía de Evitamiento dentro del área urbana. Este crecimiento, junto con el desarrollo económico, ha generado diversos problemas:

- Congestión vehicular: El 20% del tráfico corresponde a vehículos pesados de carga, que se suman al tráfico urbano (vehículos privados, transporte público, taxis y mototaxis), causando congestión y un deterioro acelerado de la infraestructura vial.
- Contaminación ambiental: La alta densidad vehicular produce contaminación por emisiones de gases, polvo y ruido, superando los niveles permitidos y afectando la calidad del aire y el bienestar de la población.
- Accidentes de tránsito: La ciudad registra más de 900 accidentes anuales, representando una seria preocupación en materia de seguridad vial.
- Tiempo de viaje: Las demoras en el tráfico pueden alcanzar una hora para cruzar la ciudad, generando un alto costo social y económico.

Figura 1. Congestión y capacidad vial insuficiente en la Av. Vía de Evitamiento Norte



Así mismo la Av. Vía de Evitamiento Norte presenta un colapso vehicular en sus intersecciones semaforizadas debido al alto volumen de vehículos, especialmente mototaxis, y al incremento general del parque automotor. Esta congestión, que supera la capacidad vial en horas pico y a lo largo del día, provoca problemas de movilidad (accidentes, incomodidad, retrasos), reflejando bajos niveles de servicio. Considerando la

importancia de esta avenida como única vía de salida hacia las provincias del norte y ruta de vehículos de carga pesada, es imperativo abordar los problemas de capacidad vial y nivel de servicio en esta zona.

Figura 2. *Capacidad vial insuficiente en la Av. Vía de Evitamiento Norte*



### **1.1.3 Formulación del problema (Pregunta general y auxiliares)**

¿Cuál es la capacidad vial y el nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas de la Av. Vía de Evitamiento norte en la ciudad de Cajamarca usando el HCM 2016?

### **1.2 Justificación e importancia**

El análisis de la capacidad vial y el nivel de servicio en las intersecciones semaforizadas permitirá identificar áreas de congestión y cuellos de botella, lo que es crucial para mejorar el flujo vehicular y la eficiencia del transporte urbano. Así mismo esta investigación generará estadísticas y datos que facilitarán la creación de indicadores de gestión, esenciales para que las autoridades locales y regionales tomen decisiones informadas en planificación urbana y transporte.

Además, al obtener información precisa sobre la capacidad vial, se podrán implementar acciones específicas que mejoren la movilidad en Cajamarca, lo que

redundará en una mejor experiencia para los residentes y una reducción de la congestión vehicular, contribuyendo así a la calidad de vida.

### **1.3 Delimitación de la investigación**

Esta investigación determinó la capacidad vial y el nivel de servicio de cinco intersecciones semaforizadas de la Av. Vía de Evitamiento Norte en Cajamarca (con Jr. Angamos, Jr. Chanchamayo, Jr. Miguel Iglesias, Jr. Santa Teresa y Av. Hoyos Rubio), utilizando la metodología del HCM 2016 y modelando los resultados en ArcGIS; no se tomó en cuenta la demora por cola inicial ya que la cola de vehículos se despejó durante el periodo de análisis.

### **1.4 Limitaciones**

La presente investigación no presentó limitaciones.

### **1.5 Objetivo (s) de la investigación: general y específicos**

#### **1.5.1 Objetivo General:**

Determinar la capacidad vial y el nivel de servicio en las intersecciones semaforizadas en la Av. Vía de Evitamiento norte de la ciudad de Cajamarca, usando el HCM 2016 y su modelamiento en ArcGIS.

#### **1.5.2 Objetivo Específicos:**

- Calcular la demora promedio de las intersecciones semaforizadas.
- Determinar la capacidad vial de las intersecciones semaforizadas en la Av. Vía de Evitamiento norte.
- Determinar el nivel de servicio de la Av. Vía de Evitamiento norte.
- Procesar los datos espaciales para su modelamiento en el programa ArcGis.
- Determinar el ciclo semafórico.

## CAPITULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación o marco referencial

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales.

En la ciudad de Guayaquil, Flores et al. (2021), en su investigación *Análisis de capacidad vial de la Av. Rodolfo Baquerizo*, tuvieron como objetivo evaluar la capacidad vial y el nivel de servicio de la Av. Rodolfo Baquerizo Nazur en su intersección con la Av. Benjamín Carrión, ubicada al norte de Guayaquil, Ecuador. Se aplicó la metodología del Highway Capacity Manual (HCM) 2016 para intersecciones semaforizadas, incluyendo el cálculo de la capacidad vial, la relación volumen-capacidad (V/C) y el nivel de servicio. Se utilizó el software Synchro 8.0 para realizar una segunda evaluación de la capacidad y el nivel de servicio, comparando los resultados con el análisis manual. Los resultados del análisis de capacidad vial utilizando el HCM 2016 y Synchro 8.0 revelaron que la demanda vehicular excede la capacidad de las vías en la mayoría de las intersecciones, lo que genera un nivel de servicio F, correspondiente a congestión extrema.

La investigación de Soler et al. (2022), *Evaluación de la incidencia de los ciclos sobre el nivel de servicio de intersecciones no semaforizadas en la ciudad de Holguín* evaluó la influencia de los ciclos en la operación del tránsito en las intersecciones no semaforizadas de la ciudad de Holguín, Cuba. Se utilizaron métodos teóricos, empíricos y estadísticos para analizar el factor de equivalencia de ciclos a autos ligeros. Se realizaron estudios de tránsito para determinar el volumen horario de máxima demanda (VHMD), la velocidad de aproximación de los vehículos y las brechas aceptadas y no aceptadas. Se analizaron los niveles de servicio y la capacidad de las intersecciones, primero sin considerar los ciclos y luego incluyéndolos. Se determinó un factor de equivalencia de ciclos

a autos ligeros de 1:0.33. Se comprobó que la presencia de ciclos tiene un impacto negativo en el nivel de servicio de estas intersecciones, lo que se evidenció en un cambio del nivel de servicio de C a E. La investigación recomienda considerar los ciclos en los análisis de capacidad y nivel de servicio para este tipo de intersecciones, ya que su influencia es significativa en la movilidad urbana. La investigación aporta información valiosa sobre la influencia de los ciclos en el tránsito y propone un factor de equivalencia que puede ser utilizado en otros estudios de tránsito en zonas urbanas con alta presencia de ciclos.

Asimismo, Gómez & Delgado (2022), en su investigación *El congestionamiento vehicular, análisis y propuesta de solución: intersección semaforizada entre avenidas américa y reales tamarindos*, tuvo como objetivo analizar el congestionamiento vehicular en la intersección semaforizada de las avenidas América y Reales Tamarindos en Portoviejo, Ecuador, mediante la determinación del nivel de servicio para identificar el grado de confort de los usuarios. Se realizaron aforos vehiculares en la intersección durante tres días de la semana (lunes, miércoles y viernes) en intervalos de 15 minutos, clasificando los vehículos por tipo (bicicletas, motos, vehículos livianos, camiones y buses). Se recopiló información geométrica de las vías que conforman la intersección, incluyendo longitudes, pendientes, número de carriles, señalización y otros datos relevantes. Se determinó el flujo de saturación y las demoras por carril utilizando la metodología del HCM. La investigación determinó una demora general de 23.97 seg/veh, categorizando la intersección con un nivel de servicio C. Se identificaron los principales problemas de congestión en los carriles "derecho" debido a los estacionamientos permitidos. Se propusieron medidas específicas para mejorar la situación actual, como la implementación de medidas para evitar el estacionamiento en los carriles "derecho".

### 2.1.2 Antecedentes nacionales.

En su investigación de Rey (2024), *Propuesta de mejora de los niveles de servicio para mitigar la congestión vehicular en la intersección de la av. Abancay la intersección de las avenidas jr. Amazonas, jr. Ancash y jr. Junín*, tuvo el objetivo de desarrollar una solución real y accesible para mitigar la congestión vehicular en la intersección de la Av. Abancay con las avenidas Jr. Amazonas, Jr. Ancash y Jr. Junín, ubicadas en el Centro Histórico de Lima. Para ello, se empleó la metodología del Highway Capacity Manual (HCM) 2010, que se basa en cuatro etapas: recolección de datos, procesamiento de datos, análisis de resultados y resultados. Se registraron los vehículos que circulan en las intersecciones, identificando la hora pico entre las 18:45 y 19:45 pm. Se determinaron los niveles de servicio para cada intersección, que fueron D, D y F para las intersecciones 1, 2 y 3. La información se ingresó a la plataforma del software Synchro 8.0 para corroborar los niveles de servicio y calcular el tiempo de espera. Se determinó que la congestión se debe a la falta de control municipal, la falta de sincronización del sistema de semáforos y la falta de un plan integral de transporte masivo. Se propusieron dos soluciones: mayor control municipal e implementación de un sistema de sincronización de semáforos. Se propone un enfoque integral para la gestión del tráfico, considerando la importancia de la sincronización de los semáforos, el control municipal y la implementación de un plan integral de transporte masivo. Finalmente, se recomienda realizar estudios de comportamiento de los motociclistas para identificar las causas de los accidentes y de las infracciones de tránsito.

En la ciudad de Tacna, Paucara (2018) en su tesis *Evaluación del nivel de servicio en flujos vehiculares de las intersecciones de la Av. Jorge Basadre Grohmann, utilizando Synchro V.8*, se propuso evaluar el nivel de servicio en los flujos vehiculares de las intersecciones de la Av. Jorge Basadre Grohmann utilizando el software Synchro V.8. Para ello, se realizaron aforos vehiculares de ingreso y salida de la avenida principal, en las

intersecciones, durante 12 horas diarias por tres días. Los datos obtenidos se procesaron en Excel bajo la metodología del HCM 2010, y luego se modelaron en el programa Synchro V.8. La investigación determinó que las intersecciones de la Av. Jorge Basadre Grohmann, Av. Gregorio Albarracín y Av. A.B. Leguía presentan un nivel de servicio C y F en el escenario actual, lo que genera retrasos de viaje, largos tiempos de espera y colas. Se comprobó que las intersecciones sobrepasan su capacidad en el escenario proyectado a 20 años. Como solución, se recomienda la implementación de un carril preferencial de giro a la izquierda, la optimización de los tiempos de los semáforos, la señalización horizontal y vertical, y la construcción de un paso elevado a desnivel para mejorar el nivel de servicio.

La investigación de Frisancho (2021), *Evaluación del nivel de servicio en flujos vehiculares del óvalo Cuzco-Tacna 2019 y simulación de paso a desnivel sentido n-s utilizando Synchro v.8*, tuvo como objetivo principal determinar el nivel de servicio del flujo vehicular en el óvalo Cuzco, donde confluyen las avenidas Municipal, Collpa, Cuzco y Jorge Basadre Grohmann (Circunvalación Este-Oeste). Para lograrlo, se aforaron las intersecciones de ingreso y salida del óvalo Cuzco, registrando además los giros principales de los diferentes vehículos. Estos datos obtenidos en campo fueron procesados mediante hojas de cálculo Excel, bajo la metodología HCM 2010, y se usaron como datos de entrada para determinar el nivel de servicio en función del volumen de tráfico y las características geométricas del óvalo Cuzco, mediante la micro simulación Synchro V.8. Se determinó que el nivel de servicio del escenario actual es F, lo que representa una libertad de maniobra nula. Mientras que con la propuesta de paso a desnivel sentido N-S es D, representando una circulación con libertad de maniobra seriamente restringida. Se concluye que el mayor flujo vehicular se presenta en las intersecciones de la Avenida Cuzco y la Avenida Municipal con el óvalo Cuzco.

### 2.1.3 Antecedentes locales.

En la investigación de Abanto (2025), *Influencia de la sincronización de semáforos "Ola verde" en el flujo vehicular y peatonal de la zona monumental de la ciudad de Cajamarca*, tuvo como objetivo determinar la influencia de la sincronización semaforizada con "ola verde" en el flujo vehicular y peatonal de la zona monumental de Cajamarca. Empleó un diseño cuasi-experimental con pre y post-test de un solo grupo, donde analizó seis intersecciones semaforizadas en el Jr. Dos de Mayo y Jr. José Gálvez; se recopilaron datos mediante observación directa (conteo manual y uso de dron), encuestas y fichas de observación. Se utilizaron los softwares Vissim 23.0 y Viswalk 23.0 para modelar y simular la situación actual y la optimizada con la implementación de la "ola verde". Se aplicó la metodología HCM 2010 para determinar el nivel de servicio y las demoras vehiculares y peatonales. Se utilizaron pruebas estadísticas (Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, t-Student y Wilcoxon) para contrastar las hipótesis. El estudio confirmó que la sincronización de semáforos con "ola verde" influye positivamente en el flujo vehicular y peatonal en la zona monumental de Cajamarca. La mayoría de las intersecciones presentaron un nivel de servicio F (congestión extrema) sin la sincronización, mejorando significativamente con la implementación de la "ola verde", especialmente en las intersecciones de los Jirones Dos de Mayo y Amazonas. La investigación destaca la importancia del uso de softwares de microsimulación como Vissim y Viswalk para modelar y analizar la eficiencia del tráfico.

Estela (2024), en su tesis *Capacidad y nivel de servicio de la avenida el maestro entre la Avenida Los Héroes y Jirón El Inca de la ciudad de Cajamarca, por el uso de carriles como estacionamiento*, tuvo como objetivo determinar la capacidad y el nivel de servicio de la Avenida El Maestro en Cajamarca, Perú, entre la Avenida Los Héroes y el Jirón El Inca, considerando el impacto del uso de carriles como estacionamiento. Se recopiló información bibliográfica sobre la capacidad vial y el nivel de servicio, utilizando el manual de Capacidad

de Carreteras HCM 2016. Se realizaron aforos vehiculares manuales en la avenida durante una semana, incluyendo la identificación de los sentidos de flujo vehicular. Se realizó un levantamiento topográfico de la vía para obtener las características geométricas. Se procesaron los datos de aforo y las características geométricas utilizando la metodología del HCM 2016. Se determinó la capacidad vial y el nivel de servicio de la avenida en condiciones normales y en régimen libre, considerando el impacto del uso de carriles como estacionamiento. Se determinó que la capacidad vial de la Avenida El Maestro es menor a 1800 veh/h y el nivel de servicio es "F" tanto en condiciones normales como en régimen libre, debido al uso de carriles como estacionamiento. Se identificaron las principales causas de la congestión vehicular, como las paradas imprevistas de transporte público, el cruce peatonal imprudente, las marchas y el uso de carriles como estacionamiento. Se recomienda la implementación de medidas para mejorar la capacidad vial y el nivel de servicio, como la expansión de carriles, la optimización de los semáforos, la señalización horizontal y vertical, y la construcción de un paso a desnivel.

## **2.2 Marco doctrinal de las teorías particulares en el campo de la ciencia en la que se ubica el objeto de estudio (Bases teóricas)**

### **2.2.1 SemafORIZACIÓN.**

Los semáforos son dispositivos de señalización electromagnéticos y electrónicos con los cuales se regula la circulación de vehículos, peatones y bicicletas, mediante el uso de indicadores visuales que otorgan el derecho al paso; los indicadores son luces generalmente de color verde, amarillo y rojo. El semáforo es útil para controlar la seguridad en la interacción de vehículos y peatones, estos pueden ser de tiempo fijo o actuado por el tránsito. (Bonilla, 2016, p 115)

Los semáforos cumplen las siguientes funciones (Cal y Reyes, 2015, p. 355):

- Ordenan la circulación del tránsito y en algunos casos optimizan la capacidad de los grupos de carriles.
- Reducen los accidentes de tránsito.
- Interrumpen periódicamente los flujos de vehículos de una arteria para ceder el paso a peatones y vehículos de la arteria transversal.
- Representan un ahorro considerable con respecto a los agentes de tránsito.

#### **2.2.1.1 Ciclo Semafórico.**

Tiempo que transcurre desde un cambio de un grupo semafórico hasta la repetición de la misma situación. Cada ciclo semafórico se divide en fases. La fase para un semáforo vehicular es rojo, verde y ámbar (IPSUM, 2020).

##### **A. Tiempo de Verde**

En IPSUM se menciona que para obtener el tiempo en verde se debe prioritariamente cumplir la condición de que el tiempo mínimo obtenido sea suficiente para que los peatones crucen la vía (IPSUM, 2020).

##### **B. Duración del tiempo ámbar**

La duración mínima de la luz ámbar en casi todas las ciudades del mundo es de 3 segundos para evitar accidentes de tránsito (IPSUM, 2020).

##### **C. Duración del tiempo de rojo**

La duración del tiempo de rojo es obtenida al sumar los tiempos de verde y ámbar y restarlos del total del tiempo asignado para todos los movimientos de la intersección (IPSUM, 2020).

#### **2.2.2 Capacidad.**

Cantidad máxima de flujo que puede soportar una autopista o calle. De manera particular, la Capacidad de una vía es el máximo número de vehículos que razonablemente

pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones existentes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control. El intervalo de tiempo utilizado en la mayoría de los análisis de Capacidad es de 15 minutos, debido a que se considera que éste es el intervalo más corto durante el cual puede presentarse un flujo estable. Como se sabe, que el volumen en 15 minutos así obtenido es convertido a tasa de flujo horaria, entonces la Capacidad de un sistema vial, es la tasa máxima horaria. Con el análisis de Capacidad, también se estima la cantidad máxima de vehículos que el sistema vial puede acomodar mientras se mantiene una determinada calidad de operación, introduciéndose aquí el concepto de Nivel de Servicio. (Cal y Reyes, 2015, p. 355)

### **2.2.3 Nivel de Servicio.**

Es una medida cualitativa que describe el estado de operación de un flujo vehicular, y de su confort de los motoristas y/o pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como la velocidad y el tiempo de recorrido, la libertad de realizar maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial. los factores que afectan el Nivel de Servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que correspondan a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas, tales como la anchura de los carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes, etc. (Cal y Reyes, 2015, p. 328)

El Nivel de Servicio de una Intersección con semáforos se define a través de las demoras, las cuales representan para el usuario una medida de tiempo perdido de viaje, del consumo de combustible, de la incomodidad y de la Frustración Específicamente el Nivel de Servicio se expresa en términos de la demora media por vehículo debido a las

detenciones para un periodo de análisis de 15 minutos, considerado como periodo de máxima demanda. (Cal & Reyes, 2015, p. 410)

El modo de vehículo motorizado LOS puede caracterizarse para toda la intersección, cada enfoque de intersección y cada grupo de carriles. El retraso de control solo se utiliza para caracterizar LOS para toda la intersección o un enfoque. El retraso de control y la relación volumen-capacidad se utilizan para caracterizar LOS para un grupo de carriles. El retraso cuantifica el aumento en el tiempo de viaje debido al control de señales de tráfico. También es una medida sustituta de la incomodidad del conductor y el consumo de combustible. La relación volumen-capacidad cuantifica el grado en que la capacidad de una fase es utilizada por un grupo de carriles. (HCM 2016, p. 19 - 15)

Tabla 1. *Nivel de servicio LOS para vehículos motorizados en una intersección semaforizada*

Demoras (Seg/Veh)	Relación volumen-capacidad	
	<1.0	>1
<10	A	F
>10-20	B	F
>20-35	C	F
>35-55	D	F
>55-80	E	F
>80	F	F

*Nota.* Tomado de HCM 2016, p. 19 -16

El HCM establece 6 niveles de servicio desde la A hasta la F. Los siguientes conceptos son extraídos del HCM 2016 capítulo 19 Intersecciones señalizadas. Así se tiene los siguientes conceptos:

Nivel de servicio (LOS A): describe operaciones con un retraso de control de 10 s/veh o menos y una relación volumen-capacidad no mayor a 1.0. Este nivel se asigna típicamente cuando la relación volumen-capacidad es baja y la progresión es excepcionalmente favorable o la longitud del ciclo es muy corta. Si LOS A es el resultado

de una progresión favorable, la mayoría de los vehículos llegan durante la indicación verde y atraviesan la intersección sin detenerse. (HCM 2016, p. 19- 15)

Nivel de servicio (LOS B): describe operaciones con un retraso de control entre 10 y 20 s/veh y una relación volumen-capacidad no mayor a 1.0. Este nivel se asigna típicamente cuando la relación volumen-capacidad es baja y la progresión es altamente favorable o la longitud del ciclo es corta. Más vehículos se detienen que con LOS A. (HCM 2016, p. 19- 15)

Nivel de servicio (LOS C): describe operaciones con un retraso de control entre 20 y 35 s/veh y una relación volumen-capacidad no mayor a 1.0. Este nivel se asigna típicamente cuando la progresión es favorable o la longitud del ciclo es moderada. Los fallos individuales del ciclo (es decir, uno o más vehículos en cola no pueden salir como resultado de una capacidad insuficiente durante el ciclo) pueden comenzar a aparecer en este nivel. El número de vehículos que se detienen es significativo, aunque muchos vehículos aún pasan por la intersección sin detenerse. (HCM 2016, p. 19- 15)

Nivel de servicio (LOS D): describe operaciones con un retraso de control entre 35 y 55 s/veh y una relación volumen-capacidad no mayor a 1.0. Este nivel se asigna típicamente cuando la relación volumen-capacidad es alta y la progresión es ineficaz o la longitud del ciclo es larga. Muchos vehículos se detienen y los fallos individuales del ciclo son notables. (HCM 2016, p. 19- 15)

Nivel de servicio (LOS E): describe operaciones con un retraso de control entre 55 y 80 s/veh y una relación volumen-capacidad no mayor a 1.0. Este nivel se asigna típicamente cuando la relación volumen-capacidad es alta, la progresión es desfavorable y la longitud del ciclo es larga. Los fallos individuales del ciclo son frecuentes. (HCM 2016, p. 19- 15)

Nivel de servicio (LOS F): describe operaciones con un retraso de control que excede 80 s/veh o una relación volumen-capacidad mayor a 1.0. Este nivel se asigna

típicamente cuando la relación volumen-capacidad es muy alta, la progresión es muy pobre y la longitud del ciclo es larga. La mayoría de los ciclos no logran despejar la cola. (HCM 2016, p. 19- 15)

Un grupo de carriles puede incurrir en un retraso menor a 80 s/veh cuando la relación volumen-capacidad excede 1.0. Esta condición ocurre típicamente cuando la longitud del ciclo es corta, la progresión de la señal es favorable, o ambas. Como resultado, tanto el retraso como la relación volumen-capacidad se consideran cuando se establece el LOS del grupo de carriles. Una relación de 1.0 o más indica que la capacidad del ciclo está completamente utilizada y representa (HCM 2016, p. 19- 15)

#### **2.2.4 Condiciones geométricas.**

El HCM (2016, p. 19 – 33- 35) considera los siguientes:

- **Número de Carriles:** El número de carriles representa la cantidad de carriles proporcionados para cada movimiento de tráfico en la intersección. Para un movimiento de giro, este conteo representa los carriles reservados para el uso exclusivo de vehículos que giran. Los carriles de movimiento de giro incluyen carriles de giro que se extienden hacia atrás por la longitud del segmento y carriles en una bahía de giro. Los carriles que son compartidos por dos o más movimientos se incluyen en el conteo de carriles de paso y se describen como carriles compartidos. Si no se proporcionan carriles de giro exclusivos, entonces se indica que el movimiento de giro tiene cero carriles. El número de carriles en un enfoque depende del volumen de enfoque y del tiempo de señal.
- **Ancho Promedio de Carril:** Representa el ancho promedio de los carriles representados en un grupo de movimiento. El ancho promedio mínimo de carril es de 2.5 metros.

- Longitud de Bahía de Giro: La longitud de la bahía de giro representa la longitud de la bahía para la cual los carriles tienen ancho completo y en la que se pueden almacenar vehículos en cola. La longitud de la bahía se mide en paralelo a la línea central de la carretera. Si hay múltiples carriles en la bahía y tienen diferentes longitudes, entonces la longitud ingresada debe ser un valor promedio. Si se proporciona un carril de giro a la izquierda de dos vías para el almacenamiento de vehículos que giran a la izquierda y existen puntos de acceso adyacentes, entonces la longitud de la bahía ingresada debe representar la longitud de almacenamiento "efectiva" disponible para el movimiento de giro a la izquierda.
- Presencia de estacionamiento en la calle: La entrada para la presencia de estacionamiento en la calle indica si se permite el estacionamiento en la calle a lo largo de la acera adyacente a un grupo de movimiento y dentro de los 76 metros aguas arriba de la línea de parada durante el período de análisis. En una calle de doble sentido, la presencia de estacionamiento se observa solo en el lado derecho de la calle. En una calle de un solo sentido, la presencia de estacionamiento en la calle se anota por separado para cada lado de la calle.
- Grado de aproximación: La pendiente de aproximación define la pendiente media a lo largo de la aproximación medida desde la línea de parada hasta un punto a 30 metros aguas arriba de la línea de parada a lo largo de una línea paralela a la dirección de desplazamiento. Una condición cuesta arriba tiene un grado positivo y una condición cuesta abajo tiene un grado negativo.
- Tipo de control de señal: El control de la señal de intersección es una entrada a la metodología. Se puede controlar de forma pretemporizada, controlar accionado. El control pretemporizado se puede describir como coordinado (o coordinado-pretemporizado) si la intersección es parte de un sistema de señales.

