

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE SERVICIO VEHICULAR EN LAS VÍAS DEL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LA AVENIDA ANDRÉS ZEVALLOS – AVENIDA VÍA DE EVITAMIENTO SUR CUADRA NUEVE DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA 2020

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: INGENIERÍA CIVIL

Presentada por:

CÉSAR AMADO FLORES BAUTISTA

Asesor:

Dr. HERMES ROBERTO MOSQUEIRA RAMÍREZ

Cajamarca, Perú

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
César Amado Flores Bautista
DNI: 45019926
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería. Programa de Maestría en Ciencias, Mención: Ingeniería Civil
2. Asesor(a): Dr. Hermes Roberto Mosqueira 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:
Evaluación de los niveles de servicio vehicular en las vías del tramo comprendido entre la avenida Andrés Bello – avenida vía de evitamiento sur cuadra nueve de la ciudad de Cajamarca 2020
6. Fecha de evaluación: **13/01/2026**
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (ORIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **13%**
9. Código Documento: **3117:546039273**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ **APROBADO** ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **04/03/2026**



.....
Dr. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez
DNI 26673916

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2025 by
CÉSAR AMADO FLORES BAUTISTA
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 MAESTRÍA EN CIENCIAS



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 10:00 horas, del día 16 de Diciembre de dos mil veinticinco, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **DR. MAURO AUGUSTO CENTURIÓN VARGAS, M. EN I. JOSÉ BENJAMÍN TORRES TAFUR, M. CS. SERGIO MANUEL HUAMAN SANGAY** y en calidad de Asesor El **DR. HERMES ROBERTO MOSQUEIRA 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: **“EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE SERVICIO VEHICULAR EN LAS VÍAS DEL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE LA AVENIDA ANDRÉS ZEVALLOS - AVENIDA VÍA DE EVITAMIENTO SUR CUADRA NUEVE DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA 2020”**, presentada por el bachiller en Ingeniería Civil **CÉSAR AMADO FLORES BAUTISTA**.

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 17 (DIECISIETE) la mencionada TESIS; en tal virtud, el bachiller en Ingeniería Civil, **CÉSAR AMADO FLORES BAUTISTA**, 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 11:15 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

.....
Dr. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez
Asesor

.....
Dr. Mauro Augusto Centurión Vargas
Jurado Evaluador

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

.....
M. Cs. Sergio Manuel Huaman Sangay
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

A Dios, porque de él, y por él y para él, son todas las cosas; a papá Gustavo, por alentarme a seguir avanzando día a día, por marcar el norte a nuestras vidas; a mamá María, por todo su amor, sus consejos y años de sacrificios que ha dado por todos nosotros; a mis hermanas Anita, Mónica y a mi sobrino Christopher, por estar siempre presentes y enseñarme a ver el mundo de otra forma.

AGRADECIMIENTOS

A los profesores de posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, por transmitir sus conocimientos, en especial al Ing. Roberto Mosqueira, por las orientaciones, enseñanzas y por todo el apoyo incondicional dentro y fuera de los salones.

A todas las personas que han formado parte de pequeños y grandes momentos de alegría, de mucho aprendizaje y de apoyo incondicional.

A todos los que me han brindado esos consejos y enseñanzas que nunca van a pasar de moda.

A Todos ellos gracias infinitas.

César.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.1. Contextualización	1
1.1.2. Descripción del problema.....	4
1.1.3. Formulación del problema.....	6
1.2. Justificación e importancia	6
1.2.1. Justificación	6
1.2.2. Importancia.....	7
1.3. Delimitación de la investigación	7
1.3.1. Espacial	7
1.3.2. Temporal	7
1.3.3. Temática.....	8
1.3.4. Metodológica	8
1.4. Limitación.....	9
1.5. Objetivos de la investigación	9
1.5.1. Objetivo general.....	9
1.5.2. Objetivos específicos	9
CAPÍTULO II.....	11
MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial	11
2.2. Marco Conceptual.....	18
2.2.1. Clasificación del sistema vial urbano	19
2.2.2. Semaforización	20
2.2.3. Criterios para evaluar nivel de servicio en segmentos de calles urbanas....	23
2.2.4. Definición de segmento de calle urbana	23
2.2.5. Movimientos.....	24

2.2.6. Criterios de nivel de servicio	26
2.2.7. Datos de entrada	29
2.2.8. Metodología de HCM	31
2.2.9. Clasificación por tipo de vehículo	48
2.2.10. Synchro V8.0	49
2.3. Definición de términos básicos.....	52
2.3.1. Volumen:	52
2.3.2. Flujo vehicular.....	53
2.3.3. Velocidad	53
2.3.4. Demora.....	53
2.3.5. Congestionamiento:	53
2.3.6. Inventario vial.....	54
2.3.7. Características de Flujo	54
2.3.8. Índice medio diario anual (IMDA)	54
2.3.9. Educación vial.....	54
CAPÍTULO III.....	55
PLANEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	55
3.1 Hipótesis.....	55
3.1.1. Hipótesis general	55
3.2 Variables/ Categorías	55
3.2.1. Variable Independiente:	55
3.2.2. Variable Dependiente:	55
3.3 Operacionalización / categorización de los componentes de la hipótesis	56
CAPÍTULO IV	57
MARCO METODOLÓGICO	57
4.1. Ubicación geográfica.....	57
4.2. Diseño de la investigación.....	63
4.2.1. Tipo de investigación	63
4.2.2. Metodología.....	64
4.3. Métodos de la investigación	66
4.4. Población, muestra, unidad de análisis y unidades de observación	67
4.4.1. Población.....	67
4.4.2. Muestra.....	67
4.4.3. Unidad de análisis.....	67
4.4.4. Unidades de observación.....	67
4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información.....	68
4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información	70

4.7. Equipos, materiales, insumos.....	70
4.7.1. Equipos.....	70
4.7.2. Materiales e insumos	70
4.8. Matriz de consistencia metodológica	71
CAPÍTULO V	72
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
5.1. Presentación de resultados	72
5.1.1. Características geométricas del tramo en estudio (Av. Andrés Bello- Av. Vía de Evitamiento Sur)	72
5.1.2. Cálculo de resultados	83
5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados	110
5.3. Contratación de hipótesis	115
CONCLUSIONES	117
RECOMENDACIONES.....	118
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
ANEXOS.....	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parque automotor nacional estimado por clase de vehículo por año.....	3
Tabla 2. Niveles de servicio para automóviles.	27
Tabla 3. Coeficiente de grupo.....	27
Tabla 4. Factor de ajuste por coordinación para cálculo de la demora uniforme.....	29
Tabla 5. Datos de entrada	29
Tabla 6. Combinaciones usuales de grupos de carriles y de movimiento.....	32
Tabla 7. Ajuste por ancho de carril fw	34
Tabla 8. Operacionalización de los componentes de la hipótesis	56
Tabla 9. Ubicación de intersecciones semaforizadas de mayor demanda en coordenadas geográficas y coordenadas UTM WGS 84-17M.....	59
Tabla 10. Tipo de investigación	63
Tabla 11. Técnicas e instrumentos de recopilación de información.....	68
Tabla 12. Formato de conteo vehicular y recolección de datos.....	69
Tabla 13. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información	70
Tabla 14. Matriz de consistencia metodológica.....	71
Tabla 15. Intersecciones de la red vial.....	73
Tabla 16. Parámetros del ciclo semafórico - Intersección 1.	84
Tabla 17. Volumen de Aforo vehicular semanal por cada cuartos de hora-Intersección 1	87
Tabla 18. Volumen de Aforo vehicular semanal cada 15 min y por hora- Intersección 1	90
Tabla 19. Volumen de Aforo vehicular semanal por hora- Intersección 1.....	91
Tabla 20. Unidad de Coche Patrón (UCP)	94
Tabla 21. Condiciones de tránsito de la vía - intersección 1.....	96
Tabla 22. Áreas de invasión por sentido de accesos	97
Tabla 23. Áreas totales y porcentaje de invasión por accesos.....	98
Tabla 24. Capacidad y grados de saturación de la intersección.....	99
Tabla 25. Demoras y nivel de servicio de la intersección	100
Tabla 26. Tiempos de desfase de las intersecciones	107
Tabla 27. Comparación de demoras, saturación y NDS en la intersección 1	113
Tabla 28. Comparación de demoras, saturación y NDS en la intersección 2	113
Tabla 29. Comparación de demoras, saturación y NDS en la intersección 3	114
Tabla 30. Comparación de demoras, saturación y NDS en la intersección 4	114
Tabla 31. Relación de Pelotón de la intersección 1 –Acceso 1.	125
Tabla 32. Relación de Pelotón de la intersección 1 –Acceso 2	125
Tabla 33. Relación de Pelotón de la intersección 1 –Acceso 3	125
Tabla 34. Relación de Pelotón de la intersección 1 –Acceso 4	125
Tabla 35. Relación de Pelotón de la intersección 2 – Acceso 1	126
Tabla 36. Relación de Pelotón de la intersección 2 – Acceso 2	126
Tabla 37. Relación de Pelotón de la intersección 2 – Acceso 3	126
Tabla 38. Relación de Pelotón de la intersección 2 – Acceso 4	126
Tabla 39. Relación de Pelotón de la intersección 3 – Acceso 1	127
Tabla 40. Relación de Pelotón de la intersección 3 – Acceso 2	127
Tabla 41. Relación de Pelotón de la intersección 3 – Acceso 3	127
Tabla 42. Relación de Pelotón de la intersección 4 – Acceso 1	127
Tabla 43. Relación de Pelotón de la intersección 4 – Acceso 2	128
Tabla 44. Relación de Pelotón de la intersección 4 – Acceso 3	128
Tabla 45. Parámetros del ciclo semafórico - Intersección 2	130
Tabla 46. Parámetros del ciclo semafórico - Intersección 3	130

Tabla 47. Parámetros del ciclo semafórico - Intersección 4	130
Tabla 48. Volumen de Aforo vehicular semanal- Intersección 2.....	131
Tabla 49. Volumen de Aforo vehicular semanal- Intersección 3.....	132
Tabla 50. Volumen de Aforo vehicular semanal- Intersección 4.....	133
Tabla 51. Condiciones de tránsito de vía - intersección 2	140
Tabla 52. Condiciones de tránsito de vía - intersección 3	142
Tabla 53. Condiciones de tránsito de vía - intersección 4	144
Tabla 54. Velocidad de marcha Tabla 55. Velocidad promedio	146
Tabla 56. Módulo de ajuste de volumen de la intersección 1.	147
Tabla 57. Ajuste de peatones para giros protegidos a la izquierda en la intersección 1.	148
Tabla 58. Ajuste de peatones y bicicletas para giros protegidos a la derecha en la intersección 1.....	148
Tabla 59. Módulo de ajuste de la tasa de flujo de saturación de la intersección 1.....	149
Tabla 60. Módulo de análisis de la capacidad de la intersección 1.	150
Tabla 61. Análisis de la demora uniforme y por cola inicial de la intersección 1.....	150
Tabla 62. Módulo de análisis del nivel de servicio de la intersección 1.	151
Tabla 63. Módulo de ajuste de volumen de la intersección 2	151
Tabla 64. Ajuste de peatones para giros protegidos a la izquierda en la intersección 2	152
Tabla 65. Ajuste de peatones y bicicletas para giros protegidos a la derecha en la intersección 2.....	153
Tabla 66. Módulo de ajuste de la tasa de flujo de saturación de la intersección 2.....	153
Tabla 67. Módulo de análisis de la capacidad de la intersección 2.	154
Tabla 68. Análisis de la demora uniforme y por cola inicial de la intersección 2.....	155
Tabla 69. Módulo de análisis del nivel de servicio de la intersección 2.	155
Tabla 70. Capacidad y grados de saturación de la intersección 2.....	156
Tabla 71. Demoras y nivel de servicio de la intersección 2.	156
Tabla 72. Módulo de ajuste de volumen de la intersección 3	157
Tabla 73. Ajuste de peatones para giros protegidos a la izquierda en la intersección 3.	157
Tabla 74. Ajuste de peatones y bicicletas para giros protegidos a la derecha en la intersección 3.....	158
Tabla 75. Módulo de ajuste de la tasa de flujo de saturación de la intersección 3.....	159
Tabla 76. Módulo de análisis de la capacidad de la intersección 3.	159
Tabla 77. Análisis de la demora uniforme y por cola inicial de la intersección 3.....	160
Tabla 78. Módulo de análisis del nivel de servicio de la intersección 3.	161
Tabla 79. Capacidad y grados de saturación de la intersección 3.....	161
Tabla 80. Demoras y nivel de servicio de la intersección 3.	161
Tabla 81. Módulo de ajuste de volumen de la intersección 4.	162
Tabla 82. Ajuste de peatones para giros protegidos a la izquierda en la intersección 4	162
Tabla 83. Ajuste de peatones y bicicletas para giros protegidos a la derecha en la intersección 4.....	163
Tabla 84. Módulo de ajuste de la tasa de flujo de saturación de la intersección 4.....	164
Tabla 85. Módulo de análisis de la capacidad de la intersección 4.	165
Tabla 86. Análisis de la demora uniforme y por cola inicial de la intersección 4.....	165
Tabla 87. Módulo de análisis del nivel de servicio de la intersección 4.	166
Tabla 88. Capacidad y grados de saturación de la intersección 4.....	166
Tabla 89. Demoras y nivel de servicio de la intersección 4.	166

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Parque automotor nacional estimado por clase de vehículo.	3
Figura 2. Ubicación del tramo inicial y final de la investigación.	9
Figura 3. Límites de análisis del segmento	23
Figura 4. Puntos y enlaces en un segmento	24
Figura 5. Movimientos y numeración en intersecciones.	25
Figura 6. Ubicaciones de la zona de conflicto	37
Figura 7. Polígono de acumulación de cola en una fase de operación.....	44
Figura 8. Procedimiento de cálculo con software Synchro V8.0.....	52
Figura 9. Ubicación del tramo en estudio, Av. Andrés Zevallos y Av. vía de Evitamiento Sur cuadra nueve (Rotonda musical).....	58
Figura 10. Ubicación de la intersección 1.....	60
Figura 11. Ubicación de la intersección 2.....	61
Figura 12. Ubicación de la intersección 3.....	62
Figura 13. Ubicación de la intersección 4.....	63
Figura 14. Sección de vía de acceso 1 – Intersección 1.	74
Figura 15. Sección de vía de acceso 2 – Intersección 1.	74
Figura 16. Sección de vía de acceso 3 – Intersección 1.	75
Figura 17. Sección de vía de acceso 4 – Intersección 1.	75
Figura 18. Sección de vía de acceso 1 – Intersección 2.	76
Figura 19. Sección de vía de acceso 2 – Intersección 2.	76
Figura 20. Sección de vía de acceso 3 – Intersección 2.	77
Figura 21. Sección de vía de acceso 4 – Intersección 2.	77
Figura 22. Sección de vía de acceso 1 – Intersección 3.	78
Figura 23. Sección de vía de acceso 2 – Intersección 3.	78
Figura 24. Sección de vía de acceso 3 – Intersección 3.	79
Figura 25. Sección de vía de acceso 1 – Intersección 4.	79
Figura 26. Sección de vía de acceso 2 – Intersección 4.	80
Figura 27. Sección de vía de acceso 3 – Intersección 4.	80
Figura 28. Diagrama de fases de los semáforos de la intersección 1.....	83
Figura 29. Histograma de volumen vehicular por día.	86
Figura 30. Variación de volumen por cada cuartos de hora- Intersección 1.	88
Figura 31. Histograma de variación de volumen por cada cuartos de hora- Intersección 1.	89
Figura 32. Variación de volumen horario semanal- Intersección 1.	92
Figura 33. Histograma de variación de volumen máximo- Intersección 1.....	93
Figura 34. Flujograma vehicular en máxima demanda – Intersección 1.....	95
Figura 35. Condiciones geométricas intersección 1.	95
Figura 36. Composición vehicular por tipo de vehículo – Intersección 1.	97
Figura 37. Planta de la intersección 1.	101
Figura 38. Planta de la intersección 1.	101
Figura 39. Ingreso de datos - intersección 1.	102
Figura 40. Ajuste de volúmenes de intersección 1, Hoyos Rubio – Andrés Zevallos.	103
Figura 41. Ajuste de carriles de la intersección 1, Hoyos Rubio – Andrés Zevallos... ..	103
Figura 42. Ajuste de tiempos de semáforos de la intersección 1, Hoyos Rubio – Andrés Zevallos.	104
Figura 43. Simulación vehicular de la intersección 1, Hoyos Rubio – Andrés Zevallos.	105
Figura 44. Optimización de tiempos de semáforos de la intersección 1, Hoyos Rubio – Andrés Zevallos.	105

Figura 45. Sincronización y coordinación de semáforos Av. Andrés Zevallos y la Av. Vía de Evitamiento Sur.	107
Figura 46. Restricción vehicular y tiempos de semáforos de la intersección 1, Hoyos Rubio – Andrés Zevallos.	108
Figura 47. Simulación vehicular de la intersección 1 con restricción vehicular, Hoyos Rubio – Andrés Zevallos.	110
Figura 48. Diagrama de fases de los semáforos de la intersección 2.	129
Figura 49. Diagrama de fases de los semáforos de la intersección 3.	129
Figura 50. Diagrama de fases de los semáforos de la intersección 4.	129
Figura 51. Variación de volumen horario semanal- Intersección 2.	134
Figura 52. Variación de volumen horario semanal- Intersección 3.	134
Figura 53. Variación de volumen horario semanal- Intersección 4.	135
Figura 54. Histograma de variación de volumen máximo- Intersección 2.	136
Figura 55. Histograma de variación de volumen máximo- Intersección 3.	137
Figura 56. Histograma de variación de volumen máximo- Intersección 4.	138
Figura 57. Flujograma vehicular en máxima demanda – Intersección 2.	139
Figura 58. Condiciones geométricas intersección 2.	140
Figura 59. Flujograma vehicular en máxima demanda – Intersección 3.	141
Figura 60. Condiciones geométricas intersección 3.	142
Figura 61. Flujograma vehicular en máxima demanda – Intersección 4.	143
Figura 62. Condiciones geométricas intersección 4.	144
Figura 63. Composición vehicular por tipo de vehículo – Intersección 2.	145
Figura 64. Composición vehicular por tipo de vehículo – Intersección 3.	145
Figura 65. Composición vehicular por tipo de vehículo – Intersección 4.	145
Figura 66. Planta de intersección 2, sentido de circulación.	167
Figura 67. Ajuste de volúmenes de intersección 2, Av. Andrés Zevallos – Av. Pról. Ayacucho.	167
Figura 68. Ajuste de carriles de intersección 2, Av. Andrés Zevallos – Av. Pról. Ayacucho.	168
Figura 69. Ajuste de tiempos de semáforos de intersección 2, Av. Andrés Zevallos – Av. Pról. Ayacucho.	168
Figura 70. Simulación vehicular de la intersección 2, Av. Andrés Zevallos – Av. Pról. Ayacucho.	169
Figura 71. Optimización de tiempos de semáforos de la intersección 2, Av. Andrés Zevallos – Av. Pról. Ayacucho.	169
Figura 72. Restricción vehicular y tiempos de semáforos de la intersección 2, Av. Andrés Zevallos – Av. Pról. Ayacucho.	170
Figura 73. Simulación vehicular de la intersección 2, Av. Andrés Zevallos – Av. Pról. Ayacucho.	170
Figura 74. Planta de intersección 3, sentido de circulación.	171
Figura 75. Ajuste de volúmenes de la intersección 3, Av. Vía de Evitamiento Sur - Av. Andrés Zevallos – Jr. Carlos Malpica.	171
Figura 76. Ajuste de carriles de la intersección 3, Av. Vía de Evitamiento Sur - Av. Andrés Zevallos – Jr. Carlos Malpica.	172
Figura 77. Ajuste de tiempos de semáforos de la intersección 3, Av. Vía de Evitamiento Sur - Av. Andrés Zevallos – Jr. Carlos Malpica.	172
Figura 78. Simulación vehicular de la intersección 3, Av. Vía de Evitamiento Sur - Av. Andrés Zevallos – Jr. Carlos Malpica.	173
Figura 79. Optimización de tiempos de semáforos de la intersección 3, Av. Vía de Evitamiento Sur - Av. Andrés Zevallos – Jr. Carlos Malpica.	174

Figura 80. Restricción vehicular y tiempos de semáforos de la intersección 3, Av. Vía de Evitamiento Sur - Av. Andrés Zevallos – Jr. Carlos Malpica.	174
Figura 81. Simulación vehicular de la intersección 3, Av. Vía de Evitamiento Sur - Av. Andrés Zevallos – Jr. Carlos Malpica.	175
Figura 82. Planta de intersección 4, sentido de circulación.	176
Figura 83. Ajuste de volúmenes de intersección 4, Av. Vía de Evitamiento Sur – Jr. El Inca.	176
Figura 84. Ajuste de carriles de la intersección 4, Av. Vía de Evitamiento Sur – Jr. El Inca.	177
Figura 85. Ajuste de tiempos de semáforos de la intersección 4, Av. Vía de Evitamiento Sur – Jr. El Inca.	177
Figura 86. Simulación vehicular de la intersección 4, Av. Vía de Evitamiento Sur – Jr. El Inca.	178
Figura 87. Optimización de tiempos de semáforos de la intersección 4, Av. Vía de Evitamiento Sur – Jr. El Inca.	179
Figura 88. Restricción vehicular y tiempos de semáforos de la intersección 4, Av. Vía de Evitamiento Sur – Jr. El Inca.	179
Figura 89. Simulación vehicular de la intersección 4, Av. Vía de Evitamiento Sur – Jr. El Inca.	180

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS USADAS

A:	Tiempo de ámbar (s)
C:	Longitud de ciclo (s)
CBD:	Central Business District
d:	Demora (s)
e:	Extensión del tiempo de verde efectivo
FHP:	Factor de hora pico
G:	Tiempo de verde (s)
g:	Tiempo de verde efectivo (s)
g/C:	Proporción de verde efectivo
HCM:	Highway Capacity Manual
IMDA:	Índice medio diario anual
ICU:	Intersection Capacity Utilization
MTC:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
N:	Número de vehículos en la cola (veh) o número de carriles del grupo de carriles
NCHRP:	National Cooperative Highway Research Program
NS:	Nivel de servicio
P:	Proporción de vehículos que llegan durante la fase verde
PF:	Factor de ajuste de demora uniforme por coordinación
R:	Tiempo de rojo (s)
r:	Tiempo de rojo efectivo (s)
Rp:	Relación de pelotón
s:	Tasa de flujo de saturación o tasa de salidas (veh/h)
T:	Duración del periodo de análisis (h)
TR:	Tiempo todo rojo (s)
TRB:	Transportation Research Board
V:	Volumen horario (veh/h)
VHMD:	Volumen horario de máxima demanda (veh/h)

RESUMEN

La congestión vehicular es un problema creciente en la ciudad de Cajamarca, afectando la movilidad, incrementando los tiempos de viaje y generando un impacto negativo en la calidad de vida de los ciudadanos. En particular, el tramo comprendido entre la Av. Andrés Zevallos y la Av. Vía de Evitamiento Sur cuadra nueve presenta altos niveles de saturación vehicular, especialmente en horas pico, debido al aumento del parque automotor y el inadecuado ordenamiento del tránsito. Ante esta problemática, la investigación tuvo como objetivo determinar los niveles de servicio vehicular en dicho tramo, evaluando la congestión vehicular y su comportamiento con el fin de proponer estrategias para mejorar la movilidad urbana en la ciudad de Cajamarca. Se realizó un estudio con finalidad aplicada, recolectando datos a través de observación directa en campo con equipos topográficos, fotografías y videgrabaciones en los puntos críticos durante una semana. Para determinar el nivel de servicio, se utilizó la metodología del Manual de Capacidad de Carreteras (HCM 2010), analizando las demoras y realizando simulaciones del comportamiento del tránsito. Los resultados evidenciaron que el tramo en estudio presenta saturación excesiva vehicular, alcanzando un nivel de servicio F en horas pico, lo que indica que las vías no están operando conforme a su capacidad de diseño. Entre las principales causas se identificaron el crecimiento desordenado del tráfico, la falta de regulación en la circulación y la presencia de estacionamientos vehiculares informales que reducen la capacidad de la vía. Finalmente, se propusieron alternativas de solución enfocadas en mejorar la dinámica del sistema vial, optimizar la semaforización, promover un tránsito más ordenado y ecoamigable.