- Opción de cambio de fase de giro a la izquierda: La opción de fase de giro izquierdo permite que los movimientos de giro a la izquierda operen en el modo protegido-permitido sin causar una preocupación de seguridad de "trampa amarilla".
- Tiempo de Paso: El tiempo de paso es la cantidad máxima de tiempo que una activación de vehículo puede extender el intervalo verde mientras se muestra el verde. Los valores de tiempo de paso se basan típicamente en la longitud de la zona de detección, la ubicación de la zona de detección (en relación con la línea de detención), el número de carriles atendidos por la fase, la longitud del vehículo y la velocidad del vehículo. El objetivo al determinar el valor del tiempo de paso es hacerlo lo suficientemente grande para asegurar que todos los vehículos en cola sean atendidos, pero no tan grande que se extienda para el tráfico que llega aleatoriamente después de que la cola se ha despejado.
- Verde Máximo: La configuración de verde máximo define la cantidad máxima de tiempo que una indicación de señal verde puede mostrarse en presencia de demandas conflictivas. Los valores típicos de verde máximo para fases de giro a la izquierda oscilan entre 15 y 30 s. Los valores típicos para fases de paso que atienden el enfoque de calle menor oscilan entre 20 y 40 s, y los valores para fases de paso que atienden el enfoque de calle mayor oscilan entre 30 y 60 s.
- Duración del Verde (Control Preprogramado): Para un análisis de operación preprogramada, la duración del intervalo verde es una entrada a la metodología. Los valores típicos son similares a los mencionados anteriormente para la configuración de verde máximo.

Cuadro 1. Datos de entrada requeridos para el análisis de vehículos motorizados

Tipo de condición	Parámetro
Geométricas	Tipo de área
	Ancho promedio de los carriles, W (m)
	Pendiente, G (%)
	Existencia de carriles exclusivos, LT o RT
	Longitud de bahías, LT o RT, Ls (m)
Tránsito	Estacionamientos
	Volumen de demanda por movimientos, V (veh/h)
	Tasa de flujo de saturación base, $S_o$ (vehículos livianos/h/carril)
	Factor de la hora de máxima demanda, FHMD
	Porcentaje de vehículos pesados, HV (%)
	Tasa de flujo peatonal en el acceso, $v_{ped}$ (peatones/h)
	Autobuses locales que paran en la intersección, Nb (autobuses/h)
	Tipo de llegadas, AT
	Relación de pelotón, $R_p$
	Velocidad de aproximación, SA (Km/h)
Semáforos	Longitud del ciclo, C(s)
	Tiempo verde, G(s)
	Amarillo +todo rojo Y (s)
	Operación accionada o prefijada
	Verde mínimo peatonal $G_p$ (s)
	Plan de fases

*Nota.* Tomado de HCM 2016, p. 19-23

### 2.2.5 Condiciones del tránsito.

El HCM (2016, p 52-55), considera los siguientes:

- Porcentaje de vehículos pesados: Un vehículo pesado se define como cualquier vehículo con más de cuatro neumáticos tocando el pavimento. Los autobuses locales que se detienen dentro del área de la intersección no se incluyen en el recuento de vehículos pesados. El porcentaje de vehículos pesados representa el recuento de vehículos pesados que llegan durante el período de análisis dividido por el recuento total de vehículos para el mismo período.
- Tasa de flujo de saturación base,  $S_o$  (vehículos livianos/h/carril): La tasa de flujo de saturación representa la tasa máxima de flujo para un carril de tráfico medida en la línea de detención durante la indicación verde. La tasa de flujo de saturación base representa

la tasa de flujo de saturación para un carril de tráfico que tiene 3.6 metros de ancho y no tiene vehículos pesados, una pendiente plana, sin estacionamiento, sin autobuses que se detengan en la intersección, utilización uniforme del carril y sin vehículos que giren.

- Factor de hora pico: Un factor de hora pico para toda la intersección se calcula con la ecuación (1).

$$PHF = n_{60} / (4n_{15}) \quad (1)$$

con:

$PHF$  = Factor de hora pico

$n_{60} = V_{HMD}$  = Conteo de vehículos durante la hora de máxima demanda (veh/h)

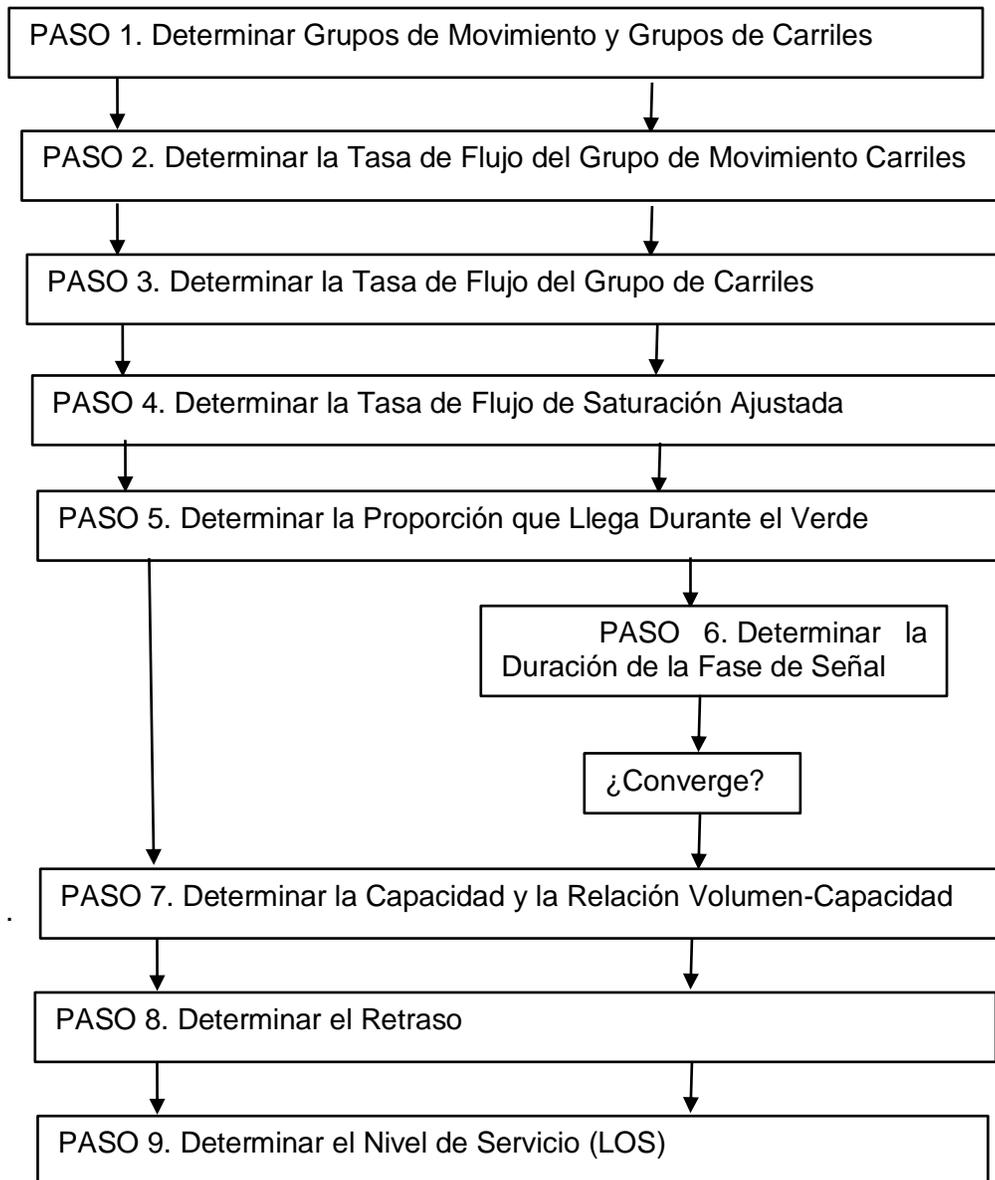
$n_{15}$  = Conteo de vehículos durante un periodo pico de 15 minutos (veh/h)

El conteo utilizado en el denominador de la Ecuación 1 debe tomarse durante un período de 15 minutos que ocurre dentro del período de 1 hora representado por la variable en el numerador. Ambas variables en esta ecuación representan el número total de vehículos que ingresan a la intersección durante su respectivo período de tiempo. Como tal, se calcula un factor de hora pico para la intersección. Este factor se aplica individualmente a cada movimiento de tráfico. Los valores de este factor típicamente oscilan entre 0.80 y 0.95.

- Autobuses locales que paran en la intersección,  $N_b$  (autobuses/h): Es el número de autobuses que se detienen y obstaculizan el tráfico de un grupo de movimientos dentro de los 80 metros detrás de la línea de parada. Si existen más de 250 autobuses/h se debe adoptar este valor como el límite práctico.

## 2.2.6 Metodología HCM 2016 para el cálculo de niveles de servicio.

Figura 3. Metodología HCM 2016



Nota. Tomado de HCM 2016, p. 19 – 42

### 2.2.6.1 Paso 1: Determinar los grupos de movimiento y los grupos de carriles.

Los grupos de movimiento y los grupos de carriles se establecen durante este paso. Se establecen por separado para cada acceso a la intersección. Las reglas para establecer

estos grupos se describen en los párrafos siguientes. El cuadro 2 muestra algunos grupos de movimiento y grupos de carriles. (HCM 2016, p. 19 – 42)

Cuadro 2. Grupo de movimientos y grupo de carriles

Número de Carriles	Movimientos por Carril		Grupos de Movimiento (MG)	Grupos de Carriles (LG)
1	Izquierda, a través y derecha		MG 1:	LG 1:
2	Exclusiva izquierda; A través y derecha		MG 1:	LG 1:
2	Izquierda y a través; A través y derecha		MG 1:	LG 1:
3	Exclusiva izquierda; Exclusiva izquierda; A través; A través; A través y derecha		MG 1:	LG 1:
			MG 2:	LG 2:
			MG 3:	LG 3:

Nota. Tomado de HCM 2016, p. 19 - 43

#### ❖ Determinar Grupos de Movimiento

Las siguientes reglas se utilizan para determinar grupos de movimiento para un enfoque de intersección (HCM 2016, p. 19 – 43):

- Un movimiento de giro servido por uno o más carriles exclusivos y ningún carril compartido debe ser designado como un grupo de movimiento.
- Cualquier carril no asignado a un grupo por la regla anterior debe ser combinado en un grupo de movimiento.
- Estas reglas resultan en la designación de uno a tres grupos de movimiento para cada enfoque.
- Un grupo de movimiento puede incluir uno o más carriles.

#### ❖ Determinar Grupos de Carriles

Un grupo de carriles puede incluir uno o más carriles. (HCM 2016, p. 19 – 42). Las siguientes reglas se utilizan para determinar grupos de carriles para un enfoque de intersección:

- Un carril o carriles exclusivos para giros a la izquierda deben ser designados como un grupo de carriles separado. Lo mismo es cierto para un carril exclusivo para giros a la derecha.
- Cualquier carril compartido debe ser designado como un grupo de carriles separado.
- Cualquier carril que no sea un carril de giro exclusivo o un carril compartido debe ser combinado en un grupo de carriles.

Según el HCM (2016, p. 19 – 43) estas reglas resultan en la designación de uno o más de las siguientes posibilidades de grupos de carriles para un enfoque de intersección:

- Carril exclusivo para giro a la izquierda (o carriles),
- Carril exclusivo para pasar (o carriles),
- Carril exclusivo para giro a la derecha (o carriles),
- Carril compartido para giro a la izquierda y pasar,
- Carril compartido para giro a la izquierda y giro a la derecha,
- Carril compartido para giro a la derecha y pasar, y
- Carril compartido para giro a la izquierda, pasar y giro a la derecha.

#### **2.2.6.2 Paso 2: Determinar la Tasa de Flujo del Grupo de Movimiento.**

La tasa de flujo para cada grupo de movimiento se determina en este paso. Si un movimiento de giro es servido por uno o más carriles exclusivos y no hay carriles compartidos, entonces la tasa de flujo de ese movimiento se asigna a un grupo de movimiento para los carriles exclusivos. Cualquier flujo de aproximación que aún no se haya

asignado a un grupo de movimiento (después de la aplicación de la guía en la oración anterior) se asigna a un grupo de movimiento. La tasa de flujo de RTOR se resta de la tasa de flujo de giro a la derecha, independientemente de si el giro a la derecha ocurre desde un carril compartido o exclusivo. El volumen reducido de giro a la derecha se utiliza para calcular la capacidad y el LOS en pasos posteriores. (HCM 2016, p. 19 – 44)

#### **2.2.6.3 Paso 3: Determinar la Tasa de Flujo del Grupo de Carriles.**

La tasa de flujo del grupo de carriles se determina en este paso. Si no hay carriles compartidos en la aproximación de la intersección o la aproximación tiene solo un carril, hay una correspondencia uno a uno entre los grupos de carriles y los grupos de movimiento. En esta situación, la tasa de flujo del grupo de carriles es igual a la tasa de flujo del grupo de movimiento. Este procedimiento se basa en un deseo asumido por los conductores de elegir el carril que minimiza su tiempo de servicio en la intersección, donde la relación de volumen de carril a flujo de saturación se utiliza para estimar diferencias relativas en este tiempo entre los carriles. Esta suposición puede no ser siempre válida para situaciones en las que los conductores eligen un carril para estar preposicionados para un giro en la intersección aguas abajo. De manera similar, puede no ser válida cuando hay un carril auxiliar de paso presente. (HCM 2016, p. 19 – 44)

#### **2.2.6.4 Paso 4: Determinar la Tasa de Flujo de Saturación Ajustada.**

La tasa de flujo de saturación calculada se denomina tasa de flujo de saturación ajustada porque refleja la aplicación de varios factores que ajustan la tasa de flujo de saturación base a las condiciones específicas presentes en la aproximación de la intersección en cuestión. El procedimiento descrito en este paso se aplica a grupos de carriles que consisten en un carril (o carriles) exclusivos que operan en un modo protegido preprogramado y sin interacción de peatones o bicicletas. La ecuación 2 se utiliza para

calcular la tasa de flujo de saturación ajustada por carril para el grupo de carriles en cuestión. (HCM 2016, p. 19 – 44)

$$S_i = S_o N f_w f_{HV} f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb} \quad (2)$$

en donde:

$S_i$  = Tasa de flujo de saturación ajustado del grupo de carriles  $i$  (veh/h/carril)

$S_o$  = Tasa de flujo de saturación base por carril (veh/h/carril)

$N$  = Número de carriles del grupo de carriles

$f_w$  = Factor de ajuste por ancho de carril

$f_{HV}$  = Factor de ajuste por vehículos pesados

$f_p$  = Factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles

$f_{bb}$  = Factor de ajuste por bloqueo de buses

$f_a$  = Factor de ajuste por tipo de área

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

$f_{LT}$  = Factor de ajuste por vueltas a la izquierda

$f_{RT}$  = Factor de ajuste por vueltas a la derecha

$f_{Lpb}$  = Factor de ajuste por peatones para vueltas a la izquierda

$f_{Rpb}$  = Factor de ajuste por peatones para vueltas a la derecha

#### ❖ Caudal de saturación base

Los cálculos comienzan con la selección de un caudal de saturación base. Este caudal base representa el caudal promedio esperado para un carril de tráfico de paso con condiciones geométricas y de tráfico que corresponden a un valor de 1.0 para cada factor de ajuste. Normalmente, se selecciona un caudal base para representar todas las intersecciones semaforizadas en la jurisdicción (o área) dentro de la cual se encuentra la intersección en cuestión. (HCM 2016, p. 19 – 45)

❖ Ajuste del ancho del carril  $f_w$ :

El factor de ajuste del ancho del carril tiene en cuenta el impacto negativo de los carriles estrechos en el caudal de saturación y permite un mayor caudal en carriles anchos.

Los valores de este factor se enumeran. (HCM 2016, p. 19 – 45)

Tabla 2. *Factor de ajuste de ancho de carril*

Ancho promedio del carril (m)	Factor de ajuste $f_w$
< 3.00	0.96
≥ 3.00 – 3.93	1
> 3.93	1.04

Nota. Tomado de HCM 2016, p. 19 - 45

❖ Factor de ajuste por vehículos pesados y pendiente  $f_{HV}$ :

Tiene en cuenta el efecto combinado de los vehículos pesados y la pendiente de aproximación en la tasa de flujo de saturación. El componente de vehículos pesados de este factor tiene en cuenta el espacio adicional ocupado por vehículos pesados y la diferencia en sus capacidades operativas en comparación con los automóviles de pasajeros. El componente de pendiente tiene en cuenta los efectos de la pendiente de aproximación en el rendimiento del vehículo. Una pendiente ascendente tiene un valor positivo y una pendiente descendente tiene un valor negativo. Si la pendiente es negativa (es decir, descendente), entonces el factor se calcula con la ecuación 3. (HCM, 2016, p. 19-46)

$$f_{HV} = \frac{100 - 0.79P_{HV} - 2.07Pg}{100} \quad (3)$$

Si la pendiente no es negativa (es decir, nivelada o ascendente), entonces el factor se calcula con la ecuación 4.

$$f_{HV} = \frac{100 - 0.78P_{HV} - 0.31(Pg * Pg)}{100} \quad (4)$$

donde:

$f_{HV}$  = Factor de ajuste por vehículos pesados

$P_{HV}$  = Porcentaje de vehículos pesados del grupo

$P_g$  = pendiente de aproximación para el grupo de movimiento correspondiente (%)

Este factor se aplica a porcentajes de vehículos pesados de hasta el 50% y pendientes que varían de -4.0% a +10.0%. Este factor no aborda los autobuses locales que se detienen en el área de la intersección. (HCM 2016, p. 19 – 46)

Factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles: El factor de ajuste por estacionamiento, cuantifica el efecto del bloqueo ocasional de un carril por los vehículos que entran y salen de los estacionamientos. Si el carril adyacente no tiene estacionamientos  $f_p = 1$ , caso contrario se calcula mediante la ecuación (5). (HCM, 2016, p. 19-46)

$$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18 \cdot N_m}{3600}}{N} \geq 0.050 \quad (5)$$

donde:

$f_p$  = Factor de ajuste por estacionamiento

$N_m$  = Tasa de maniobra de estacionamiento adyacente al grupo de carriles (maniobras/h)

$N$  = Número de carriles del grupo

❖ Factor de ajuste por tipo de área:

El factor de ajuste por el tipo de área demuestra la ineficiencia de intersecciones dentro de distritos centrales de negocios (CBD) es decir que cuando la intersección está dentro de un “CBD”,  $f_a = 0.90$  caso contrario  $f_a = 1.00$ . (HCM 2016, p. 19 – 47)

La tasa de maniobras de estacionamiento corresponde a las áreas de estacionamiento directamente adyacentes al grupo de carriles y dentro de 76 metros río

arriba de la línea de detención. Un límite práctico superior de 180 maniobras debe mantenerse con la Ecuación 9. Un valor mínimo de esta ecuación es 0.050. Se asume que cada maniobra (ya sea de entrada o salida) bloquea el tráfico en el carril adyacente a la maniobra de estacionamiento durante un promedio de 18 segundos. El factor se aplica solo al grupo de carriles adyacente al estacionamiento. En una calle de sentido único con un grupo de carriles de un solo carril, el número de maniobras utilizadas es el total para ambos lados del grupo de carriles. En una calle de sentido único con dos o más grupos de carriles, el factor se calcula por separado para cada grupo de carriles y se basa en el número de maniobras adyacentes al grupo. (HCM 2016, p. 19 – 47)

#### ❖ Ajuste por Bloqueo de Autobuses

El factor de ajuste por bloqueo de autobuses  $f_{bb}$  tiene en cuenta el impacto de los autobuses de tránsito local que se detienen para descargar o recoger pasajeros en una parada de autobús del lado cercano o del lado lejano dentro de 76 metros de la línea de detención (río arriba o río abajo). Los valores de este factor se calculan con la ecuación 6. (HCM 2016, p. 19 – 47)

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4 * N_b}{3600}}{N} \geq 0.050 \quad (6)$$

donde:

$f_{bb}$  = Factor de ajuste por bloqueo de buses

$N_b$  = es la tasa de detención de autobuses en el enfoque sujeto (autobuses/h)

$N$  = Número de carriles del grupo

#### ❖ Ajuste por Tipo de Área

El factor de ajuste por tipo de área tiene en cuenta la ineficiencia de las intersecciones en CBDs en relación con aquellas en otras ubicaciones. Cuando se utiliza,

tiene un valor de 0.90. El uso de este factor debe determinarse caso por caso. Este factor no está limitado a áreas designadas de CBD, ni es necesario usarlo para todas las áreas de CBD. (HCM 2016, p. 19 – 47)

❖ Ajuste por Utilización de Carriles

El factor de ajuste de utilización de carriles de entrada se utiliza para estimar la tasa de flujo de saturación para un grupo de carriles con más de un carril exclusivo. Si el grupo de carriles tiene un carril compartido o un carril exclusivo, entonces este factor es 1.0. (HCM 2016, p. 19 – 47)

❖ Factor de ajuste por vueltas a la izquierda:

El factor de ajuste para giros a la izquierda está destinado principalmente a reflejar el efecto de la geometría del camino de giro a la izquierda sobre la tasa de flujo de saturación. El valor de este factor de ajuste se calcula con la ecuación 7. (HCM, 2016, p. 19-48)

$$f_{LT} = \frac{1}{E_L} \quad (7)$$

donde:

$f_{LT}$  = Factor de ajuste por vueltas a la izquierda

$E_L$  = Número equivalente de vehículos de paso para un vehículo que gira a la izquierda protegido (= 1.05)

❖ Factor de ajuste por vueltas a la derecha:

El factor de ajuste para giros a la derecha está destinado principalmente a reflejar el efecto de la geometría del camino de giro a la derecha sobre la tasa de flujo de saturación. El valor de este factor de ajuste se calcula con la Ecuación (8). (HCM, 2016, p. 19-48)

$$f_{RT} = \frac{1}{E_R} \quad (8)$$

en donde:

$f_{RT}$  = Factor de ajuste por vueltas a la derecha

$E_R$  = Número equivalente de vehículos de paso para un vehículo que gira a la derecha protegido (= 1.18)

#### ❖ Ajuste para Peatones y Bicicletas

El procedimiento para determinar el factor de ajuste para peatones-bicicletas en giros a la izquierda  $f_{ipb}$  se basa en el concepto de ocupación de zona de conflicto, que tiene en cuenta el conflicto entre vehículos en giro, peatones y bicicletas. La ocupación de zona de conflicto relevante toma en cuenta si el flujo de vehículos opuestos también está en conflicto con el movimiento de giro a la izquierda. La proporción de tiempo verde en la que la zona de conflicto está ocupada se determina como una función de la ocupación relevante y el número de carriles receptores para los vehículos en giro. Estos factores tienen un valor de 1.0 si no hay peatones o bicicletas presentes. (HCM, 2016, p. 19-48)

#### **2.2.6.5 Paso 5: Determinar Proporción de Llegadas Durante el Verde.**

El retraso de control y el tamaño de la cola en una intersección semaforizada dependen en gran medida de la proporción de vehículos que llegan durante las indicaciones de señal verde y roja. El retraso y el tamaño de la cola son menores cuando una mayor proporción de vehículos llega durante la indicación verde. La Ecuación 9 se utiliza para calcular esta proporción para cada grupo de carriles. (HCM, 2016, p. 19-49)

$$P = R_p \frac{g}{C} \quad (9)$$

Donde todas las variables están definidas como se indicó anteriormente. La Ecuación 13 requiere conocimiento del tiempo verde efectivo  $g$  y la longitud del ciclo  $C$ . Estos valores son conocidos para operación preprogramada. Si la intersección no está

preprogramada, entonces el tiempo promedio de fase y la longitud del ciclo deben ser calculados por los procedimientos descritos en el siguiente paso. (HCM, 2016, p. 19-49)

#### **2.2.6.6 Paso 6: Determinar la Duración de la Fase del Semáforo.**

La duración de una fase de semáforo depende del tipo de control utilizado en la intersección sujeta. Si la intersección tiene control preprogramado, entonces la duración de la fase es una entrada, y la evaluación continua con el paso 7. (HCM, 2016, p. 19-49)

#### **2.2.6.7 Paso 7: Determinar Capacidad y Relación Volumen-Capacidad.**

La capacidad de un grupo de carriles dado que sirve a un movimiento de tráfico, y para el cual no hay movimientos de giro a la izquierda permitidos, se define por la ecuación 10. (HCM, 2016, p. 19-50)

$$c_i = N s_i \frac{g_i}{C} \quad (10)$$

donde:

$c_i$  = Capacidad del grupo de carriles  $i$  (veh/h)

$N$  = Número de carriles

$s_i$  = Tasa de flujo de saturación ajustado del grupo de carriles  $i$  (veh/h/carril)

$g_i$  = Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles (s)

$C$  = Longitud del ciclo (s)

Relación volumen-capacidad "V/c"

La relación volumen-capacidad para un grupo de carriles se define como la relación entre el volumen del grupo de carriles y su capacidad. Se calcula con la ecuación 11. (HCM, 2016, p. 19-50)

$$x = \frac{V}{C} \quad (11)$$

en donde:

$X$  = Relación volumen-capacidad

$V$  = tasa de flujo de demanda (veh/h)

$C$  = Capacidad (veh/h)

### 2.2.6.8 Paso 8: Determinar Retraso.

El retraso calculado en este paso representa el retraso de control promedio experimentado por todos los vehículos que llegan durante el período de análisis. Incluye cualquier retraso incurrido por estos vehículos que aún están en cola después de que el período de análisis termina. El retraso de control para un grupo de carriles dado se calcula con la ecuación 12. (HCM, 2016, p. 19-50)

$$d = d1 + d2 + d3 \quad (12)$$

donde:

$d$  = Demora media de control (s/veh),

$d1$  = Demora uniforme (s/veh), suponiendo llegas uniformes

$d2$  = Demora incremental (s/veh), efecto de llegadas aleatorias y flujo sobresaturado

$d3$  = Demora de cola inicial (s/veh)

Demora Uniforme,  $d1$ : La demora uniforme  $d1$  ocurre cuando los vehículos llegan uniformemente distribuidos y no existe saturación de flujo en ningún ciclo durante el tiempo de verde efectivo. La demora  $d1$  se puede calcular mediante la ecuación 13. (HCM, 2016, p. 19-51)

$$d_1 = \frac{0.5C\left(1-\frac{g}{C}\right)^2}{1-\left[(1,X)\frac{g}{C}\right]} \quad (13)$$

donde:

$d1$  = Demora uniforme (s/veh)

$C$  = Longitud del ciclo (s)

$\frac{g}{C}$  = Relación de verde efectivo del grupo de carriles

$X$  = Grado de saturación del grupo de carriles

Demora incremental,  $d_2$ : La demora incremental considera que las llegadas son aleatorias lo cual ocasiona que el flujo se sobresature en algunos ciclos, además supone que no hay una cola inicial al inicio del periodo de análisis. La demora  $d_2$  se puede calcular mediante la ecuación 14. (HCM, 2016, p. 19-53)

$$d_2 = 900T \left[ (X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8kIX}{CT}} \right] \quad (14)$$

en donde:

$d_2$  = Demora incremental (s/veh)

$X$  = Grado de saturación del grupo de carriles

$T$  = Duración del periodo de análisis (15 minutos)

$C$  = Capacidad del grupo de carriles (veh/h)

$k$  = Factor de demora incremental,  $k = 0.50$  para intersecciones prefijadas

$I$  = Factor de ajuste por entradas de la intersección corriente arriba

Factor de ajuste por entradas de la intersección corriente arriba,  $I$ : El factor de ajuste  $I$ , explica el efecto de llegadas que han sido filtradas por un dispositivo de control corriente arriba de la intersección. Para intersecciones aisladas (es decir, a una distancia de 1,60 km de la intersección anterior) el valor de  $I = 1.00$ . La relación volumen-capacidad  $X_u$  para intersecciones urbanas se puede aproximar como la relación  $v/c$  del movimiento directo en el grupo de carriles. (HCM, 2016, p. 19-53)

Demora por cola inicial,  $d_3$ : La demora por cola inicial  $d_3$ , se produce por una demanda insatisfecha en el periodo de análisis anterior y no por fluctuaciones que se producen ciclo a ciclo que ocasionalmente exceden su capacidad. Cuando en un grupo de carriles  $X > 1$ , significa que el siguiente periodo de análisis iniciará con una cola inicial  $Q_b$  que debe observarse al inicio del rojo y que producirá una demora  $d_3$  que se puede calcular mediante la ecuación 15. (HCM, 2016, p. 19-53)

$$d_3 = \frac{1800Q_b(1+u)t}{CT} \quad (15)$$

donde:

$Q_b$  = Cola inicial al inicio del periodo T (veh)

$T$  = Duración del periodo de análisis (0.25 h)

$C$  = Capacidad del grupo de carriles (veh/h)

$u$  = Parámetro de demora

$t$  = Duración de la demanda insatisfecha (h)

Cálculo de las demoras agregadas: Las demoras agregadas para un acceso se determinan mediante un promedio ponderado de las demoras y los flujos ajustados de cada grupo de carriles. Se puede calcular mediante la ecuación 16. (HCM, 2016, p. 19-54)

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^A d_i v_i}{\sum_{i=1}^A v_i} \quad (16)$$

en donde:

$A$  = Número de grupos de carriles en el acceso

$d_A$  = Demora en el acceso A (s/veh)

$d_i$  = Demora en el grupo de carriles i (s/veh)

$v_i$  = Volumen ajustado del grupo de carriles i (veh/h)

La demora total de la intersección se determina mediante un promedio ponderado de las demoras y los flujos ajustados de cada acceso. Se puede calcular mediante la ecuación 17. (HCM, 2016, p. 19-54)

$$d_I = \frac{\sum d_{A} v_A}{\sum v_A} \quad (17)$$

donde:

$I$  = Número de accesos de la intersección

$d_I$  = Demora en la intersección I (s/veh)

$dA$  = Demora en el acceso A (s/veh)

$VA$  = Volumen ajustado del acceso A (veh/h)

### 2.2.6.9 Paso 9: Determinación del nivel de servicio.

Como se mencionó anteriormente el nivel de servicio está directamente relacionado con las demoras por vehículo; una vez obtenidas las demoras para cada grupo de carriles, para cada acceso y para la intersección, se determina el nivel de servicio empleando la Tabla 1. (HCM, 2016, p. 19-54)

### 2.2.7 Vehículo patrón.

La metodología del HCM 2016 usa el vehículo patrón, por lo cual para tener mejores resultados los vehículos aforados fueron convertidos a vehículo patrón usando la tabla 3.

Tabla 3: *Unidades Vehiculares Equivalentes*

Vehículo	UVE
Moto lineal	0.50
Mototaxi	0.68
Auto	1.00
Camioneta	1.30
Combi	1.25
Microbuses	2.00
Camión	3.00

*Nota.* Extraído de Navín 2005, Noriega 2014, Interreg North-West Europe CHIPS 2024, Zongshen Motocicletas Originales, 2024.

### 2.2.8 ArcGIS.

ArcGIS es el nombre de un conjunto de productos de software en el campo de los Sistemas de Información Geográfica o SIG. Producido y comercializado por ESRI, bajo el nombre genérico ArcGIS se agrupan varias aplicaciones para la captura, edición, análisis, tratamiento, diseño, publicación e impresión de información geográfica. Estas aplicaciones se engloban en familias temáticas como ArcGIS Server, para la publicación y gestión web, o ArcGIS Móvil para la captura y gestión de información en campo. (ESRI, 2016, p. 124)

En ArcGIS se puede realizar rápidamente mapas, aplicaciones y plantillas listos para usar que incluyen tus datos. Crear y compartir de forma fácil mapas en toda la organización. Acceder a la información de ubicación desde un equipo de escritorio, Tablet o Smartphone, en cualquier momento y lugar. Se pueden visualizar grandes cantidades de datos. Permite controlar y administrar personas y contenidos. Desde la asignación de roles personalizados y privilegios hasta la gestión de licencias y contenidos para visualizar el estado del sistema. Las herramientas de administración permiten utilizar ArcGIS con confianza, ofreciendo a los usuarios aquello que necesitan para desempeñar su trabajo. Está diseñado como un sistema seguro con acceso controlado. Desarrollando permanentemente la seguridad y realizando acreditaciones y operaciones. Además, se pueden encontrar actualizaciones y alertas de seguridad, prácticas recomendadas, disponibilidad de sistemas e historial de estado. (ESRI, 2016, p. 124)

#### **2.2.8.1 ArcMap.**

ArcMap, la aplicación principal de ArcGIS, permite visualizar y explorar datos SIG, crear diseños de mapas para su publicación o impresión, y gestionar datasets. Funciona como un entorno de mapas donde la información geográfica se representa mediante capas y otros elementos. Estos elementos incluyen el marco de datos (con las capas para una extensión específica), la escala, la flecha que indica el norte, el título, descripciones, y una leyenda. ArcMap se utiliza para realizar diversas tareas SIG, desde las más comunes hasta otras especializadas. (ESRI, 2016, p. 125)

A continuación, se enumeran algunos flujos de trabajo habituales que puede realizar:

- Trabajar con mapas
- Imprimir
- Compilar y editar datasets SIG

- Utilizar geoprocésamiento para automatizar el trabajo y realizar análisis.
- Organizar y administrar geodatabases y documentos de ArcGIS
- Publicar documentos de mapa como servicios de mapas mediante ArcGIS for Server
- Compartir mapas, capas, modelos de geoprocésamiento y geodatabases con otros usuarios
- Personalizar la experiencia del usuario

#### **2.2.8.2 ArcCatalog.**

Herramienta para organizar y documentar los datos geográficos (metadata). Es aquí donde se administra, crea y acondiciona la geodatabase. (ESRI, 2016).

#### **2.2.8.3 ArcToolBox.**

Se usa para el geo-procesamiento: combinar capas de información, manipulación de los datos, definición y transformación de sistemas de coordenadas, y otros. (ESRI, 2016).

### **2.3 Marco conceptual**

El nivel de servicio es una medida de calidad que califica las condiciones del flujo del tránsito, es una variable dependiente que en la investigación tiene la dimensión de la demora, con indicadores de niveles de servicio A, B, C, D, E, y F, con los cuales se evaluará a las intersecciones semaforizadas de la Av. Vía de Evitamiento y se calculará mediante el HCM 2010 y esta información será modelada en el programa ArcGIS. La investigación se basa en la hipótesis de que las intersecciones semaforizadas de la Av. Vía de Evitamiento Norte presentan un nivel de servicio deficiente, caracterizado por una operación en el límite de su capacidad y circulación inestable, debido al aumento del volumen de tráfico y las condiciones actuales de señalización y geometría vial.

## 2.4 Definición de términos básicos

- **Acceso:** Cualquier ramal de entrada, acceso directo a una propiedad colindante, garaje o vivienda, etc., situado en cualquier de los márgenes de una carretera o de una vía urbana. (Romana et al, 2017, p. 455)
- **Capacidad vial:** Es el número máximo de vehículos por unidad de tiempo (por lo general una hora), que pasan por un tramo de un carril o de un camino en uno o dos sentidos; cuyo propósito es el de determinar la calidad del servicio que presta cierto tramo o componente de una arteria, que sirve para un diseño lógico, económico y funcional de nuevas formas y/o en la adaptación de obras existentes para necesidades presentes y futuras. (Sangay, 2015).
- **Ciclo:** Secuencia completa de fases de un semáforo (Romana et al, 2017, p. 464)
- **Cola:** Hilera de vehículos, ciclistas o peatones que deben esperar para ser atendidos debido al tipo de regulación, a un cuello de botella en la circulación, o a otras causas. (Romana et al, 2017, p. 485)
- **Demora:** Tiempo de recorrido adicional experimentando por un conductor, usuario de un transporte, ciclista o peatón más allá del requerido desplazándose a la velocidad deseada. (Romana et al, 2017, p. 464)
- **Grupo de movimientos:** Procedimiento empleado para facilitar la introducción de datos consistente en organizar en grupos los movimientos existentes en intersecciones con semáforos. (Romana et al, 2017, p. 478)
- **Hora punta:** Hora del día en el que se produce la mayor intensidad. (Romana et al, 2017, p. 481)
- **Intersección:** Una intersección es el área en donde se encuentran dos o más vías, en las que se producen movimientos de tráfico. (Pinos Mata, 2016)

- **Vehículo:** El vehículo es un medio de locomoción que permite el traslado de un lugar a otro de personas o cosas. Cuando se traslada animales u objetos es llamado vehículo de transporte, como por ejemplo el tren, el automóvil, el camión, el carro, el barco, el avión, la bicicleta y la motocicleta, entre otros. (Sangay, 2015)
- **Volumen de tránsito:** Se define como el número máximo de vehículos que pasan por un punto o sección transversal dados, de un carril o calzada, durante un periodo determinado. (Sangay, 2015)
- **IMD:** Es el índice medio diario, se refiere al número de vehículos promedio que transitan por una vía durante un día. (Sangay, 2015)
- **Período de análisis:** Periodo de tiempo más adecuado (normalmente 15 minutos) tomado como referencia para evaluar las condiciones de circulación de una infraestructura (capacidad y nivel de servicio). (Romana et al, 2017, p. 456)
- **Velocidad media:** Es el valor numérico que resulta de dividir la distancia recorrida en kilómetros entre el tiempo en horas que demoró recorrer la distancia. (Sangay, 2015)
- **Saturación:** Flujo lento o circulación densa originada cuando la demanda alcanza o sobrepasa la capacidad de un elemento viario (condiciones de circulación en régimen saturado). (Romana et al, 2017, p. 462)
- **Semaforización:** Proceso mediante el cual se colocan o implementan semáforos en las intersecciones de las vías identificadas para tal fin. (Sangay, 2015)

## CAPITULO III

### PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES

#### 3.1 Hipótesis:

##### 3.1.1 Hipótesis general.

Las intersecciones semaforizadas de la Av. Vía de Evitamiento Norte en Cajamarca, evaluadas con la metodología HCM 2016, presentan un nivel de servicio F (congestión extrema) y con una relación volumen-capacidad (V/C) superior a 1.0.

##### 3.1.2 Hipótesis específicas.

- El ciclo semafórico para las intersecciones semaforizadas no es el óptimo, provocando demoras significativas en el flujo vehicular y peatonal.
- La demora promedio por vehículo en las intersecciones semaforizadas de la Av. Vía de Evitamiento Norte en Cajamarca, durante las horas pico, supera significativamente los 80 segundos, según la metodología HCM 2016.

#### 3.2 Variables

##### 3.2.1 Variable independiente.

- Condiciones semafóricas
- Flujo vehicular
- Características geométricas

##### 3.2.2 Variable dependiente.

- Capacidad vial
- Nivel de servicio

### 3.3 Operacionalización / categorización de los componentes de las hipótesis

Cuadro 3. Operacionalización de las variables

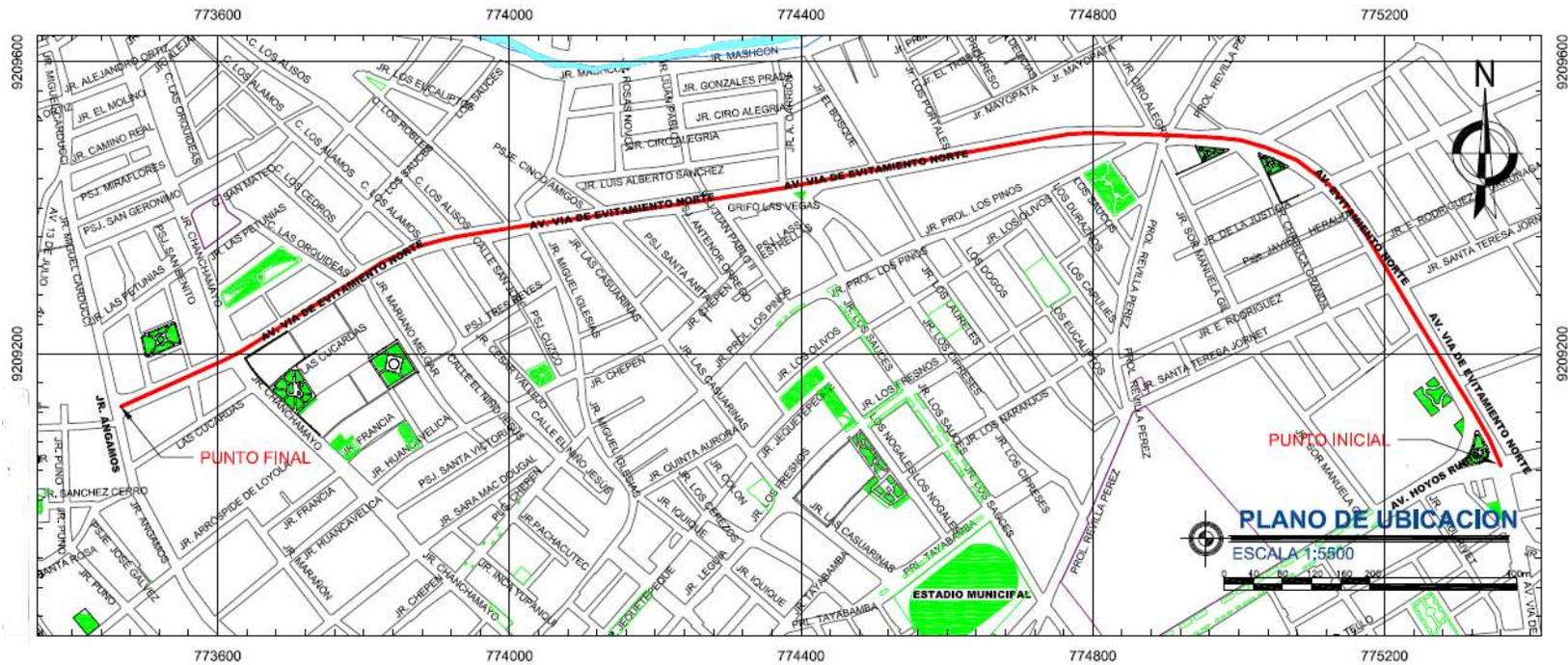
Hipótesis General	Definición conceptual de las variables/categoría	Definición operacional de las variables/categorías			Fuente o Instrumento de recolección de datos
		Variables/Categorías	Dimensiones / Factores	Indicadores/cualidades	
Las intersecciones semaforizadas de la Av. Vía de Evitamiento Norte en Cajamarca, evaluadas con la metodología HCM 2016, presentan un nivel de servicio F y con una relación volumen-capacidad (V/C) superior a 1.0.	Cantidad de vehículos que pasan por una sección de vía	<b>Variable independiente:</b>			
		Flujo vehicular	Volumen de demanda Tasa de flujo saturación Tasa de flujo peatones % de vehículos pesados	Veh/hora Veh liv/h/carril Peatones/h Porcentaje (%)	Fichas de observación y aforo
	Parámetros geométricos presentes en una intersección	Características geométricas	Ancho y número de carriles Pendiente	Longitud	Mediciones hechas en campo
		Parámetros de los tiempos semafóricos	Condiciones semafóricas	Longitud del ciclo, tiempo verde, verde peatonal, tiempo verde + amarillo	Segundo
<b>Hipótesis específica</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>El ciclo semafórico para las intersecciones semaforizadas no es el óptimo.</li> <li>La demora promedio por vehículo en las intersecciones semaforizadas de la Av. Vía de Evitamiento Norte en Cajamarca, supera significativamente los 80 segundos.</li> </ul>	Es la máxima intensidad horaria de vehículos que tienen una probabilidad de atravesar un tramo en un periodo de tiempo	Capacidad vial	Demoras	Segundo/vehículo	Metodología HCM 2016
	Es una medida de calidad del flujo. Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo de tránsito.	Nivel de servicio	Demoras	Nivel de servicio A, B, C D, E y F	Metodología HCM 2016



### 4.1.1 Área de Estudio y Área de Influencia.

Según la figura 4 se observa que a lo largo de la avenida Vía de evitamiento existen un importante flujo económico donde se ha desarrollado una zona comercial, recreativa, además se ubican instituciones públicas y privadas, y dado su importancia de vía colectora de acceso por el norte a la ciudad de Cajamarca, que conecta diferentes puntos estratégicos

Figura 4: Localización de la avenida Vía de Evitamiento norte



Nota. Tomado del plano catastral de la ciudad de Cajamarca, 2024

## 4.2 Diseño de la investigación

A) Recopilación y análisis de bibliografía especializada (documentos de capacidad y nivel de servicio en intersecciones semaforizadas, Tesis, HCM (Highway Capacity Manual) 2016, libros, artículos publicados en Internet y aplicaciones de ArcGIS en el análisis de tráfico.

B) Trámites administrativos: Previo al inicio de la investigación, se coordinó con la municipalidad provincial de Cajamarca a fin de obtener la autorización para tomar datos de campo de la Av. Vía de Evitamiento norte.

C) Trabajo de campo: Levantamiento topográfico de la Av. Vía de Evitamiento Norte para obtener las características geométricas de las intersecciones, incluyendo medidas de ancho de carriles, pendientes, etc. Utilizando instrumentos como GPS submétrico, wincha de tres y 50 metros.

Conteos vehiculares y peatonales en las cinco intersecciones semaforizadas durante una semana, en horarios de 7:00 a 20:00 horas desde el 04/03/2024 al 22/06/2024, Empleando formatos de conteo para registrar el volumen de vehículos y peatones por cada intervalo de 15 minutos, por cada movimiento (giro a la izquierda, a la derecha y en línea recta) y por cada dirección siguiendo los requerimientos de la metodología del HCM 2016 para intersecciones. (anexo 1 y 2)

D) Trabajo de gabinete: Se procesa los datos de aforo utilizando hojas de cálculo de Microsoft Excel para organizar la información y realizar los cálculos de capacidad vial y nivel de servicio según la metodología HCM 2016. Utilizando las ecuaciones y los factores de ajuste del HCM 2016 para cada intersección y grupo de carriles, siguiendo los pasos del capítulo 19.

E) Modelamiento en ArcGIS: Se utilizan las herramientas de ArcGIS para:

- Geocodificación: Se ingresan las coordenadas de las intersecciones para su ubicación precisa en el mapa.
- Creación de shapefiles: Se crean shapefiles para cada intersección, incluyendo atributos como geometría, flujo vehicular y peatonal, y ubicación geográfica.
- Análisis espacial: Se realiza el análisis espacial para identificar patrones de congestión y áreas críticas.
- Modelación: Se modela la capacidad y el nivel de servicio de las intersecciones, utilizando los datos procesados y las herramientas de ArcGIS.

F) Análisis e interpretación de resultados: Se analizan e interpretan los resultados obtenidos, contrastando la hipótesis planteada con los datos recopilados y los resultados del modelamiento en ArcGIS. Se realiza la discusión de los resultados, comparándolos con estudios previos e identificando las limitaciones del estudio.

G) Elaboración del informe de investigación que incluye panel fotográfico, planos, reportes del programa ArcGis, los resultados y conclusiones del análisis de datos.

#### **4.3 Métodos de investigación**

Se utilizó el método cuantitativo (aforo, cálculos del HCM) y cualitativo (revisión bibliográfica, interpretación de resultados) para un análisis completo de la capacidad vial y el nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas.

La metodología empleada en esta tesis para determinar la capacidad vial y el nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas de la Av. Vía de Evitamiento Norte en Cajamarca es no experimental, descriptiva y cuantitativa. Se basa en la metodología del Highway Capacity Manual (HCM) 2016 y utiliza el software ArcGIS para el análisis espacial y la modelación de los resultados.

#### 4.4 Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación

**Población:** La población para este estudio está conformado por las intersecciones semaforizadas de la ciudad de Cajamarca.

**Muestra:** Las cinco intersecciones semaforizadas de la Av. Vía de Evitamiento Norte en Cajamarca: Av. Hoyos Rubio, Jr. Santa Teresa, Jr. Miguel Iglesias, Jr. Chanchamayo y Jr. Angamos. Se trata de una muestra no probabilística por conveniencia.

**Unidad de análisis:** La capacidad vial y el nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas, evaluadas mediante la metodología HCM 2016.

**Unidad de observación o unidad experimental:** Los vehículos individuales que transitan por cada intersección semaforizada durante el periodo de estudio, clasificados por tipo de vehículo. También se consideran como unidades de observación los peatones que cruzan las intersecciones durante el periodo de estudio.

#### 4.5 Técnicas e instrumentos de recopilación de información

##### Técnicas de Recopilación de Información:

- **Revisión bibliográfica:** Se realizó una revisión sistemática de literatura científica, técnica y académica sobre capacidad vial, nivel de servicio en intersecciones semaforizadas, la metodología HCM 2016 (capítulo 19) y aplicaciones de ArcGIS en análisis de tráfico.
- **Levantamiento:** Se realizó un levantamiento topográfico de las cinco intersecciones semaforizadas en la Av. Vía de Evitamiento Norte. Se registraron las características geométricas de cada intersección, incluyendo:
  - Ancho de carriles (utilizando wincha métrica).
  - Longitud de carriles (utilizando wincha métrica y/o GPS).
  - Pendientes longitudinales y transversales (utilizando nivel de ingeniero o clinómetro).

- Existencia de carriles exclusivos (observación directa).
- Señalización vial (observación directa y fotografía).
- Otros elementos relevantes (fotografía y croquis).
- **Aforo vehicular y peatonal:** Se realizó un aforo vehicular y peatonal mediante conteos manuales durante una semana completa, en horarios de 7:00 a 20:00 horas. Se utilizaron formatos de conteo estructurados para registrar:
  - Volumen vehicular por cada intervalo de 15 minutos.
  - Tipo de vehículo (mototaxi, auto, camioneta, bus, camión)
  - Movimiento vehicular (recto, giro a la izquierda, giro a la derecha).
  - Volumen peatonal por cada intervalo de 15 minutos.
  - Dirección de cruce peatonal.

#### **Instrumentos de Recopilación de Información:**

- **Formatos de conteo:** Se diseñaron formatos de conteo estructurados para el registro de datos de aforo vehicular y peatonal.
- **Wincha métrica:** Se utilizó una wincha métrica para medir el ancho y la longitud de los carriles.
- **GPS submétrico:** Se utilizó un GPS submétrico para obtener las coordenadas de las intersecciones y medir distancias con mayor precisión.
- **Cámara fotográfica:** Se utilizaron fotografías para documentar las características geométricas de las intersecciones y la señalización vial.
- **Software ArcGIS:** Se utilizó el software ArcGIS para el procesamiento, análisis y modelamiento de los datos espaciales.
- **Software de procesamiento de datos (Excel):** Se empleó Microsoft Excel para el procesamiento y análisis de datos de aforo.