Palabras claves: Nivel de servicio, congestión, HCM 2010, tránsito, demoras.

ABSTRACT

Traffic congestion is a growing problem in the city of Cajamarca, affecting mobility, increasing travel times and generating a negative impact on the quality of life of citizens. In particular, the section between Andrés Zevallos Avenue and Vía de Evitamiento Sur Avenue cuadra nueve presents high levels of vehicular saturation, especially at peak hours, due to the increase in the vehicle fleet, and inadequate traffic ordering. Faced with this problem, the research aimed to determine the levels of vehicular service in this section, evaluating traffic congestion and its behavior in order to propose improvement strategies to improving urban mobility in the city of Cajamarca. A study was carried out with applied purpose, collecting data through direct observation in the field with topographic equipment, photographs and video recordings at the critical points for a week. To determine the level of service, the methodology of the Highway Capacity Manual (HCM 2010) was used, analyzing delays and carrying out simulations of traffic behavior. The results showed that the section under study presents vehicular oversaturation, reaching a service level F at peak hours, which indicates that the roads are not operating according to their design capacity. Among the main causes were identified the disorderly growth of traffic, the lack of regulation in circulation and the presence of informal vehicular parking that reduce the capacity of the road. Finally, alternative solutions were proposed focused on improving the dynamics of the road system, optimizing traffic lights and promoting more orderly and eco-friendly traffic.

Keywords: Level of service, congestion, HCM 2010, traffic, delays.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Contextualización

La ingeniería, en su constante evolución junto con los avances tecnológicos, ha sido fundamental para el desarrollo de la infraestructura vial, un sector esencial para las actividades cotidianas de la población, al igual que los servicios básicos como agua potable, electricidad, salud y educación, y aunque las investigaciones sobre transitabilidad y niveles de tráfico vehicular se remontan a los años 30, cuando se utilizaron los primeros modelos matemáticos, hoy la tecnología ofrece nuevas herramientas capaces de abordar esta problemática creciente que afecta directamente la calidad de vida de los ciudadanos. (Javier y Gonzales, 2024).

La congestión vehicular es un problema alarmante, especialmente en los países en desarrollo, donde el crecimiento desordenado del parque automotor es una consecuencia directa de una planificación urbana deficiente; este crecimiento descontrolado, sumado a la insuficiencia de las vías, la falta de educación vial en el transporte público y el deterioro de la infraestructura vial, ha provocado un aumento significativo en los tiempos de desplazamiento, generando estrés, pérdida de productividad y un mayor consumo de recursos (Flores, 2021).

Reducir la congestión vehicular no solo mejora la movilidad urbana, sino que también es crucial para la salud pública y la preservación del medio ambiente, ya que esta congestión contribuye significativamente a la emisión de sustancias contaminantes, que deterioran la calidad del aire, aumentan los riesgos de enfermedades respiratorias y afectan negativamente la atmósfera (Andrade et al., 2022).

Actualmente, el control del tráfico vehicular se ha convertido en una prioridad para ordenar el tránsito, y la tecnología desempeña un papel fundamental en la optimización de los flujos vehiculares; sin embargo, la construcción de nuevas carreteras solo ofrece una solución a corto plazo, ya que conlleva costos económicos elevados, impactos ambientales negativos y consecuencias demográficas, sin abordar de manera efectiva la sobrecarga de las infraestructuras existentes (Bolívar et al., 2019).

El tránsito vehicular debe considerarse como un sistema interdependiente que no opera de manera aislada, sino que interactúa continuamente con las calles, avenidas y otros componentes del sistema vial urbano, por lo que el flujo vehicular forma parte de un conjunto integrado que requiere soluciones coordinadas, y no medidas fragmentadas (Jaimes, 2019).

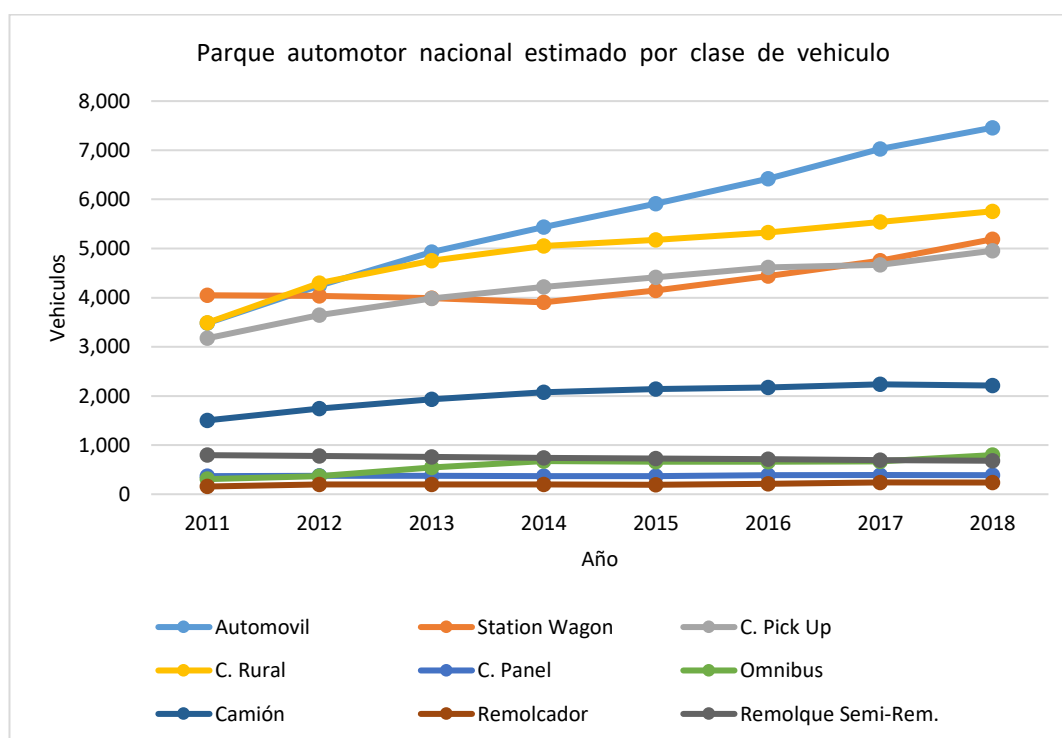
La ciudad de Cajamarca, ha reflejado un crecimiento acelerado y desordenado del parque automotor vinculado al aumento del poder adquisitivo, expansión económica minera e industrial lo que ha provocado un gran impacto ambiental y urbano. La accesibilidad de políticas de financiamiento a impulsado la adquisición de vehículos de diversas marcas, modelos y años para diferentes usos tales como taxis, mototaxis, combis y uso particular. El aumento volumen vehicular ha limitado la capacidad de la infraestructura vial generando congestión y contaminación.

Tabla 1. Parque automotor nacional estimado por clase de vehículo por año

Año	Auto móvil	Station Wagon	C. Pick Up	C. Rural	C. Panel	Omni bus	Camión	Remol cador	Remolqu e Semi- Rem.	TOTAL
2011	3,480	4,048	3,174	3,488	368	307	1,503	157	795	17,320
2012	4,242	4,033	3,643	4,299	374	365	1,740	198	779	19,673
2013	4,926	3,991	3,984	4,755	373	543	1,931	198	760	21,461
2014	5,439	3,905	4,219	5,049	368	672	2,074	196	742	22,664
2015	5,915	4,146	4,412	5,175	370	662	2,141	193	726	23,740
2016	6,419	4,440	4,616	5,326	385	659	2,173	213	712	24,943
2017	7,029	4,751	4,668	5,542	391	671	2,236	240	696	26,224
2018	7,458	5,188	4,955	5,758	390	796	2,211	237	681	27,674
TOTAL	44,908	34,502	33,671	39,392	3,019	4,675	16,009	1,632	5,891	183,699

Nota: MTC - OGPP - OFICINA DE ESTADÍSTICA. ELABORACIÓN: MTC - OGPP - OFICINA DE ESTADÍSTICA

Figura 1. Parque automotor nacional estimado por clase de vehículo.



Nota: MTC - OGPP - oficina de estadística. Elaboración: MTC - OGPP - oficina de estadística.

De la figura anterior se verifica el aumento del parque automotor en los últimos años con tendencia al ascenso de un incremento de 1479 vehículos por año en promedio, siendo los más solicitados los vehículos M1 automóviles, station wagon, camioneta pick up.

1.1.2.Descripción del problema

Cajamarca es una de las ciudades con mayor aumento en la densidad poblacional y asentamiento debido al proceso migratorio justificado por el avance y desarrollo de actividades económicas, productivas, agropecuarias, industriales y de servicios en general, cambio notable que toda ciudad tiene que experimentar como parte de su crecimiento; muchas personas emigran a la ciudad, la población aumenta, así como también, los vehículos de servicio público y particular.

El movimiento económico empieza a elevarse, por lo que se abren nuevos servicios comerciales prestadoras de servicio y universidades importantes. Debido a ello, las principales calles de la ciudad no soportan el volumen de la demanda y sobrepasan su capacidad, se hace notar en las horas de mayor concurrencia del día, en las mañanas donde las personas van a sus centros de labores y los niños a sus instituciones educativas, en la tarde cuando salen de los mismos y por las noches cuando todos regresan a casa.

Cabe indicar que, debido a la inestabilidad y las condiciones laborales que atraviesan la ciudad una de las alternativas como generación de recursos económicos son el transporte público, el cual en los últimos años han aumentado de manera masiva la adquisición de vehículos menores, tales como taxis y mototaxis, generando un aumento sustancial de tráfico vehicular.

El crecimiento vehicular desordenado y el tránsito de las unidades de transporte público como microbuses, taxis y mototaxis, los inadecuados esquemas de circulación vehicular, la inadecuada señalización y semaforización, el mal estado de las calzadas, el tránsito de vehículos pesados, son factores de mucho malestar

para la población de Cajamarca, la cual, necesita atención urgente en los planes urbanos y desarrollo vial.

La Av. vía de Evitamiento Sur y la Av. Andrés Zevallos son actualmente unas de las avenidas más concurridas en la ciudad de Cajamarca, en las cuales encontramos diversos puntos de comercio con mayor oferta y demanda; por ello, se evidencia un incremento considerable de volúmenes de vehículos y peatones, provocando congestionamiento a lo largo del tramo y siendo las intersecciones las zonas que presentan mayor criticidad.

En el caso de la Av. vía de Evitamiento, que es una vía colectora, se compone de dos tramos: la vía de Evitamiento Norte que parte desde el Jr. Angamos hasta la intersección del Jr. Hoyos Rubio con la Av. Andrés Zevallos; la Av. vía de Evitamiento Sur que parte desde la intersección del Jr. Carlos Malpica hasta la Av. Industrial en la parte baja de la ciudad, carretera que va hacia el sur y comunica a distritos como Jesús, Llacanora, Namora, Matara; y como parte intermedia a ambas vías de Evitamiento, se encuentra la Av. Andrés Zevallos, avenida que anteriormente formaba parte de la vía de Evitamiento Norte, la misma que ha sido mejorada con pavimento rígido.

La Municipalidad Provincial de Cajamarca ha incorporado semáforos a lo largo de la vía para mejorar la transitabilidad, en busca de ser un beneficio para los conductores y peatones en general, sin embargo, ha generado demoras ocasionando el aumento del congestionamiento vehicular.

La Av. Andrés Zevallos se ha convertido en una de las vías de mayor concurrencia de la población de Cajamarca y visitantes, ya que en este tramo se encuentran dos (02) de los tres (03) centros comerciales que tiene Cajamarca como son el centro comercial “Open Plaza”, el centro comercial “Real Plaza”, también se encuentra la Universidad Privada del Norte, seguidamente en la Av. vía de Evitamiento Sur se encuentran la Institución Educativa Particular “Nivel A”, tienda Maestro, dos gasolineras, academia e Institución Educativa Particular “San

Fernando”, farmacias, hoteles, ferreterías, panaderías, restaurantes, talleres, tiendas de venta de autopartes; razón por la cual presenta mayor movimiento de la población y mayor flujo de vehículos de todo tipo. También hay empresas de transporte público (combis y microbuses) que transitan por dichas avenidas, las cuales también generan el congestionamiento utilizando paraderos informales a pesar que existen paraderos autorizados a lo largo de dicha vía, actuando contrariamente a los indicado por el Reglamento Nacional de Tránsito, en sus artículos 125 y 126.

Las horas de mayor movimiento son en la mañana al inicio de la jornada laboral, al promediar 7:00 a. m. hasta 8:30 a. m., al mediodía de 12:30 p. m. hasta 2:00 p. m. y en la tarde desde 6:00 p. m. hasta 8:30 p. m., los tramos en mención se vuelven muy transitables y la congestión vehicular se eleva sustancialmente, de modo que, para salir del excesivo tráfico se tarda de 15 a 25 minutos aproximadamente.

1.1.3. Formulación del problema

¿Cuáles son los niveles de servicio vehicular en las vías del tramo comprendido entre la avenida Andrés Zevallos - Avenida Vía De Evitamiento sur cuadra nueve de la ciudad de Cajamarca 2020?

1.2. Justificación e importancia

1.2.1. Justificación

La investigación procuró disminuir el problema del congestionamiento vehicular de una de las principales avenidas de la ciudad, a través de un sistema de tránsito que favorezca el dinamismo urbano con una adecuada circulación y proporcionando mayor seguridad a los ciudadanos.

El transito no actúa independiente, más bien, es un sistema que permite interactuar diversos agentes para su funcionamiento, dicho mejoramiento del

sistema de tránsito va a incorporar muchos atributos al transporte tales como el nivel de confiabilidad de los usuarios, el precio de las tarifas en los medios de transporte y la regularidad en el comportamiento del flujo vehicular.

Es importante tener presente que los beneficios de una adecuada transitabilidad y viabilidad tienen influencia no solo en la zona directa e indirecta, sino también a toda la ciudad, se incluye hasta a los distritos de la provincia, ya que la solución de la circulación vehicular contribuirá e incrementará el dinamismo de la economía en la ciudad.

1.2.2. Importancia

Su importancia se basó en la aplicación de alternativas y herramientas que contribuyen a lograr un mejor comportamiento en el tránsito. La presente investigación permitirá a las autoridades de transporte tomar decisiones respecto a un ordenamiento de vías, semáforos, señalización horizontal y vertical, logrando una adecuada viabilidad, evitando el congestionamiento y posibles accidentes en la zona en estudio y sus alrededores.

1.3. Delimitación de la investigación

1.3.1. Espacial

Departamento de Cajamarca, provincia de Cajamarca, distrito de Cajamarca. La investigación se realizó considerando como punto de partida la intersección de Hoyos Rubio con la Av. Andrés Zevallos hasta la intersección Av. vía de Evitamiento Sur cuadra nueve con la Av. Atahualpa (Rotonda musical).

1.3.2. Temporal

La investigación de la tesis se realizó en 18 meses, desde agosto del 2018 hasta febrero del 2020, tomando como punto de referencia para efectuar los trabajos de campo en dicho un periodo tiempo.

1.3.3. Temática

La investigación se enfocó en determinar los niveles del servicio de las vías en estudio mediante cálculos matemáticos con la metodología HCM 2010, además, se realizó modelos con software Synchro V8.0 para mejorar y optimizar la circulación vehicular.

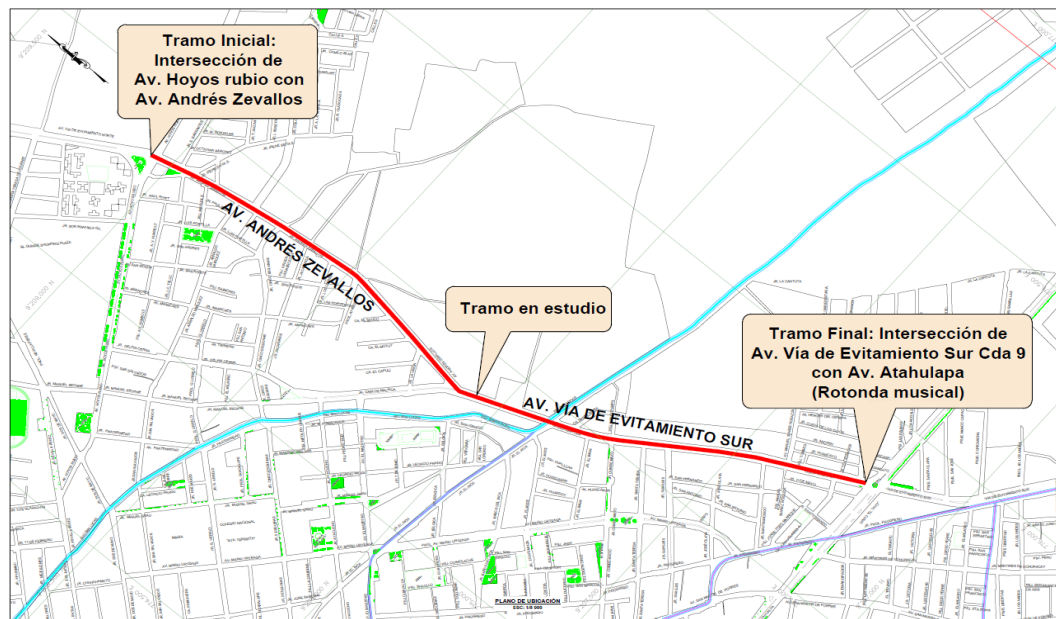
1.3.4. Metodológica

La investigación se realizó considerando las características de las vías, para el proceso de recolección de datos se realizaron visitas de campo y se usó la metodología HCM 2010, además se determinaron modelos de tránsito vehicular por medio de software Synchro V8.0, se determinaron las demoras de cada uno de los tramos y se calculó el nivel de servicio.

Finalmente se planteó escenarios que buscan mejorar la situación actual del tránsito a través de nuevas estrategias de circulación y nuevas restricciones para lograr un tránsito más dinámico, eco-amigable y sostenible.

Cabe indicar que en los modelos de simulación del comportamiento del tránsito no se han considerado los factores naturales, los cuales influyen externamente al tránsito tales como los factores climáticos, el aire y el viento.

Figura 2. Ubicación del tramo inicial y final de la investigación.



1.4. Limitación

Para la presente investigación se han tomado algunas consideraciones, por tratarse de una vía de tránsito rápido los resultados encontrados tienen limitado margen de generalización, es decir, solamente son válidos para el tramo seleccionado y con la información evaluada hasta 2020.

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo general

- Determinar los niveles de servicio vehicular en las vías del tramo comprendido entre la Av. Andrés Zevallos - Av. Vía De Evitamiento Sur cuadra nueve de la ciudad de Cajamarca 2020.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar las características del flujo vehicular en las vías del tramo comprendido entre la Av. Andrés Zevallos - Av. Vía De Evitamiento Sur cuadra nueve de la ciudad de Cajamarca 2020.

- Determinar la influencia del entorno físico con el flujo del tránsito para evaluar el comportamiento del tramo comprendido entre la Av. Andrés Zevallos - Av. Vía De Evitamiento Sur cuadra nueve de la ciudad de Cajamarca 2020.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación o marco referencial

El transporte público ha tenido mejoras importantes con la incorporación de la tecnología. En la actualidad existen ciudades con el mejor transporte público, excelentes vías, rutas, con un eficiente control de pasajes a través de la tecnología y los desplazamientos de dichos transportes son los de mayor rapidez.

Curitiba, Brasil: Es conocida por ser una ciudad ecológica, su sistema de transporte público está compuesto de un sistema de buses con carriles únicos para su desplazamiento, desde que diseñaron e implementaron “El plan maestro”, el cual se basa en tres aspectos importantes como son: un sistema vial, el uso del suelo y el transporte público. Con estos aspectos cubiertos, la ciudad se catapultó en un desarrollo económico, social y ambiental. Con la continua modernización del transporte público de buses articulados y biarticulados permite que sus habitantes y los turistas puedan tener una movilidad más ágil. (Argüello et al, 2020).

Moscú, Rusia: Esta ciudad tiene una mezcla entre el transporte, su cultura y el arte, las cuales son clave para ser uno de los mejores del mundo. El metro es conocido como uno de los más precisos y puntuales del mundo por su velocidad, eficiencia y belleza. Entrar en unas de las estaciones del metro de Moscú es una obra arquitectónica que se destacan por su belleza, en la cual se puede encontrar cuadros, mosaicos, adornos y su construcción de mármol. Este metro trasporta a más de 8,2 millones de pasajeros, es uno de los transportes públicos más visitados y utilizados por los turistas. (Argüello et al., 2020).

Viena, Austria: La ciudad cuenta con más de 30 líneas de tranvía y más rutas de buses las cuales recorren toda la ciudad ofreciendo su servicio, es uno de las favoritas de los turistas. Esto se ha convertido en un símbolo de reconocimientos de la ciudad. Este sistema de transporte moviliza a 1,600 millones de pasajeros al año. El buen desempeño del transporte público es reconocido por la Asociación

Internacional del Transporte Público, ya sea por su buen servicio, las tarifas y la variedad de servicios al utilizar el sistema. (Argüello et al., 2020).

Hong Kong, China: La red de transporte público en esta metrópolis está compuesta por: el metro, autobuses, tranvías, ferri, taxis y minibuses. Los taxis en esta ciudad están causando una revolución, ya que se han implementado taxis eléctricos. Más del 90 % de la población se moviliza en el transporte y es muy limpio. Su sistema de pago electrónico es uno de los más exitosos, a través de las tarjetas Octopus. (Argüello et al., 2020).

Múnich, Alemania: Es una de las ciudades más pobladas e importantes de Alemania, esta ciudad mantiene una de los sistemas más amplios que conecta a la ciudad de día y noche, este sistema tiene un metro subterráneo llamado U-Bahn. Está compuesto por 98 estaciones y de seis líneas, además de trenes subterráneos, en estos se transportan más de 330 millones de personas al año. (Argüello et al., 2020).

Antecedentes internacionales

Chamba (2022), en la tesis de maestría titulada: “Metodología para la evaluación de movilidad urbana, en relación a la congestión vehicular de centros poblados de hasta 5,000 habitantes, 2022”, publicado por la Universidad Técnica de Machala, se realizó el inventariado de 6 equipamientos urbanos y el estado de las vías, y concluyó que la serviciabilidad de la movilidad motorizada dió como resultado un nivel de servicio tipo A. En la serviciabilidad modalidad transporte público el nivel de servicio que se obtuvo fue de tipo B, este valor nos indica que la frecuencia y el tiempo de espera que percibe el usuario están dentro de un rango aceptable, pero cercano a ofrecer un servicio no muy eficiente. En la serviciabilidad modalidad no motorizada se obtuvo un valor tipo B muy cercano a C, dado a la inexistencia de ciclovías y existencia de estacionamientos no permitidos. Para la serviciabilidad modalidad peatones se determinó un nivel de servicio tipo B, que significa que se encuentra

infraestructura como aceras y anchos de vía permitidos. Como una evaluación final se obtuvo una valoración del 69.25 % que representa que el centro poblado mantiene una movilidad urbana buena muy cerca de regular, por lo que será necesario plantear medidas para mejorar los parámetros estudiados.

Huertas (2022), en la tesis de maestría titulada: “Análisis de siniestralidad vial en puntos críticos de la ciudad de Tunja – Boyacá”, Bogotá, Colombia, publicado por la Universidad Santo Tomás, en ella se identificaron los factores que influyen en los accidentes de tránsito por medio de un modelo lineal mixto generalizado combinado con binomial negativo como lo son número de calzadas, ancho del andén, separadores y giros a la derecha, en el cual se observa la frecuencia en la que inciden los mismos, finalmente se concluyó que, la infraestructura vial de la ciudad de Tunja no es la adecuada, lo anterior se basa en una red de andenes incompleta, una señalización horizontal poco visible o a veces inexistente y sin infraestructura óptima para los bici usuarios en la mayoría de vías de la ciudad.