## 4.6 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

### Técnicas para el procesamiento de Datos:

- A. **Depuración y limpieza de datos:** Se revisaron los datos de aforo vehicular y peatonal para identificar y corregir errores de registro (valores atípicos, datos faltantes). Se utilizaron métodos de depuración como la inspección visual y la eliminación de valores inconsistentes o fuera de rango.
- B. **Conversión a vehículo patrón:** Se convirtieron los volúmenes de los diferentes tipos de vehículos (mototaxis, autos, camionetas, buses, camiones) a unidades de vehículo patrón (PCE) utilizando los factores de equivalencia. Se documentó el procedimiento de conversión para cada intersección y cada grupo de movimiento.
- C. **Cálculo de factores de ajuste:** Se calcularon los factores de ajuste para la tasa de flujo de saturación (ancho de carril, vehículos pesados, pendiente, estacionamiento, bloqueo de buses, tipo de área, utilización de carril, giros a la izquierda y derecha, peatones) según las fórmulas y tablas del HCM 2016. Se documentó el cálculo de cada factor para cada intersección y grupo de carriles.
- D. **Cálculo de la capacidad y la relación volumen-capacidad (V/C):** Se calculó la capacidad de cada grupo de carriles utilizando la metodología del HCM 2016, considerando los factores de ajuste calculados previamente. Se determinó la relación volumen-capacidad (V/C) para cada grupo de carriles, dividiendo el volumen de tránsito ajustado por la capacidad calculada.
- E. **Cálculo de la demora:** Se calculó la demora promedio por vehículo en cada grupo de carriles utilizando las ecuaciones de demora uniforme, demora incremental y demora por cola inicial del HCM 2016. Se justificó la consideración de la demora por cola inicial.

F. **Determinación del nivel de servicio (LOS):** Se determinó el nivel de servicio (LOS) de cada grupo de carriles y de cada intersección utilizando la tabla de niveles de servicio del HCM 2016, basándose en la demora promedio y la relación volumen-capacidad.

#### **Análisis de la información:**

1. **Análisis descriptivo:** Se realizó un análisis descriptivo de los datos de aforo. Se presentaron gráficos para visualizar la distribución de los datos y los patrones de tráfico.
2. **Análisis espacial (ArcGIS):** Se utilizó ArcGIS para el análisis espacial de los datos, incluyendo:
  - **Geocodificación:** Se geocodificaron los datos de aforo para integrarlos con la información geográfica.
  - **Creación de shapefiles:** Se crearon shapefiles para representar las intersecciones, los accesos y las zonas de estudio.
  - **Análisis de red:** Si se dispone de datos de red vial, se realizó un análisis de red para modelar el flujo de tráfico.
  - **Mapas temáticos:** Se generaron mapas temáticos para visualizar la distribución espacial de la congestión, la demora y el nivel de servicio.

#### **4.7 Equipos, materiales, insumos.**

Equipos: laptop (marca lenovo), impresora (cannon), teléfono, cámara fotográfica

Materiales e insumos: papel, ploteos, internet, copias, tableros de campo.

## 4.8 Matriz de consistencia metodológica:

Cuadro 4. Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES/ CATEGORÍAS	DIMENSIONES/ FACTORES	INDICADORES/ CUALIDADES	FUENTE O INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	METODOLOGÍA	POBLACIÓN Y MUESTRA
¿Cuál es la capacidad y el nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas de la Av. Vía de Evitamiento norte en la ciudad de Cajamarca usando el HCM 2016?	<b>Objetivo General:</b> Determinar la capacidad vial y el nivel de servicio en las intersecciones semaforizadas en la Av. Vía de Evitamiento norte de la ciudad de Cajamarca, usando el HCM 2016 y su modelamiento en el programa ArcGis.	<b>Hipótesis General</b> Las intersecciones semaforizadas de la Av. Vía de Evitamiento Norte en Cajamarca, evaluadas con la metodología HCM 2016, presentan un nivel de servicio F y con una relación volumen-capacidad (V/C) superior a 1.0.	<b>Variable independiente</b>					<b>Población:</b> Las intersecciones semaforizadas de la ciudad de Cajamarca  <b>Muestra:</b> Las cinco intersecciones semaforizadas de la Av. Vía de Evitamiento Norte en Cajamarca: Av. Hoyos Rubio, Jr. Santa Teresa, Jr. Miguel Iglesias, Jr. Chanchamayo y Jr. Angamos
			Flujo vehicular	Volumen de demanda. Tasa de flujo saturación. % de vehículos pesados.	Veh/hora Veh/h/carril Porcentaje (%)	Fichas de observación y aforo		
			Características geométricas	Ancho y número de carriles. Pendiente.	Longitud	Mediciones hechas en campo	Método cuantitativo. Diseño experimental (descriptivo)	
			Condiciones semafóricas	Longitud del ciclo	Tiempo ciclo semáforo	Medición del ciclo semafórico		
			<b>Variables dependientes:</b>					
Capacidad vial	Demoras	Segundo/vehículo	Metodología HCM 2016					
Nivel de servicio	Demoras	Nivel de servicio A, B, C, D, E Y F	Metodología HCM 2016					

## CAPITULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 Presentación de resultados

Los cuadros a continuación son datos tomados en campo, a partir de formatos recopilatorios elaborados para el presente estudio. Se realizó el análisis de resultados siguiendo la metodología del HCM 2016, por lo cual se presenta de forma detallada un ejemplo de los cálculos para la intersección Av. Vía de Evitamiento y Av. Hoyos Rubio; y como el procedimiento es repetitivo para las demás intersecciones se colocó el resultado directamente en las tablas.

##### 5.1.1 Características geométricas.

Se determinó las características geométricas de la vía para calcular el nivel de servicio de las intersecciones, por ello se resumen en la tabla las siguientes características geométricas: pendientes, ancho de carril, número de carriles.

Tabla 5: *Características geométricas de la vía*

<b>Características geométricas de la Vía</b>				
<b>Intersección</b>	<b>Vía</b>	<b>Pendiente</b>	<b>N° carriles</b>	<b>Ancho de carril</b>
Av. Vía de Evitamiento - Av. Hoyos Rubio	Norte	1.47%	2	3
	Sur	0.51%	2	3.5
	Este	1.43%	2	4
	Oeste	1.39%	2	3.5
Av. Vía de Evitamiento - Jr. Santa Journet	Norte	0.71%	2	3.8
	Sur	0.78%	2	4.1
	Este	0.64%	2	3.2
	Oeste	1.02%	2	3.5
Av. Vía de Evitamiento - Jr. Miguel Iglesias	Norte	0.78%	2	3
	Sur	0.70%	2	3.5
	Este	0.93%	2	4
	Oeste	0.64%	2	3.5

Continúa la tabla 5

Intersección	Vía	Pendiente	N° carriles	Ancho de carril
Av. Vía de Evitamiento - Jr. Chanchamayo	Norte	0.38%	2	3
	Sur	0.79%	2	3.5
	Este	1.36%	2	4
	Oeste	0.80%	2	3.5
Av. Vía de Evitamiento - Jr. Angamos	Este	0.71%	2	3.65
	Sur	-1.25%	2	3.65
	Oeste	1.15%	2	3.65

### 5.1.2 Aforo Vehicular.

El aforo vehicular y peatonal se realizó durante una semana por intersección semaforizada, por trece horas diarias consecutivas en el horario de 7 am a 8 pm, ejecutándose un análisis completo. A continuación, se presenta el cuadro resumen del aforo vehicular semanal de cada una de las intersecciones de estudio por dirección de movimiento, donde 1-2, 2-3, 3-4, 4-1 es giro a la derecha, 1-3, 2-2, 3-2, 4-2 movimiento de frente y 1-4, 2-1, 3-1, 4-3 giro a la izquierda.

El aforo vehicular se realizó en las siguientes intersecciones de la Vía de Evitamiento Norte en Cajamarca:

**Av. Hoyos Rubio:** Del 04/03/2024 al 10/03/2024 (Tabla 6). El sábado registró el mayor tráfico, con 31,529 vehículos.

- **Jr. Santa Teresa:** Del 11/03/2024 al 17/03/2024 (Tabla 7). El sábado registró el mayor tráfico, con 29,593 vehículos.
- **Jr. Miguel Iglesias:** Del 18/03/2024 al 24/03/2024 (Tabla 8). El sábado registró el mayor tráfico, con 28,447 vehículos.
- **Jr. Chanchamayo:** Del 25/03/2024 al 31/03/2024 (Tabla 9). El sábado registró el mayor tráfico, con 29,585 vehículos.
- **Jr. Angamos:** Del 01/04/2024 al 07/04/2024 (Tabla 10). El sábado registró el mayor tráfico, con 16,674 vehículos.

Tabla 6. *Resumen del aforo semanal vehicular intersección con Hoyos Rubio*

<b>Día</b>	<b>1-2</b>	<b>1-3</b>	<b>1-4</b>	<b>2-1</b>	<b>2-3</b>	<b>2-4</b>	<b>3-1</b>	<b>3-2</b>	<b>3-4</b>	<b>4-1</b>	<b>4-2</b>	<b>4-3</b>	<b>Total</b>
Lunes.	2187	2075	1882	2300	2074	1743	1996	2005	1766	2021	1954	1887	23890
Martes	2476	2549	2431	2626	2615	2201	2688	2692	1781	2519	2517	2009	29104
Miércoles	2443	2517	2293	2528	2490	2315	2465	2375	2253	2454	2436	2360	28929
Jueves	2583	2527	2308	2682	2528	2182	2456	2664	2348	2563	2591	2235	29667
Viernes	2321	2462	2205	2562	2335	2062	2565	2519	2616	2534	2442	2621	29244
Sábado	2782	2719	2519	2802	2812	2534	2692	2804	2330	2630	2648	2257	31529
Domingo	2054	2002	1848	2050	1928	1702	1907	1883	1668	1962	1832	1784	22620

Tabla 7. *Resumen del aforo vehicular semanal intersección con Sta. Teresa*

<b>Día</b>	<b>1-2</b>	<b>1-3</b>	<b>1-4</b>	<b>2-1</b>	<b>2-3</b>	<b>2-4</b>	<b>3-1</b>	<b>3-2</b>	<b>3-4</b>	<b>4-1</b>	<b>4-2</b>	<b>4-3</b>	<b>Total</b>
Lunes.	2034	2458	1931	2178	2542	2057	1782	2396	2025	1838	1802	1716	24759
Martes	1958	1978	1602	2144	2176	2052	2261	2234	1732	2369	2355	1672	24533
Miércoles	1788	1954	1003	1875	1845	1886	2087	1896	1551	1990	1825	1267	20967
Jueves	1814	1756	1126	1689	1737	1462	1763	1720	1381	1797	1782	1237	19264
Viernes	2079	2439	1802	2150	2204	2462	2359	2321	1936	2456	2572	2141	26921
Sábado	2457	2812	2155	2600	2679	1977	2458	2759	2246	2646	2640	2164	29593
Domingo	1295	1282	1043	1199	1324	1403	1264	1176	1960	1605	1415	1182	16148

Tabla 8. *Resumen del aforo vehicular semanal intersección con Miguel Iglesias.*

<b>Día</b>	<b>1-2</b>	<b>1-3</b>	<b>1-4</b>	<b>2-1</b>	<b>2-3</b>	<b>2-4</b>	<b>3-1</b>	<b>3-2</b>	<b>3-4</b>	<b>4-1</b>	<b>4-2</b>	<b>4-3</b>	<b>Total</b>
Lunes.	2176	2274	2169	2378	2381	2274	2198	2484	2098	2457	2438	2184	27511
Martes	2401	2622	2071	2394	2220	1999	2246	1666	1886	2046	2611	2257	26419
Miércoles	1978	2401	2125	2301	2483	2176	2194	2437	2096	2472	2438	1760	26861
Jueves	1761	1649	1610	2263	2647	2399	2218	2373	2169	2208	2529	2127	25953
Viernes	2203	2520	1968	2269	2273	2117	2076	2260	1649	1811	2563	2121	25830
Sábado	2611	2671	1371	2702	2639	2094	2647	2682	2192	2543	2534	1761	28447
Domingo	1695	1604	1555	1861	2229	2156	2068	2159	2143	2208	2529	2127	24334

Tabla 9. *Resumen del aforo vehicular semanal intersección con Chanchamayo.*

<b>Día</b>	<b>1-2</b>	<b>1-3</b>	<b>1-4</b>	<b>2-1</b>	<b>2-3</b>	<b>2-4</b>	<b>3-1</b>	<b>3-2</b>	<b>3-4</b>	<b>4-1</b>	<b>4-2</b>	<b>4-3</b>	<b>Total</b>
Lunes.	1783	1369	1508	2303	2211	2143	2376	2393	2253	2479	2456	2362	25636
Martes	2241	2303	2120	2360	2356	2243	2251	2305	2212	2528	2197	2226	27342
Miércoles	2446	2143	2068	2043	2281	2761	2446	2659	2475	2129	2235	2123	27809
Jueves	2414	2339	2009	2253	2137	2211	2212	2596	2204	2168	2240	2042	26825
Viernes	1543	2489	2318	2229	2250	2123	2379	2281	2192	2245	2290	2721	27060
Sábado	2428	2350	2192	2402	2594	2377	2739	2795	2457	2511	2503	2237	29585
Domingo	1721	1380	1497	2123	2084	2055	2255	2254	2169	2289	2322	2300	24449

Tabla 10. *Resumen del aforo vehicular semanal intersección con Angamos*

<b>Día</b>	<b>1-1</b>	<b>1-2</b>	<b>3-1</b>	<b>3-2</b>	<b>2-2</b>	<b>2-1</b>	<b>Total</b>
Lunes.	2078	2340	2302	2221	2380	2344	13665
Martes	2187	2075	2300	2074	1996	2175	12807
Miércoles	2374	2325	2854	2121	2030	2014	13718
Jueves	2197	2632	2127	2646	2320	2391	14313
Viernes	2588	2096	2755	1975	2514	2011	13939
Sábado	2754	2672	2875	2824	2706	2843	16674
Domingo	1689	2047	2339	2141	2013	2179	12408

### 5.1.3 Hora pico de máxima demanda.

Los datos de aforo se registraron cada 15 minutos. Para cada intersección, se creó una figura que muestra el volumen vehicular por cada intervalo de 15 minutos del día sábado, en las figuras 6 al 10 del flujo vehicular, y las figuras 12 al 16 del flujo peatonal se muestra las horas con mayor congestión vehicular, volumen horario máximo durante quince minutos por intersección semaforizado. Además, en dichas figuras se identifican los periodos de 15 minutos con los volúmenes vehiculares más altos, estos periodos representan las horas punta.

- Para la intersección de Av. Hoyos Rubio y Av. Vía de Evitamiento los intervalos de 18:30 - 18:45 =901, 18:45-19:00 =909, 19:00 – 19:15 =925 y de 19:15 - 19:30 =869 presentan los volúmenes más altos, se define la hora punta como 18:30 a 19:30  $901+909+925+869=3604$ , tal como se detalla en la tabla del anexo 3.
- Luego se determinó la hora de máxima demanda del día de mayor flujo vehicular para la intersección de la Av. Hoyos Rubio y Av. Vía de Evitamiento que es el día sábado 10/03/2024.

Tabla 11. Conteo de vehículos durante la hora pico intersección Av. Hoyos Rubio

<b>Vehículo</b>	<b>1-2</b>	<b>1-3</b>	<b>1-4</b>	<b>2-1</b>	<b>2-2</b>	<b>2-3</b>	<b>3-1</b>	<b>3-2</b>	<b>3-4</b>	<b>4-1</b>	<b>4-2</b>	<b>4-3</b>	<b>Total</b>
Mototaxi	85	88	81	71	68	55	75	77	53	69	69	60	852
Auto	67	69	65	71	62	51	84	87	60	76	76	66	836
Camioneta	47	48	45	48	46	37	58	60	41	53	53	46	581
Minibus	13	13	12	9	10	6	9	9	6	11	11	10	118
B2	8	10	6	10	15	12	8	8	6	9	9	8	109
C2	18	21	12	6	9	6	11	11	7	15	15	13	143
C3	3	2	2	3	3	3	5	5	4	5	5	5	46
C4	0	3	6	0	3	6	1	1	0	0	0	0	20
C3r3	3	3	3	6	6	5	2	2	1	3	3	3	40
<b>Total</b>	<b>348</b>	<b>366</b>	<b>334</b>	<b>359</b>	<b>350</b>	<b>286</b>	<b>326</b>	<b>337</b>	<b>232</b>	<b>304</b>	<b>306</b>	<b>266</b>	<b>3815</b>

- De la tabla 11 se determinó el conteo de vehículos durante la hora de máxima demanda para dirección de movimiento 1-2 ( $n_{60}$ ) =348, 1-3 ( $n_{60}$ ) =366, 1-4 ( $n_{60}$ ) =334,

2-1 ( $n_{60}$ ) =359, 2-2 ( $n_{60}$ ) =350, 2-3 ( $n_{60}$ ) =286, 3-1 ( $n_{60}$ ) =326, 3-2 ( $n_{60}$ ) =337, 3-4 ( $n_{60}$ ) =232, 4-1 ( $n_{60}$ ) =304, 4-2 ( $n_{60}$ ) =306 y 4-3 ( $n_{60}$ ) =266

- En las figuras 5 al 9 del flujo vehicular, y las figuras 11 al 15 del flujo peatonal se muestra las horas con mayor congestión vehicular, volumen horario máximo durante quince minutos por intersección semaforizado, factor de máxima demanda (FHMD). Se determino el conteo de vehículos durante un periodo pico de 15 minutos de la tabla del aforo vehicular de anexo 3 para dirección de movimiento 1-2 ( $n_{15}$ ) =89, 1-3 ( $n_{15}$ ) =93, 1-4 ( $n_{15}$ ) =85, 2-1 ( $n_{15}$ ) =93, 2-2 ( $n_{15}$ ) =91, 2-3 ( $n_{15}$ ) =73, 3-1 ( $n_{15}$ ) =87, 3-2 ( $n_{15}$ ) =87, 3-4 ( $n_{15}$ ) =67, 4-1 ( $n_{15}$ ) =79, 4-2 ( $n_{15}$ ) =77, 4-3 ( $n_{15}$ ) =80
- Se determinó el factor de hora pico usando la ecuación 1, se tiene:

$$\text{PHF 1-2} = n_{60}/(4n_{15}) = 348/(4*89) = 0.99$$

$$\text{PHF 1-3} = n_{60}/(4n_{15}) = 366/(4*93) = 0.98$$

$$\text{PHF 1-4} = n_{60}/(4n_{15}) = 334/(4*85) = 0.98$$

$$\text{PHF 2-1} = n_{60}/(4n_{15}) = 359/(4*93) = 0.98$$

$$\text{PHF 2-2} = n_{60}/(4n_{15}) = 350/(4*91) = 0.98$$

$$\text{PHF 2-3} = n_{60}/(4n_{15}) = 286/(4*73) = 1.00$$

$$\text{PHF 3-1} = n_{60}/(4n_{15}) = 326/(4*87) = 0.94$$

$$\text{PHF 3-2} = n_{60}/(4n_{15}) = 337/(4*87) = 0.98$$

$$\text{PHF 3-4} = n_{60}/(4n_{15}) = 232/(4*67) = 0.87$$

$$\text{PHF 4-1} = n_{60}/(4n_{15}) = 304/(4*79) = 0.97$$

$$\text{PHF 4-2} = n_{60}/(4n_{15}) = 306/(4*77) = 1.00$$

$$\text{PHF 4-3} = n_{60}/(4n_{15}) = 266/(4*80) = 0.84$$

**Día de mayor flujo por intersección**

Figura 5: *Flujo vehicular del día sábado, para la Intersección Av. Hoyos Rubio – Vía de Evitamiento Sur*



Figura 6: *Flujo vehicular del día sábado, para la Intersección Jr. Revilla Pérez – Vía de Evitamiento Sur*



Figura 7: Flujo vehicular del día sábado, para la Intersección Jr. Miguel Iglesias – Vía de Evitamiento Sur



Figura 8: Flujo vehicular del día sábado, para la Intersección Jr. Chanchamayo – Vía de Evitamiento Sur



Figura 9: Flujo vehicular del día sábado, para la Intersección Jr. Angamos – Vía De Evitamiento Sur



Figura 10: Flujo peatonal del día sábado, para la Intersección Av. Hoyos Rubio – Vía de Evitamiento Sur



Figura 11. Flujo peatonal del día sábado, para la Intersección Jr. Revilla Pérez – Vía de Evitamiento Sur



Figura 12. Flujo peatonal del día sábado, para la Intersección Jr. Miguel Iglesias – Vía de Evitamiento Sur



Figura 13. *Flujo peatonal del día sábado, para la Intersección Jr. Chanchamayo – Vía de Evitamiento Sur*



Figura 14. *Flujo peatonal del día sábado, para la Intersección Jr. Angamos– Vía de Evitamiento Sur*



#### 5.1.4 Composición Del Trafico.

En la figura del 15 al 19 se muestran los resultados de la composición del tráfico donde se contabilizaron motos, carros livianos, buses y camiones durante siete días consecutivos.

Figura 15. Composición del tráfico intersección Vía de Evitamiento y Av. Hoyos Rubio.

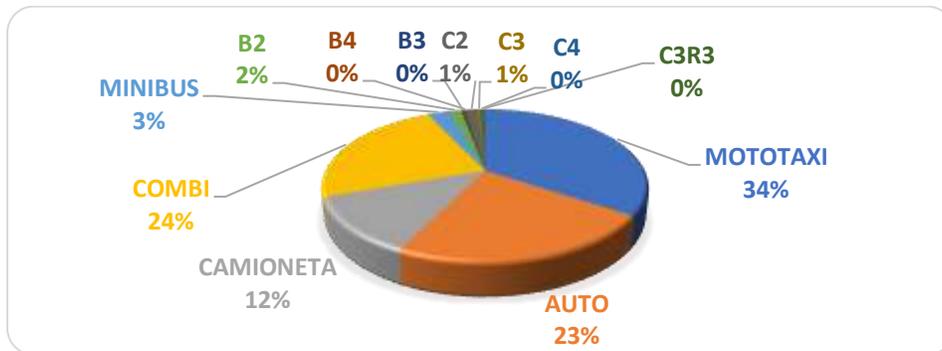


Figura 16. Composición del tráfico intersección Vía de Evitamiento y Jr. Santa Teresa.

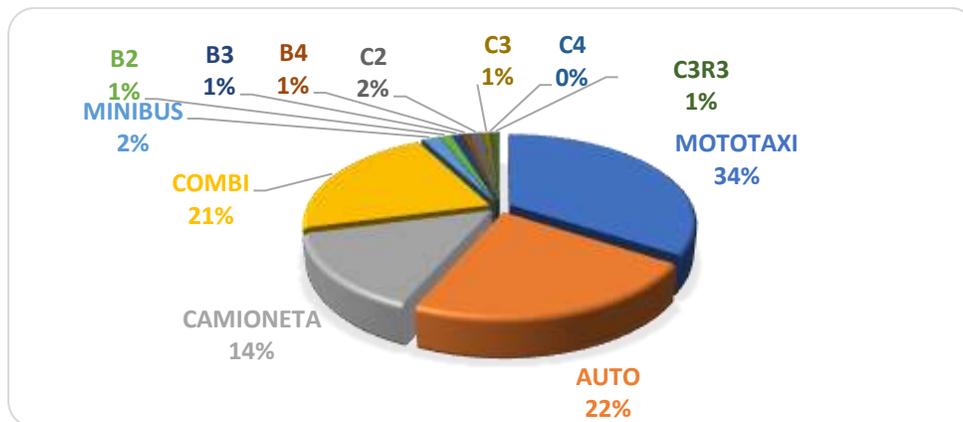


Figura 17. Composición del tráfico intersección Vía de Evitamiento y Jr. Miguel Iglesias.

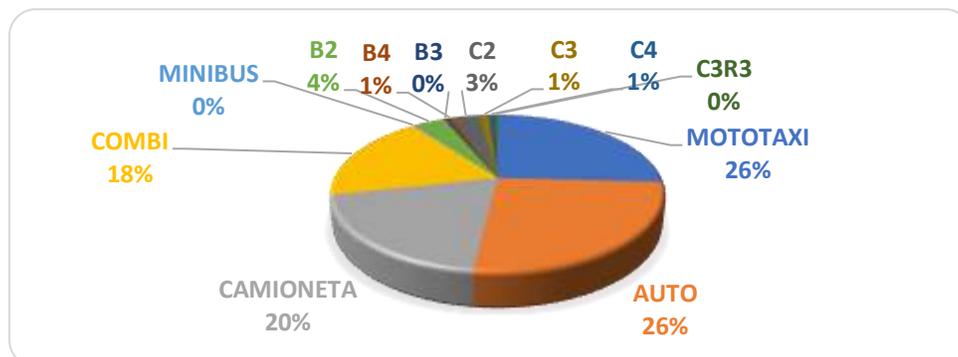


Figura 18. Composición del tráfico intersección Vía de Evitamiento y Jr. Chanchamayo.