Florian (2021), en la tesis de maestría titulada: “Caracterización de los comportamientos de los biciusuarios y motociclistas, dos de los puntos con mayor accidentalidad en Bogotá D.C”, Bogotá, Colombia, publicado por la Universidad Santo Tomás, los accidentes viales son la segunda causa de muerte violenta en Bogotá, después de los homicidios, dicha ciudad genera mayores accidentes en Colombia, el objetivo de la tesis de maestría fue, caracterizar los comportamientos inadecuados de los biciusuarios y motociclistas, en dos de los puntos con mayor accidentalidad en la ciudad; finalmente se concluyó que las dos intersecciones en estudio, no cuentan con señalización horizontal y vertical, demarcación de ciclorruta y ciclobanda; la infraestructura se encuentra en mal estado con agrietamientos, fisuras, baches; Los comportamientos inadecuados característicos son el cruzar cuándo el semáforo está en rojo, transitar en contra de la vía, realizar cruces prohibidos, esperar el cambio de semáforo en lugares inapropiados y el tránsito de motos fuera de los carriles.

García (2018), en la tesis de master titulada: “Análisis y mejora de intersecciones semaforizadas en Murcia mediante el control semafórico actuado por vehículos”, España, Murcia, publicado por la Universidad Politécnica De Cartagena, concluyó que se han podido optimizar los modelos de las intersecciones objeto de estudio, llegando a reducir un 67,56 % de la demora en la primera intersección estudiada, un 77,6 % en la segunda y un 66,67 % en la última. Esto ha sido gracias a la posibilidad de simular distintos escenarios con el programa AnyLogic, lo que permite reducir y prevenir cierto tipo de accidentes en las intersecciones, reducir la demora de los vehículos, reducir el consumo de combustible y reducir la emisión de contaminantes a la atmósfera.

Mojica (2018), en la tesis de maestría titulada: “Evaluación comparativa de capacidad y nivel de servicio con la metodología HCM - Versión 2000 y HCM - Versión 2010, y análisis geométrico, del Anillo vial 1 del plan de ordenamiento zonal del norte – POZ norte, en la ciudad de Bogotá D.C”. Colombia, Bogotá, publicado por la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, llegó a la conclusión que las diferencias encontradas dependen de la aplicación de la metodología aplicada y el parámetro de evaluación utilizado; igualmente, queda claro que la turbulencia generada en las zonas de convergencia y divergencia de una vía impacta de manera significativa en el comportamiento del tráfico y el nivel de servicio.

Antecedentes nacionales

Peña (2022), en la tesis titulada: “Evaluación del tránsito vehicular para mejorar el nivel de servicio para la intersección de las avenidas Carlos Izaguirre y Canta Callao”, publicada por la Universidad Federico Villareal, se logró incrementar su capacidad vial urbana, mitigar el tráfico por volumen de desplazamiento y optimizar su tiempo de recorrido, que finalmente elevó su calidad de vida y nivel de servicio esperado para la población estimada.

Larios (2021), en la tesis titulada: “Modelo de semaforización vial y peatonal para mitigar accidentes de tránsito, aplicando todo en rojo; para la av. inca Garcilaso de la Vega e intersecciones – ciudad de Lima”, publicada por la Universidad Nacional Federico Villareal, los resultados indicaron que durante la hora pico de la mañana, mayormente son autos, que hacen un 87 % del volumen total, la intersección tiene un nivel de servicio “D”, llegando a transitar hasta 3,212 vehículos (3,408 UCP) por hora en la intersección principal, donde concluye que con una reprogramación de ciclo semafórico disminuyen las demoras y se uniformizan los niveles de servicio.

Gutiérrez (2021), en la tesis Titulada: “Evaluación comparativa de la superficie de rodadura en la estimación del nivel de servicio y capacidad vial de la carretera Pisac – Ollantaytambo, 2020”, publicada por la Universidad Andina Del Cusco, cuyo objetivo fue evaluar la velocidad de flujo libre del nivel de servicio en relación al estado de la superficie de rodadura del pavimento flexible. la evaluación determinó que el diseño no contempla realizar un ajuste al análisis del nivel de servicio que se ve afectado por la rugosidad de la vía, esto quiere decir que es necesario incrementar un factor de rugosidad de la vía a la formula, que nos permita conocer valores más apropiados.

Maquera (2019), en la tesis titulada: “Evaluación del nivel de servicio de flujos vehiculares, en dos intersecciones semaforizadas de la av. Jorge Basadre G. intersección con av. Tarata y av. internacional, alto alianza – Tacna, 2018”, publicada por la Universidad Privada De Tacna, indicó que con la metodología de análisis del HCM 2010 y el programa del Synchro V8.0, la simulación del flujo vehicular arrojó como resultado un nivel de servicio de “F”, proponiendo alternativas de solución como la optimización de los tiempos del ciclo y cambio de fases de los semáforos, otra alternativa es la de generar un intercambio vial considerando las dos intersecciones para tener los flujos libres de saturación.

Tello (2018) en la tesis titulada: “Evaluación y mejora de la seguridad vial peatonal y el nivel de servicio en la intersección de las avenidas los alisos y Túpac Amaru”,

publicado por la PUCP, el objetivo fue mejorar la seguridad vial peatonal y el nivel de servicio vehicular en la intersección de la avenida Túpac Amaru y los alisos, a través de un diseño equitativo, donde se concluyó que para evaluar el nivel de servicio peatonal es útil el espacio necesario para encauzar el volumen de peatones que se desplazan, la atraktividad y confort, la protección contra los accidentes viales, las demoras y la accesibilidad. También se concluyó que una metodología cuantitativa para evaluar el servicio que una infraestructura brinda a los peatones debe considerar los siguientes factores: el área disponible por peatón; el ancho de la zona destinada para el mobiliario público y vegetación; la distancia entre la acera y la vía; la cantidad de conflictos entre peatones, ciclistas y vehículos; la demora peatonal y el volumen de vehículos.

Gonzáles (2018), en la tesis titulada: “Evaluación y optimización de los flujos vehiculares y fases de semáforos para mejorar la capacidad vial y los niveles de servicio en las intersecciones con niveles de servicio inadecuados dentro del centro histórico de la ciudad del Cusco”, publicada por la Universidad Andina de Cuzco, donde se planteó la creación de 02 pasos a desnivel en las intersecciones críticas, acompañado de la optimización de las fases de los semáforos, y así se creó un nuevo sistema optimizado. Como resultado de la evaluación y optimización de las 21 intersecciones se consiguió mejorar 6 intersecciones para los niveles de servicio y 03 intersecciones para las capacidades viales.

Antecedentes locales

Abanto (2020), en la tesis titulada: “Microsimulación De los desplazamientos peatonales y vehiculares utilizando los softwares Vissim 9.0 Y Viswalk 9.0 en la plazuela Bolognesi de la ciudad de Cajamarca”, publicada por la Universidad Nacional de Cajamarca, donde se concluyó continuar el funcionamiento de la rotonda como una intersección no semaforizada, pero con la diferencia que el tránsito de moto taxis y taxis de las Av. Atahualpa y Av. Héroes de San Ramón sean

desviados al Jirón El Progreso y a la Avenida Mario Urteaga respectivamente y además cambiar el sentido del Jirón Juan XXIII a un solo sentido con 2 carriles de salida, de esta manera se obtiene una disminución significativa del 51.44 % en las demoras, un 8.00 % en el tiempo detenido y un aumento del 57.84% de la velocidad del sistema con respecto a la situación actual.

Vega (2018), en la tesis titulada: “Análisis de la Capacidad y Niveles de Servicio de las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca pertenecientes a la Red Vial Nacional”, publicada por la Universidad Nacional de Cajamarca, donde se concluyó que, la vía de ingreso PE-3N por la Zona Noroeste tiene un nivel de servicio D y está operando a un 58% de su capacidad máxima, el ingreso por Zona Sureste tiene un nivel de servicio B y opera a un 24% de su capacidad máxima; la vía de ingreso PE-08 por la Zona Sur tiene un nivel de servicio C y está operando a un 38% de su capacidad máxima; y finalmente, la vía de ingreso PE-08B por la Zona Noreste tiene un nivel de servicio A pues opera a un 17% de su capacidad máxima.

Estela (2018), en la tesis titulada: “Nivel de serviciabilidad y características del flujo vehicular del tramo de la vía de la Av. Atahualpa comprendida entre las intersecciones del Jr. Sucre y Av. Vía de Evitamiento Sur de la ciudad de Cajamarca“, publicada por la Universidad Nacional de Cajamarca, donde se concluyó que la velocidad de viaje es menor al 30% con respecto a la velocidad de flujo libre; el flujo vehicular excede al volumen horario de máxima demanda lo que indica que existe concentración y acumulación de vehículos en intervalos de tiempos cortos, lo que se traduce en problemas de congestión vehicular y presenta congestionamiento en todos los segmentos.

2.2. Marco Conceptual

Capacidad

Es el número máximo de vehículos que pueden circular por una sección de carretera durante un tiempo determinado, considerando las condiciones de la vía, del tráfico, la normativa vigente y factores ambientales (HCM, 2010).

Condiciones prevalecientes

Son los factores que influyen en el comportamiento del tránsito en una vía o intersección, relacionados con la infraestructura, características geométricas, número de carriles y velocidad; el tipo de vehículos que circulan (livianos o pesados); y los elementos de control, como señalización, semáforos y ciclos (Cal y Mayor, 2007).

Gestión vial

Es la conducción proactiva del sistema vial orientada al cumplimiento de metas y objetivos a largo plazo, mediante la planificación eficiente de recursos, la implementación de acciones preventivas para evitar el deterioro de las vías y el fortalecimiento de capacidades para una toma de decisiones oportunas. (Salomón, 2003).

Sistema de Gestión vial

En el Perú, la gestión vial ha cobrado mayor relevancia al haberse superado etapas iniciales centradas en accesibilidad y conectividad, enfocándose ahora en la funcionalidad de las vías, para que estas sirvan efectivamente al usuario y actúen como impulsores del desarrollo económico y social.

Condiciones de la infraestructura vial

Son las características físicas de la vía, como su tipo, número de carriles, entorno, geometría y el tipo de terreno donde se construye (Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas, 2005).

Condiciones del tránsito

Corresponden a la distribución del flujo vehicular en el tiempo y espacio, y a la composición del tránsito según el tipo de vehículos: livianos, camiones, autobuses, entre otros (Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas, 2005).

Condiciones de control

Incluyen los dispositivos y mecanismos utilizados para regular el tránsito, como semáforos y señalizaciones (Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas, 2005).

Calidad de servicio de transporte público urbano

Implica evaluar la satisfacción de todos los actores del sistema, cuya sostenibilidad depende del equilibrio entre las expectativas de usuarios, comunidad, gobierno, trabajadores y empresarios. Otro aspecto relevante es la Sustentabilidad de Calidad, que es conseguida por intermedio de satisfacción racional y equilibrada de los deseos de todos los actores, pues la insatisfacción de alguno puede comprometer la demanda, la eficiencia y la calidad del servicio. (Argüello et al., 2020).

Nivel de servicio

La demora experimentada por el conductor es hecha sobre un número de factores que relacionan el control, la geometría, el tráfico y los incidentes. (HCM, 2010).

2.2.1. Clasificación del sistema vial urbano

Vías Expresas

Vinculan el sistema interurbano con el sistema vial urbano, conectando zonas de alta generación de tráfico mediante el transporte de grandes volúmenes de vehículos a alta velocidad y con baja accesibilidad, siendo ideales para viajes largos entre áreas residenciales, industriales, comerciales y el centro urbano (Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas, 2005).

Vías Arteriales

Facilitan el tránsito vehicular con fluidez media o alta, baja accesibilidad y una integración moderada con el uso del suelo adyacente, debiendo integrarse al sistema de vías expresas para asegurar una adecuada distribución del tráfico hacia las vías colectoras y locales (Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas, 2005).

Vías colectoras

Conectan las vías locales con las arteriales y, en algunos casos, directamente con las expresas cuando no es posible hacerlo a través de las arteriales, prestando servicio tanto al tránsito de paso como al acceso a propiedades adyacentes, pudiendo clasificarse como colectoras distritales o interdistritales según la autoridad municipal correspondiente, lo que determina parámetros de competencia y nomenclaturas como Jirón, Vía Parque o Avenida (Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas, 2005).

Vías Locales

Tienen como función principal brindar acceso directo a los predios o lotes, soportando únicamente el tránsito propio compuesto principalmente por vehículos livianos y, de forma ocasional, semipesados, permitiendo además el estacionamiento vehicular y el libre tránsito peatonal, conectándose entre sí y con las vías colectoras, y recibiendo comúnmente denominaciones como calles o pasajes (Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas, 2005).

2.2.2. Semaforización

Son dispositivos de control del tránsito que tienen por finalidad regular y controlar el tránsito vehicular motorizado y no motorizado, y peatonal, a través de las indicaciones de luces de color rojo, verde y amarillo o ámbar. (Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras, 2018).

Tipo De Semáforos

A. Semáforos para vehículos

Los semáforos se clasifican según su uso y funcionamiento.

- a. Semáforos fijos o presincronizados:** Son aquellos que cuentan con una programación de intervalos y secuencia de fases preestablecidos no accionados por el tránsito vehicular. El programa que rige sus características de operación tales como duración del ciclo, desfase, y otros, pueden ser modificados. (Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras, 2018).
- b. Semáforos sincronizados por el tránsito:** Son aquellos cuyo funcionamiento es sincronizado en todos los accesos a una intersección, en función a las demandas del flujo vehicular y disponen de medios (detectores de vehículos y/o peatones) para ser accionados por éste. (Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras, 2018).
- c. Semáforos adaptados al tránsito:** Denominados también Semáforos Inteligentes, son aquellos cuyo funcionamiento es ajustado continua y automáticamente en todos los accesos a una intersección, de acuerdo a la información sobre el flujo vehicular que colectan los detectores de tráfico y envían la información sobre la secuencia de fases, intervalos de fases, ciclos y/o desfases, a una Estación Central o Control Maestro. (Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras, 2018).

B. Semáforos para peatones

Regulan los cruces peatonales para brindar un paso seguro, deben ir acompañados de señalización en el pavimento y rampas de acceso para personas con movilidad reducida en cuyo caso debe complementarse con las respectivas rampas de acceso. (Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras, 2018).

Nueva tecnología

El crecimiento demográfico y el aumento en el número de vehículos de motor produce variaciones notables en el tránsito. Las obras de vialidad, la creación de centros comerciales, la construcción de nuevos edificios, etc., generan también notables variaciones en el tránsito. (Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras, 2018).

Los sistemas de semáforos asistidos por computadoras, están formados por una red de conexión a través de detectores, estos envían información a la base central que está programado para los diferentes comportamientos de tráfico. El objetivo es priorizar la circulación peatonal y optimizar los tiempos de cada fase.

Actualmente existen varios métodos con los que operan los semáforos inteligentes, softwares de cómputo, métodos algorítmicos, sensores inalámbricos, los cuales nos ayudan a disminuir el tiempo de paradas, a controlar la distancia de las grandes colas, a que el tránsito se vuelva más dinámico y sobre todo se eviten los accidentes de tránsito. Estos dispositivos poseen cámaras donde identifican a los conductores que exceden las velocidades permisibles, reconocen las condiciones y priorizan el paso de policías, ambulancias y bomberos frente a algún evento y también notifican a los conductos para que puedan evaluar y escoger la ruta con respecto a las condiciones de tráfico,

Con el paso de los años la tecnología seguirá evolucionando, a tal magnitud, que los semáforos tendrán la capacidad de tomar decisiones para controlar el tránsito de manera independiente y automática, sin uso de algún agente externo podrán realizar diversas actividades como la de controlar el paso de personas con capacidad especial (ciegos) y tener una comunicación directa con los conductores.

2.2.3. Criterios para evaluar nivel de servicio en segmentos de calles urbanas

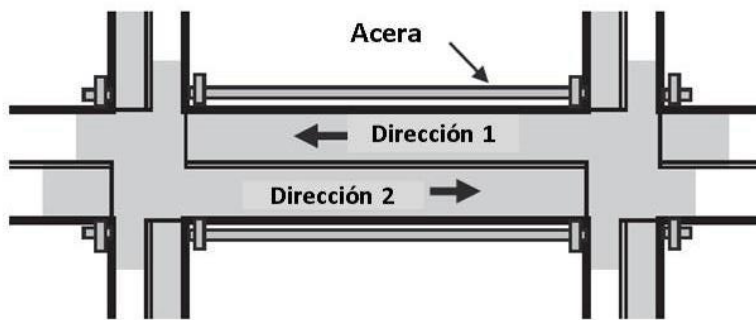
a) Consideraciones generales

La investigación se trata de una vía urbana, el cual tiene dos vías de flujo de tránsito.

b) Límites de análisis

El límite de análisis del segmento se define por la calzada del lado derecho de la calle y por el área de influencia operacional de cada intersección límite. (HCM, 2010).

Figura 3. Límites de análisis del segmento



Nota: HCM 2010

c) Nivel de análisis:

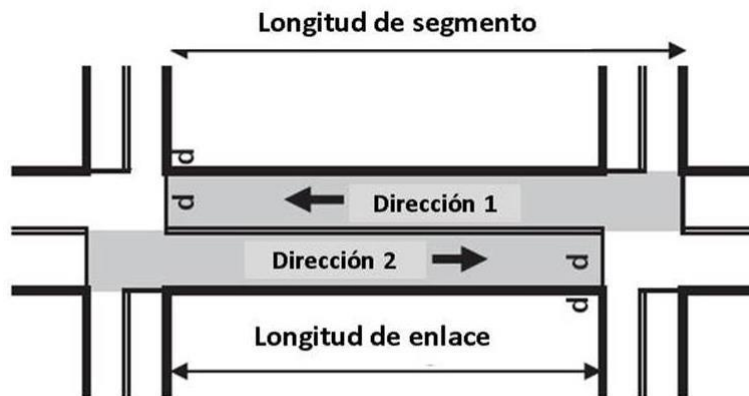
Es el grado de detalle aplicado en la metodología y puede ser operacional, con alto nivel de información; de diseño, con datos detallados sobre tránsito y señalización; o preliminar, usando información básica y valores por defecto (HCM, 2010).

2.2.4. Definición de segmento de calle urbana

El segmento de calle urbana son líneas que indican los ejes viales en una red de vías o calles de una ciudad, en ella se encuentran dos elementos en un sistema de calles urbanas, puntos y enlaces; un enlace y sus puntos límites se denominan como un segmento. (HCM, 2010).

a) Puntos y segmentos: El enlace y sus límites se evalúan en conjunto para determinar el desempeño del segmento, donde en sistemas semaforizados coordinados los límites están marcados por intersecciones semaforizadas y solo se permiten intersecciones con control de PARE entre estos puntos.

Figura 4. Puntos y enlaces en un segmento



Nota: HCM 2010

Velocidad límite

Es la velocidad promedio utilizada para evaluar el desempeño del segmento. La metodología asume que la señalización de velocidad límite debe ser coherente con las calles vecinas y las normativas legales para velocidades límites; si no cumple estos criterios, debe ajustarse para mantener la consistencia metodológica (HCM, 2010).

2.2.5. Movimientos

Modos de desplazamiento

El HCM define tres modos principales de desplazamiento en intersecciones: vehículos motorizados, peatones y bicicletas, cada uno con su propia metodología de análisis, siendo el método para automóviles el más desarrollado, basado en estudios denominado National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) y modificando en EEUU, Australia, Gran Bretaña y Suecia hasta su forma actual (HCM, 2010).

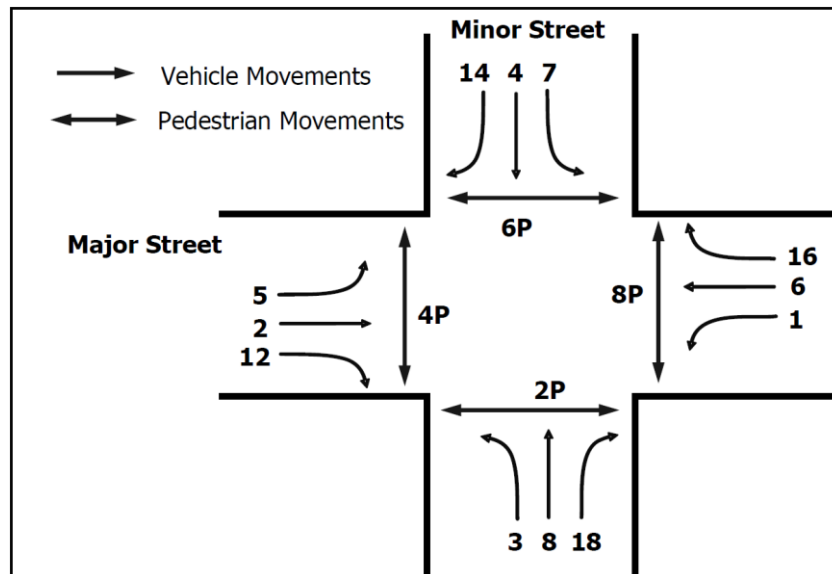
Grupos de carriles y grupos de movimiento

El método para automóviles permite evaluar un carril individual, un grupo de carriles, una rama de acceso o toda la intersección, y cualquier selección para el análisis se denomina grupo de carriles (HCM, 2010).

Movimientos y numeración de fases

El HCM 2010 establece tres movimientos vehiculares y uno peatonal (identificado por la letra P) por cada acceso en una intersección de cuatro ramas, asignándoles un número para facilitar su análisis.

Figura 5. Movimientos y numeración en intersecciones.



Nota: HCM 2010

En la figura del HCM 2010, las flechas de una sola punta representan movimientos vehiculares y las de doble punta los movimientos peatonales.

La numeración sigue un orden en sentido horario y comenzando por la rama Oeste: los movimientos de paso se numeran con pares del 2 al 8, los giros a la izquierda con impares del 1 al 7 iniciando en el Este, y los giros a la derecha con pares del 12 al 18 (HCM, 2010).

2.2.6. Criterios de nivel de servicio

Automóviles

El nivel de servicio en intersecciones se evalúa por cada grupo de carril, aproximación de intersección o en su totalidad, considerando la demora de control y la relación volumen-capacidad.

- **Nivel A:** baja relación volumen-capacidad, progresión de vehículos es favorable y ciclos cortos. La progresión es extremadamente favorable, la mayoría de vehículos llegan a la intersección durante la fase verde y pasan por ésta sin detenerse. (HCM, 2010).
- **Nivel B:** relación volumen-capacidad baja o bien la progresión es muy favorable o el ciclo es corto o bien la progresión es muy favorable o el ciclo es corto. Posee mayor número de detenciones que en el nivel A. (HCM, 2010).
- **Nivel C:** progresión moderada o la duración del ciclo es moderada. Presenta algunos fallos en ciclos y más detenciones. (HCM, 2010).
- **Nivel D:** alta relación volumen-capacidad, progresión no es efectiva o la duración del ciclo es elevada. Presenta detenciones y numerosos fallos. (HCM, 2010).
- **Nivel E:** relación volumen-capacidad alta, la progresión es desfavorable y la duración del ciclo es elevada y fallos frecuentes. (HCM, 2010).
- **Nivel F:** relación volumen-capacidad mayor a 1, progresión muy pobre, incluso hay situaciones en donde las colas que no se eliminan durante en un ciclo (HCM, 2010).

Tabla 2. Niveles de servicio para automóviles.

Retraso (s/veh)	Nivel de servicio en función del Ratio/Volumen-Capacidad	
	≤1	>1
≤10	A	F
> 10-20	B	F
> 20-35	C	F
> 35-55	D	F
> 55-80	E	F
> 80	F	F

Nota: HCM 2010

Factor pico horario

El factor de pico horario de la intersección se calcula mediante la siguiente expresión:

$$PHF = \frac{n_{60}}{4 \cdot n_{15}} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

PHF: Factor Pico Horario

n_{60} : vehículos contados durante la hora

n_{15} : vehículos registrados durante el periodo de 15 minutos con mayor tráfico (veh)

Coeficiente de grupo

Es un indicador que refleja la calidad de la progresión de la señalización para un grupo de movimiento y se obtiene dividiendo la tasa de demanda durante la fase verde entre la demanda media, con valores típicos se encuentran entre 0.33 y 2 (HCM, 2010).