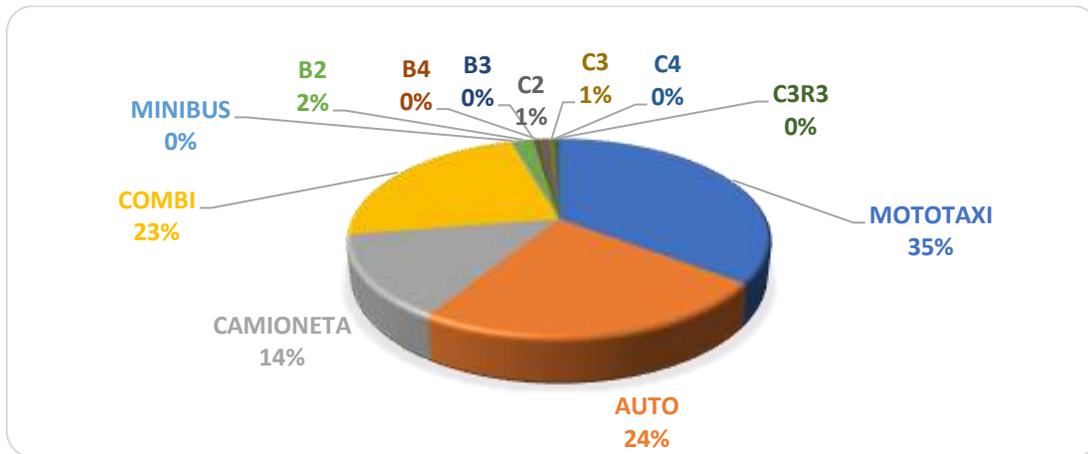
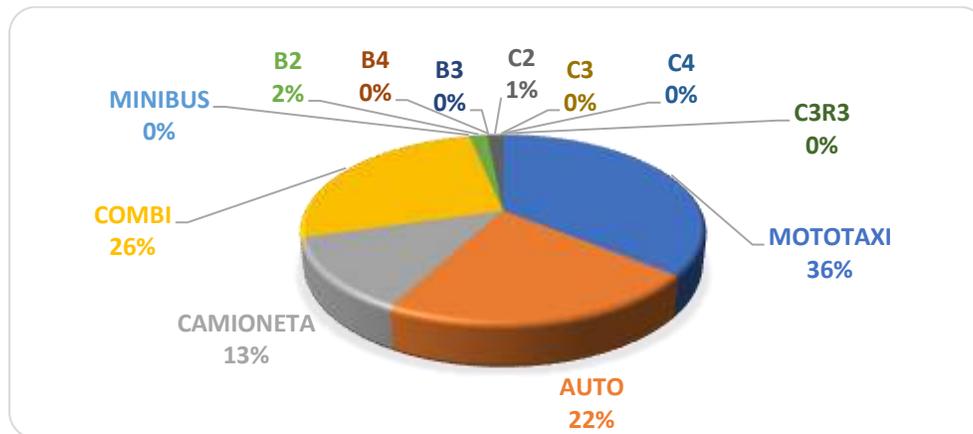


Figura 19. Composición del tráfico intersección Vía de Evitamiento y Jr. Angamos.



### 5.1.5 Conversión a vehículo patrón por intersección.

Las figuras 15 a 19 muestran que los mototaxis representan el mayor porcentaje del flujo vehicular. Por lo tanto, para aplicar la metodología HCM 2016, se realizó la conversión de todos los tipos de vehículos a vehículos patrón, utilizando los factores de conversión de la tabla 3 para cada grupo de movimiento en las intersecciones semaforizadas. En la tabla 12 se detalla el procedimiento de conversión a vehículo patrón de cada uno de los tipos de vehículos.

Tabla 12. *Factor de conversión a vehículo patrón*

<b>Vehículo</b>	<b>Volumen Vehicular</b>	<b>UVE</b>	<b>Volumen Vehicular convertido al vehículo patrón</b>
Mototaxi	1252	0.68	851
Auto	836	1.00	836
Camioneta	446	1.30	580
Combi	856	1.25	1070
Minibús	94	1.25	118
B2	55	2.00	110
B3	12	2.00	24
B4	9	2.00	18
C2	47	3.00	141
C3	15	3.00	45
C4	6	3.00	18
C3r3	13	3.00	39

Para las tablas 13 a 17, se aplicó el mismo procedimiento de conversión a vehículos patrón, utilizando los factores de conversión de la tabla 3 para cada intersección y grupo de movimiento.

Tabla 13. *Conversión a vehículo patrón intersección Vía de Evitamiento y Av. Hoyos Rubio*

<b>Vehículo</b>	<b>1-2</b>	<b>1-3</b>	<b>1-4</b>	<b>2-1</b>	<b>2-2</b>	<b>2-3</b>	<b>3-1</b>	<b>3-2</b>	<b>3-4</b>	<b>4-1</b>	<b>4-2</b>	<b>4-3</b>	<b>Total</b>
Mototaxi	85	88	81	71	68	55	75	77	53	69	69	60	852
Auto	67	69	65	71	62	51	84	87	60	76	76	66	836
Camioneta	47	48	45	48	46	37	58	60	41	53	53	46	581
Combi	105	108	101	136	130	106	74	77	53	63	63	55	1070
Minibús	13	13	12	9	10	6	9	9	6	11	11	10	118
B2	8	10	6	10	15	12	8	8	6	9	9	8	109
B3	0	0	0	7	6	5	2	2	1	0	0	0	24
B4	0	0	0	0	0	0	0	2	4	4	4	3	18
C2	18	21	12	6	9	6	11	11	7	15	15	13	143
C3	3	2	2	3	3	3	5	5	4	5	5	5	46
C4	0	3	6	0	3	6	1	1	0	0	0	0	20
C3R3	3	3	3	6	6	5	2	2	1	3	3	3	40
<b>Total</b>	<b>348</b>	<b>366</b>	<b>334</b>	<b>366</b>	<b>357</b>	<b>292</b>	<b>328</b>	<b>341</b>	<b>237</b>	<b>307</b>	<b>309</b>	<b>269</b>	<b>3856</b>

Tabla 14. *Conversión a vehículo patrón Intersección Vía de Evitamiento y Jr. Santa teresa*

<b>Vehículo</b>	<b>1-2</b>	<b>1-3</b>	<b>1-4</b>	<b>2-1</b>	<b>2-3</b>	<b>2-4</b>	<b>3-1</b>	<b>3-2</b>	<b>3-4</b>	<b>4-1</b>	<b>4-2</b>	<b>4-3</b>	<b>Total</b>
Mototaxi	80	90	68	68	65	72	73	78	67	71	66	67	1071
Auto	68	73	54	62	76	70	83	85	55	77	79	47	737
Camioneta	57	49	53	45	72	55	56	56	59	88	59	46	394
Combi	98	109	55	123	121	110	73	79	53	79	61	35	759
Minibús	13	8	6	5	8	6	2	4	8	9	6	5	35
B2	7	7	8	12	11	10	8	8	4	10	8	5	46
B3	4	3	4	10	10	10	8	8	4	8	6	4	36
B4	0	2	4	2	4	2	0	2	6	8	6	4	13
C2	9	10	12	20	19	18	17	17	9	15	15	9	53
C3	6	2	3	3	12	0	0	9	6	12	3	6	9
C4	0	3	6	0	3	6	1	1	0	0	0	0	6
C3r3	12	7	6	18	13	12	6	6	2	9	5	6	27
<b>Total</b>	<b>354</b>	<b>365</b>	<b>280</b>	<b>368</b>	<b>412</b>	<b>371</b>	<b>326</b>	<b>352</b>	<b>272</b>	<b>386</b>	<b>314</b>	<b>234</b>	<b>3186</b>

Tabla 15. *Conversión a vehículo patrón Intersección Vía de Evitamiento y Jr. Miguel Iglesias*

<b>Vehículo</b>	<b>1-2</b>	<b>1-3</b>	<b>1-4</b>	<b>2-1</b>	<b>2-3</b>	<b>2-4</b>	<b>3-1</b>	<b>3-2</b>	<b>3-4</b>	<b>4-1</b>	<b>4-2</b>	<b>4-3</b>	<b>Total</b>
Mototaxi	82	88	47	71	68	56	76	79	65	72	70	54	828
Auto	66	71	38	68	65	54	87	90	74	81	80	61	835
Camioneta	48	52	28	55	53	44	64	66	55	60	59	45	629
Combi	60	64	34	76	73	60	40	42	35	37	37	28	586
Minibús	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
B2	8	6	5	17	16	14	8	8	7	9	9	7	115
B3	2	0	0	0	0	0	2	2	2	1	1	1	14
B4	0	2	4	0	0	0	0	2	4	0	2	4	19
C2	12	12	8	10	10	8	8	8	7	7	7	5	102
C3	3	3	1	3	3	3	0	3	6	0	3	6	34
C4	0	0	6	0	3	6	1	1	0	0	0	0	17
C3r3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16
<b>Total</b>	<b>285</b>	<b>302</b>	<b>174</b>	<b>304</b>	<b>294</b>	<b>246</b>	<b>287</b>	<b>302</b>	<b>255</b>	<b>270</b>	<b>269</b>	<b>213</b>	<b>3203</b>

Tabla 16. *Conversión a vehículo patrón Intersección Vía de Evitamiento y Jr. Chanchamayo*

<b>Vehículo</b>	<b>1-2</b>	<b>1-3</b>	<b>1-4</b>	<b>2-1</b>	<b>2-3</b>	<b>2-4</b>	<b>3-1</b>	<b>3-2</b>	<b>3-4</b>	<b>4-1</b>	<b>4-2</b>	<b>4-3</b>	<b>Total</b>
Mototaxi	95	58	61	58	62	61	80	85	71	65	80	69	844
Auto	72	49	47	48	53	54	92	97	82	75	85	75	828
Camioneta	56	32	36	38	46	43	66	72	62	55	61	55	622
Combi	119	73	78	101	108	113	79	83	69	60	71	64	1015
Minibús	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	7
B2	10	6	6	12	16	14	11	11	10	8	10	8	122
B3	2	0	0	0	2	4	1	1	0	0	0	0	10
B4	6	0	0	0	4	0	0	0	0	2	2	6	21

Continúa la tabla 16

<b>Vehículo</b>	<b>1-2</b>	<b>1-3</b>	<b>1-4</b>	<b>2-1</b>	<b>2-3</b>	<b>2-4</b>	<b>3-1</b>	<b>3-2</b>	<b>3-4</b>	<b>4-1</b>	<b>4-2</b>	<b>4-3</b>	<b>Total</b>
C2	15	9	9	9	12	8	7	8	6	6	8	9	106
C3	0	0	0	3	3	0	9	3	6	9	3	12	49
C4	3	6	6	0	0	0	1	1	0	0	0	6	22
C3r3	0	0	3	1	3	1	0	3	6	1	1	1	21
<b>Total</b>	<b>380</b>	<b>234</b>	<b>246</b>	<b>270</b>	<b>308</b>	<b>297</b>	<b>346</b>	<b>364</b>	<b>313</b>	<b>280</b>	<b>322</b>	<b>306</b>	<b>3667</b>

Tabla 17. *Conversión a vehículo patrón Intersección Vía de Evitamiento y Jr. Angamos*

<b>Vehículo</b>	<b>1-2</b>	<b>1-2</b>	<b>2-1</b>	<b>2-3</b>	<b>3-1</b>	<b>3-2</b>	<b>Total</b>
Mototaxi	97	98	82	87	93	84	542
Auto	77	78	72	77	107	96	507
Camioneta	57	57	58	62	79	71	384
Combi	128	129	147	157	91	82	735
Minibús	0	0	0	0	0	0	2
B2	11	11	19	20	13	11	84
B3	0	0	0	2	1	1	4
B4	0	0	1	1	0	0	2
C2	16	16	11	12	8	7	71
C3	0	0	0	0	0	3	4
C4	0	3	0	0	1	1	4
C3r3	0	0	1	1	0	3	6
<b>Total</b>	<b>388</b>	<b>393</b>	<b>391</b>	<b>419</b>	<b>394</b>	<b>361</b>	<b>2345</b>

Las figuras 20 a 24 presentan los diagramas de flujo de los movimientos vehiculares registrados en cada uno de los accesos de las intersecciones semaforizadas estudiadas.

Figura 20. Diagrama de flujo de la intersección de Vía de Evitamiento y Jr. Hoyos Rubio

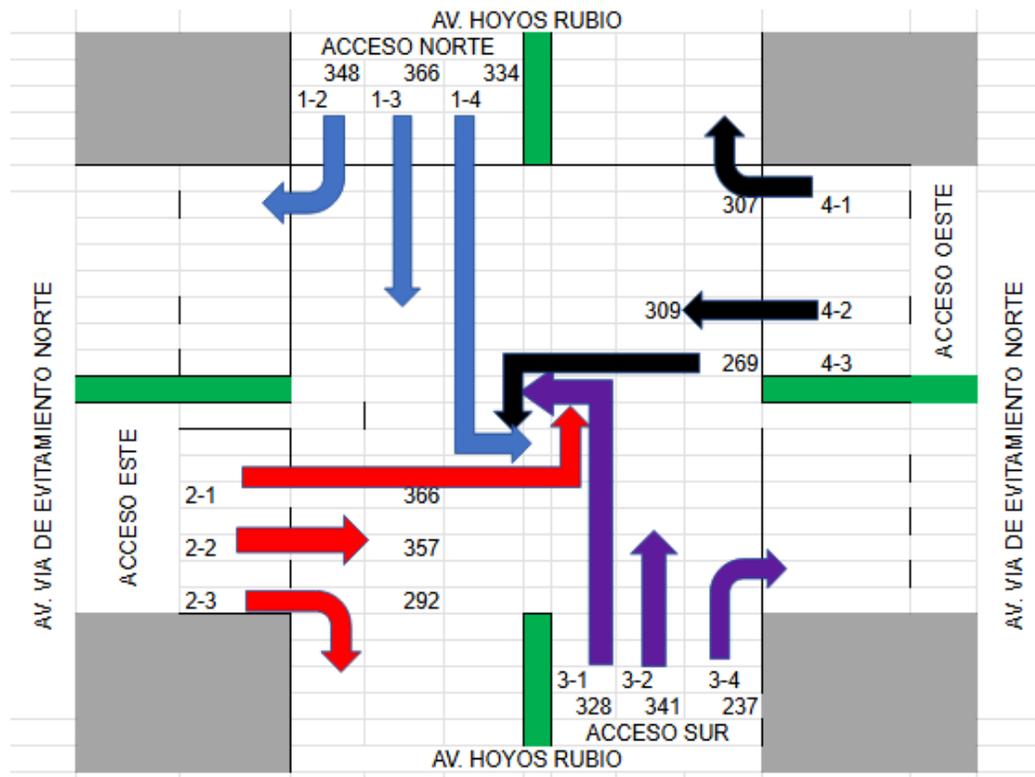


Figura 21. Diagrama de flujo de la intersección de Vía de Evitamiento y Jr. Santa Teresa

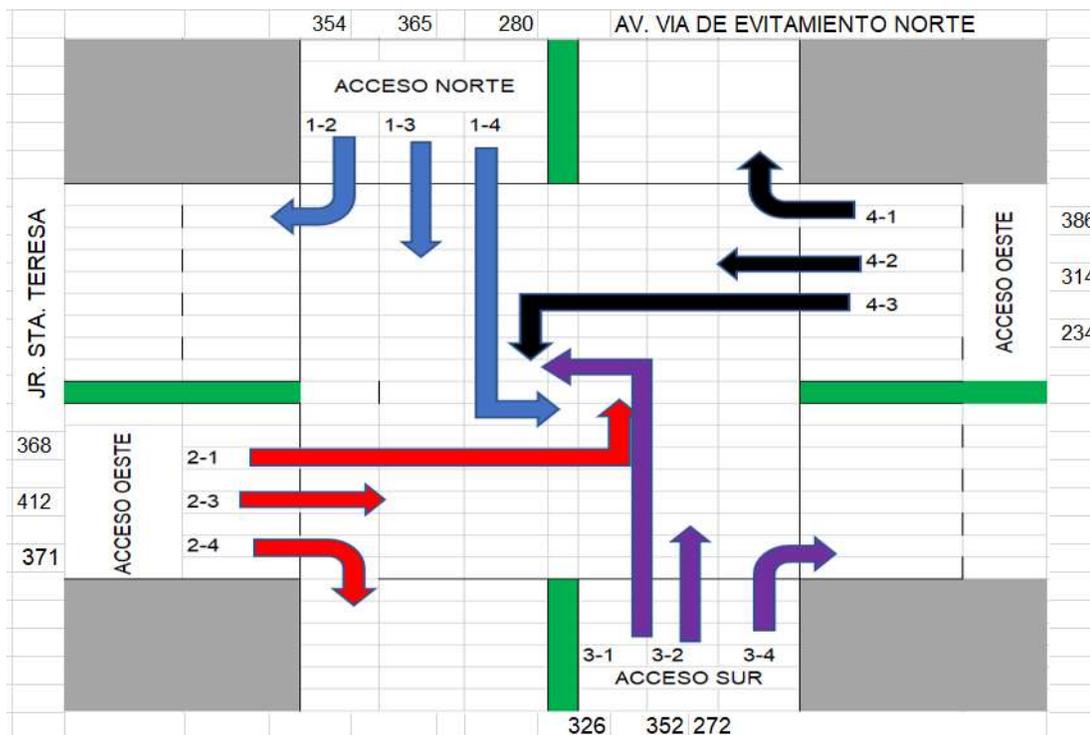


Figura 22. Diagrama de flujo de la intersección de Vía de Evitamiento y Jr. Miguel Iglesias

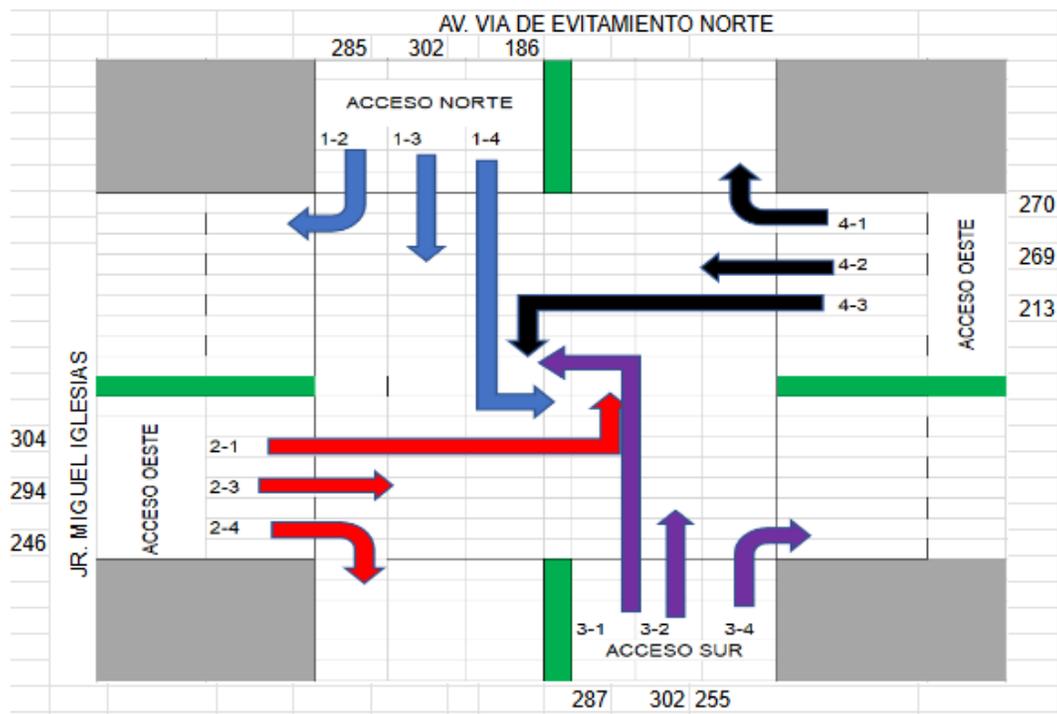


Figura 23. Diagrama de flujo de la intersección de Vía de Evitamiento y Jr. Chanchamayo

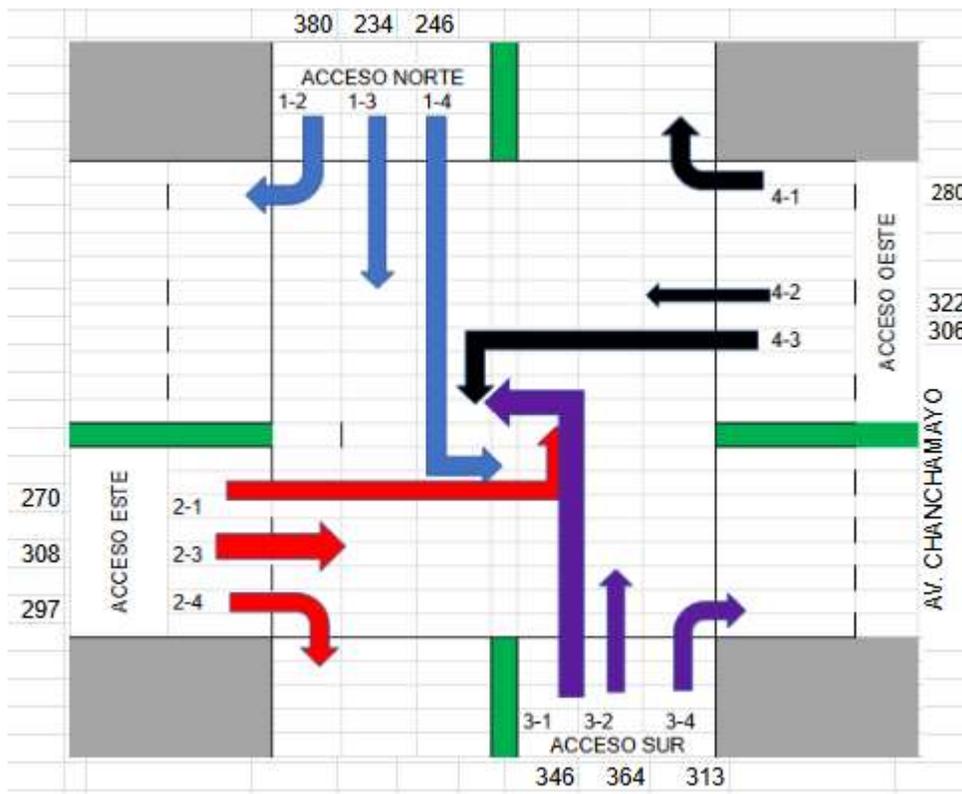
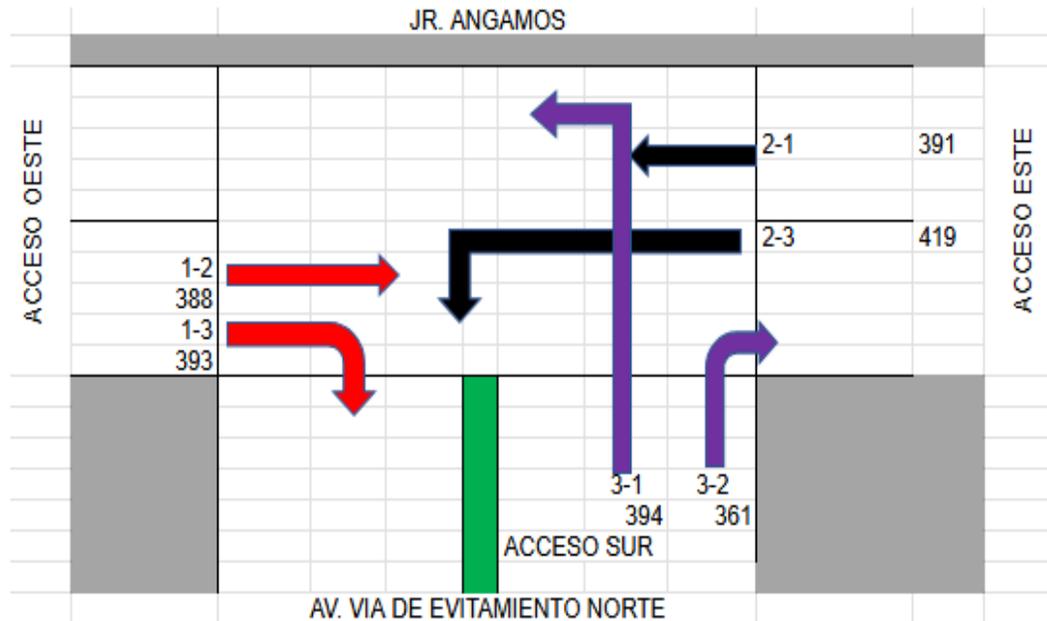


Figura 24. Diagrama de flujo de la intersección de Vía de Evitamiento y Jr. Angamos



#### 5.1.6 Módulo de Ajuste de volúmenes.

Se realizó el ajuste de volúmenes considerando las características físicas, condiciones geométricas, condiciones del tránsito y condiciones de semaforización de cada intersección. Posteriormente, se analizaron por separado los grupos de movimiento y los grupos de carriles en cada uno de los accesos que componen la intersección, como se detalla en las tablas 18, 19, 20, 21 y 22.

- Flujo ajustado ( $V_p$ )

$$V_p = V_{hmd}/FHMD \quad (18)$$

Donde

$V_p$ = tasa de flujo durante los quince minutos más saturados (vehículos/hora).