Tabla 3. Coeficiente de grupo

Coeficiente de grupo	Tipo de llegada	Calidad de la progresión
0.33	1	Muy pobre
0.67	2	Desfavorable
1.00	3	Llegadas aleatorias
1.33	4	Favorable
1.67	5	Altamente Favorable
2.00	6	Excepcionalmente favorable

Nota: HCM 2010

El coeficiente de grupo puede ser estimado en análisis operacionales mediante datos de campo empleando la siguiente ecuación:

$$R_p = \frac{P}{g/C} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

R_p : Coeficiente de grupo

P: Proporción de vehículos que llegan durante la fase verde

g: Verde efectivo (s)

C: Duración de ciclo

Se calcula dividiendo la cantidad de vehículos que llegan durante la fase verde entre el total de vehículos que llegan en todo el ciclo semafórico (HCM, 2010).

Factor de ajuste por coordinación

Refleja el impacto de la coordinación semafórica, siendo alta cuando más vehículos llegan en luz verde y baja cuando llegan menos, afectando principalmente la demora uniforme y aplicándose únicamente a la demora d_1 (HCM, 2010).

El valor de PF se determina usando la siguiente ecuación:

$$PF = \frac{(1-P)xf_{PA}}{1-(\frac{g}{C})} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

PF: Factor de ajuste por coordinación.

P: Proporción de vehículos que llegan en verde.

g/C: Proporción de tiempo de verde disponible.

f_{PA} : Factor de ajuste suplementario por grupos vehiculares que llegan en verde.

El valor de P es la proporción de vehículos en el ciclo que arriban a la línea de parada o que se unen a la cola (estacionaria o en movimiento) en verde.

Los valores de f_{PA} y PF se hallan usando la siguiente Tabla:

Tabla 4. Factor de ajuste por coordinación para cálculo de la demora uniforme

Relación g/c	Tipo de llegada (AT)					
	AT 1	AT 2	AT 3	AT 4	AT 5	AT 6
0.2	1.167	1.007	1.000	1.000	0.833	0.750
0.3	1.286	1.063	1.000	0.986	0.714	0.571
0.4	1.445	1.136	1.000	0.895	0.555	0.333
0.5	1.667	1.240	1.000	0.767	0.333	0.000
0.6	2.001	1.395	1.000	0.576	0.000	0.000
0.7	2.556	1.653	1.000	0.256	0.000	0.000
fPA	1.000	0.930	1.000	1.150	1.000	1.000
Rp por defecto	0.333	0.667	1.000	1.333	1.667	2.000

Nota: HCM 2010

2.2.7. Datos de entrada

Son los elementos necesarios para el análisis y deben especificarse por separado para cada dirección de viaje en el segmento y para cada intersección límite, según lo mostrado en la siguiente tabla 5.

Tabla 5. Datos de entrada

Categoría de datos	Elementos de entrada
Características de tránsito	Características de tránsito
	Número de pistas
	Longitud de segmentos
Diseño geométrico	Longitud de mediana restrictiva
	Proporción de segmentos con solera
	Puntos de acceso
Otros	Duración del período de análisis
	Velocidad límite

Nota: HCM 2010

Flujo en puntos de acceso

Es el número de vehículos que llegan a un punto de acceso durante el período de análisis, dividido por la duración de dicho período, necesario para todos los movimientos que intersecan en cada punto de acceso activo. (HCM, 2010).

Flujo en el segmento

Cantidad de vehículos que circulan por el segmento durante el período de análisis, dividido por su duración. El volumen se especifica por separado para cada dirección de viaje a lo largo del segmento. (HCM, 2010).

Número de pistas del segmento

Es la cantidad de pistas destinadas al tránsito continuo en cada dirección, sin incluir carriles exclusivos para giros (HCM, 2010).

Longitud de segmento

Distancia entre las intersecciones límite del tramo, el punto de medición en cada intersección es la línea de Pare, la línea de Ceda el Paso, o el equivalente funcional en la dirección dada de viaje. La longitud es la medida sobre el eje de la vía y considerando un promedio si varía entre direcciones (HCM, 2010).

Longitud de mediana restrictiva

Es la distancia del segmento que cuenta con una mediana restrictiva (por ejemplo, solera), se considera la medida de esquina a esquina a lo largo del eje vial, sin incluir aberturas. (HCM, 2010).

Proporción de segmento con solera

Es la relación entre la longitud del segmento con solera en el lado derecho y la longitud total del enlace (HCM, 2010).

Número de aproximaciones de puntos de acceso

Cantidad de entradas no señalizadas y calles públicas que se aproximan al segmento por cada lado, independientemente del volumen de tránsito y debe ser igual o superior al número de puntos de acceso activos. Si la intersección límite aguas abajo no es semaforizada, esta aproximación por el lado derecho de la calle que cruza (en la dirección de viaje) no es incluida en el conteo. (HCM, 2010).

Duración del período de análisis

Es el tiempo considerado para evaluar el desempeño del sistema, generalmente entre 15 minutos y 1 hora, priorizando el intervalo de mayor demanda durante un período de 24 horas. (HCM, 2010).

2.2.8. Metodología de HCM

Paso 1. Determinar grupos de movimiento y de carriles

La identificación de grupos de movimiento se realiza aplicando reglas a cada acceso de la intersección donde un giro atendido por carriles exclusivos se considera un grupo de movimiento y los carriles restantes se agrupan según su función compartida como parte de un único grupo.

El concepto de grupo de carriles se emplea cuando existen carriles compartidos en accesos con dos o más carriles y se clasifican de la siguiente manera: los carriles exclusivos de giro a la izquierda forman un grupo al igual que los de giro a la derecha; los carriles compartidos se agrupan como un solo grupo; y los carriles sin giros se agrupan como el grupo de paso.

Los posibles grupos por acceso incluyen carriles exclusivos de giro a la izquierda, exclusivos de paso, exclusivos de giro a la derecha, compartidos de giro a la izquierda y paso, compartidos de giro a la izquierda y giro a la derecha, compartidos de giro a la derecha y paso, y compartidos de giro a la izquierda, paso y giro a la derecha.

De este modo, se pueden obtener uno o más de los siguientes grupos de carriles para cada acceso a las intersecciones.

- Carril o carriles exclusivos de giro a la izquierda
- Carril o carriles exclusivos de paso
- Carril o carriles exclusivos de giro a la derecha
- Carril compartido de giro a la izquierda y de paso
- Carril compartido de giro a la izquierda y giro a la derecha

- Carril compartido de giro a la derecha y de paso
- Carril compartido de giro a la izquierda, de paso y de giro a la derecha

Tabla 6. Combinaciones usuales de grupos de carriles y de movimiento

Number of Lanes	Movements by Lanes	Movement Groups (MG)	Lane Groups (LG)
1	Left, thru., & right:	MG 1:	LG 1:
2	Exclusive left: Thru. & right:	MG 1: MG 2:	LG 1: LG 2:
2	Left & thru.: Thru. & right:	MG 1:	LG 1: LG 2:
3	Exclusive left: Exclusive left: Through: Through: Thru. & right:	MG 1: MG 2:	LG 1: LG 2: LG 3:

Nota: HCM 2010

Paso 2. Determinación del flujo de los grupos de movimiento

Consiste en calcular el volumen de demanda correspondiente a cada grupo de movimiento identificado previamente.

Paso 3. Determinación del flujo de los grupos de carriles

Se determina el volumen de tráfico para cada grupo de carriles utilizando los datos obtenidos en los aforos de tránsito aplicados al análisis operacional.

Paso 4. Determinación del flujo de saturación ajustado

Se calcula la tasa de flujo de saturación ajustada aplicando factores de corrección que consideran las condiciones específicas del enfoque de la intersección, aplicable a grupos con carriles exclusivos con movimientos protegidos y preprogramados sin interacción con peatones o ciclistas; si estas condiciones no se cumplen, se deben aplicar métodos complementarios para dichos casos (HCM, 2010).

$$s = s_0 \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{LU} \cdot f_{RT} \cdot f_{LT} \cdot f_{Lpb} \cdot f_{Rpb} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

- s : Flujo ajustado de saturación (veh/h·carril)
- s_0 : Flujo base de saturación (veh de pasajeros/h·carril)
- f_w : Factor de ajuste por ancho de carril
- f_{HV} : Factor de ajuste de vehículos pesados
- f_g : Factor de ajuste de pendiente del acceso
- f_p : Factor de ajuste por existencia de carriles para aparcar o maniobras de aparcamiento adyacentes al grupo de carriles
- f_{bb} : Factor de ajuste de atascos debidos a paradas de autobuses dentro de la intersección
- f_a : Factor de ajuste por tipo de área
- f_{LU} : Factor de ajuste por utilización del carril
- f_{RT} : Factor de ajuste por presencia de vehículos que giren a la derecha
- f_{LT} : Factor de ajuste por presencia de vehículos que giren a la izquierda
- f_{Lpb} : Factor de ajuste de peatones para grupos de giro a la izquierda
- f_{Rpb} : Factor de ajuste de peatones y bicicletas para grupos de giro a la derecha

Flujo base de saturación S_0

Es el flujo medio esperado para un carril de paso y se considera uniforme para todas las intersecciones semaforizadas dentro de una misma zona, determinado únicamente por la población del área. Si la población es igual o mayor a 250,000 habitantes, S_0 es 1900 vehículos de pasajeros por hora por carril; en caso contrario, S_0 es 1750 vehículos de pasajeros por hora por carril (HCM, 2010).

Ajuste por ancho de carril f_w

Tiene en cuenta tanto el efecto negativo sobre el flujo de saturación de la existencia de carriles estrechos, como el efecto positivo de carriles que posean un ancho elevado.

Tabla 7. Ajuste por ancho de carril f_w

Ancho medio de carril (m)	Factor de ajuste
<3.0	0.96
≥3.0 - 3.92	1.00
>3.92	1.04

Nota: el factor se aplica a carriles con ancho medio superior a 2.45m

Nota: HCM 2010

Los carriles standard son de 3.65 metros. En caso de carriles con anchos superiores a 4.85 metros se puede emplear este factor corrector con precaución, o bien analizar la situación con dos carriles estrechos.

Ajuste por vehículos pesados f_{HV}

Es un factor que considera el espacio adicional y la menor capacidad operativa de los vehículos pesados en comparación con los automóviles de pasajeros, sin incluir a los autobuses locales que se detienen en la intersección (HCM, 2010).

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_{HV}(E_T - 1)} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

- P_{HV} : Porcentaje de vehículos pesados en el grupo (%)
- E_T : Número de vehículos de paso equivalente a cada vehículo pesado = 2

Ajuste por pendiente f_g

Considera el ajuste de la pendiente del tramo que tiene en cuenta los efectos en el rendimiento del vehículo. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

- P_g : Pendiente del acceso (%)

Este factor se aplica para pendientes dentro de un rango que va desde el -6% hasta el +10%, teniendo las pendientes negativas un efecto positivo sobre el funcionamiento de la intersección, y viceversa.

Ajuste por aparcamiento f_p

Este factor considera el impacto de un carril de estacionamiento sobre el flujo del carril adyacente, incluyendo las interrupciones ocasionadas por vehículos que ingresan o salen del estacionamiento; si no hay estacionamiento, el valor del factor es 1, y si lo hay, se calcula mediante una fórmula específica.

$$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18 \cdot Nm}{3600}}{N} \geq 0.05 \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

- Nm : ratio de maniobras en el carril adyacente (maniobras/h)
- N : número de carriles en el grupo (carriles)

Se considera un valor máximo para Nm de 180 maniobras/hora y un valor mínimo de f_p de 0.05. Se considera que cada maniobra (ya sea dentro o fuera) bloquea el tráfico en el carril al lado de la maniobra de estacionamiento por un promedio de 18 s. (HCM, 2010).

Ajuste por bloqueo de autobuses f_{bb}

Este factor considera el efecto de los autobuses de transporte local que se detienen para recoger o dejar pasajeros en paradas ubicadas hasta 76 metros antes o después de la intersección, y su valor se determina mediante una fórmula específica.

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4 \cdot Nb}{3600}}{N} \geq 0.05 \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

- Nb : Ratio de paradas de bus en la zona de estudio (paradas bus/h)
- N : Número de carriles en el grupo (carriles)

El factor f_{bb} se aplica únicamente cuando la parada de autobuses interfiere con el flujo de tráfico del grupo de carriles afectado, considerando un límite máximo de 250 buses por hora y un tiempo promedio de bloqueo de 14.4 segundos durante la fase verde (HCM, 2010).

Ajuste por tipo de área f_a

Este factor refleja la ineficiencia operativa de las intersecciones en zonas como los distritos centrales de negocios (CDB), asignándole un valor de 0.90 cuando se aplica, y su uso debe evaluarse caso por caso según el diseño geométrico y las condiciones de tráfico o flujo peatonal que afecten el avance vehicular (HCM, 2010).

Ajuste por uso de carril f_{LU}

Este factor se aplica para estimar la tasa de flujo de saturación en grupos con más de un carril exclusivo y tiene un valor de 1.0 cuando el grupo cuenta con un carril exclusivo o compartido (HCM, 2010).

Ajuste por giros a la derecha f_{RT}

Este factor considera el impacto de la geometría del giro a la derecha sobre el flujo de saturación y se determina mediante una fórmula específica.

$$f_{RT} = \frac{1}{E_R} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

- E_R : Número equivalente de vehículos de paso para un vehículo con giro a la derecha protegida (= 1.18). (HCM, 2010).

Ajuste por giros a la izquierda f_{LT}

Este factor representa el efecto de la geometría del giro a la izquierda sobre la tasa de flujo de saturación y su valor se obtiene mediante una fórmula específica.

$$f_{LT} = \frac{1}{E_L} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

- E_L : Número equivalente de vehículos de paso para un vehículo protegido que gira a la izquierda (= 1.05) (HCM, 2010).

Ajustes por peatones y bicicletas f_{Lpb} y f_{Rpb}

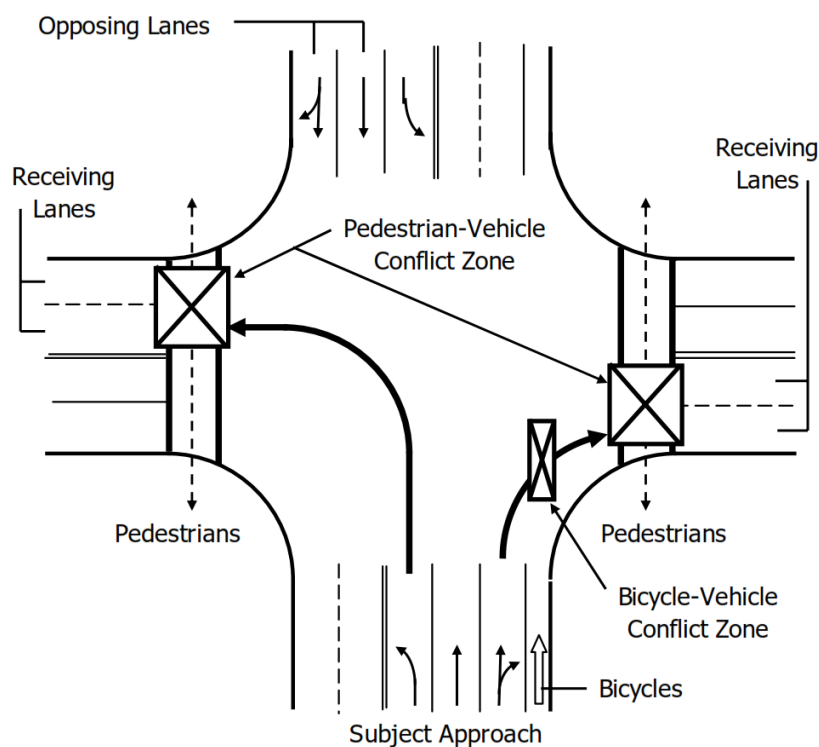
Estos factores consideran el impacto de peatones y ciclistas en los giros a la izquierda (f_{Lpb}) y a la derecha (f_{Rpb}), basándose en la ocupación de la zona de

conflicto que toma en cuenta si el flujo del vehículo opuesto también está en conflicto con el movimiento de giro a la izquierda. La proporción de tiempo verde en que se ocupa la zona de conflicto se determina en función de la ocupación relevante y el número de carriles de recepción para los vehículos que giran. (HCM, 2010).

Factores de ajuste peatonal y de bicicletas

Se dividen en dos partes: la primera aborda el cálculo del factor de ajuste para peatones y bicicletas en giros a la derecha y para peatones en giros a la izquierda desde calles de sentido único; la segunda se enfoca en el cálculo del factor peatonal en giros a la izquierda con operación permitida o protegida-permitida (HCM, 2010).

Figura 6. Ubicaciones de la zona de conflicto



Nota: HCM 2010

Factor de ajuste peatonal para el carril de grupos que sirven para girar a la izquierda los movimientos f_{Lpb} :

- Si no hay ningún conflicto de los peatones, luego f_{Lpb} es igual a 1.0.

- Si el carril grupo está en una calle de dos vías y el modo protegido o dividir las fases se utilizan, entonces f_{Lpb} es igual a 1.0.

Factor de ajuste de peatones y bicicletas para grupos de carriles que realizan movimientos a la derecha f_{Rpb}

- Si no hay ningún conflicto de peatones o de bicicletas, luego f_{Rpb} es igual a 1.0.
- Si el modo protegido es usado, entonces f_{Rpb} es igual a 1.0.

Movimientos a la derecha y movimientos a la izquierda desde la calle de un solo sentido

a. Determinación de flujo peatonal durante su servicio fase verde

Este procedimiento requiere el conocimiento de la duración promedio de la fase y la duración del ciclo. El flujo de peatones se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$v_{pedg} = v_{ped} \cdot \frac{C}{g_{ped}} \leq 5000 \quad (\text{Ecuación 11})$$

Donde:

- v_{pedg} : Peatones durante la fase verde (peatones/h)
- v_{ped} : Peatones que interfieren con el giro que se está estudiando (peatones/h)
- C : Duración del ciclo (s)
- g_{ped} : Duración del verde para peatones (s). (HCM, 2010).

b. Determinar la ocupación media de peatones

Si la tasa de flujo peatonal durante el tiempo de servicio peatonal es menor a 1000 p / h, entonces la ocupación peatonal se calcula con la siguiente ecuación:

$$OCC_{pedg} = \frac{v_{ped}}{2000} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Sí v_{pedg} es superior a 1000 p/h, se emplea la siguiente ecuación:

$$OCC_{pedg} = 0.4 + \frac{v_{pedg}}{10000} \leq 0.90 \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde:

- OCC_{pedg} : Ocupación de la zona de conflicto por los peatones
- v_{pedg} : Peatones durante la fase verde (peatones/h). (HCM, 2010).

c. Determinar el flujo de bicicleta durante la indicación verde

El flujo de bicicletas durante la indicación verde se calcula con la siguiente ecuación.

$$v_{bicg} = v_{bic} \cdot \frac{C}{g} \leq 1900 \quad (\text{Ecuación 14})$$

Donde:

- v_{bicg} : Bicicletas durante la indicación verde (bic/h)
- v_{bic} : Flujo de bicicletas (bic/h)
- C : Duración del ciclo (s)
- g : Verde efectivo (s). (HCM, 2010).

d. Determinar la ocupación media de bicicletas

La ocupación media de la bicicleta se calcula con la siguiente ecuación:

$$OCC_{bicg} = 0.02 + \frac{v_{bicg}}{2700} \quad (\text{Ecuación 15})$$

Donde:

- OCC_{bicg} : Ocupación de la zona de conflicto por las bicicletas
- v_{bicg} : Bicicletas durante la indicación verde (bic/h), mantener como límite la v_{bicg} de 1,900 bicicletas / h. (HCM, 2010).

e. Determinación de la ocupación relevante de la zona de conflicto

Se aplica a giros a la derecha sin interferencia de bicicletas o a giros a la izquierda desde calles de sentido único. Esta ecuación se basa en los supuestos: la actividad de cruce de peatones tiene lugar durante el período de tiempo asociado con g_{ped} , no se produce ningún cruce durante el período de tiempo verde $g - g_{ped}$, cuando este existe.

$$OCC_r = \frac{g_{ped}}{g} \cdot OCC_{pedg} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Donde:

- OCC_r : Ocupación relevante de la zona de conflicto
- g_{ped} : Duración del verde para peatones (s)
- g : Verde efectivo (s)
- OCC_{pedg} : Ocupación de la zona de conflicto por los peatones

Como alternativa se utiliza para los movimientos de giro a la derecha con interferencia de peatones y bicicletas, con todas las variables previamente definidas, emplear será la siguiente:

$$OCC_r = \left(\frac{g_{ped}}{g} \cdot OCC_{pedg} \right) + OCC_{bicg} - \left(\frac{g_{ped}}{g} \cdot OCC_{pedg} \cdot OCC_{bicg} \right) \quad (\text{Ecuación 17})$$

Donde:

- OCC_r : Ocupación relevante de la zona de conflicto
- g_{ped} : Duración del verde para peatones (s)
- g : Verde efectivo (s)
- OCC_{pedg} : Ocupación de la zona de conflicto por los peatones
- OCC_{bicg} : Ocupación de la zona de conflicto por las bicicletas. (HCM, 2010).

f. Determinación del tiempo desocupado.

Si el número de carriles de recepción en una calle transversal es igual al número de carriles de giro, los vehículos que giran no podrán maniobrar alrededor de peatones o bicicletas.

El tiempo en que la zona de conflicto está desocupada se calcula con la ecuación:

$$A_{pbT} = 1 - OCC_r \quad (\text{Ecuación 18})$$

Donde:

- A_{pbT} : Tiempo durante el cual la zona de conflicto se encuentra desocupada
- OCC_r : Ocupación relevante de la zona de conflicto

Si el número de carriles de recepción de cruce de calle excede el número de carriles de giro, es más probable que los vehículos que giran se muevan alrededor de peatones o bicicletas. En esta situación, el efecto de los peatones y las bicicletas en el flujo de saturación es menor y el tiempo en que la zona de conflicto está desocupada se calcula con la ecuación:

$$A_{pbT} = 1 - 0.6 \cdot OCC_r \quad (\text{Ecuación 19})$$

Donde:

- A_{pbT} : Tiempo durante el cual la zona de conflicto se encuentra desocupada
- $OCCr$: Ocupación relevante de la zona de conflicto

La elección de la ecuación depende del número de carriles de giro y recepción, los cuales deben identificarse mediante observación en campo, ya que pueden presentarse giros ilegales desde carriles exclusivos o bloqueos por vehículos en doble fila que afectan la operación real de la intersección (HCM, 2010).

g. Determinación del factor de ajuste para el flujo de saturación.

Para la operación de giro a la derecha permitida en un carril exclusivo, se usa la siguiente ecuación para calcular el factor de ajuste de peatones y bicicletas:

$$f_{Rpb} = A_{pbT} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Donde:

- R_{pb} es el factor de ajuste de peatones y bicicletas para grupos de giro a la derecha
- A_{pbT} es el tiempo desocupado

En giros a la izquierda con operación protegida-permitida desde un carril exclusivo, se utiliza un factor específico para calcular el flujo de saturación ajustada durante el período permitido, mientras que en el período protegido el factor es 1.0. Para giros a la izquierda desde calles de un solo sentido, se aplica una ecuación particular para obtener el factor de ajuste peatonal.

$$f_{Lpb} = A_{pbT} \quad (\text{Ecuación 21})$$

Donde:

- f_{Lpb} es el factor de ajuste peatonal para grupos de giro a la izquierda
- A_{pbT} es el tiempo desocupado. (HCM, 2010).

Movimientos de giro a la izquierda permitidos y protegidos

a) Cálculo de la ocupación de los peatones luego de disolución de cola

Se determina usando una ecuación específica, donde el tiempo de servicio en cola opuesta (gq) se calcula como el tiempo verde efectivo permitido (gp) menos el

tiempo de giro a la izquierda no bloqueado por la cola opuesta (g_u), es decir, $g_q = g_p - g_u$, y si g_q es menor que g_{ped} se aplica un ajuste adicional.

$$OCC_{pedu} = OCC_{pedg} \cdot \left(1 - 0.5 \cdot \frac{g_q}{g_{ped}}\right) \quad (\text{Ecuación 22})$$

O de otra manera:

$$OCC_{pedu} = 0.0 \quad (\text{Ecuación 23})$$

Donde:

- OCC_{pedu} : Ocupación de la zona de conflicto por peatones tras la disolución de la cola
- OCC_{pedg} : Ocupación de la zona de conflicto por los peatones
- g_q : Tiempo de servicio a la cola (s). Igual al verde del movimiento que la produce.
- g_{ped} : Duración del verde para peatones (s)

Si el tiempo de servicio de la cola opuesta (g_q) es igual o mayor al tiempo de cruce peatonal (g_{ped}), la cola opuesta ocupa por completo el tiempo destinado al paso de peatones (HCM, 2010).

b) Determinación de la ocupación relevante de la zona de conflicto.

La ocupación relevante de la zona de conflicto es una función de la probabilidad de disponibilidad de espacio aceptado y ocupación peatonal. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$OCC_r = \frac{g_{ped} - g_q}{g_p - g_q} \cdot (OCC_{pedu}) \cdot e^{\frac{-5 \cdot v_0}{3600}} \quad (\text{Ecuación 24})$$

Dónde:

- OCC_r : Ocupación relevante de la zona de conflicto
- g_{ped} : Duración del verde para peatones (s)
- g_q : Tiempo de servicio a la cola (s)
- g_p : Duración efectiva de la fase de giro a la izquierda permitido (s)
- OCC_{pedu} : Ocupación de la zona de conflicto por peatones tras la disolución de la cola
- v_0 : Demanda causante de la cola que se debe deshacer (veh/h). (HCM, 2010).

c) Determinar el tiempo desocupado

Corresponde al cálculo del tiempo en que la zona de conflicto permanece libre, y la elección de la ecuación adecuada depende del número de carriles de giro a la izquierda y de carriles de recepción (HCM, 2010).

d) Determinación del factor de ajuste para el flujo de saturación

El factor de ajuste peatonal f_{Lpb} de A_{pbT} , el tiempo desocupado se calcula con la siguiente ecuación:

$$f_{Lpb} = A_{pbT} \quad (\text{Ecuación 25})$$

Paso 5. Determinación de la proporción de llegadas durante la fase verde

La demora de control y el tamaño de la cola en una intersección dependen de la cantidad de vehículos que llegan durante las fases verde y roja, siendo menores cuando más vehículos llegan en verde; esta proporción se calcula mediante una ecuación específica para cada grupo de carril.

$$P = R_p \cdot (g/C) \quad (\text{Ecuación 26})$$

Donde:

- P : Proporción de vehículos que llegan durante la fase verde
- R_p : Coeficiente de grupo
- g : Verde efectivo (s)
- C : Duración del ciclo (s). (HCM, 2010).

Paso 6. Determinación de la duración de las fases de señalización

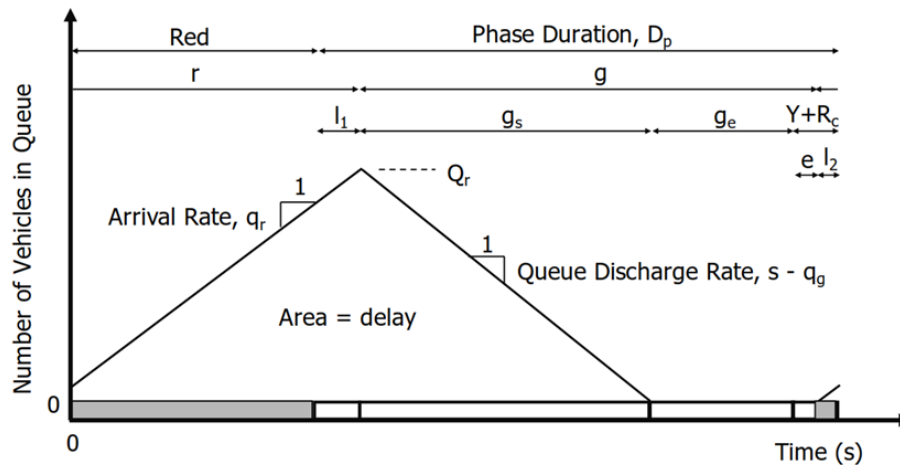
La duración de una fase activada se compone de cinco periodos: el primero corresponde al tiempo perdido por la reacción de la cola al cambio a verde, el segundo al tiempo necesario para despejar dicha cola, el tercero al tiempo en que el verde se mantiene para permitir el paso de vehículos que llegan al azar, el cuarto al intervalo de cambio amarillo y el quinto al intervalo de autorización en rojo; esta duración se calcula mediante una ecuación específica.

$$D_p = l_1 + g_s + g_e + Y + R_c \quad (\text{Ecuación 27})$$

Donde

- D_p : Duración de la fase (s)
- l_1 : tiempo de reacción = 2 (s)
- g_s : tiempo de servicio a la cola (s)
- g_e : Duración del verde (s)
- Y : Duración ámbar (s)
- R_c : Tiempo de despeje (s). (HCM, 2010).

Figura 7. Polígono de acumulación de cola en una fase de operación.



Nota: HCM 2010

Durante el rojo, los vehículos se acumulan a una tasa de llegada " q_r " formando una cola que alcanza su máximo " l_1 " segundos después. La descarga inicia cuando termina el rojo y se da a una tasa igual al flujo de saturación " s " menos la tasa de llegada durante el verde " q_g ". La cola se elimina tras " g_s " segundos y luego se extiende el verde por llegadas aleatorias. El verde finaliza cuando ocurre una brecha en el flujo o se alcanza el máximo, coincidiendo con el final del tiempo de extensión " g_e ".

El tiempo verde efectivo para la fase se calcula con la siguiente ecuación:

$$g = D_p + l_1 + l_2 = g_s + g_e + e \quad (\text{Ecuación 28})$$

Donde:

- D_p : Duración de la fase (s)
- l_1 : tiempo de reacción = 2 (s)
- $l_2 = Y + R_c - e$ (s)

- g_s : tiempo de servicio a la cola (s)
- g_e : Duración del verde (s)
- e : extensión del verde efectivo = 2 (s). (HCM, 2010).

Paso 7. Determinar la capacidad y la relación volumen-capacidad

Relación de volumen a capacidad de grupo de carril

La capacidad de un grupo de carril dado que sirve para un movimiento de tráfico, y para el cual no hay movimientos permitidos de giro a la izquierda, se define mediante la Ecuación:

$$c = N \cdot s \cdot \frac{g}{C} \quad (\text{Ecuación 29})$$

Donde:

- c : Capacidad del grupo (vehículos/h)
- N : Número de carriles (carriles)
- s : Flujo de ajustado de saturación (veh/h·carril)
- g : Verde efectivo (s)
- C : Duración del ciclo (s)

La relación volumen-capacidad para un grupo de carriles se define como la relación del volumen del grupo de carril y su capacidad. Se calcula utilizando la ecuación:

$$X = \frac{v}{c} \quad (\text{Ecuación 30})$$

Donde:

- X : Ratio volumen capacidad
- v : Demanda (veh/h)
- c : Capacidad del grupo (veh/h). (HCM, 2010).

Paso 8. Determinación de retrasos

En este paso se calcula el retraso promedio que experimentan todos los vehículos durante el período de análisis, incluyendo el tiempo de espera de aquellos que permanecen en la cola una vez finalizado dicho período.

El retraso para un grupo de carril dado se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$d = d_1 + d_2 + d_3 \quad (\text{Ecuación 31})$$

Donde:

- d : Retraso (s/veh)
- d_1 : Retraso uniforme (s/veh)
- d_2 : Retraso incremental (s/veh)
- d_3 : Retraso por colas iniciales (s/veh). (HCM, 2010).

Conceptos

Retraso uniforme

Se calcula mediante una ecuación que asume llegadas aleatorias a lo largo del ciclo, considerando un período verde efectivo y un flujo constante a nivel de saturación durante dicho intervalo.

$$d_1 = \frac{0.5 \cdot C \cdot (1 - g/C)^2}{1 - [\min(1, X) \cdot g/C]} \quad (\text{Ecuación 32})$$

Donde:

- d_1 : Retraso uniforme (s/veh)
- C : Duración del ciclo (s)
- g : Verde efectivo (s)
- X : Ratio volumen capacidad. (HCM, 2010).

Cálculo del retraso incremental:

Este tipo de retraso considera la variación aleatoria en las llegadas por ciclo y el efecto de la demanda que supera la capacidad durante el período de análisis, conocida como demanda insatisfecha, asumiendo que no existe una cola inicial acumulada de periodos anteriores.

Las siguientes ecuaciones se usan para calcular el retraso incremental.

$$d_2 = 900 \cdot T \left[(X_A - 1) + \sqrt{(X_A - 1)^2 + \frac{8 \cdot k \cdot I \cdot X_A}{c_A \cdot T}} \right] \quad (\text{Ecuación 33})$$

Con:

$$X_A = \frac{v}{c_A} \quad (\text{Ecuación 34})$$

Donde:

- X_A : ratio volumen-capacidad medio
- I : Factor de influencia de señalización anterior. (HCM, 2010).

Cálculo del retraso del grupo de carriles

El retraso uniforme, retraso incremental y retraso de colas iniciales de cola calculados en los pasos anteriores (Determinación de retrasos en el paso 8) se suman y se obtiene el retraso total.

Calcular estimaciones de demora agregada

El retraso de cada grupo de carril es ponderado por la tasa de flujo de la demanda del grupo. El retardo de control de aproximación se calcula con la siguiente ecuación:

$$d_{A,j} = \frac{\sum_{i=1}^{m_j} d_i v_i}{\sum_{i=1}^{m_j} v_i} \quad (\text{Ecuación 35})$$

Donde:

- $d_{A,j}$: retraso para el acceso j (s/veh)
- d_i : retraso para el grupo de carril i (s/veh)
- m_j : número de carriles para el acceso j

Los términos en la ecuación anterior representan la suma de todos los grupos de carriles en el enfoque por tema. De manera similar, el retraso de intersección se calcula con la siguiente ecuación:

$$d_I = \frac{\sum d_i v_i}{\sum v_i} \quad (\text{Ecuación 36})$$

Donde:

- d_I : retraso producido en la intersección (s/veh). (HCM, 2010).

Paso 9. Determinación de los Niveles de Servicio

El nivel de servicio indica el grado de aceptabilidad del retraso que experimentan los conductores en una intersección y puede reflejar condiciones de operación de saturación excesiva en grupos de carriles específicos (HCM, 2010).

Paso 10. Determinar la relación de almacenamiento de la cola

La relación de almacenamiento de la cola representa la proporción del espacio disponible que es ocupado por la fila de vehículos detenidos durante la fase roja, dependiendo del patrón de llegada y del número de vehículos que no cruzaron en

el ciclo anterior; si esta proporción supera 1.0, el almacenamiento se desborda y puede bloquear el avance del tránsito. (HCM, 2010).

2.2.9. Clasificación por tipo de vehículo

Corresponde al porcentaje de participación de cada categoría de vehículo en el Índice Medio Diario Anual (IMDA), según el Reglamento Nacional de Vehículos (Diseño Geométrico DG-2018), clasificándose del siguiente modo:

Categoría L

Vehículos automotores con menos de cuatro ruedas.

- L1: Dos ruedas, hasta 50 cm³ y velocidad máxima de 50 km/h
- L2: Tres ruedas, hasta 50 cm³ y velocidad máxima de 50 km/h
- L3: Dos ruedas, más de 50 cm³ o velocidad mayor a 50 km/h
- L4: Tres ruedas asimétricas, más de 50 cm³ o velocidad mayor a 50 km/h
- L5: Tres ruedas simétricas, más de 50 cm³ o velocidad mayor a 50 km/h y peso bruto vehicular no mayor a una tonelada

Categoría M

Vehículos de cuatro ruedas o más, diseñados para transportar pasajeros.

- M1: Hasta ocho asientos sin contar el del conductor
- M2: Más de ocho asientos y peso bruto vehicular de hasta 5 toneladas
- M3: Más de ocho asientos y peso bruto vehicular mayor a 5 toneladas

Las categorías M2 y M3 se subdividen según la disposición de pasajeros:

- Clase I: Con áreas para pasajeros de pie y circulación frecuente
- Clase II: Mayormente para pasajeros sentados, con espacio limitado para pasajeros de pie
- Clase III: Exclusivos para pasajeros sentados

Categoría N

Vehículos de cuatro ruedas o más, diseñados para transporte de mercancía.

- N1: Peso bruto vehicular hasta 3,5 toneladas
- N2: Peso bruto mayor a 3,5 toneladas y hasta 12 toneladas
- N3: Peso bruto mayor a 12 toneladas

Categoría O

Remolques y semirremolques.

- O1: Peso bruto de 0,75 toneladas o menos
- O2: Peso bruto mayor a 0,75 toneladas hasta 3,5 toneladas
- O3: Peso bruto mayor a 3,5 toneladas hasta 10 toneladas
- O4: Peso bruto mayor a 10 toneladas

2.2.10. Synchro V8.0

Synchro V8.0 es un software empleado para la simulación, optimización, administración y representación del gráfico de la zona en estudio y opera en base a los métodos del Manual de Capacidad de Carreteras 2010, proporciona una solución fácil de usar para el análisis de capacidad en intersecciones y optimización de tiempos en dispositivos semafóricos de tránsito en una red vial, evitando la necesidad de hacer múltiples análisis.

Fue fundado bajo el nombre de Naztec en 1979 como una empresa de ingeniería y fabricación para la industria del transporte. En 2011, se fusionó con Naztec Trafficware, un desarrollador líder de software de simulación y optimización. La combinación de estas dos compañías permite una continuidad importante en la línea de productos, desde el modelado de aplicaciones para usuario y el diseño, hasta la implementación y control del sistema.

Este programa permite realizar un análisis de una red global de tráfico, pero al mismo tiempo se puede subdividir en subredes que interactúan entre si y sobre las cuales el usuario tiene pleno control. (Trafficware, 2011).

Análisis de Capacidad

Synchro V8.0 implementa la utilización Intersección Capacidad (UCI) Método 2003 para determinar la capacidad de intersección. Este método compara el volumen actual de las intersecciones finales de capacidad. El método es muy sencillo de implementar y puede determinarse con una sola página de la hoja de trabajo.

Synchro V8.0 también implementa los métodos de la 2000 y recientemente lanzado 2010 Carretera Capacidad Manual. Synchro V8.0 ofrece una solución fácil de usar para el análisis individual de la capacidad de intersección y de temporización de optimización.

Synchro V8.0 incluye un término de cola de interacción bloqueando demora. El retardo total incluye el retraso control tradicional más el retardo de cola. Cálculos de retardo son una parte integral del objetivo de optimización en Synchro V8.0 por lo que este será considerado directamente.

Además de calcular la capacidad, Synchro V8.0 puede optimizar la duración del ciclo, divisiones y compensaciones, eliminando la necesidad de tratar varios planes de sincronización en la búsqueda del óptimo.

Todos los valores se introducen en formas fáciles de usar. Cálculos y resultados intermedios se muestran en las mismas formas. (Trafficware, 2011).

Coordinar y optimizar

Synchro V8.0 permite la generación rápida de los planes óptimos de tiempo. Synchro V8.0 optimiza la duración del ciclo, tiempos parciales, compensaciones y secuencia de fases para minimizar las paradas de controladores y el retraso.

Synchro V8.0 es completamente interactivo. Cuando se cambian los valores de entrada, los resultados se actualizan automáticamente. Planes de temporización se muestran en fácil de entender en los diagramas de tiempo. (Trafficware, 2011).

Señales accionadas

Synchro V8.0 ofrece en detalle de modelado automático de señales de accionamiento, puede modelar el comportamiento de saltos y espacios y aplicar esta información al modelado de retrasos. (Trafficware, 2011).

Rotondas

Synchro V8.0 incluye en 2010 Carretera Capacidad Manual (HCM) los métodos de rotondas. Este permita el modelado de 1 y 2 rotondas de carril. (Trafficware, 2011).

Tiempo-Espacio Diagrama

Synchro V8.0 tiene colores, diagramas espacio-temporales informativos. Fraccionamientos y compensaciones se pueden cambiar directamente sobre el diagrama. Synchro V8.0 cuenta con dos estilos de diagramas espacio-temporales. El estilo de ancho de banda muestra cómo el tráfico podría ser capaz de viajar por todo un arterial sin parar. El estilo de flujo de tráfico muestra vehículos individuales que se detienen, hacen cola, y luego se van. El estilo de flujo de tráfico da una imagen mucho más clara de cómo se ve realmente el flujo de tráfico. Los diagramas de tiempo-espacio se pueden imprimir con cualquier configuración de impresora compatible.

Los diagramas espacio-temporales también muestran problemas de interacción cola con barras con código de color cerca de las intersecciones. (Trafficware, 2011).

SimTraffic Simulaciones

SimTraffic realiza micro simulación y la animación de la circulación de vehículos y peatones. Con SimTraffic los vehículos individuales se modelan y se muestra que atraviesa una red de calles.

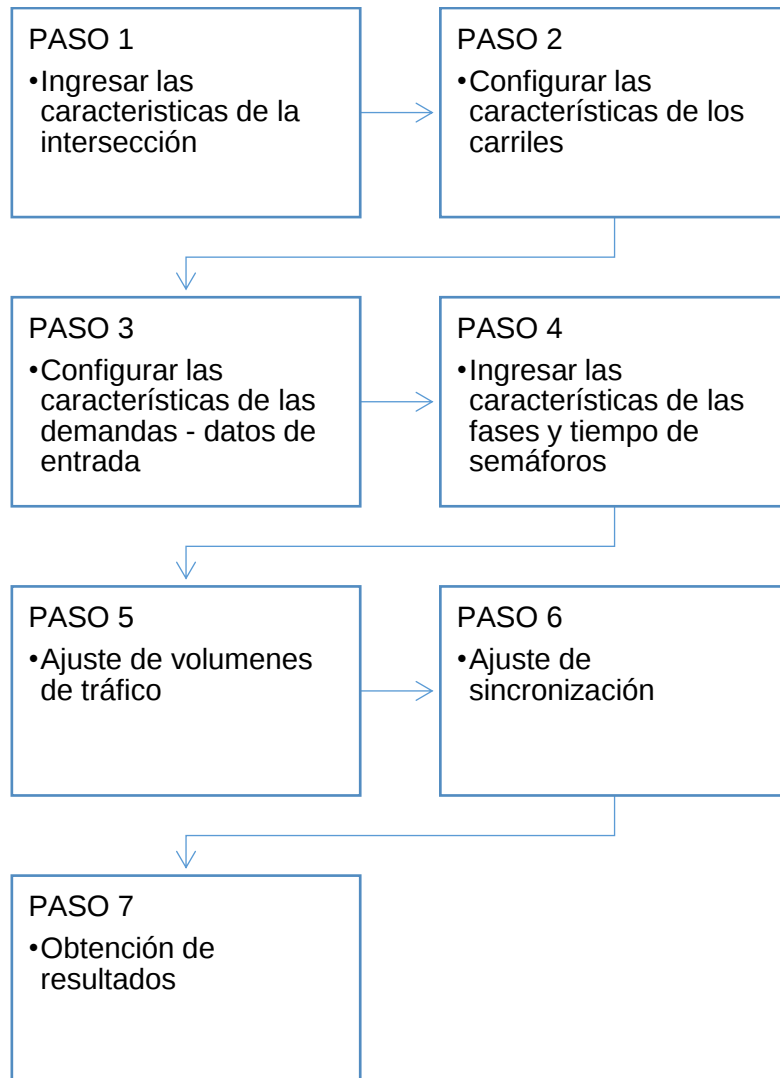
Modelos SimTraffic señalizadas y las intersecciones semaforizadas, así como secciones de autopista con automóviles, camiones, peatones y autobuses. A diferencia de un número de otras aplicaciones de modelado, se muestra la animación SimTraffic mientras se realiza la simulación. La entrada de datos es intuitiva y eficiente y el mismo conjunto de datos creado con Synchro V8.0 se puede utilizar para ejecutar simulaciones dentro de SimTraffic. (Trafficware, 2011).

Animaciones 3D

SimTraffic puede crear un archivo 3D que se puede ver con el Visor Trafficware 3D. Los tres modos primarios del espectador para la reproducción de datos SimTraffic en un entorno 3D incluyen escena, paseo, y la pista. La capacidad de

crear escenarios para mejorar el fondo predeterminado es también disponible en el visor 3D. (Trafficware, 2011).

Figura 8. Procedimiento de cálculo con software Synchro V8.0.



2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Volumen:

Es la cantidad total de vehículos que circulan por una sección específica de la vía durante un intervalo de tiempo, el cual puede variar, aunque comúnmente se expresa en periodos anuales, diarios, horarios o inferiores a una hora. (HCM, 2010).

2.3.2. Flujo vehicular

Corresponde a la 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. (HCM, 2010).

2.3.3. Velocidad

Dado que en una corriente de tránsito existe una amplia variedad de velocidades individuales, se utiliza un valor representativo para caracterizar la velocidad alcanzable por los usuarios en una vía (HCM, 2010). Los parámetros básicos aplicables en calles urbanas son:

Velocidad promedio de viaje

Es la longitud del segmento dividida por el tiempo promedio que tardan los vehículos en recorrerlo, incluyendo las demoras por detenciones (HCM, 2010).

Velocidad de flujo libre

Corresponde a la velocidad promedio en condiciones de bajo volumen vehicular, donde los conductores circulan libremente sin interferencias de otros vehículos ni dispositivos de control como semáforos, rotondas o señales de pare. (HCM, 2010).

2.3.4. Demora

Es el tiempo que los vehículos pierden debido a un dispositivo de control de tránsito en la intersección, incluyendo la desaceleración al llegar, el tiempo de detención, el avance en la cola y la aceleración hasta alcanzar la velocidad deseada. (HCM, 2010).

2.3.5. Congestionamiento:

Flujo de saturación vehicular debido al exceso de demanda de vías produciendo incremento en los tiempos de viaje. (Argüello et al, 2020).

2.3.6. Inventario vial

El Inventario vial es el conjunto de información técnica -recopilados y sistematizados de los datos obtenidos en las mediciones de campo- en los cuales se identifican y registran las características y estado de las vías. (MTC, 2013).

2.3.7. Características de Flujo

El flujo se interrumpe por semáforos cuando empalman con vías arteriales, y con controles simples con señalización horizontal y vertical cuando empalman con vías locales. El estacionamiento de vehículos se realiza en estas vías en áreas adyacentes.

Reciben soluciones especiales que permita la continuidad y seguridad del desplazamiento en cruces peatonales, donde existan volúmenes de vehículos y/o peatones de magnitud apreciable.

2.3.8. Índice medio diario anual (IMDA)

Es el promedio aritmético de los volúmenes diarios registrados durante todos los días del año en una sección específica de la vía y proporciona una medida cuantitativa de su importancia, además de ser clave para los cálculos de factibilidad económica (Diseño Geométrico DG-2018).

2.3.9. Educación vial

Es el conocimiento de las normas, reglamentos y señales de tránsito que regulan la circulación por calzadas y aceras, así como la formación en valores, hábitos y actitudes que permitan actuar con seguridad en diversas situaciones de tránsito como peatones, pasajeros o conductores (Guía de educación en seguridad vial, 2008).

CAPÍTULO III

PLANEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

Los niveles de servicio vehicular en las vías del tramo comprendido entre la Av. Andrés Zevallos - Av. Vía De Evitamiento Sur cuadra nueve de la ciudad de Cajamarca 2020, varían entre nivel E y nivel F.

3.2 Variables/ Categorías

3.2.1. Variable Independiente:

- Flujo Vehicular
- Características de la vía
- Tiempos en semáforos.