$V_{hmd}$ =volumen horario (vehículo/hora)

$FHMD$ = Factor horario de máxima demanda

- Se calcula el  $V_{hmd}$

$$V_p \text{ 1-2} = V_{HMD1-2}/FHMD_{1-2} = 348/0.99 = 352$$

$$V_p 1-3 = V_{HMD1-3}/FHMD_{1-3} = 366/0.98 = 372$$

$$V_p 1-4 = V_{HMD1-4}/FHMD_{1-4} = 334/0.98 = 340$$

$$V_p 2-1 = V_{HMD2-1}/FHMD_{2-1} = 366/0.98 = 372$$

$$V_p 2-2 = V_{HMD2-2}/FHMD_{2-2} = 357/0.98 = 364$$

$$V_p 2-3 = V_{HMD2-3}/FHMD_{2-3} = 292/1.00 = 292$$

$$V_p 3-1 = V_{HMD3-1}/FHMD_{3-1} = 328/0.94 = 348$$

$$V_p 3-2 = V_{HMD3-2}/FHMD_{3-2} = 341/0.98 = 348$$

$$V_p 3-4 = V_{HMD3-4}/FHMD_{3-4} = 237/0.87 = 272$$

$$V_p 4-1 = V_{HMD4-1}/FHMD_{4-1} = 307/0.97 = 316$$

$$V_p 4-2 = V_{HMD4-2}/FHMD_{4-2} = 309/1.01 = 308$$

$$V_p 4-3 = V_{HMD4-3}/FHMD_{4-3} = 269/0.84 = 320$$

- Flujo de grupo movimiento (Vgm)

$$Vgm_{norte} = V_p 1-2 + V_p 1-3 + V_p 1-4 = 352 + 372 + 340 = 1064$$

$$Vgm_{sur} = V_p 2-1 + V_p 2-3 + V_p 2-2 = 372 + 364 + 292 = 1028$$

$$Vgm_{este} = V_p 3-1 + V_p 3-4 + V_p 3-2 = 348 + 348 + 272 = 968$$

$$Vgm_{oeste} = V_p 4-1 + V_p 4-3 + V_p 4-2 = 316 + 308 + 320 = 944$$

- Número de carriles: Del cuadro 2 se tiene 2 carriles (uno exclusiva izquierda, otro través y de derecha) para los accesos norte, sur, este y oeste.
- Flujo de grupo de carriles (Vi)

$$Vi_{1-2} = 724$$

$$Vi_{1-3,1-4} = 334$$

$$Vi_{2-1} = 372$$

$$Vi_{2-2,2-3} = 656$$

$$Vi_{3-1} = 348$$

$$Vi_{3-2,3-4} = 620$$

$$Vi_{4-1,4-2} = 624$$

$$V_{i_{4-3}}=320$$

- Pendiente de acceso (%)

Los datos se sacan de la tabla 5 (Características de la vía).

- Tasa de maniobras de estacionamiento adyacente (Nm)

Para el grupo de carril 1-2, 1-3 se considera  $N_{m_{1-2, 1-3}}=10$  según el HCM 2016.

Para el grupo de carril 1-4 se considera  $N_{m_{1-4}}=0$  ya que no se permite estacionamiento en este carril exclusivo.

- Ciclo semafórico

Para la avenida Av. De Evitamiento Norte y Av. Hoyos Rubio el ciclo semafórico es de 115 segundos

- Peatones en hora pico (p/h)

Del aforo peatonal del anexo 4. Acceso norte (22+15+20+17+22+19+15+17=147)

- Tiempo verde para el paso de peatones.

Para la intersección el tiempo verde para el paso de peatones es 40 segundos.

Tabla 18. Ajuste de volumen para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte- Av. Hoyos Rubio

Acceso	Norte				Sur			Este			Oeste		
	Código	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Ancho de carril (w)		3,00				3,50			4,00			3,50	
Volúmenes vhmd (veh/h)	348	366	334	366	357	292	328	341	237	307	309	269	
FHMD	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	1,00	0,94	0,98	0,87	0,97	1,00	0,84	
Flujo ajustado vp (veh/h)	352	372	340	372	364	292	348	348	272	316	308	320	
Flujo del grupo de movimiento (vgm)		1064				1028			968			944	
Grupo de carriles		1-2, 1-3		1-4	2-1	2-3, 2-4		3-1	3-2, 3-4		4-1, 4-2		4-3
Número de carriles		2				2			2		2		
Flujo del grupo de carriles Vi	724		334	372		656	348		620	624		320	
Pendiente de acceso (%)		1.47%		0.51%		2,00%			1.43%		1.39%		
Tasa de maniobras de estacionamiento adyacente		6,00				0,00			6,00		0,00		
Ciclo semafórico (s)		115				115			115		115		
Peatones en hora pico (p/h)		147,00				251,00			259,00		313,00		
Tiempo verde para el paso de peatones		40,00				40,00			45,00		45,00		

Tabla 19. Ajuste de volumen para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Sta. Teresa

Acceso	Norte				Sur			Este			Oeste		
	Código	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Ancho de carril (w)		3,80				4,10			3,20			3,50	
Volumen (Vhmd)	354	365	280	368	412	371	326	352	272	386	314	234	
FHMD	0,92	0,99	0,92	0,97	0,99	0,96	0,89	0,99	0,91	0,98	0,97	0,85	
Flujo ajustado, Vp(veh/h)	384	368	304	380	416	388	368	356	300	392	324	276	
Flujo del grupo (vgm)		1056				1184			1024			992	

Continúa la tabla 19

<b>Acceso</b>	<b>Norte</b>			<b>Sur</b>			<b>Este</b>		<b>Oeste</b>	
Grupo de carriles	1-2, 1-3	1-4	2-1	2-3, 2-4	3-1	3-2, 3-4	4-1, 4-2	4-3		
Número de carriles	2			2		2	2			
Flujo del grupo de carril	752	304	380	804	368	656	716			276
Pendiente de acceso (%)	0.71%			0.78%		0.64%			1.02%	
Tasa de maniobras de estacionamiento adyacente	6,00			0,00		6,00			0,00	
Ciclo semafórico (s)	95			95		95			95	
Peatones en hora pico (p/h)	148			178		190			162	
Tiempo verde para el paso de peatones	35,00			35,00		40,00			40,00	

Tabla 20. Ajuste de volumen para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Miguel Iglesias

<b>Acceso</b>	<b>Norte</b>				<b>Este</b>			<b>Sur</b>		<b>Oeste</b>		
<b>Código</b>	<b>1-2</b>	<b>1-3</b>	<b>1-4</b>	<b>2-1</b>	<b>2-3</b>	<b>2-4</b>	<b>3-1</b>	<b>3-2</b>	<b>3-4</b>	<b>4-1</b>	<b>4-2</b>	<b>4-3</b>
Ancho de carril (w)		3,00			3,50			4,00			3,50	
Volúmenes Vhmd (veh/h)	285	302	186	304	294	246	287	302	255	270	269	213
FHMD	0,81	0,83	0,85	0,86	0,84	0,88	0,82	0,87	0,90	0,85	0,90	0,86
Flujo ajustado vp (veh/h)	352	364	220	352	348	280	348	348	284	316	300	248
Flujo del grupo de movimiento (vgm)		936,00			980,00			980,00			864,00	
Grupo de carriles	1-2, 1-3	1-4	2-1	2-3, 2-4	3-1	3-2, 3-4	4-1, 4-2	4-3				
Número de carriles	2			2		2		2			2	
Flujo del grupo de carriles Vi	716	186	352	628	348	632	616					248
Pendiente de acceso (%)		0.78%			0.70%			0.93%			0.64%	
Tasa de maniobras de estacionamiento adyacente		6,00			0,00			6,00			0,00	
Ciclo semafórico (s)		105			105			105			105	
Peatones en hora pico (p/h)		162,00			165,00			194,00			190,00	
Tiempo verde para el paso de peatones		40,00			40,00			45,00			45,00	

Tabla 21. Ajuste de volumen para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Chanchamayo.

Acceso	Norte				Sur			Este			Oeste		
	Código	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Ancho de carril (w)			3,00			3,50			4,00			3,50	
Volúmenes Vhmd (veh/h)		380	234	246	270	308	297	346	364	313	280	322	306
FHMD		0,97	0,94	0,92	0,98	0,99	0,96	0,94	0,98	0,99	0,92	0,95	0,93
Flujo ajustado vp (veh/h)		392	248	268	276	312	308	368	372	316	304	340	328
Flujo del grupo de movimiento (vgm)			908			896			1056			972	
Grupo de carriles		1-2, 1-3		1-4	2-1	2-3, 2-4		3-1	3-2, 3-4		4-1, 4-2		4-3
Número de carriles			2			2			2			2	
Flujo del grupo de carriles Vi		640		268	276		620	368		688	644		328
Pendiente de acceso (%)			0.38%			0.79%			1.36%			0.80%	
Tasa de maniobras de estacionamiento adyacente			6,00			0,00			6,00			0,00	
Ciclo semafórico (s)			110			110			110			110	
Peatones en hora pico (p/h)			254			236			258			277	
Tiempo verde para el paso de peatones			40,00			40,00			45,00			45,00	

Tabla 22. Ajuste de volumen para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Angamos

Acceso	Oeste		Sur		Este		
	Código	1-2	1-3	3-1	3-2	2-3	2-1
Ancho de carril (w)		3,50		3,20		3,50	
Volúmenes Vhmd (veh/h)		388	393	394	361	419	391
FHMD		0,89	0,91	0,92	0,86	0,90	1,00
Flujo ajustado vp (veh/h)		345	358	363	310	375	390
Flujo del grupo de movimiento (vgm)		702,805		672,989		765,133	
Porcentaje de vehículos pesados phv (%)		3,07%		3,07%		3,07%	
Pendiente de acceso (%)		1.15%		-1.25%		0.71%	
Tasa de maniobras de estacionamiento adyacente			6		0		6
Ciclo semafórico (s)		95		95		95	
Peatones en hora pico (p/h)			339		235		340
Tiempo verde para el paso de peatones		45		40		45	

### 5.1.7 Módulo de flujo de saturación.

Siguiendo la metodología del HCM 2016, específicamente el capítulo 19 sobre intersecciones semaforizadas, utilizando las fórmulas presentadas, se obtuvieron los factores de ajuste para la tasa de flujo de saturación de cada grupo de carriles en cada intersección estudiada. Estos resultados se muestran en las tablas 23, 24, 25, 26 y 27.

Para el ejemplo de la intersección de la Av. Hoyos Rubio y Av. Vía de Evitamiento

- Flujo de saturación base ( $S_0$ ).

Según el HCM 2016, se considera  $S_0=1900$  veh/h/carril

- Factor de ajuste por ancho de carril ( $f_w$ ): De la tabla 2

Acceso norte ancho de 3.00 el factor de ajuste es 0.96

Acceso sur ancho de 3.50 el factor de ajuste es 1.00

Acceso este ancho de 4.00 el factor de ajuste es 1.04.

Acceso oeste ancho de 3.50 el factor de ajuste es 1.00

- Factor de ajuste vehículos pesados y pendiente del acceso:  $F_{HV}$

Utilizando la ecuación 4, se tiene:

$$\text{Acceso norte } F_{hv} = \frac{100 - (0.78 * 4.83) - (0.31 * 1.472)}{100} = 0.96$$

$$\text{Acceso sur } F_{hv} = \frac{100 - (0.78 * 4.83) - (0.31 * 0.512)}{100} = 0.96$$

$$\text{Acceso este } F_{hv} = \frac{100 - (0.78 * 4.83) - (0.31 * 1.432)}{100} = 0.97$$

$$\text{Acceso oeste } F_{hv} = \frac{100 - (0.78 * 4.83) - (0.31 * 1.392)}{100} = 0.97$$

- Factor de ajuste por estacionamiento:  $f_p$

Usando la ecuación 5 se tiene:

$$\text{Acceso norte } F_p = \frac{1 - 0.1 - (18 * \frac{10}{3600})}{1} = 0.85$$

$$\text{Acceso sur } F_p = \frac{1 - 0.1 - (18 * \frac{10}{3600})}{1} = 0.85$$

$$\text{Acceso este } F_p = \frac{1 - 0.1 - (18 * \frac{10}{3600})}{1} = 0.85$$

$$\text{Acceso oeste } F_p = \frac{1 - 0.1 - (18 * \frac{10}{3600})}{1} = 0.85$$

- Factor de ajuste por bloqueo de buses: fbb

Usando la ecuación 6, se tiene:

$$\text{Acceso norte (1-2, 1-3) } F_{bb} = \frac{2 - (14.4 * \frac{22}{3600})}{2} = 0.96$$

$$\text{Acceso norte (1-4) } F_{bb} = \frac{2 - (14.4 * \frac{8}{3600})}{2} = 0.98$$

$$\text{Acceso sur (2-1) } F_{bb} = \frac{2 - (14.4 * \frac{5}{3600})}{2} = 0.99$$

$$\text{Acceso sur (2-2, 2-3) } F_{bb} = \frac{2 - (14.4 * \frac{15}{3600})}{2} = 0.97$$

$$\text{Acceso este (3-1, 3-2) } F_{bb} = \frac{2 - (14.4 * \frac{8}{3600})}{2} = 0.98$$

$$\text{Acceso este (3-4) } F_{bb} = \frac{2 - (14.4 * \frac{8}{3600})}{2} = 0.98$$

$$\text{Acceso oeste (4-1, 4-2) } F_{bb} = \frac{2 - (14.4 * \frac{8}{3600})}{2} = 0.98$$

$$\text{Acceso oeste (4-3) } F_{bb} = \frac{2 - (14.4 * \frac{5}{3600})}{2} = 0.99$$

- Factor de ajuste por tipo de área: Fa

El HCM 2016 considera un factor de ajuste Fa= 0.90 para todos los grupos de carriles

- Factor de ajuste por utilización del carril: Flu

Acceso norte (1-2, 1-3) carril compartido Flu=0.90

Acceso norte (1-4) carril exclusivo Flu=1.00

Acceso sur (2-2, 2-3) carril compartido Flu=0.90

Acceso sur (2-1) carril exclusivo Flu=1.00

Acceso este (3-1, 3-2) carril compartido Flu=0.90

Acceso este (3-4) carril exclusivo Flu=1.00

Acceso oeste (4-1, 4-2) carril compartido  $F_{lu}=0.90$

Acceso oeste (4-3) carril exclusivo  $F_{lu}=1.00$

- Factor de ajuste por vueltas a la derecha:  $F_{rt}$

Usando la fórmula 8 se tiene:

Acceso norte (1-2, 1-3) carril compartido  $F_{rt}=\frac{1}{1.18}=0.85$

Acceso norte (1-4) carril exclusivo  $F_{rt}=1.00$

Acceso sur (2-2, 2-3)  $F_{rt}=\frac{1}{1.18}=0.85$

Acceso sur (2-1) carril exclusivo  $F_{rt}=1.00$

Acceso este (3-1, 3-2) carril compartido  $F_{rt}=\frac{1}{1.18}=0.85$

Acceso este (3-4) carril exclusivo  $F_{rt}=1.00$

Acceso oeste (4-1, 4-2) carril compartido  $F_{rt}=\frac{1}{1.18}=0.85$

Acceso oeste (4-3) carril exclusivo  $F_{rt}=1.00$

- Factor de ajuste por vueltas a la izquierda:  $F_{lpb}$

Usando la fórmula 7 se tiene:

Acceso norte (1-2, 1-3) carril compartido  $F_{rt}=1.00$

Acceso norte (1-4) carril exclusivo  $F_{rt}=\frac{1}{1.05}=0.85$

Acceso sur (2-2, 2-3) carril compartido  $F_{rt}=1.00$

Acceso sur (2-1) carril exclusivo  $F_{rt}=\frac{1}{1.05}=0.85$

Acceso este (3-1, 3-2) carril compartido  $F_{rt}=1.00$

Acceso este (3-4) carril exclusivo  $F_{rt}=\frac{1}{1.05}=0.85$

Acceso oeste (4-1, 4-2) carril compartido  $F_{rt}=1.00$

Acceso oeste (4-3) carril exclusivo  $F_{rt}=\frac{1}{1.05}=0.85$

- Factor de ajuste izquierda peatones:  $F_{lpb}$

Según el HCM 2016 para todos los accesos es  $F_{lpb}=1.00$

- Factor de ajuste derecha peatones: Frpb

Acceso norte (1-2, 1-3) carril compartido Frpb=0.87

Acceso norte (1-4) carril exclusivo Flu=1.00

Acceso sur (2-2, 2-3) carril compartido Frpb=0.87

Acceso sur (2-1) carril exclusivo Flu=1.00

Acceso este (3-1, 3-2) carril compartido Frpb=0.87

Acceso este (3-4) carril exclusivo Flu=1.00

Acceso oeste (4-1, 4-2) carril compartido Frpb=0.87

Acceso oeste (4-3) carril exclusivo Flu=1.00

- Flujo de saturación ajustado: Si (veh/h/carril)

Usando la ecuación 2, tenemos:

Acceso norte (1-2, 1-3)  $S_i=1900*0.96*0.96*0.85*0.96*0.90*0.90*0.85*1*1*0.87=854.96$

Acceso norte (1-4)  $S_i=1900*0.96*0.97*1*0.98*0.90*1*1*0.95*1*1=1493.45$

Acceso sur (2-1)  $S_i=1900*0.99*0.96*1*0.99*0.90*1*1*0.95*1*1=1534.21$

Acceso sur (2-2, 2-3)  $S_i=1900*0.99*0.96*0.85*0.97*0.90*0.90*0.85*1*1*0.78=801.79$

Acceso este (3-1)  $S_i=1900*1.04*0.97*0.85*0.96*0.90*0.90*0.85*1*1*0.85=1107.34$

Acceso este (3-2, 3-4)  $S_i=1900*1.04*0.97*0.85*0.98*0.90*1*0.85*1*1*0.88=989.09$

Acceso oeste (4-1, 4-2)  $S_i=1900*0.99*0.97*0.85*0.98*0.90*0.90*0.85*1*1*0.88=886.32$

Acceso oeste (4-3)  $S_i=1900*0.99*0.97*1*0.99*0.90*1*1*0.95*1*1=1551.22$

Tabla 23. *Flujo de saturación para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Av. Hoyos Rubio*

Accesos Código	Norte			Sur			Este			Oeste		
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Flujo de saturación base: so (veh/h/carril)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Factor de ajuste por ancho de carril: fw	0,96	0,96	0,96	0,99	0,99	0,99	1,04	1,04	1,04	0,99	0,99	0,99
Factor de ajuste vehículos pesados y pendiente del acceso: Fhvg	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Factor de ajuste por estacionamiento: Fp	0,85	0,85	1,00	1,00	0,85	0,85	1,00	0,85	1,00	0,85	0,85	1,00
Factor de ajuste por bloqueo de buses: Fbb	0,96	0,96	0,98	0,99	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99
Factor de ajuste por tipo de área: Fa	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Factor de ajuste por utilización del carril: Flu	0,90	0,90	1,00	1,00	0,90	0,90	0,90	1,00	0,90	0,90	1,00	1,00
Factor de ajuste por vueltas a la derecha: Frt	0,85	0,85	1,00	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	1,00
Factor de ajuste por vueltas a la izquierda: Flt	1,00	1,00	0,95	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95
Factor de ajuste izquierda peatones: Flpb	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Factor de ajuste derecha peatones: Frpb	0,87	0,87	1,00	1,00	1,00	0,78	0,85	0,88	0,80	0,88	0,88	1,00
Flujo de saturación ajustado: Si (veh/h/carril)		862,83	1493,45	1534,21	801,79	801,79	1107,34	989,09	886,32	886,32	1551,22	

Tabla 24. *Flujo de saturación para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Santa Teresa*

Accesos Código	Norte				Sur			Este			Oeste		
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3	
Flujo de saturación base: so (veh/h/carril)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	
Factor de ajuste por ancho de carril: fw	0,96	0,96	0,96	1,06	1,06	1,06	0,96	0,96	0,96	0,99	0,99	0,99	
Factor de ajuste por vehículos pesados: fhv	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	
Factor de ajuste por estacionamiento: fp	0,85	0,85	1,00	1,00	0,85	0,85	1,00	0,85	1,00	0,85	0,85	1,00	
Factor de ajuste por bloqueo de buses: fbb	0,96	0,96	0,98	0,99	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99	
Factor de ajuste por tipo de área: fa	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	
Factor de ajuste por utilización del carril: flu	0,90	0,90	1,00	1,00	0,90	0,90	0,90	1,00	0,90	0,90	0,90	1,00	
Factor de ajuste por vueltas a la derecha: frt	0,85	0,85	1,00	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	1,00	
Factor de ajuste por vueltas a la izquierda: flt	1,00	1,00	0,95	0,95	1,00	0,95	1,00	1,00	1,00	0,95	0,95	0,95	
Factor de ajuste izquierda peatones: flpb	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Factor de ajuste derecha peatones: frpb	1,00	1,00	1,00	1,00	1	1,00	0,85	0,88	1,00	0,88	0,88	1,00	
Flujo de saturación ajustado: si (vejh/h/carril)		988	1493	1638	1092	1038	1013		1129		877	1551	

Tabla 25. *Flujo de saturación para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Miguel Iglesias*

Acceso Código	Norte				Este			Sur			Oeste		
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3	
Flujo de saturación base: so (veh/h/carril)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	
Factor de ajuste por ancho de carril: fw	0,96	0,96	0,96	0,99	0,99	0,99	1,04	1,04	1,04	0,99	0,99	0,99	



<b>Código</b>	<b>1-2</b>	<b>1-3</b>	<b>1-4</b>	<b>2-1</b>	<b>2-3</b>	<b>2-4</b>	<b>3-1</b>	<b>3-2</b>	<b>3-4</b>	<b>4-1</b>	<b>4-2</b>	<b>4-3</b>
Factor de ajuste por tipo de área: fa	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Factor de ajuste por utilización del carril: flu	0,90	0,90	1,00	1,00	0,90	0,90	0,90	1,00	0,90	0,90	1,00	1,00
Factor de ajuste por vueltas a la derecha: frt	0,85	0,85	1,00	1,00	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	1,00
Factor de ajuste por vueltas a la izquierda: flt	1,00	1,00	0,95	0,95	1,00	1,00	1,00	0,95	0,95	1,00	1,00	0,95
Factor de ajuste izquierda peatones: flpb	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Factor de ajuste derecha peatones: frpb	0,79	0,79	1,00	1,00		0,81	0,85	0,81	0,81	0,88	0,80	1,00
Flujo de saturación ajustado: si (veh/h/carril)		780,89	1493,45	1534,31	824,09	824,06	1107,41	950,61	929,28	929,28	1551,22	

Tabla 27. Flujo de saturación para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Angamos

<b>Acceso</b>	<b>Oeste</b>		<b>Sur</b>		<b>Este</b>	
<b>Código</b>	<b>1-2</b>	<b>1-3</b>	<b>3-1</b>	<b>3-2</b>	<b>2-3</b>	<b>2-1</b>
Flujo de saturación base: so (veh/h/carril)	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Factor de ajuste por ancho de carril: fw	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989	0,989
Factor de ajuste por vehículos pesados: fhv	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Factor de ajuste por pendiente del acceso: fg	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Factor de ajuste por estacionamiento: fp		0,935		0,95		0,935
Factor de ajuste por bloqueo de buses: fbb	0,988		1		0,988	
Factor de ajuste por utilización del carril: flu		1		1		1
Factor de ajuste por vueltas a la derecha: frt	0,8474		0,847		0,847	
Factor de ajuste por vueltas a la izquierda: flt	0,952		0,952		0,952	
Factor de ajuste izquierda peatones: flpb	0,747		0,784		0,700	
Factor de ajuste derecha peatones: frpb	0,785		0,832		0,784	
Flujo de saturación ajustado: si (veh/h/carril)	740,30		847,01		691,62	

### 5.1.8 Módulo de análisis de capacidad.

Las tablas 28 a 32 muestran la capacidad ( $C_i$ ) de los grupos de carriles y su grado de saturación ( $X_i$ ). Un valor superior a 1 en el grado de saturación indica que la demanda vehicular excede la capacidad del grupo de carriles. Esto es particularmente evidente en los grupos de carriles que incluyen carriles compartidos.

- Capacidad del grupo de carriles:  $C_i$  (veh/h)

Usando la ecuación 10, tenemos:

$$\text{Acceso norte (1-2, 1-3)} \quad C_i = 2 \frac{854.96 * 40}{115} = 594.76$$

$$\text{Acceso norte (1-4)} \quad C_i = 2 \frac{1480.46 * 40}{115} = 1029.88$$

$$\text{Acceso sur (2-1)} \quad C_i = 2 \frac{1551.52 * 40}{115} = 1079.32$$

$$\text{Acceso sur (2-2, 2-3)} \quad C_i = 2 \frac{810.80 * 40}{115} = 564.04$$

$$\text{Acceso este (3-1)} \quad C_i = 2 \frac{1107.36 * 40}{115} = 866.63$$

$$\text{Acceso este (3-2, 3-4)} \quad C_i = 2 \frac{989.09 * 40}{115} = 774.07$$

$$\text{Acceso oeste (4-1, 4-2)} \quad C_i = 2 \frac{896.28 * 40}{115} = 701.44$$

$$\text{Acceso oeste (4-3)} \quad C_i = 2 \frac{1568.65 * 40}{115} = 1227.64$$

- Relación volumen-capacidad:  $x_i = v_i / c_i$

Usando la ecuación 11, tenemos:

$$\text{Acceso norte (1-2, 1-3)} \quad X_i = \frac{724}{594.76} = 1.22$$

$$\text{Acceso norte (1-4)} \quad X_i = \frac{334}{1029.88} = 0.32$$

$$\text{Acceso sur (2-1)} \quad X_i = \frac{1079.32}{115} = 0.34$$

$$\text{Acceso sur (2-2, 2-3)} \quad X_i = \frac{564.04}{115} = 1.16$$

$$\text{Acceso este (3-1)} \quad X_i = \frac{866.63}{115} = 0.40$$

$$\text{Acceso este (3-2, 3-4)} \quad X_i = \frac{774.07}{115} = 0.80$$

$$\text{Acceso oeste (4-1, 4-2)} \quad X_i = \frac{8701.44}{115} = 1.35$$

$$\text{Acceso oeste (4-3)} \quad X_i = \frac{1227.64}{115} = 0.26$$

Tabla 28. Nivel de capacidad para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte- Av. Hoyos Rubio.