3.2.2. Variable Dependiente:

- Nivel de Servicio
- Capacidad vial

3.3 Operacionalización / categorización de los componentes de la hipótesis

Tabla 8. Operacionalización de los componentes de la hipótesis

Título: EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE SERVICIO VEHICULAR EN LAS VÍAS DEL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE DE LA AVENIDA ANDRÉS ZEVALLOS - AVENIDA VÍA DE EVITAMIENTO SUR CUADRA NUEVE DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA-2020.					
Hipótesis	Definición conceptual de variables/categorías	Variables /categorías	Factores	Indicadores /cualidades	Fuente o instrumento de recolección de datos
Los niveles de servicio vehicular en las vías comprendidas entre la Av. Andrés Zevallos - Av. Vía De Evitamiento Sur cuadra nueve de la ciudad de Cajamarca varían entre nivel E y nivel F -2020.	El flujo es la cantidad de vehículos que pasan en una sección determinada de la vía durante un intervalo de tiempo. (HCM, 2010).	Flujo vehicular		Volumen (Veh/h/d), Velocidad (Km/hr)	Formatos de recolección de datos, mediciones y cálculos
	Son todos aquellos elementos físicos propios del diseño geométrico, que tienen influencia directa e indirecta en la capacidad y el nivel de servicio de la vía. (Invias 2020). Manual de capacidad de niveles de servicio para carretera de dos carriles.	Características de la vía		Dimensiones geométricas de la vía, alineamiento, calzada, berma.	Formatos de recolección de datos, mediciones y cálculos
	Proyectan indicaciones visuales de colores, verde, amarillo y rojo, a través de ello permiten el paso de las corrientes de tránsito que se cruzan. Se determina a través del comportamiento de la vía, se pueden usar patrones de tránsito o de acuerdo a la demanda vehicular. (Cal y Mayor, 2007).	Tiempos en semáforos		Fases y ciclos rojo, verde y ambar en seg., min.	Formatos de recolección de datos, mediciones y cálculos
	Nivel de servicio. Es la medida que describe las condiciones del flujo vehicular de una intersección y la percepción de vehículos con peatones. (HCM 2010).	Nivel de servicio	Manual de diseño del de MTC	Demoras de los niveles son A, B, C, D, E y F.	Mediciones y cálculos
	Capacidad vial. Es la cantidad mayor de vehículos que pueden transitar por una vía en los dos sentidos en un tiempo determinado en las condiciones de vía y de tránsito. (Invias 2020). Manual de capacidad de niveles de servicio para carretera de dos carriles.	Capacidad vial		intervalos de conteo	Mediciones y cálculos

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1. Ubicación geográfica

- Departamento: CAJAMARCA
- Provincia: CAJAMARCA
- Distrito: CAJAMARCA

Las vías en estudio están ubicadas en el distrito de Cajamarca a una altitud promedio de 2750 m.s.n.m. Tomando como punto de partida la intersección de Av. Hoyos Rubio con la Av. Andrés Zevallos hasta la intersección de la Av. vía de Evitamiento Sur con la Av. Atahualpa (Rotonda musical) de la ciudad de Cajamarca. Ver Anexos: Planos de PU-01 ubicación.

El tramo en estudio inicia en la intersección de Av. Hoyos Rubio con la Av. Andrés Zevallos. La Av. Andrés Zevallos son vías en dos sentidos de doble carril cada una, que conecta con la Av. vía de Evitamiento Sur, avenidas que son una de las vías principales de la ciudad.

La Av. Andrés Zevallos cuenta con 4 carriles, 2 en sentido de norte a sur y los 2 en sentido de sur a norte, tiene una longitud de 960.50m, está construida con pavimento rígido, con pendiente longitudinal es de 1.5% a 2.5%, con cunetas a lo largo del tramo.

La Av. vía de Evitamiento Sur cuenta con 4 carriles, dos en sentido de sureste a noroeste y los 2 en sentido de noroeste a sureste, tiene una longitud de 999.20m, está construida con pavimento flexible, con pendiente longitudinal es de 1.8% a 2.3, con cunetas a lo largo del tramo.

Figura 9. Ubicación del tramo en estudio, Av. Andrés Zevallos y Av. vía de Evitamiento Sur cuadra nueve (Rotonda musical).



Nota: Google Maps por Google

El problema del tránsito se presenta a lo largo de todo el tramo de la vía en estudio, considerándose como zona de alerta o de mayor congestión vehicular (puntos críticos de emergencia) a las intersecciones semaforizadas, ya que éstas generan incremento en las demoras y no permiten una adecuada circulación de tránsito en horas de máxima demanda, de acuerdo a ello se evaluaron 4 intersecciones semaforizadas por ser puntos clave que determinan el comportamiento del tránsito, las cuales se muestra en la tabla de ubicación de intersecciones semaforizadas de mayor demanda.

Tabla 9. Ubicación de intersecciones semaforizadas de mayor demanda en coordenadas geográficas y coordenadas UTM WGS 84-17M.

UBICACIÓN DE PUNTOS CRÍTICOS	COORDENADAS UTM WGS84 -17M			COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
	NORTE	ESTE	COTA	LATITUD	LONGITUD
Inicio: intersección de Av. Hoyos Rubio con la Av. Andrés Zevallos	9209047.50	775355.19	2721.8	7°08'56.0"S	78°30'25.1"W
Intersección de Prlg. Ayacucho con la Av. Andrés Zevallos	9208477.73	775437.03	2718.6	7°09'14.5"S	78°30'22.3"W
Fin Av. Andrés Zevallos - Inicio Av. vía de Evitamiento Sur	9208100.14	775372.63	2719.2	7°09'26.8"S	78°30'24.3"W
Intersección de Jr. El Inca con la Av. vía de Evitamiento Sur	9207878.37	775454.88	2718.6	7°09'34.0"S	78°30'21.6"W

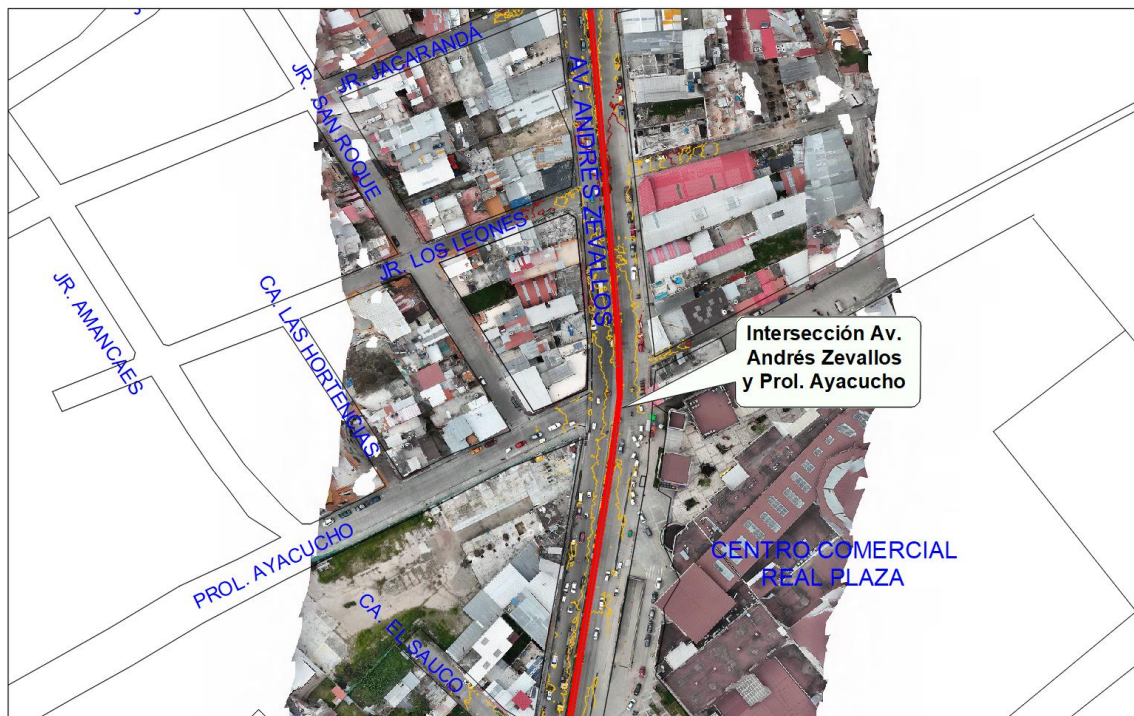
a) Ubicación de la intersección 1

La intersección está compuesta por 04 accesos, la Av. Hoyos Rubio que es una vía de doble sentido que conecta con el centro comercial Mega Plaza, hospital de consultorios Essalud, institución educativa María de Nazaret, institución educativa Pamer, institución educativa Davy, institución educativa El Carmen, el aeropuerto y a lugares turísticos como las Ventanillas de Otuzco, la Av. vía de Evitamiento Norte que va de sur a norte que se dirige hacia la provincia de Hualgayoc y la Av. Andrés Zevallos que va norte a sur que se dirige hacia Av. vía de Evitamiento Sur.

Tramo inicial:
intersección Av.
Andrés Zevallos y
Jr. Hoyos Rubio

La intersección está ubicada cerca del centro comercial Real Plaza, está compuesta por

Figura 11. Ubicación de la intersección 2.

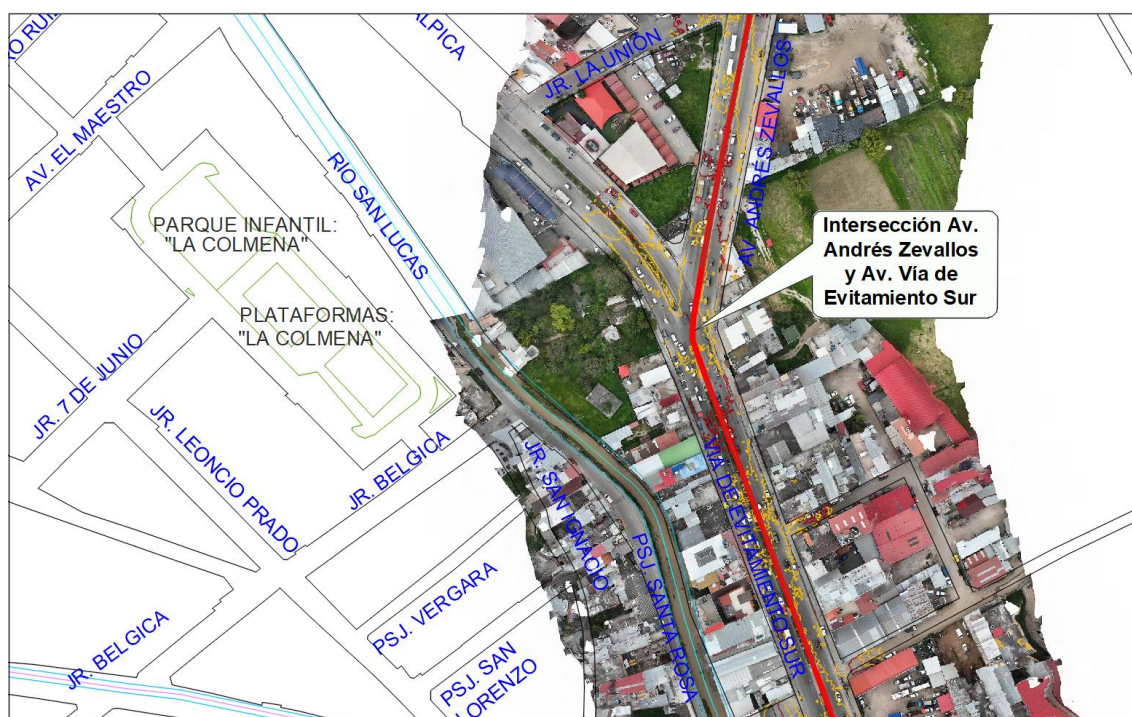


Nota: Plano catastral de Cajamarca.

c) Ubicación de la intersección 3

La intersección está compuesta por 03 accesos, la Av. Andrés Zevallos que va en dirección noreste que se dirige hacia el centro comercial Real Plaza, centro comercial Open Plaza, Universidad Privada Del Norte. El Jr. Carlos Malpica que va en dirección noroeste que se dirige hacia la el Jr. Manuel Seoane, Av. vía de Evitamiento Sur que va en dirección sur que se dirige hacia en puente amarillo.

Figura 12. Ubicación de la intersección 3.

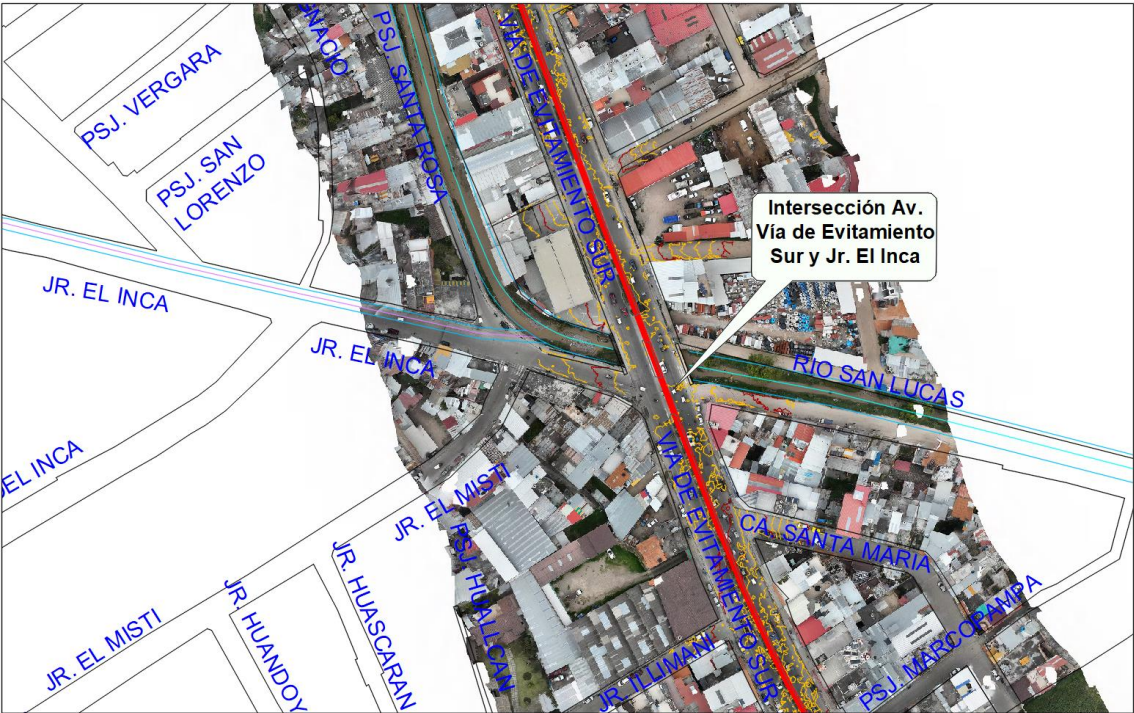


Nota: Plano catastral de Cajamarca.

d) Ubicación de la intersección 4

La intersección (puente amarillo) está compuesta por 04 accesos, Jr. El Inca que va en dirección noroeste que se dirige hacia el óvalo del inca, la Av. vía de Evitamiento Sur que va en dirección noroeste que se dirige hacia el Jr. Carlos Malpica y Av. Andrés Zevallos pasando por estación de la gasolina Repsol, Jr. El Inca que va en dirección sureste, es un camino de afirmado cerrado y protegido por el Instituto Nacional de Cultura (INC) ya que pertenece a la ruta antigua de los incas y la Av. vía de Evitamiento Sur que va en dirección suroeste que se dirige hacia la rotonda musical, pasando por la I.E.P San Fernando, Tienda “Maestro”, estación de gasolina Primax.

Figura 13. Ubicación de la intersección 4.



Nota: Plano catastral de Cajamarca.

El funcionamiento óptimo de una intersección se debe en gran medida a su capacidad y está al control semafórico que tenga, por ello la geometría de las facilidades deben tener las condiciones para que las intersecciones funcionen y no se saturen.

4.2. Diseño de la investigación

4.2.1. Tipo de investigación

Tabla 10. Tipo de investigación

Criterio	Tipo de investigación
Finalidad	Aplicada
Estrategia o enfoque teórico metodológico	Cuantitativa
Objetivos (alcances)	Descriptiva-Correlacional
Fuente de datos	Primaria y secundaria (Mixta)
Control en el diseño de la prueba	No experimental
Temporalidad	Transversal (sincrónica)
Contexto donde sucede	Campo - Gabinete
Intervención disciplinaria	Multidisciplinaria

Según su finalidad, la investigación, fue aplicada, ya que se basó en fundamentos teóricos para generar conocimiento y solucionar un problema real y práctico.

Tuvo un alcance descriptivo, ya que buscó especificar las propiedades, características, situaciones y el comportamiento de los eventos que reflejó el tramo en estudio (espacio); con una estrategia o enfoque cuantitativo, ya que gran parte de los eventos se registraron a través de la recopilación de información de datos de campo, seguidamente para cuantificar y valorar los resultados encontrados se realizaron el procesamiento de la información a través de la informática y métodos matemáticos; su diseño fue no experimental, ya que las variables no son manipuladas y los eventos se basan a través de la observación directa en el espacio o tramo en estudio; según temporalidad en el que se efectuó la investigación fue transversal (sincrónica), ya que se estudiaron los fenómenos en un periodo corto, en un solo momento y se analizaron su interrelación; según el alcance fue correlacional ya que determinaron el desenvolvimiento del tramo en estudio conociendo el comportamiento de las otras variables relacionadas, el estudio dimensiona dos variables que se necesitan conocer y verificar el grado de relación entre ellas.

4.2.2. Metodología

El método de investigación usado fue cuantitativo ya que buscó desarrollar las actividades necesarias para recolectar y valorar la información de forma estructurada en el tramo en estudio. Los pasos a seguir para el estudio son los siguientes:

a) Revisión documentaria e identificación de facilidades en estudio.

La principal de ellas fue la revisión exhaustiva del estado del arte que está referida la investigación, considerando a las diferentes técnicas y metodologías para evaluar las características de la vía de Andrés Zevallos y la vía de Evitamiento sur, la revisión

de trabajos de autores experimentados en el tema, desde bases de datos en internet de revistas y tesis de ingeniería actualizadas.

La identificación de la zona en estudio permitió identificar los puntos estratégicos a lo largo en las vías. Para una mejor evaluación se tomó por tramos. Primer tramo: Av. Andrés Bello, segundo tramo: Av. vía de Evitamiento sur, determinaron las características de las vías que conforman las intersecciones en estudio.

b) Observación directa

Luego de la búsqueda de información y documentos relacionados, se realizó el levantamiento de información de campo, datos del tramo investigado y se usaron fichas de control a través de la observación directa, con el apoyo de equipos y herramientas que permitieron la obtención de información exacta.

c) Instrumentos de recolección de información

En esta parte se realizó la búsqueda de instrumentos para la recolección de información y datos de campo a través de fichas de evaluación física de conteo de tránsito y video grabaciones para verificar el comportamiento de la situación actual del tramo en estudio.

Se realizó la caracterización y la geometría de las vías, tráfico y señalización, ubicación de semáforos, también los elementos que intervienen en el sistema de ordenamiento de tránsito, en esta parte también se realizó el inventario vial del tramo en estudio.

d) Trabajo de campo

Para realizar conteo de vehicular se identificaron puntos críticos de intersecciones, luego se levantó la información a través de videograbaciones. Se consideraron 04 puntos estratégicos a lo largo del tramo en estudio, la geometría de la intersección y la distribución de los movimientos del tráfico. Los volúmenes hallados serán en tasas de flujo de 15 minutos, se realizó las videograbaciones para el conteo de los vehículos que transitan por dichos flujos. Para determinar el comportamiento del

tramo en estudio con mayor detalle, el tramo en estudio se dividirá en tramos intermedios determinando los sentidos de flujo vehicular de cada uno.

e) Procesamiento de la información

Con la recolección de la información obtenida se realizó el trabajo de gabinete, iniciando con el conteo vehicular, cálculo de tiempos de semáforo y demoras, se realizó el cálculo del número de vehículos que pasan por la vía, los valores de horas pico, diferenciándose de los demás tipos de vehículos, se calculó el flujo vehicular por sentido y se realizó el diagrama de flujo de las intersecciones con el flujo total de cada vía.

Una vez calculados los flujos de cada uno de tramos en estudio se usó la metodología Highway Capacity Manual (HCM 2010) y luego con el manejo del software Synchro V8.0 se realizó el modelamiento correspondiente. Se determinaron las demoras de cada uno de los tramos y se calculó el nivel de servicio.

f) Evaluación y análisis e interpretación de resultados

En la parte final se realizó la evaluación y el análisis de los resultados en base a la hipótesis planeada, demoras, tiempos de viaje, interrupción de viaje. Seguidamente se planteó alternativas que buscan mejorar la situación actual a través de nuevas herramientas para lograr un tránsito más dinámico, eco-amigable y sostenible.

4.3. Métodos de la investigación

- **Enfoque y Nivel de la investigación**

Según el enfoque fue una investigación cuantitativa, ya que a través de los datos recopilados en campo nos permitió determinar la cantidad de aforo vehicular y también el porcentaje de capacidad de las vías en estudio.

El alcance del estudio fue descriptivo correlacional, es decir, es descriptivo porque la recopilación de información es independiente o conjunta de las variables y fue correlacional porque permitió conocer la relación o grado de asociación que existe entre

dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular. (Hernández at all, 2014)

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

4.4.1. Población

Constituida por la Av. vía de Evitamiento Norte, Av. Andrés Zevallos y Av. vía de Evitamiento Sur, que conforman el tramo de mayor longitud con dirección norte a sur que atraviesa la ciudad de Cajamarca.

La red vial en estudio está conformada por 31 pequeños tramos que son cruces de pasajes, avenidas y jirones, siete (7) intersecciones semaforizadas considerando la rotonda musical, sin embargo, para el estudio se ha considerado solo seis (6) intersecciones de las cuales, cuatro (4) intersecciones presentan graves problemas de congestión vehicular las mismas que se muestran en la tabla Intersecciones de la red vial.

4.4.2. Muestra

Se determinó a través del método no probabilístico, muestreo casual o por conveniencia, es decir, el proceso de selección se realizó de forma intencionada y directa en los tramos de las avenidas en mención. La investigación está constituida por las vías del tramo comprendido desde la intersección de la Av. Andrés Zevallos - Av. Hoyos Rubio hasta Av. Vía de Evitamiento Sur hasta cuadra nueve (Rotonda musical) de la ciudad de Cajamarca.

4.4.3. Unidad de análisis

Constituye el tramo comprendido entre la Avenida Andrés Zevallos – Avenida Vía De Evitamiento Sur cuadra nueve.

4.4.4. Unidades de observación

Evaluación y análisis en demoras, tiempos de viaje, interrupción de viaje.

4.5. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Tabla 11. Técnicas e instrumentos de recopilación de información

Fuente de datos	Técnicas	instrumentos
Registros históricos, información de investigaciones anteriores (Fuente secundaria)	Revisión documental	Guía de revisión documental
Tramo en estudio: vía de Andrés Zevallos y la vía de Evitamiento sur. (Fuente primaria)	Recopilación de datos en campo a través de la observación directa	Formato de aforo Mediciones Fotografías Videos
	Clasificación y proceso parcial de datos	

La revisión documental fue la recopilación de antecedentes históricos sobre los niveles de servicio y capacidad de flujo vehicular en vías urbanas, ese fue el punto de partida para obtener información y métodos sobre niveles de servicio.

La toma de datos, mediciones y la evaluación de las características se realizaron en las dos vías, vía de Andrés Zevallos y la vía de Evitamiento sur. La recopilación de información de los aforos se usaron formatos teniendo en cuenta la clasificación vehicular en intervalos de 15 min; el uso de fotografías y videgrabaciones fue importante para evidenciar el comportamiento del tramo en estudio.

INTERSECCION: AV. VÍA DE EVITAMIENTO SUR
DIA :

FECHA:

[illegible]

4.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Tabla 13. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Etapas	Técnicas	Descripción
Procesamiento de la información	Guía de revisión documental	Revisión documental, investigaciones
	Influencia del entorno	Recopilación con formatos de recolección de datos de campo, fichas de observación
	Cálculos matemáticos	
	Metodología HCM 2010	Cálculo de demoras de cada vía
Análisis de la información	Software de computación (Synchro V8.0).	Cálculo de demoras de cada vía HCM 2010
		Optimización de tránsito
		Clasificación y proceso parcial de datos.
	Descripción de variables	Gráficos, planos, porcentajes Saturación. Niveles de servicio Análisis de demoras

4.7. Equipos, materiales, insumos

4.7.1. Equipos

a) Personal

- Investigador (maestrante).
- Asesor
- Ayudante.

b) Equipos electrónicos de recolección de datos

- Laptops.
- Cámara fotográfica.
- Cronometro.
- Flexómetro.
- Estación total.
- Drone
- Impresora.