Accesos Código	Norte			Sur			Este			Oeste		
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Capacidad del grupo de carriles: ci (veh/h)	600,23	600,23	1038,92	1067,27	557,77	557,77	866,61	74,07	774,07	693,64	693,64	1214,00
Relación volumen-capacidad: xi=vi/ci	1,21	1,21	0,32	0,35	1,18	1,18	0,40	0,80	0,80	1,36	1,36	0,26

Tabla 29. Nivel de capacidad para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Santa Teresa

Accesos Código	Norte			Sur			Este			Oeste		
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Capacidad del grupo de carriles: ci (veh/h)	727,93	727,93	1100,43	1206,76	804,87	764,60	853,19	950,83	950,83	738,88	738,88	1306,29
Relación volumen-capacidad: xi=vi/ci	1,03	1,03	0,28	0,31	1,05	1,05	0,43	0,69	0,69	0,97	0,97	0,21

Tabla 30. Nivel de capacidad para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Miguel Iglesias.

Acceso Código	Norte			Este			Sur			Oeste		
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Capacidad del grupo de carriles: ci (veh/h)	656,66	656,66	1137,86	1168,99	678,37	678,35	949,21	914,18	914,18	866,63	866,63	1329,62
Relación volumen-capacidad: xi=vi/ci	1,09	1,09	0,16	0,30	0,93	0,93	0,37	0,69	0,69	1,00	1,00	0,19

Tabla 31. Nivel de capacidad para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Chanchamayo.

Acceso	Norte			Sur			Este			Oeste		
	Código	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2
Capacidad del grupo de carriles: $c_i$ (veh/h)	567,92	567,92	1086,14	1115,86	599,34	599,32	906,06	777,77	777,77	760,32	760,32	1269,18
Relación volumen-capacidad: $x_i=v_i/c_i$	1,13	1,13	0,25	0,25	1,03	1,03	0,41	0,88	0,88	1,28	1,28	0,26

Tabla 32. Nivel de capacidad para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Angamos

Acceso	Oeste		Sur		Este		
	Código	1-2	1-3	3-1	3-2	2-3	2-1
Capacidad del grupo de carriles: $c_i$ (veh/h)		701,344		713,272		655,219	
Relación volumen-capacidad: $x_i=v_i/c_i$		1,002		0,943		1,167	

### 5.1.9 Módulo de nivel de servicio

Se calculó el nivel de servicio de cada intersección a nivel de accesos y en promedio total, teniendo en cuenta las demoras experimentadas por los usuarios que son elevadas. En este caso no se tomó en cuenta la demora por cola inicial puesto que la cola de vehículos se despejó durante el periodo de análisis, ya que el ciclo semafórico es las intersecciones son largos.

- Relación de verde: gi/c

$$\text{Acceso norte (1-2, 1-3, 1-4) gi/c} = \frac{40}{594.76} = 0.348$$

$$\text{Acceso sur (2-1, 2-2, 2-3) gi/c} = \frac{40}{115} = 0.348$$

$$\text{Acceso este (3-1, 3-2, 3-4) gi/c} = \frac{45}{115} = 0.391$$

$$\text{Acceso oeste (4-1, 4-2, 4-3) gi/c} = \frac{45}{115} = 0.391$$

- Demora uniforme: d1 (s/veh)

Utilizando la ecuación 13, tenemos:

$$\text{Acceso norte (1-2, 1-3) d1} = \frac{0.5*(1-0.348)*(1-0.348)}{1-(1.22*\frac{40}{115})} = 42.416$$

$$\text{Acceso norte (1-4) d1} = \frac{0.5*(1-0.348)*(1-0.348)}{1-(1.22*\frac{40}{115})} = 27.566$$

$$\text{Acceso sur (2-1) d1} = \frac{0.5*(1-0.348)*(1-0.348)}{1-(1.22*\frac{40}{115})} = 27.788$$

$$\text{Acceso sur (2-2, 2-3) d1} = \frac{0.5*(1-0.348)*(1-0.348)}{1-(1.22*\frac{40}{115})} = 41.071$$

$$\text{Acceso este (3-1) d1} = \frac{0.5*(1-0.348)*(1-0.348)}{1-(1.22*\frac{40}{115})} = 25.276$$

$$\text{Acceso este (3-2, 3-4) d1} = \frac{0.5*(1-0.348)*(1-0.348)}{1-(1.22*\frac{40}{115})} = 31.030$$

$$\text{Acceso oeste (4-1, 4-2) d1} = \frac{0.5*(1-0.348)*(1-0.348)}{1-(1.22*\frac{40}{115})} = 45.005$$

$$\text{Acceso oeste (4-3) } d1 = \frac{1227.64}{115} = 23.724$$

- Demora incremental: d2 (s/veh)

Utilizando la ecuación 14, tenemos:

$$\text{Acceso norte (1-2, 1-3) } d2 = 173 * 1.22^2 ((1.22-1) + \sqrt{(1.22 - 1)^2 + (16 * \frac{1.22}{594.76})}) = 128.203$$

$$\text{Acceso norte (1-4) } d2 = 173 * 0.32^2 ((0.32-1) + \sqrt{(0.32 - 1)^2 + (16 * \frac{0.32}{1029.88})}) = 0.068$$

$$\text{Acceso sur (2-1) } d2 = 173 * 0.34^2 ((0.34-1) + \sqrt{(0.34 - 1)^2 + (16 * \frac{0.34}{1079.32})}) = 0.080$$

$$\text{Acceso sur (2-2, 2-3) } d2 = 173 * 1.16^2 ((1.16-1) + \sqrt{(1.16 - 1)^2 + (16 * \frac{1.16}{564.04})}) = 95.272$$

$$\text{Acceso este (3-1) } d2 = 173 * 0.40^2 ((0.40-1) + \sqrt{(0.40 - 1)^2 + (16 * \frac{0.40}{866.63})}) = 0.172$$

$$\text{Acceso este (3-2, 3-4) } d2 = 173 * 0.80^2 ((0.8-1) + \sqrt{(0.80 - 1)^2 + (16 * \frac{0.80}{774.07})}) = 4.214$$

$$\text{Acceso oeste (4-1, 4-2) } d2 = 173 * 1.35^2 ((1.35-1) + \sqrt{(1.35 - 1)^2 + (16 * \frac{1.35}{701.44})}) = 229.824$$

$$\text{Acceso oeste (4-3) } d2 = 173 * 0.26^2 ((0.26-1) + \sqrt{(0.26 - 1)^2 + (16 * \frac{0.26}{1227.64})}) = 0.027$$

- Demora media por control de grupo: d (s/veh)

Utilizando la ecuación 12, tenemos:

$$\text{Acceso norte (1-2, 1-3) } d = 42.416 + 128.203 = 170.618$$

$$\text{Acceso norte (1-4) } d = 27.566 + 0.068 = 27.634$$

$$\text{Acceso sur (2-1) } d = 27.788 + 0.080 = 27.868$$

$$\text{Acceso sur (2-2, 2-3) } d = 41.071 + 95.272 = 136.344$$

$$\text{Acceso este (3-1) } d = 25.276 + 0.172 = 25.448$$

$$\text{Acceso este (3-2, 3-4) } d = 31.030 + 4.214 = 35.244$$

$$\text{Acceso oeste (4-1, 4-2) } d = 45.005 + 229.824 = 274.828$$

Acceso oeste (4-3)  $d=23.724+0.027=23.751$

- Nivel de servicio del grupo de carriles

Según la tabla 1, se calcula el nivel de servicio para cada grupo de movimiento

Acceso norte (1-2, 1-3) nivel de servicio F

Acceso norte (1-4) nivel de servicio C

Acceso sur (2-1) nivel de servicio C

Acceso sur (2-2, 2-3) nivel de servicio F

Acceso este (3-1) nivel de servicio C

Acceso este (3-2, 3-4) nivel de servicio D

Acceso oeste (4-1, 4-2) nivel de servicio F

Acceso oeste (4-3) nivel de servicio C

- Demora en toda la intersección (s/veh)

Usando la ecuación 17, tenemos para la intersección de Vía de Evitamiento norte y Av. Hoyos Rubio:

$$dI = \frac{((170 \cdot 724) + (334 \cdot 27.34) + (27.868 \cdot 372) + (656 \cdot 136.344) + (348 \cdot 25.448) + (35.244 \cdot 620) + (624 \cdot 274.82) + (23.751 \cdot 320))}{(724 + 334 + 372 + 656 + 348 + 620 + 624 + 320)}$$

$$dI = 110.65 \text{ s/veh}$$

De la tabla 1 tenemos que el nivel de servicio para la intersección semaforizada de la Av. Vía de Evitamiento Norte y Av. Hoyos Rubio es del nivel F

Tabla 33. Nivel de servicio para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte- Av. Hoyos Rubio.

Accesos Código	Norte			Sur			Este			Oeste		
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Relación de verde: gi/c	0,348	0,348	0,348	0,348	0,348	0,391	0,391	0,391	0,391	0,391	0,391	0,391
Demora uniforme: d1 (s/veh)	42,416	27,566	27,788	41,071	25,276	31,030	45,005	23,724				
Demora incremental: d2 (s/veh)	128,203	0,068	0,080	95,272	0,172	4,214	229,824	0,027				
Demora media por control de grupo: d (s/veh)	170,618	27,634	27,868	136,344	25,448	35,244	274,828	23,751				
Nivel de servicio del grupo de carriles	F	C	C	F	C	D	F	C				
Demora en toda la intersección (s/veh)						110,65						
Nivel de servicio global de la intersección						F						

Tabla 34. Nivel de servicio para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Santa Teresa

Accesos Código	Norte			Sur			Este			Oeste		
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Relación de verde: gi/c	0,368	0,368	0,368	0,368	0,421	0,421	0,421	0,421	0,421	0,421	0,421	0,421
Demora uniforme: d1 (s/veh)	30,590	21,094	21,434	30,930	19,454	22,440	26,894	17,476				
Demora incremental: d2 (s/veh)	34,590	0,037	0,052	39,218	0,227	1,498	19,034	0,013				
Demora media por control de grupo: d (s/veh)	65,180	21,131	21,486	70,147	19,682	23,937	45,928	17,488				
Nivel de servicio del grupo de carriles	E	C	C	E	B	C	D	B				
Demora en toda la intersección (s/veh)						35,62						
Nivel de servicio global de la intersección						D						

Tabla 35. Nivel de servicio para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Miguel Iglesias.

Acceso Código	Norte			Este			Sur			Oeste		
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Relación de verde: gi/c	0,381	0,381	0,381	0,381	0,381	0,381	0,429	0,429	0,429	0,429	0,429	0,429
Demora uniforme: d1 (s/veh)	34,414	21,455	22,726	31,080	20,339	24,360	29,932	18,632				
Demora incremental: d2 (s/veh)	56,917	0,006	0,046	13,513	0,113	1,572	22,814	0,008				
Demora media por control de grupo: d (s/veh)	91,331	21,461	22,772	44,593	20,452	25,933	52,746	18,641				
Nivel de servicio del grupo de carriles	F	C	C	D	C	C	D	B				
Demora en toda la intersección (s/veh)						37,24						
Nivel de servicio global de la intersección						D						

Tabla 36. Nivel de servicio para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Chanchamayo.

Acceso Código	Norte			Sur			Este			Oeste		
	1-2	1-3	1-4	2-1	2-3	2-4	3-1	3-2	3-4	4-1	4-2	4-3
Relación de verde: gi/c	0,364	0,364	0,364	0,364	0,364	0,364	0,409	0,409	0,409	0,409	0,409	0,409
Demora uniforme: d1 (s/veh)	37,737	24,468	24,474	35,704	23,031	30,095	40,260	21,475				
Demora incremental: d2 (s/veh)	75,949	0,025	0,025	37,814	0,171	8,408	170,084	0,025				
Demora media por control de grupo: d (s/veh)	113,686	24,494	24,499	73,518	23,203	38,503	210,344	21,500				
Nivel de servicio del grupo de carriles	F	C	C	E	C	D	F	B				
Demora en toda la intersección (s/veh)						66,22						
Nivel de servicio global de la intersección						E						

Tabla 37. Nivel de servicio para intersección Av. Vía de Evitamiento Norte-Jr. Angamos

Acceso	Oeste		Sur			Este	
	Código	1-2	1-3	3-1	3-2	2-3	2-1
Relación de verde: $g/c$		0,47		0,42			0,47
Demora uniforme: $d1$ (seg/veh)		25,046		26,41			29,44
Demora incremental: $d2$ (s/veh)		26,63		15,33			95,72
Demora por acceso: $d_a$ (s/veh)		51,67		41,75			125,17
Nivel de servicio por acceso		D		D			F
Demora en toda la intersección (s/veh)				83,46			
Nivel de servicio global de la intersección				F			

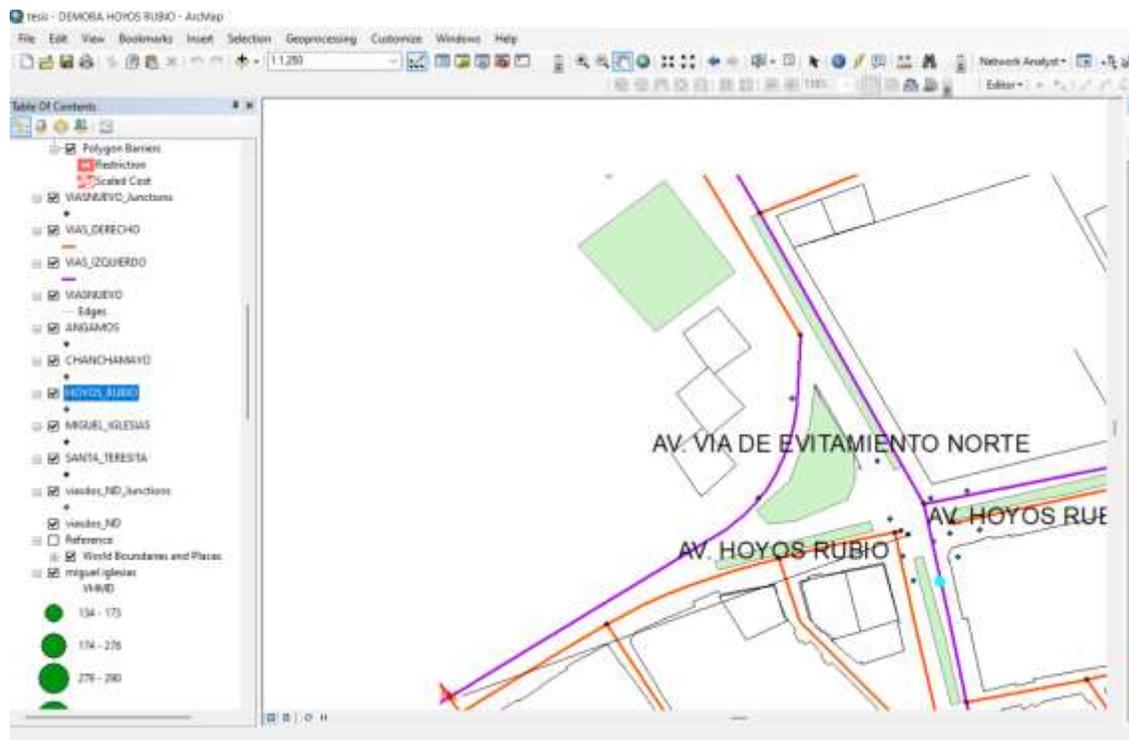
### 5.1.10 Reporte del modelamiento en ArcGIS.

La investigación utilizó el software ArcGIS para modelar y analizar la capacidad y el nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas, siguiendo la metodología del HCM 2016. Se procesaron los datos recopilados, incluyendo los volúmenes de tránsito (vehicular y peatonal) y las características geométricas de los accesos de las intersecciones.

Se utilizó el software ArcGIS para el procesamiento, análisis y modelamiento de los datos espaciales, siguiendo el procedimiento:

- En el programa se geolocalizaron los datos de campo mediante sus coordenadas, ingresándolos como puntos para cada dirección de movimiento en las intersecciones semaforizadas. Se generaron shapefiles para cada intersección, conteniendo información sobre la geometría, el flujo vehicular y peatonal, y la ubicación geográfica, como se detalla en la figura 25.

Figura 25. Creación de puntos geolocalizados con los datos de entrada



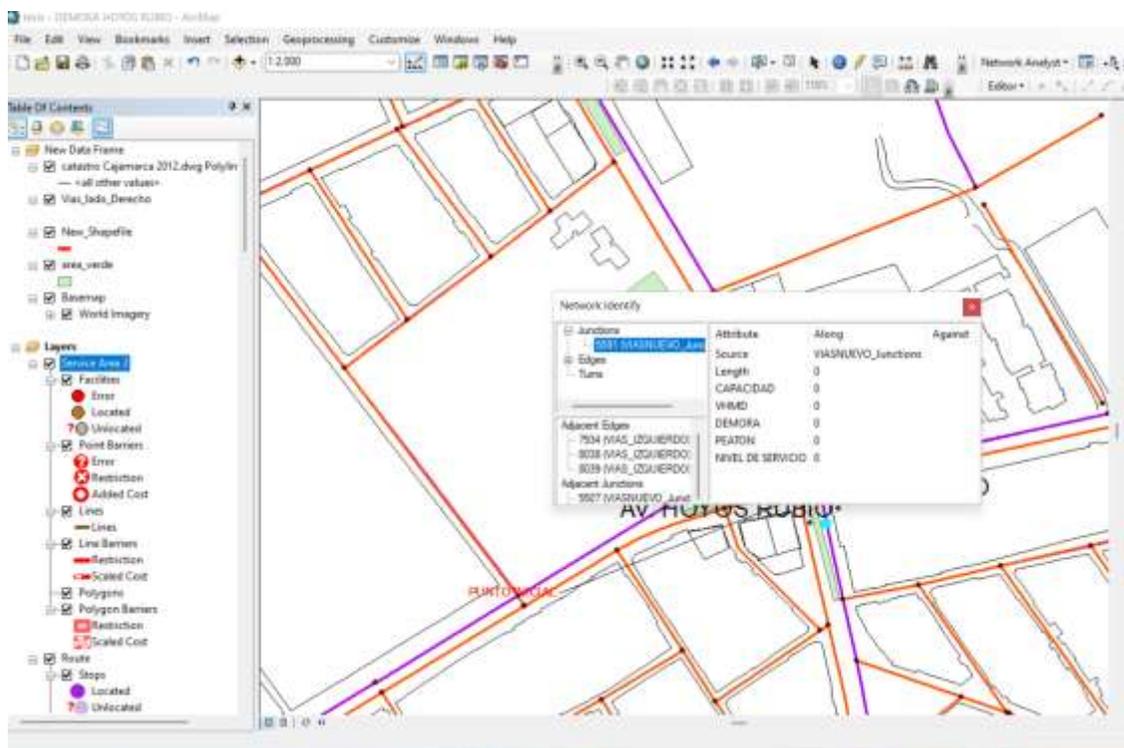
- En tabla de atributos ingresamos los datos de entrada condiciones geométricas, flujo vehicular, flujo peatonal y condiciones semafóricas, para ser procesadas con las herramientas de ArcGis.

Figura 26. Tabla de atributos con los datos de entrada

FID	Shape *	DIRECCION	ANCHO_DEL	VHMD	PEATON	CAPACIDAD	DEMORA	NIVEL_D	FOTOS	VIDEOS
0	Point	1-3	0	345	74	0.533	49.8	D	"D:(MEGA)	
1	Point	2-2	0	326	132	0.533	46.14	D	"D:(MEGA)	
2	Point	3-2	0	327	140	0.437	121.18	F	"D:(MEGA)	
3	Point	4-2	0	293	150	0.437	187.8	F		

- Usando las herramientas de NETWORK ANALISIS, se procesó los datos obtenidos en campo, para modelar y obtener el nivel de servicio de las intersecciones semaforizadas. Además, se realizaron operaciones de geoprocresamiento para analizar la capacidad y el nivel de servicio, incluyendo el cálculo de la demora promedio, la relación volumen-capacidad (V/C) y la clasificación del nivel de servicio.
- Con los datos de red vial, se realizó un análisis de red para modelar el flujo de tráfico

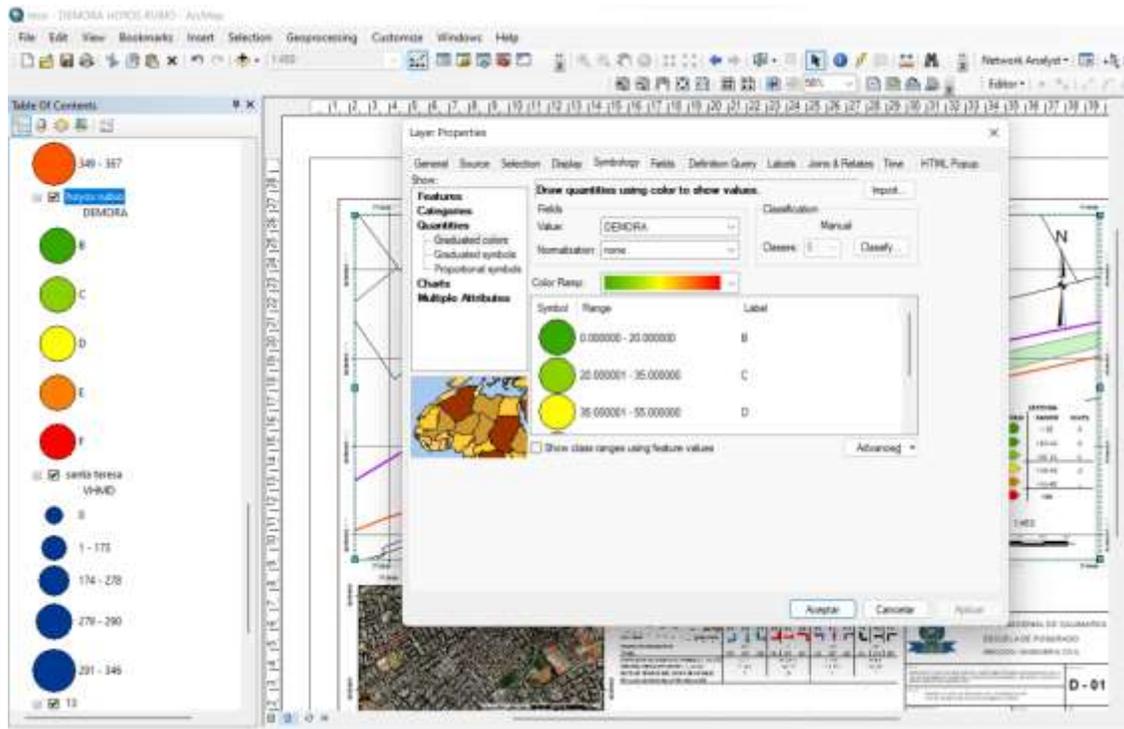
Figura 27. Uso de herramientas de análisis geoespacial y modelado del software



- Se realizaron análisis espaciales para identificar patrones de congestión y áreas críticas.
- Se generaron mapas temáticos para visualizar la distribución espacial de la congestión, la demora y el nivel de servicio.
- Obtenido los niveles y capacidad de servicio se los representa mediante graficas según sus rangos usando simbología y etiquetas, activando campos utilizando escala de

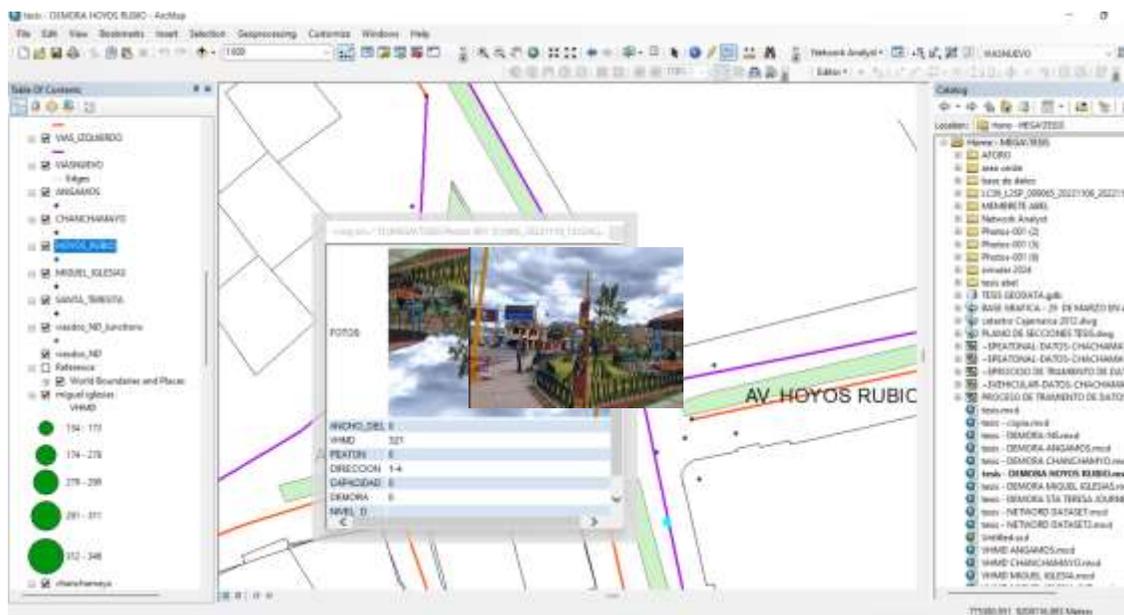
colores, para que permita visualizar la distribución de las demoras y destacando las intersecciones con demoras superiores a 80 segundos.