4.7.2. Materiales e insumos

Dentro de los recursos materiales necesarios para la investigación se requirió lo siguiente:

- Papel A4, Lapiceros, Lápiz, tablero de campo.
- Formatos de recolección de datos (Fichas).

4.8. Matriz de consistencia metodológica

Tabla 14. Matriz de consistencia metodológica

Título: “EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE SERVICIO VEHICULAR EN LAS VÍAS DEL TRAMO COMPRENDIDO ENTRE DE LA AVENIDA ANDRÉS ZEVALLOS - AVENIDA VÍA DE EVITAMIENTO SUR CUADRA NUEVE DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA-2020”								
Formulación del problema	Objetivo	Hipótesis	Variables/ Categorías	Dimensiones/ Factores	Indicadores	Fuente de recolección de datos	Metodología	Población y muestra
¿Cuáles los niveles de servicio vehicular en las vías comprendidas entre la Av. Andrés Zevallos - Av. Vía De Evitamiento Sur cuadra nueve de la ciudad de Cajamarca-2020?	Objetivo general	Los niveles de servicio vehicular en las vías comprendidas entre la Av. Andrés Zevallos - Av. Vía De Evitamiento Sur cuadra nueve de la ciudad de Cajamarca.	Nivel de servicio	Manual de diseño del Ministerio de Transportes y Comunicaciones	Demoras de los niveles son A, B, C, D, E y F.	Mediciones y cálculos	Finalidad: Aplicada Estrategia o enfoque teórico metodológico: Cuantitativa Objetivos (alcances): Descriptiva- Correlacional Fuente de datos: Primaria y secundaria (Mixta) Control en el diseño de la prueba: No experimental Temporalidad: Transversal (sincrónica) Contexto donde sucede: Campo - Gabinete Intervención disciplinaria: Multidisciplinaria	Población: Constituida por la Av. vía de Evitamiento Norte, Av. Andrés Zevallos y Av. vía de Evitamiento Sur. Muestra: Se determinó a través del método no probabilístico, muestreo casual o por conveniencia, es decir, el proceso de selección se realizó de forma intencionada y directa en los tramos de las avenidas en mención, intersección de la Av. Andrés Zevallos - Av. Hoyos Rubio hasta Av. Vía de Evitamiento Sur hasta cuadra nueve (Rotonda musical) de la ciudad de Cajamarca
	Objetivos específicos		Capacidad vial		Intervalos de conteo	Mediciones y cálculos		
	•Determinar las características del flujo del tránsito en las vías comprendidas entre la Av. Andrés Zevallos - Av. Vía De Evitamiento Sur cuadra nueve de la ciudad de Cajamarca.		Flujo Vehicular		Volumen (Veh/h/d), Velocidad (Km/hr)	Formatos de recolección de datos, mediciones y cálculos		
	•Determinar la influencia del entorno físico con el flujo del tránsito para evaluar el comportamiento del tramo comprendido entre la Av. Andrés Zevallos - Av. Vía De Evitamiento Sur cuadra nueve de la ciudad de Cajamarca.		Características de la vía		Dimensiones geométricas de la vía, alineamiento, calzada	Formatos de recolección de datos, mediciones y cálculos		
			Tiempos en semáforos		Fases y ciclos rojo, verde y ambar en seg., min.	Formatos de recolección de datos, mediciones y cálculos		

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. *Presentación de resultados*

5.1.1. *Características geométricas del tramo en estudio (Av. Andrés Bello- Av. Vía de Evitamiento Sur)*

Inventario Vial.

Como punto de partida se realizó la evaluación de todo el tramo en estudio, para ello se identificaron todas intersecciones que lo conforman. Se determinaron las características geométricas de las vías en estudio, ancho de vías, pendientes, tipo de vía, estado de conservación de las vías, dichas intersecciones se sistematizaron de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 15. Intersecciones de la red vial.

N°	Nombre de vía	Origen de calle	Fin de calle	Long.	Sección	Estado de conservac	Tipo de Intersec	T. Pav
1	Av. Andrés Bzevallos	Av. Hoyos Rubio	Jr. E Barrantes	72.48	8.50	Bueno	Semáforo	Rigido
2		Jr. E Barrantes	Jr. Julio C Tello	12.68	8.50	Bueno	---	Rigido
3		Jr. Julio C Tello	Jr. Irene Silva	23.64	8.50	Bueno	---	Rigido
4		Jr. Irene Silva	Psje. Max Hule	37.39	8.50	Bueno	---	Rigido
5		Psje. Max Hule	Jr. Arnaldo Marquez	87.79	8.50	Bueno	---	Rigido
6		Jr. Arnaldo Marquez	Jr. Zoilo León	40.82	8.30	Bueno	Semáforo	Rigido
7		Jr. Zoilo León	Psje. Sta Ana	11.96	8.30	Bueno	---	Rigido
8		Psje. Sta Ana	Jr. Cinco Esquinas	68.19	9.00	Bueno	---	Rigido
9		Jr. Cinco Esquinas	Jr. Jacarandá	77.18	9.00	Bueno	---	Rigido
10		Jr. Jacarandá	Jr. Los Leones	71.46	9.60	Bueno	---	Rigido
11		Jr. Los Leones	Prl. Ayacucho	73.53	9.80	Bueno	Semáforo	Rigido
12		Prl. Ayacucho	Calle El Sauco	130.94	9.80	Bueno	---	Rigido
13		Calle El Sauco	Calle El Mutuy	75.79	9.60	Bueno	Semáforo	Rigido
14		Calle El Mutuy	Jr. La Unión	34.55	9.60	Bueno	---	Rigido
15		Jr. La Unión	Jr. Carlos Malpica	142.13	8.30	Bueno	Semáforo	Rigido
16	Av. Vía de Evitamiento Sur	Jr. Carlos Malpica	Jr. La Rivera C-1	89.91	8.30	Bueno	---	Flexible
17		Jr. La Rivera C-1	Jr. La Fortaleza	62.36	7.60	Bueno	---	Flexible
18		Jr. La Fortaleza	Jr. Alas Peruanas	31.88	7.60	Bueno	---	Flexible
19		Jr. Alas Peruanas	Jr. El Inca	48.06	6.70	Bueno	Semáforo	Flexible
20		Jr. El Inca	Ca. Santa María	55.07	7.00	Bueno	---	Flexible
21		Ca. Santa María	Jr. Illimani	37.23	7.60	Bueno	---	Flexible
22		Jr. Illimani	Jr. Cumbe Mayo	58.59	7.60	Bueno	---	Flexible
23		Jr. Cumbe Mayo	Jr. Sta Teresa	77.21	7.80	Bueno	---	Flexible
24		Jr. Sta Teresa	Jr. San Luis	57.92	7.80	Bueno	---	Flexible
25		Jr. San Luis	Jr. San Francisco	231.70	7.80	Bueno	---	Flexible
26		Jr. San Francisco	Av. Manuel Ibañez R	59.72	7.80	Bueno	---	Flexible
27		Av. Manuel Ibañez R	Psj. Tumbes	35.01	7.80	Bueno	---	Flexible
28		Psj. Tumbes	Calle Juan Velasco	77.74	7.80	Bueno	---	Flexible
29		Calle Juan Velasco	Jr. Los Topacios	13.81	7.60	Bueno	---	Flexible
30		Jr. Los Topacios	Av. Luis Rebaza Neyra	49.01	7.60	Bueno	---	Flexible
31		Av. Luis Rebaza Neyra	Av. Atahualpa	14.00	7.60	Bueno	Semáforo	Flexible

Long. total del tramo 1959.70

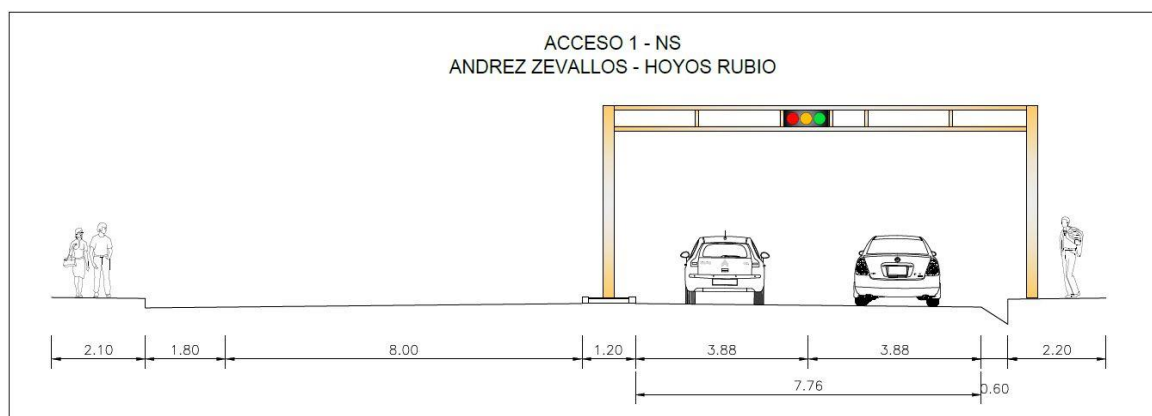
Para obtener los datos de campo se realizó el levantamiento de información topográfica de todo el tramo en estudio, secciones de las vías.

Condiciones geométricas

La caracterización geométrica de cada uno de los accesos que conforman las intersecciones del tramo en estudio, se determinó mediante secciones y sus longitudes promedio, las cuales se muestran a continuación:

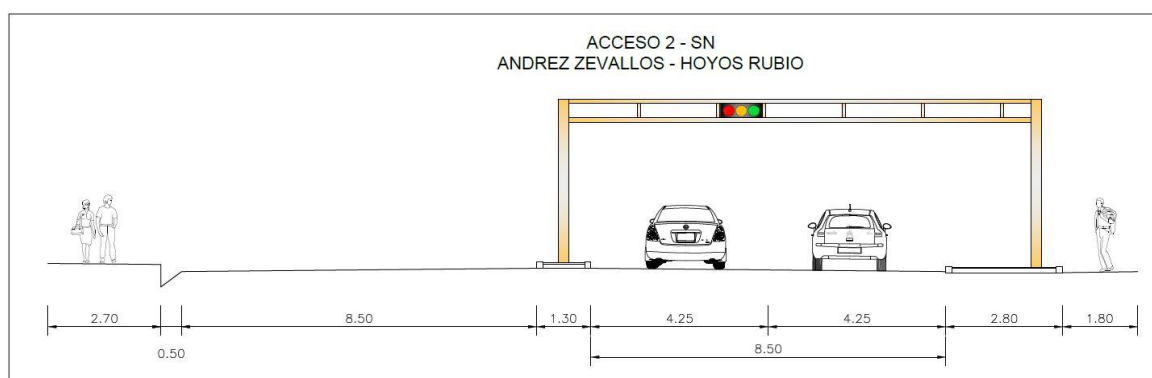
Condición geométrica en la intersección 1

Figura 14. Sección de vía de acceso 1 – Intersección 1.



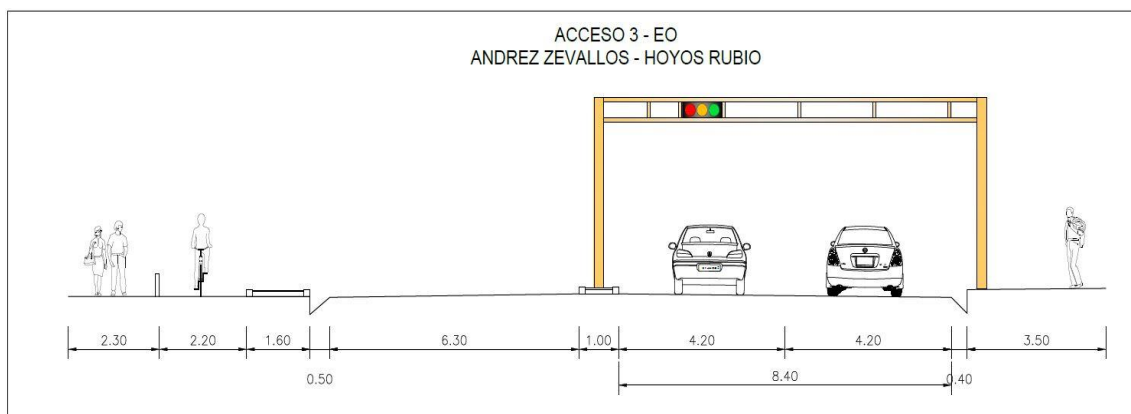
Acceso que va de NS en la Av. Vía de Evitamiento Norte, la cual se dirige a las provincias de Chota, Bambamarca, San Miguel. Cuenta con dos carriles con 3.88m de longitud, tiene señal de paradero, pero no plataforma o estación de pasajeros, presenta una berma central de 1.20m que divide a los dos carriles que van en sentidos opuestos.

Figura 15. Sección de vía de acceso 2 – Intersección 1.



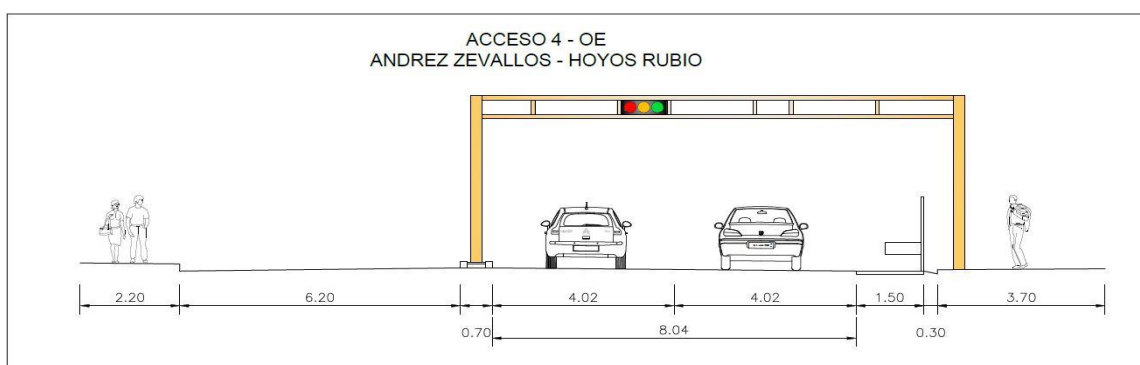
El segundo acceso que conforma la intersección 1 va de SN en la Av. Andrés Zevallos, que conecta a la Universidad Privada Del Norte UPN, a centros comerciales “Open Plaza” y “Real Plaza”. Cuenta con dos carriles de 4.25m de longitud, no tiene estación de paradero, presenta una berma central de 1.30m que divide a los dos carriles que van en sentidos opuestos.

Figura 16. Sección de vía de acceso 3 – Intersección 1.



El acceso tres tiene una dirección que va de EO en la Av. Hoyos Rubio, cuenta con dos carriles del mismo modo que la Av. Vía de Evitamiento Sur. La Av. Hoyos Rubio se dirige al centro comercial “Mega Plaza” y tiene una longitud de 4.20m, no tiene estación de paradero cerca de la intersección, ésta se encuentra a 170m de distancia en la misma dirección, la berma central tiene 1.00m que divide a los dos carriles que van en sentidos opuestos.

Figura 17. Sección de vía de acceso 4 – Intersección 1.

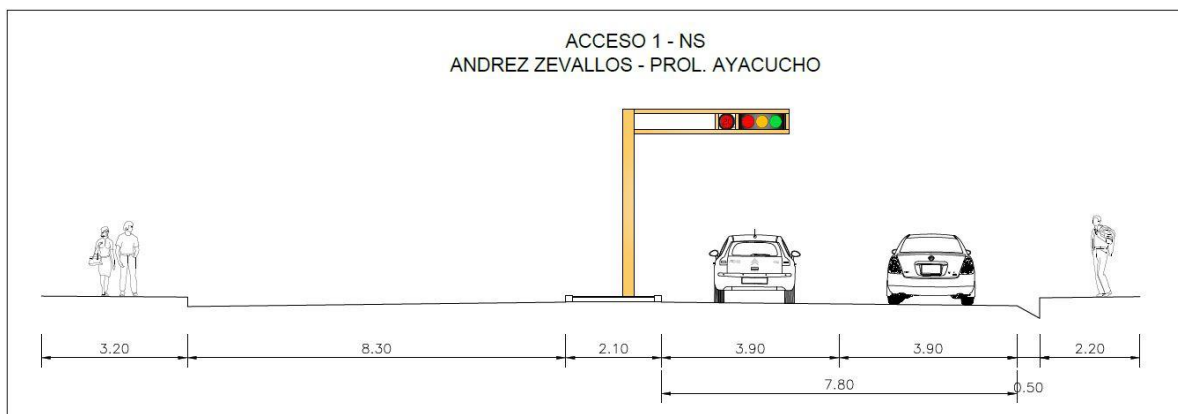


El acceso 4 va en dirección OE en la Av. Hoyos Rubio que se dirige al aeropuerto y al distrito de Los Baños de Inca, distrito muy concurrido por tener lugares turísticos como

las ventanillas de Otuzco. La Av. Hoyos Rubio tiene dos carriles con una longitud de 4.02m, presenta una estación de paradero que está en desuso cerca de la intersección, la berma central tiene 0.70m que divide a los dos carriles que van en sentidos opuestos.

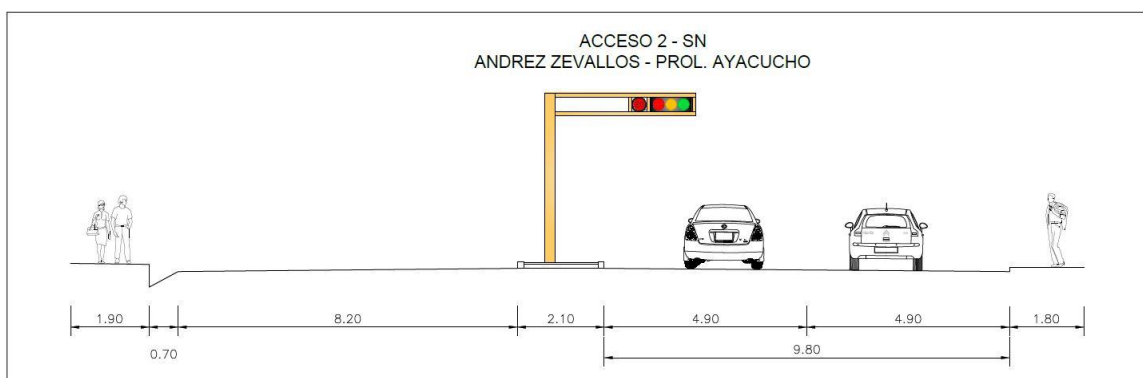
Condición geométrica en la intersección 2

Figura 18. Sección de vía de acceso 1 – Intersección 2.



El acceso 1 de la intersección 2 se encuentra en la Av. Andrés Zevallos, la cual está ubicada a pocos metros del centro comercial “Real Plaza”, está en dirección NS, vía que viene de la Av. la Universidad Privada Del Norte UPN, a centros comerciales “Open Plaza”, ésta tiene dos carriles con una longitud de 3.90m, no tiene estación de paradero, la berma central tiene 2.10m que divide a los dos carriles que van en sentidos opuestos.

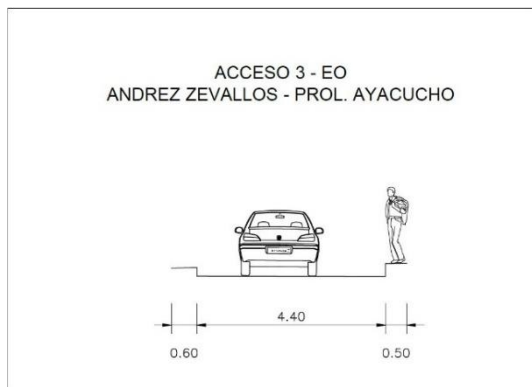
Figura 19. Sección de vía de acceso 2 – Intersección 2.



El acceso 2 en mención va en dirección SN en la Av. Andrés Zevallos, tiene dos carriles con una longitud de 4.90m, la estación de paradero se encuentra a 35m de la

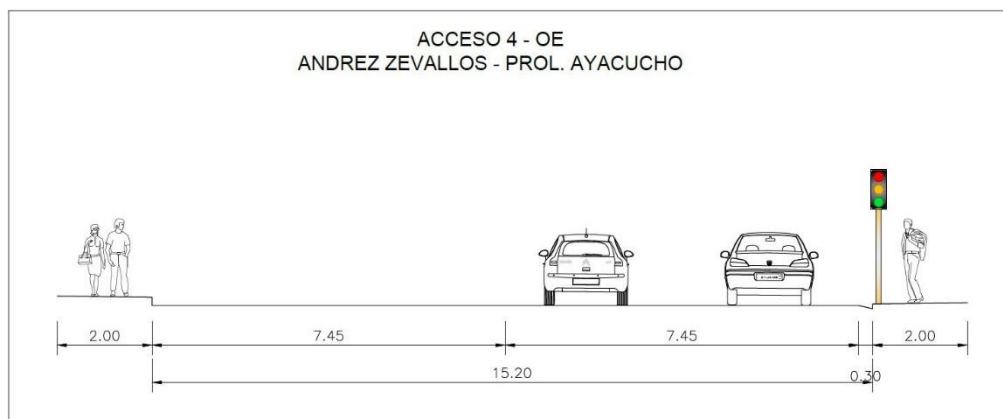
intersección, la berma central tiene 2.10m que divide a los dos carriles que van en sentidos opuestos.

Figura 20. Sección de vía de acceso 3 – Intersección 2.



El acceso 3 de la intersección 2 en estudio está en dirección EO en la Pról. Ayacucho. La prolongación tiene dos carriles en sentidos contrarios con 4.40m de sección, cuenta con menor tránsito de vehículos ya que en su mayoría es utilizado por vecinos de la zona y por vehículos menores que ingresan al centro comercial Real Plaza.

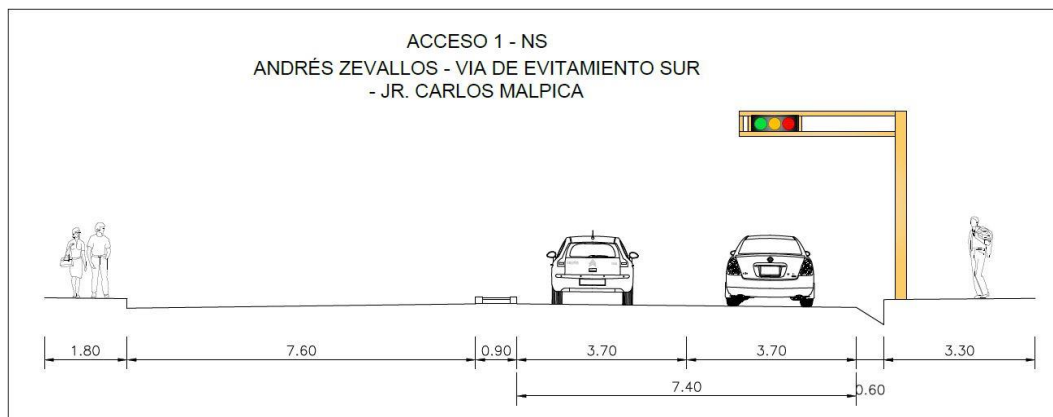
Figura 21. Sección de vía de acceso 4 – Intersección 2.



Acceso de la Pról. Ayacucho va en dirección OE y llega a la Av. Andrés Zevallos, es una calle que permite liberar de la congestión de tránsito provocado por peatones y vehículos que se dirigen al centro comercial Real Plaza, tiene 2 carriles con 7.45m de ancho de sección.