Figura 28. Escala de colores para la representación de los niveles de servicio.



- Finalmente se inserta las fotos y videos georreferenciados de cada de las intersecciones, como se detalla en la figura 29. Asimismo, la utilización de ArcGIS 10.5 ha permitido visualizar y analizar los datos espaciales de las intersecciones, facilitando la comprensión de la eficiencia del tráfico y la identificación de áreas de mejora.

Figura 29. Inserción fotos geolocalizadas del aforo vehicular en el programa de arcgis



- El programa integró información de aforo vehicular y peatonal, ciclo semafórico y características geométricas para calcular la capacidad de los carriles, la demora y el nivel de servicio en cada intersección. Esta información se visualizó mediante mapas temáticos que muestran la distribución espacial de la congestión vehicular, la demora promedio y el nivel de servicio. Los anexos de reportes de ArcGIS incluyen gráficos que representan las demoras por acceso a cada intersección, con datos georreferenciados, complementando los resultados del modelamiento.

## 5.2 Análisis, interpretación y discusión de resultados.

### 5.2.1 Demora promedio de las intersecciones semaforizadas.

El análisis de la demora promedio por vehículo en cada intersección semaforizada revela una situación crítica de congestión en la Av. Vía de Evitamiento Norte. Los tiempos de demora registrados superan significativamente los 80 segundos por vehículo en la mayoría de las intersecciones, indicando un nivel de servicio F (congestión extrema) según la metodología HCM 2016. Específicamente, se observa que la Intersección Av. Hoyos

Rubio y Av. Vía De Evitamiento Sur es de 92.16 s/veh; Jr. Chanchamayo y Av. Vía De Evitamiento Sur es de 66.22 s/veh, Jr. Angamos y Av. Vía De Evitamiento Sur es de 83.46 s/veh, Jr. Miguel Iglesias y Av. Vía De Evitamiento Sur es de 37.24 s/veh, en la intersección Jr. Santa teresa y Av. Vía De Evitamiento Sur es de 35.62 s/veh. Específicamente, la intersección de Av. Hoyos Rubio y Av. Vía de Evitamiento Sur presenta la mayor demora promedio con 92.16 segundos por vehículo. Las demás intersecciones también registran demoras significativas, superando los 35 segundos por vehículo, lo que evidencia una problemática generalizada en la vía.

Así pues, estas demoras prolongadas tienen un impacto negativo en la eficiencia del transporte, generando retrasos significativos en los tiempos de viaje para los usuarios, así como un aumento en los costos económicos y sociales asociados a la congestión.

Los resultados obtenidos son consistentes con estudios previos como el de Gomez & Delgado (2022), quienes determinaron en su investigación que existe una demora general de 23.97 seg/veh, categorizando la intersección con un nivel de servicio C. Se identificaron los principales problemas de congestión en los carriles debido a los estacionamientos permitidos. Asimismo, en el estudio de Rey Fuentes (2024) encontró un nivel de servicio "D" con una demora de 50 seg/veh o 0.83 min/veh en una intersección similar. Esto sugiere que, aunque la propuesta de paso a desnivel sentido N-S puede ser una solución viable a largo plazo, se requieren medidas adicionales para mitigar la congestión vehicular en la Av. Vía de Evitamiento Norte.

### **5.2.2 Capacidad de las intersecciones semaforizadas en la Av. Vía de Evitamiento norte.**

El análisis de capacidad vial, utilizando la metodología HCM 2016, indica que la demanda vehicular en la Av. Vía de Evitamiento Norte supera la capacidad de las intersecciones en la mayoría de los casos. Las relaciones volumen-capacidad (V/C)

calculadas superan el valor crítico de 1.00, confirmando la presencia de congestión. La relación v/c del grupo de carriles son: Av. Hoyos Rubio y Av. Vía de Evitamiento norte, norte (1-2, 1-3)=1.21, (1-4) = 0.32; sur (2-1)=0.35, (2-2, 2-3) =1.18; este (3-1)=0.40, (3-2, 3-4) =0.80; oeste (4-1, 4-2)=1.36, (4-3) =0.26, la intersección de Jr. Santa Teresa y Av. Vía de Evitamiento norte (1-2, 1-3) =1.03, (1-4) = 0.28; sur (2-1)=0.31, (2-3, 2-4) =1.05; este (3-1)=0.43, (3-2,3-4) =0.69; oeste (4-1, 4-2)=0.97, (4-3) =0.21, intersección de Jr. Miguel Iglesias y Av. Vía de Evitamiento norte (1-2, 1-3)=1.09, (1-4) = 0.16; sur (2-1)=0.30, (2-3, 2-4) =0.93; este (3-1)=0.37, (3-2, 3-4) =0.69; oeste (4-1, 4-2)=1.00, (4-3) =0.19, intersección de Jr. Chanchamayo y Av. Vía de Evitamiento, norte (1-2, 1-3)=1.13, (1-4) = 0.25; sur (2-1)=0.25, (2-3, 2-4) =1.03; este (3-1)=0.41, (3-2, 3-4) =0.88; oeste (4-1, 4-2)=1.28, (4-3) =0.26, Jr. Angamos y Av. Vía de Evitamiento en el acceso oeste (1-2, 1-3) = 1.00; sur (3-1, 3-2) =0.94; este (2-3, 2-1) = 1.17.

En efecto, el análisis de capacidad vial, utilizando la metodología HCM 2016, reveló que la demanda vehicular en la Av. Vía de Evitamiento Norte supera la capacidad de las intersecciones en la mayoría de los casos. Las relaciones volumen-capacidad (V/C) calculadas superan el valor crítico de 1.00, confirmando la presencia de congestión en la zona. Este exceso de demanda se evidencia especialmente durante las horas pico, exacerbado por el incremento del parque automotor en la ciudad, incluyendo el notable aumento de mototaxis. La capacidad vial insuficiente genera una operación ineficiente en las intersecciones, con tiempos de espera prolongados y una alta probabilidad de accidentes.

Por lo tanto, los resultados obtenidos en este estudio coinciden con los hallazgos de Flores et al (2021), quienes también encontraron un nivel de servicio D en una intersección similar, con una demora de 46 segundos y una relación volumen-capacidad (v/c) de 1.06.

### **5.2.3 Nivel de servicio de la Av. Vía de Evitamiento norte.**

Las intersecciones de Av. Hoyos Rubio con Av. Vía de Evitamiento Norte, Jr. Angamos con Av. Vía de Evitamiento Norte presentan un nivel de servicio F, lo que indica una operación inestable, con demoras significativas, tiempos de espera prolongados y una baja calidad de servicio para los usuarios. La intersección Jr. Teresa de Journet con Av. Vía de Evitamiento Norte y Jr. Miguel Iglesias con Av. Vía de Evitamiento Norte presentan un nivel de servicio D, mientras que la intersección Jr. Chanchamayo y Av. Vía de Evitamiento Norte presenta un nivel de servicio E.

Estos resultados revelan una situación crítica de congestión en las intersecciones semaforizadas de la Av. Vía de Evitamiento Norte de Cajamarca. La capacidad de las vías es insuficiente para atender la demanda vehicular actual, lo que genera un nivel de servicio F, con demoras significativas y una operación ineficiente. Esta situación tiene implicaciones importantes para la movilidad urbana, la calidad de vida de los ciudadanos y el desarrollo económico de la ciudad. Se requieren medidas de mejora urgentes para solucionar este problema.

En Efecto, estos resultados obtenidos concuerdan con los hallazgos de Flores et al (2021), quienes encontraron un nivel de servicio D en una intersección similar, con una demora global de la intersección que asciende a los 46 segundos. Aunque las estimaciones difieren levemente con el cálculo desarrollado, ambos estudios sugieren que la demanda vehicular supera en gran medida a la oferta vial que la intersección ofrece, lo que demuestra la urgente necesidad de una solución al problema de tráfico que esta presenta. Para el resto de días de análisis, los niveles de servicio presentan ligeras variaciones, fluctuando entre D, E y F, lo que se traduce en molestas demoras experimentadas por los usuarios de las avenidas.

Igualmente, los resultados coinciden con los hallazgos de Soler et al (2022), quienes encontraron que la falta de carriles exclusivos para la circulación en los accesos secundarios genera una incidencia negativa en las corrientes vehiculares de alta demanda, lo que cambia la condición de operación de favorable (nivel de servicio C) a malo (nivel de servicio E).

#### **5.2.4 Modelamiento en el programa ArcGis.**

El modelamiento en ArcGIS complementó el análisis realizado con la metodología HCM 2016, ofreciendo una visualización espacial de los datos de aforo, capacidad y nivel de servicio. La geocodificación de datos de campo permitió la creación de shapefiles que representaron espacialmente las intersecciones, facilitando la identificación de patrones de congestión y la comprensión de la distribución espacial de las demoras y los niveles de servicio. Herramientas de análisis espacial, como el análisis de red y la densidad de puntos, generaron mapas temáticos que mostraron la distribución espacial de las demoras, la relación volumen-capacidad, y los niveles de servicio, corroborando los resultados del HCM 2016.

La integración de datos de aforo, características geométricas y resultados del HCM 2016 en un entorno SIG proporcionó un análisis más completo e integrado que la simple aplicación del HCM 2016. La visualización espacial facilitó la interpretación de los resultados y la identificación de áreas que requieren mayor atención para mejorar la movilidad urbana. Esta integración de datos permitió una comprensión más profunda de la problemática de la congestión vehicular en la Av. Vía de Evitamiento Norte.

A pesar de las limitaciones del modelamiento, como la precisión del GPS y la simplificación del modelo, ArcGIS proporcionó una herramienta valiosa para la visualización, el análisis y la interpretación de los datos, además contribuyó a una

comprensión más completa de la problemática de la congestión vehicular en la Av. Vía de Evitamiento Norte.

### **5.2.5 Determinación de ciclo semafórico.**

El análisis de cinco intersecciones semaforizadas en la Av. Vía de Evitamiento Norte de Cajamarca reveló tiempos de verde insuficientes durante las horas pico, resultando en demoras significativas. Tres intersecciones mostraron demoras superiores a 80 segundos (nivel de servicio F, congestión extrema), mientras que las otras dos presentaron demoras menores, pero aún significativas (niveles de servicio D y E). Esta insuficiencia se debe a relaciones volumen-capacidad superiores a 1.0, indicando saturación del sistema, agravada por la alta proporción de mototaxis.

Aunque la duración de los ciclos varía, no se optimiza para la demanda, requiriendo ajustes. La congestión también se atribuye a deficiencias geométricas, estacionamientos en vía y prácticas de conducción, sugiriendo la necesidad de estrategias integrales de mejora. Los resultados confirman la hipótesis de que los ciclos semafóricos actuales contribuyen significativamente a las demoras vehiculares. Se necesitan análisis más profundos para optimizar la programación semafórica en cada intersección.

Los resultados de este estudio concuerdan con Soler et al (2022), quienes en su investigación recomienda considerar los ciclos semafóricos en los análisis de capacidad y nivel de servicio para este tipo de intersecciones, ya que su influencia es significativa en la movilidad urbana. La investigación aporta información valiosa sobre la influencia de los ciclos en el tránsito y propone un factor de equivalencia que puede ser utilizado en otros estudios de tránsito en zonas urbanas con alta presencia de ciclos.

### **5.3 Contrastación de hipótesis.**

#### **5.3.1 Contrastación de hipótesis general.**

La hipótesis planteada en esta investigación afirmaba que las intersecciones semaforizadas de la Av. Vía de Evitamiento Norte en Cajamarca, evaluadas con la metodología HCM 2016, presentan un nivel de servicio F (congestión extrema) debido al aumento del volumen de tráfico, especialmente por el incremento del parque automotor, incluyendo el notable aumento de mototaxis, y la falta de capacidad vial para atender la demanda vehicular actual. Los resultados obtenidos confirman la hipótesis. El análisis, empleando el HCM 2016, reveló que la mayoría de las intersecciones presentan un nivel de servicio F (congestión extrema), con demoras promedio que superan los 80 segundos por vehículo. Este hallazgo se debe al aumento del volumen de tráfico, especialmente por el incremento del parque automotor, incluyendo el notable aumento de mototaxis, y la falta de capacidad vial para atender la demanda vehicular actual.

#### **5.3.2 Contrastación de hipótesis específicas.**

- La hipótesis planteaba que la relación volumen-capacidad (V/C) en las intersecciones semaforizadas de la Av. Vía de Evitamiento Norte de Cajamarca superaría el valor crítico de 1.0 durante las horas pico, según la metodología HCM 2016. La comparación de esta predicción con los resultados obtenidos muestra que la mayoría de los valores de V/C superaron 1.0, confirmando la hipótesis.
- La hipótesis específica que el ciclo semafórico actual en las intersecciones estudiadas no es óptimo, generando demoras significativas en el flujo vehicular y peatonal. Esta hipótesis se contrastó analizando la demora promedio por vehículo calculada con la metodología HCM 2016 y los niveles de servicio resultantes. Los resultados mostraron que en tres de las cinco intersecciones analizadas (Av. Hoyos Rubio, Jr. Chanchamayo, Jr. Angamos), las demoras promedio superaron significativamente los 80 segundos por

vehículo, indicando un nivel de servicio F (congestión extrema) según el HCM 2016. En las otras dos intersecciones (Jr. Santa Teresa y Jr. Miguel Iglesias), las demoras, aunque menores, superaron los 35 segundos, indicando niveles de servicio D y E, respectivamente, lo cual también representa una condición de operación subóptima. Los resultados obtenidos confirman la hipótesis planteada

- La hipótesis planteó que la demora promedio por vehículo en las intersecciones semaforizadas de la Av. Vía de Evitamiento Norte en Cajamarca, durante las horas pico, superaría significativamente los 80 segundos, según la metodología HCM 2016. Según el análisis de la demora promedio por vehículo en cada intersección semaforizada, la intersección Av. Hoyos Rubio y Av. Vía de Evitamiento Sur presenta la mayor demora promedio (92.16 segundos por vehículo). Las demás intersecciones también registran demoras significativas, superando los 35 segundos por vehículo en la mayoría de los casos, lo que evidencia una problemática generalizada de congestión a lo largo de la vía. Estos resultados confirman la hipótesis.

## CONCLUSIONES

- La mayoría de las intersecciones estudiadas presentan un nivel de servicio F (congestión extrema), con demoras promedio superiores a los 80 segundos por vehículo. Las intersecciones de Av. Hoyos Rubio, Jr. Angamos y Jr. Chanchamayo con la Av. Vía de Evitamiento Norte presentan los niveles de servicio más bajos, lo que indica una operación inestable, con demoras significativas, tiempos de espera prolongados y una baja calidad de servicio para los usuarios.
- La capacidad de las intersecciones es insuficiente para atender la demanda vehicular actual, especialmente durante las horas pico. La capacidad máxima de las intersecciones semaforizadas se encuentra en la intersección de Hoyos Rubio, Chanchamayo y Angamos, con un valor de 1033 (veh/h). La relación volumen-capacidad (V/C) calculada supera el valor crítico de 1.00 en la mayoría de los casos, confirmando la presencia de congestión.
- Se registraron demoras promedio superiores a los 80 segundos por vehículo en varias intersecciones, impactando significativamente en los tiempos de viaje de los usuarios. La intersección de Hoyos Rubio presentó la mayor demora promedio. La intersección de Hoyos Rubio presenta la mayor demora promedio con 92.16 segundos por vehículo, seguida de las intersecciones de Angamos (83.46 seg/veh), Chanchamayo (66.22 seg/veh), Miguel Iglesias (37.24 seg/veh) y Santa Teresa (35.62 seg/veh).
- El uso de ArcGIS ha sido fundamental para el análisis y la interpretación de los resultados de esta investigación. La representación cartográfica facilitó la identificación de puntos críticos de congestión. La plataforma ha permitido comprender en mayor profundidad la eficiencia del tráfico en áreas específicas y tomar decisiones fundamentadas para su mejora. La integración de datos de campo con la capacidad de

análisis y modelado de ArcGIS ha permitido optimizar el proceso de análisis y ha facilitado la actualización continua de la base de datos.

- El análisis de los ciclos semafóricos en las cinco intersecciones de la Av. Vía de Evitamiento Norte en Cajamarca revela una problemática de tiempos de verde insuficientes en la fase principal para la demanda vehicular durante las horas pico. Esto resulta en demoras promedio significativas, superando los 80 segundos en tres intersecciones, indicando un nivel de servicio F (congestión extrema) según el HCM 2016. Aunque la duración de los ciclos varía entre intersecciones, la falta de optimización contribuye significativamente a las demoras. La alta proporción de mototaxis en el flujo vehicular exacerba esta situación. Por lo tanto, se concluye que los ciclos semafóricos actuales no son óptimos y requieren ajustes para mejorar la eficiencia del tránsito y reducir las demoras.

## RECOMENDACIONES

- Optimizar la gestión del tráfico implementando sistemas de gestión de tráfico inteligentes (ITS) para optimizar la sincronización semafórica y mejorar el flujo vehicular. Esto incluye la integración de datos en tiempo real (tráfico, condiciones climáticas) para una gestión más eficiente.
- Se recomienda continuar la investigación integrando ArcGIS con Google Maps y Waze. ArcGIS servirá como plataforma central para integrar datos estáticos de Google Maps (red vial, puntos de interés) y datos dinámicos de Waze (velocidad, incidentes, densidad de tráfico en tiempo real). Esta integración permitirá una toma de decisiones más precisa y efectiva, facilitando la identificación de cuellos de botella, zonas de congestión recurrentes y patrones de flujo vehicular, y proporcionando una visión más completa y detallada de la situación del tráfico. Esto facilitará la implementación de mejoras.
- Se recomienda la implementación de un sistema de sincronización semafórica mediante la técnica de "olas verdes", cuyo objetivo principal es que los vehículos puedan circular a una velocidad constante, sin detenerse en cada semáforo. Este sistema optimizaría el flujo vehicular, reduciendo los tiempos de espera y mejorando el nivel de servicio, especialmente durante las horas pico. Se recomienda un estudio de factibilidad para determinar la configuración óptima de las "olas verdes" para la Av. Vía de Evitamiento Norte, considerando las características geométricas de las intersecciones, el flujo vehicular y la presencia de mototaxis. Usando programas como Vissim o Synchro, se simulará el sistema para asegurar su eficacia antes de implementarlo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto Pérez, K. I. (2025). *Influencia de la sincronización de semáforos "Ola verde" en el flujo vehicular y peatonal de la zona monumental de la ciudad de Cajamarca*. Cajamarca: Tesis para Optar el Grado de Maestro en Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Cajamarca - Escuela de Posgrado.
- Arias Monge, F. A. (2016). *Estudio de índices de tráfico del distrito metropolitano*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Ascue Yendo, R. I. (2016). *Comunicación para promover una actitud crítica y preventiva ante una ciudad que prioriza el tránsito vehículo motorizado sobre la movilidad peatonal*. Lima: Tesis para optar el grado de Magister en Comunicaciones para el Cambio Social. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Bonilla, W. (2016). *Plan integral de señalización y semaforización vial del Cantón Guano, Provincia de Chimborazo, durante el periodo Octubre 2015 a Octubre 2016,*. Chimborazo: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo,.
- Cal Y Mayor, R. e. (2015). *Manual de planeación y diseño para la administración del tránsito y el transporte. Planeación del transporte urbano*. Mexico: Alfaomega.
- Dominguez, L., Jimenez, D., Roca, N., & Zarate, D. (2022). *El uso de Sistemas de Información Geográfica para la determinación de puntos de congestión vehicular asociados a la Metrovía (troncal 3) en la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil: Artes: Architecture, Technology and Sustainability.
- ESRI. (2016). Obtenido de <https://www.arcgis.com/features/features.html>.
- Estela Velásquez, N. D. (2024). *Capacidad y nivel de servicio de la avenida el maestro entre la Avenida Los Héroes y Jirón El Inca de la ciudad de Cajamarca, por el uso de*

*carriles como estacionamiento – 2023*. Cajamarca: Tesis para Optar el Grado de Maestro en Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Cajamarca – Escuela de Posgrado.

Estrada Polanco, L. S., & Rodriguez Vega, L. T. (2017). *Propuesta para mejorar los niveles de servicio*. Lima: Tesis para Obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Flor Chávez, G., Flores Amon, G., Cabrera Montes, F., Villata Guznay, E., & Chalen Medina, J. (2021). Análisis de capacidad vial de la Av. Rodolfo Baquerizo. *Universidad de Guayaquil*, 10.

Flores Lozano, L. A. (2024). *Análisis y evaluación de la capacidad vehicular y nivel de servicio aplicando la metodología del HCM 2010 y simulación con el software synchro plus 11.1. en la intersección semaforizada en la Av. San Martín de Porres y Av. Héroes del Cenepa*. Cajamarca: Tesis para Obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil. Universidad Nacional de Cajamarca.

Frisancho Camero, F. L. (2021). *Evaluación del nivel de servicio en flujos vehiculares del óvalo Cuzco-Tacna 2019 y simulación de paso a desnivel sentido n-s utilizando synchro v.8*. Tacna: Para Optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería Civil con Mención en Transportes. Universidad Privada de Tacna.

Gómez , J., & Delgado, D. (2022). El congestionamiento vehicular, análisis y propuesta de solución: intersección semaforizada entre avenidas américa y reales tamarindos, Portoviejo, Ecuador. *Instituto de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí*.

Gonzales Chirinos, J. W., & Machaca Arapa, J. L. (2021). *Niveles de servicio de la infraestructura vial para optimizar la transitabilidad vehicular en avenidas urbanas*.

Lima: Tesis para Obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil. Universidad Ricardo Palma - URP.

Highway Capacity Manual (2016). (s.f.). *A Guide for Multimodal Mobility Analysis*. Washington D.C: The National Research Council of Science-Engineering-Medicine.

Huaman Sangay, S. M. (2007). *Estudio del congestionamiento vehicular en la zona monumental de la ciudad de Cajamarca*. Cajamarca: S/E, 2007.

IPSUM. (2 de octubre de 2020). Obtenido de <https://reconstruccionaccidentestrafico.com/el-ciclo-semaforico-sabes-que-es-y-como-puede-ser-util-en-la-reconstruccion-de-un-accidente-de-traffic/>

Paucara Rojas, M. (2018). *Evaluación del nivel de servicio en flujos vehiculares de las intersecciones de la Av. Jorge Basadre Grohmann, utilizando Synchro V.8 – Tacna, 2018*. Tacna: Para Optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería Civil con Mención en Transportes. Universidad Privada de Tacna.

Pinos Mata, V. (2016). *Diseño de intersecciones en vías urbanas*. Azuay: Universidad del Azuay.

Rey Fuentes, V. A. (2024). *Propuesta de mejora de los niveles de servicio para mitigar la congestión vehicular en la intersección de la av. Abancay la intersección de las avenidas jr. Amazonas, jr. Ancash y jr. Junin, Lima – Cercado de Lima*. Lima: Para Optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería Civil con Mención en Dirección de la Construcción. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).

Romana, M. e. (2018). *Manual de Capacidad de Carretera HCM 2010*. 1er ed. España: FC Editorial.

Salazar Ríos, E. J., & Mendoza Bustinza, S. O. (2022). *Propuesta de mejora de la seguridad vial de la intersección de la Av. Garcilaso y Av. Bolivia aplicando el Sistema de Información Geográfica y el Manual de Seguridad Vial en el distrito de Cercado de Lima Perú*. Lima: Tesis para Obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Soler Sánchez, E., Campos Movilla, S., & Silva Cruz, M. (2022). Evaluación de la incidencia de los ciclos sobre el nivel de servicio de intersecciones no semaforizadas en la ciudad de Holguín. *Revista Científica de FAREM-Esteli*.

Thomson, I., & Bull, A. (2001). *La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales*. Santiago de Chile: División de Recursos Naturales e Infraestructura.

Valderrama C., G. (2015). *perutoptours*. Obtenido de [https://www.perutoptours.com/index06ca\\_mapa\\_departamento.html#google\\_vignette](https://www.perutoptours.com/index06ca_mapa_departamento.html#google_vignette)

**ANEXOS**