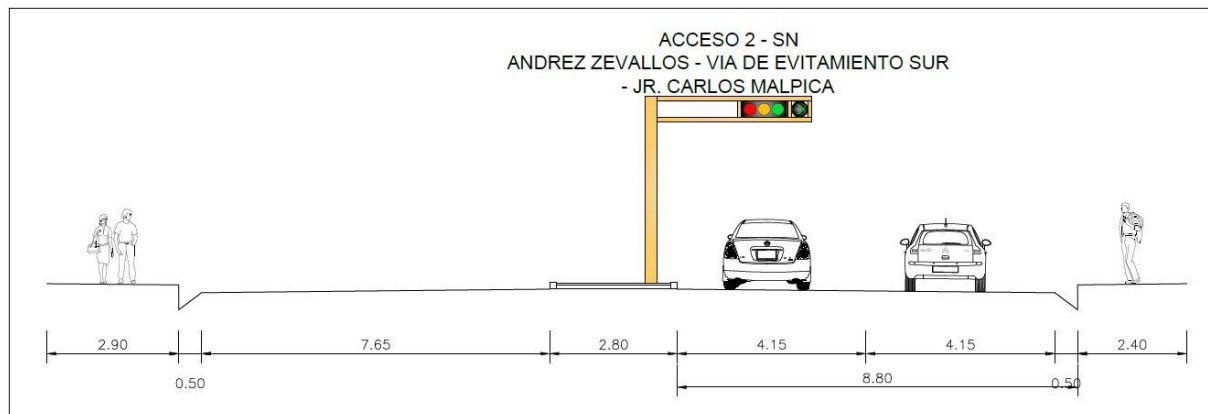
Condición geométrica en la intersección 3

Figura 22. Sección de vía de acceso 1 – Intersección 3.



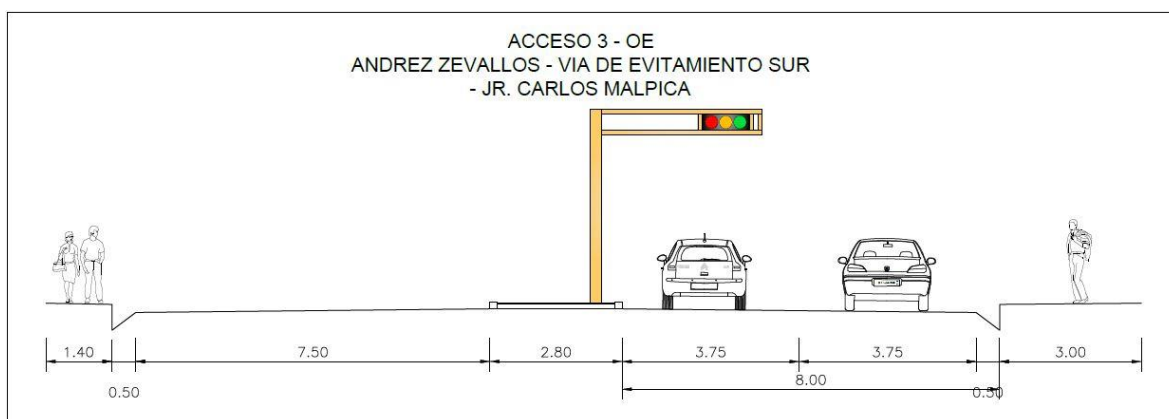
Acceso 1 de la intersección 3 va en dirección NS en la Av. Andrés Bello, es una calle que se dirige a la parte baja de la ciudad, es una vía de 2 carriles con 3.70m de sección, es una vía de mayor congestión en la intersección.

Figura 23. Sección de vía de acceso 2 – Intersección 3.



El acceso 2 en mención es la Av. Vía de Evitamiento Sur que está en dirección SN hacia la Jr. Carlos Malpica o a la Av. Andrés Bello, tiene 2 carriles con 4.15m de sección cada uno.

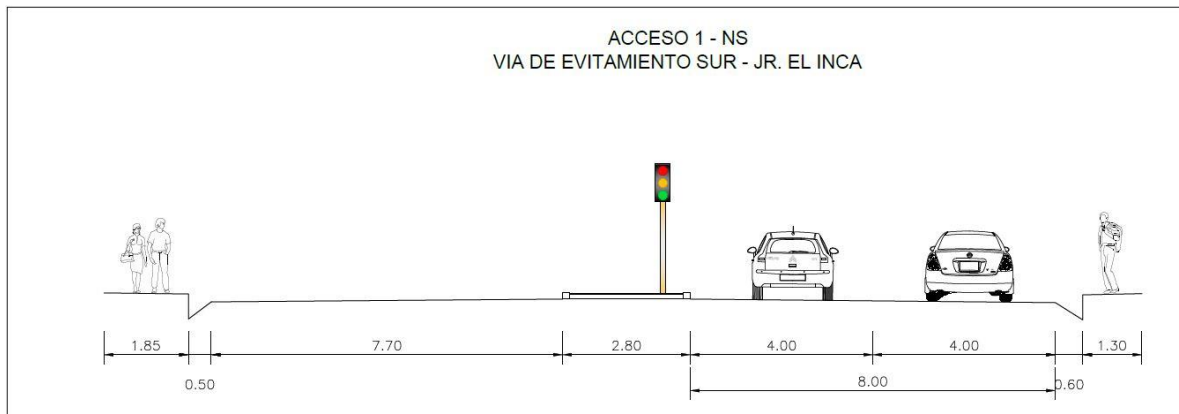
Figura 24. Sección de vía de acceso 3 – Intersección 3.



Acceso que va de OE es el Jr. Carlos Malpica que se une antes con el Jr. Manuel Seoane, es el acceso con menor tránsito de vehículos de la intersección, presenta 2 carriles con 3.75m de sección cada una, al igual que el acceso 1 tiene pavimento rígido.

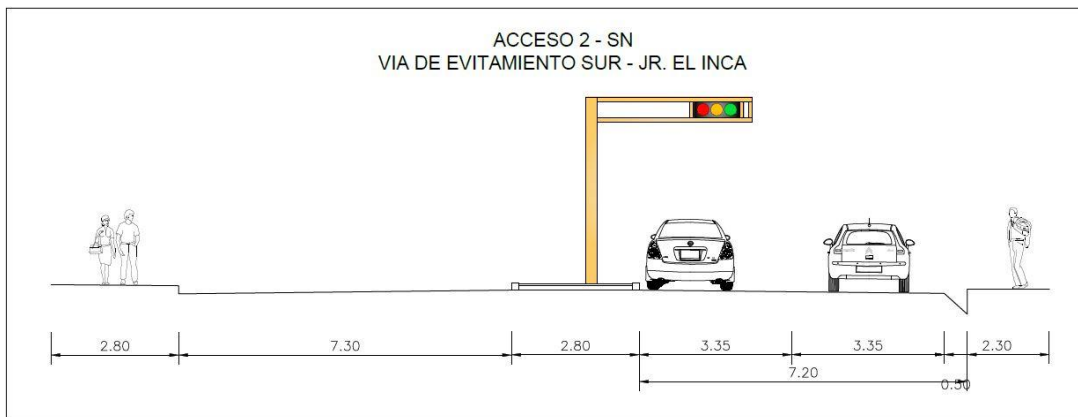
Condición geométrica en la intersección 4

Figura 25. Sección de vía de acceso 1 – Intersección 4.



El Acceso 1 presenta un sentido que va de NS, la Av. Andrés Zevallos, tiene 2 carriles con el mismo sentido con 4.00m de sección cada una, presenta un pavimento flexible.

Figura 26. Sección de vía de acceso 2 – Intersección 4.



El acceso 2 es la Av. Andrés Zevallos que va de SN, tiene 2 carriles con el mismo sentido con 3.35 m de sección cada una, presenta un pavimento flexible.

Figura 27. Sección de vía de acceso 3 – Intersección 4.



El Jr. El Inca es un acceso que va en sentido EO, tiene dos carriles en sentidos contrarios con 3.60m de sección, al igual que los accesos anteriores presenta un pavimento rígido.

Levantamiento de información topográfica

Para realizar el levantamiento topográfico con estación total del tramo en estudio se consideraron los siguientes pasos:

- Identificación de las zonas para realizar el levantamiento topográfico; se desarrolló en gabinete el alcance general del trabajo considerando los equipos y herramientas necesarios; asimismo, se identificaron los puntos base y puntos de estacionamiento considerando como primer punto en la intersección de Av. Hoyos Rubio con Av. Andrés Zevallos, como segundo punto la intersección de Prlg. Ayacucho con Av. Andrés Zevallos, tercer punto la intersección con Av. Andrés Zevallos con Av. vía de Evitamiento Sur y Carlos Malpica, como cuarto punto la intersección de Jr. El Inca con la Av. vía de Evitamiento Sur.
- Identificación de estación base; previo a realizar el levantamiento topográfico, se identificó en campo los puntos base o de inicio, en dichos puntos fijos seleccionados (tapa de buzón o postes) se realizaron la toma de medidas de coordenadas con un GPS diferencial para georreferenciar el levantamiento topográfico. El equipo GPS diferencial consta de receptores y antenas incorporadas que permiten determinar la ubicación con puntos coordinados en la tierra que son transmitidos por satélites.
- Montaje de estación; una vez ubicado el punto de inicio se realiza el montaje del equipo y centrado del instrumento.
- Levantamiento de puntos; Una vez identificadas las zonas de estación se realizó el montaje y nivelación del equipo en campo, se realizaron las configuraciones correspondientes. El sistema en el que se trabajó fue en coordenadas UTM WGS 84.
- Levantamiento de puntos; se ingresaron los puntos coordinados de inicio del levantamiento y seguidamente se procedió a medir los puntos.
- En la toma de datos del levantamiento topográfico se indicaron y caracterizaron a través de códigos correspondientes para cada tipo de infraestructura.
- Cambio de estación; para continuar con la toma de datos de las facilidades a lo largo del tramo se realizaron cambios de puntos de estación hacia lugares

estratégicos de manera que permita el mayor alcance visible y mayor detalle para el levantamiento.

- Una vez finalizado el trabajo de campo se realizó el procesamiento de la información topográfica en gabinete con el software autocad civil 3D. Con los puntos coordinados obtenidos se generó la superficie y finalmente las curvas de nivel.

Para realizar el levantamiento topográfico con drone se consideraron los siguientes pasos:

- Identificación del tramo para realizar el levantamiento con drone; se desarrolló en gabinete considerando el alcance general, accesos de desvío y el área de influencia del estudio.
- Plan de vuelo: a través del controlador del equipo drone se diseñó la ruta del plan de vuelo con el método lineal ya que este corresponde al requerimiento del estudio por ser dos avenidas considerando como punto de partida la intersección de Av. Hoyos Rubio con Av. Andrés Zevallos y como punto final la rotonda musical; asimismo, se determinó la superposición y traslape de las imágenes, la longitud de influencia de 30m aproximadamente en ambos márgenes.
- El vuelo drone se realizó teniendo en cuenta los parámetros indicados anteriormente, las condiciones climáticas y la velocidad del viento; la toma de fotografías se realizó en dos sentidos para lograr el modelo tridimensional, o fotografía ortomosaico.
- Procesamiento de las imágenes: una vez finalizado el trabajo de campo se realizó el procesamiento de imágenes del vuelo en gabinete, la generación de la nube de puntos, el modelo digital y la ortofoto que es una imagen georreferenciada a escala.

El levantamiento topográfico con estación total ha permitido determinar medidas, ubicar de puntos auxiliares que fueron determinantes para la el estudio. El

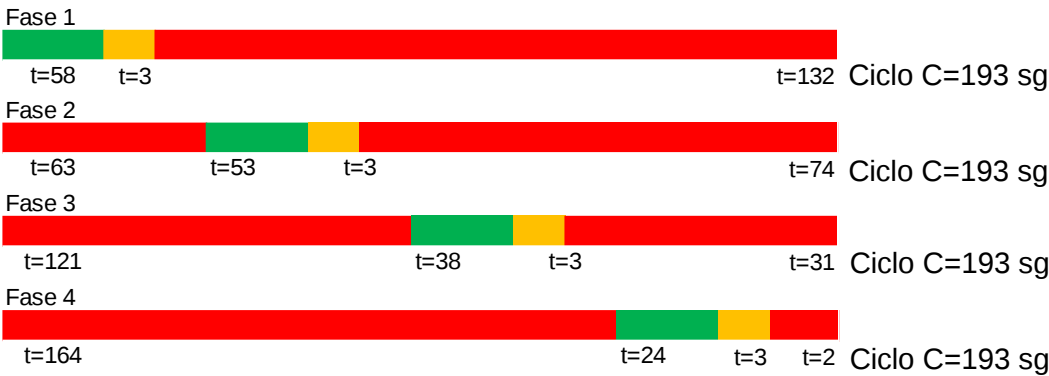
levantamiento topográfico con drone ha permitido determinar con mayor detalle el tramo en estudio, a través de la ortofoto se ha conseguido información de zonas de difícil acceso y puntos inaccesibles.

5.1.2. Cálculo de resultados

A. Escenario N° 01 – Situación actual del tramo en estudio Intersección 1 (Av. Andrés Zevallos- Jr. Hoyos Rubio)

Para realizar el cálculo de flujo vehicular de las intersecciones en estudio se analizaron las características de las vías y los movimientos que realizan los vehículos en cada intersección, iniciando el aforo a las 7:00 a. m. hasta las 9:00 p. m. con un total de 14 horas a largo de una semana, tomando como orden de semana los siguientes días, jueves, viernes, sábado, domingo, lunes, martes y miércoles. Asimismo, se identificó las condiciones semaforicas de cada intersección.

Figura 28. Diagrama de fases de los semáforos de la intersección 1.



Los valores obtenidos se obtuvieron de manera directa, en campo. En la siguiente tabla se muestra los parámetros del ciclo semaforico donde se emplea el tiempo perdido inicial (I1) y el tiempo de ganancia (I2) de acuerdo a HCM 2010.

Tabla 16. Parámetros del ciclo semafórico - Intersección 1.

Parámetro	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 4
G	58	53	38	24
A	3	3	3	3
R	132	137	152	166
C	193	193	193	193
TR	2	2	2	2
$Y=A+TR$	5	5	5	5
I_1	2	2	2	2
$I_2=Y-e$	3	3	3	3
$tL=I_1+I_2$	5	5	5	5
e	2	2	2	2
g	58	53	38	24
$r=R-TR+tL$	135	140	155	169

Nota: HCM 2010

Cálculo de la relación de Pelotón

La relación pelotón se utiliza para describir la calidad de la progresión según la ecuación 2 mencionada anteriormente. Se hizo el conteo de los vehículos que arriban en verde y los vehículos que arriban en ámbar más rojo.

En anexos se encuentran los resultados encontrados en tablas de la relación de Pelotón de la intersección 1.

Agrupamiento de carriles

Se pudo verificar que los accesos de las intersecciones con giro a la izquierda no se tienen un comportamiento independiente, por lo cual dichos carriles trabajan de manera compartida, con sentido de giro a la izquierda y paso de frente.

De igual forma ocurre con las intersecciones siguientes, es decir, su agrupamiento de carriles en los accesos de cada intersección tiene un comportamiento de un solo grupo con tres movimientos.

Condición actual de tráfico vehicular

A lo largo del tramo en estudio está presente el transporte público tales como microbuses minibuses, mototaxis, taxis, los cuales son los principales agentes que contribuyen con el aumento del flujo del tránsito, los cuales son reflejados en el conteo vehicular.

La recolección de datos se realizó a través de videograbaciones en las intersecciones tomando en consideración las horas de mayor congestión vehicular clasificando a los vehículos por categoría. Para el conteo vehicular se consideraron periodos de cuartos de hora (15 minutos), de los cuales se identificaron horas de máxima demanda (VHMD) el cual representó la hora pico.

Aforo vehicular

En gabinete se realizó el procesamiento de la información de los 7 días de la semana iniciando el día jueves, el conteo vehicular se realizó a través de formatos clasificándose por cada tipo de vehículo autos, camionetas, motos, mototaxis, microbús, bus, camiones, (ver anexo conteo de volúmenes vehiculares).

Hora de máxima demanda

Luego del conteo vehicular de toda la semana se realizó la suma de volúmenes de cada día en intervalos de 15min (cuartos de hora) como se muestra en la tabla volumen de aforo vehicular semanal por cada cuartos de hora- Intersección 1, con dicha información se pudo identificar y comparar los volúmenes horarios de todos los días de la semana iniciando el día jueves como primer día de evaluación vehicular.

En el histograma de volumen vehicular por día, se muestra que el día lunes presenta mayor volumen con 40258 veh/d y el día con menor congestión es el domingo con 15643 veh/d.

Figura 29. Histograma de volumen vehicular por día.

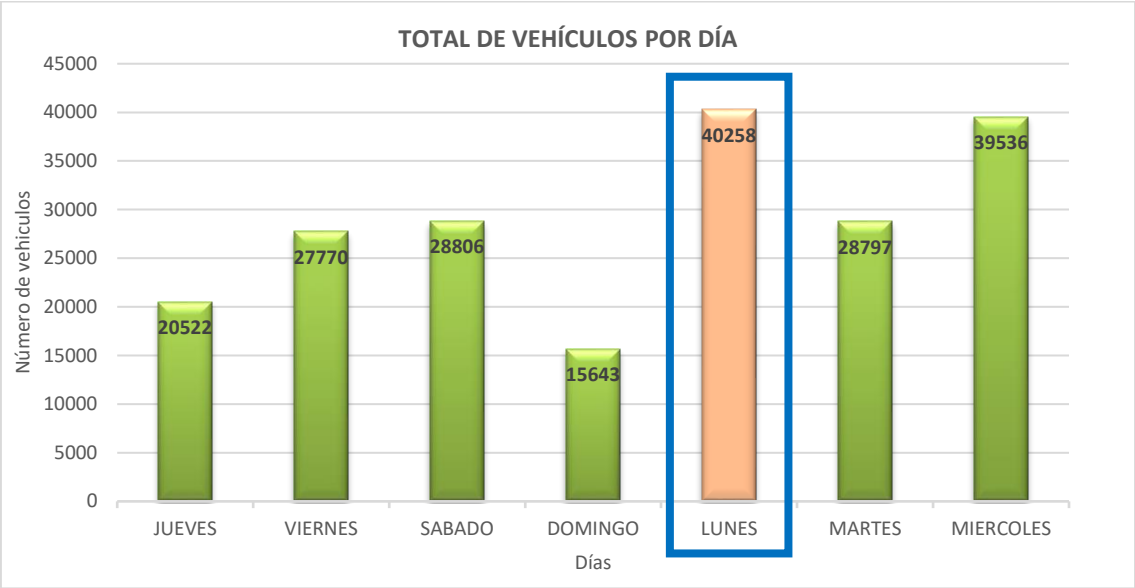
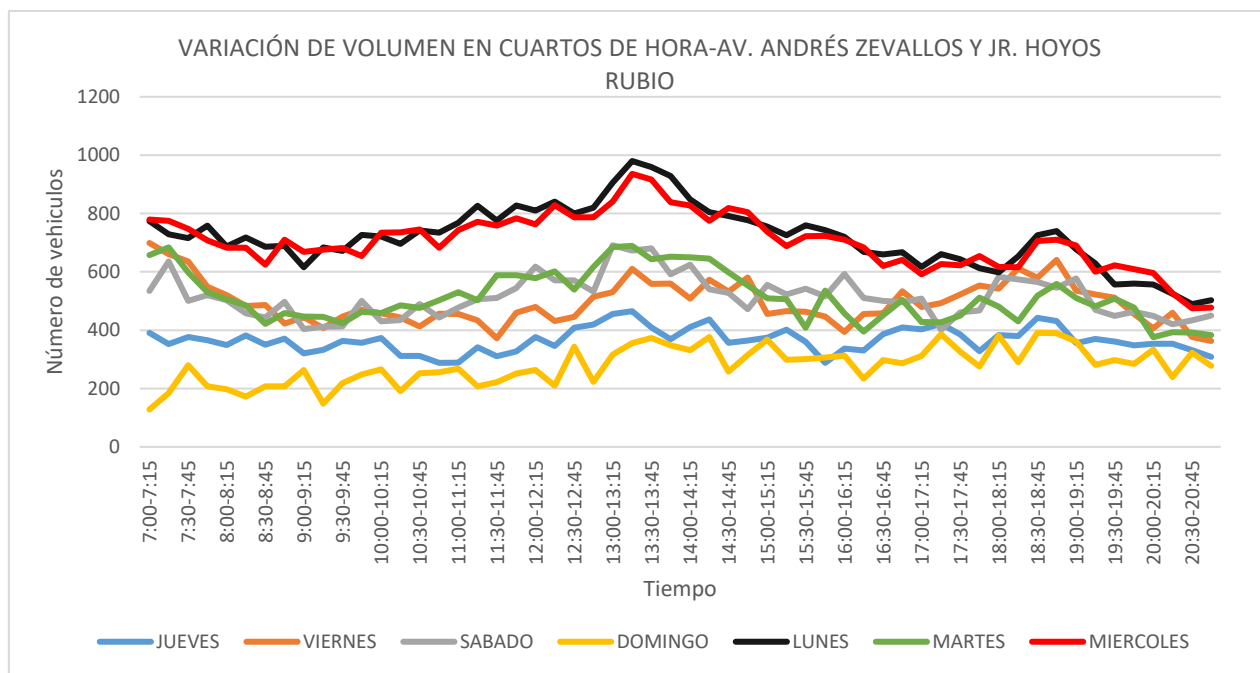


Tabla 17. Volumen de Aforo vehicular semanal por cada cuartos de hora-Intersección 1

	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIERCOLES
7:00-7:15	391	699	535	128	774	657	779
7:15-7:30	352	661	636	184	729	684	775
7:30-7:45	376	636	500	280	716	598	747
7:45-8:00	366	549	520	208	758	530	708
8:00-8:15	349	520	503	198	687	506	683
8:15-8:30	382	483	458	172	718	485	683
8:30-8:45	350	486	443	208	686	422	625
8:45-9:00	371	423	497	207	689	459	710
9:00-9:15	320	445	404	264	616	447	668
9:15-9:30	333	407	412	148	684	446	676
9:30-9:45	363	447	413	218	672	424	682
9:45-10:00	357	470	501	248	727	463	654
10:00-10:15	373	458	430	266	721	459	734
10:15-10:30	312	444	435	191	696	485	735
10:30-10:45	312	413	490	252	742	476	745
10:45-11:00	288	457	444	256	734	503	683
11:00-11:15	289	456	478	268	768	530	743
11:15-11:30	341	434	506	207	826	503	772
11:30-11:45	311	372	510	222	776	588	758
11:45-12:00	327	460	544	251	828	588	784
12:00-12:15	377	480	618	264	810	579	763
12:15-12:30	346	431	571	210	841	602	829
12:30-12:45	408	446	571	344	800	539	787
12:45-13:00	419	515	532	223	820	617	787
13:00-13:15	456	530	691	316	805	685	841
13:15-13:30	465	610	673	356	980	689	936
13:30-13:45	409	559	681	373	959	643	916
13:45-14:00	369	560	592	348	929	652	839
14:00-14:15	410	508	625	331	848	650	828
14:15-14:30	437	573	540	376	805	645	775
14:30-14:45	357	532	528	258	791	598	819
14:45-15:00	364	581	472	315	777	553	805
15:00-15:15	374	455	555	368	755	509	738
15:15-15:30	402	465	523	299	725	506	688
15:30-15:45	360	463	542	301	760	408	722
15:45-16:00	288	447	516	306	743	536	723
16:00-16:15	337	394	593	313	720	458	710
16:15-16:30	330	456	510	234	668	395	684
16:30-16:45	386	458	501	297	660	451	620
16:45-17:00	409	533	496	287	667	504	641
17:00-17:15	403	480	508	312	617	428	592
17:15-17:30	421	493	401	386	661	427	627
17:30-17:45	385	522	461	326	643	450	622
17:45-18:00	328	553	468	275	613	511	654
18:00-18:15	383	542	583	381	598	481	617
18:15-18:30	380	611	574	290	653	430	616
18:30-18:45	442	580	565	391	726	518	706
18:45-19:00	431	641	545	390	740	559	710
19:00-19:15	356	536	577	361	677	510	690
19:15-19:30	370	522	470	281	629	482	600
19:30-19:45	361	512	449	297	557	508	622
19:45-20:00	348	456	463	284	560	477	609
20:00-20:15	354	406	449	334	557	376	596
20:15-20:30	354	460	420	239	525	393	527
20:30-20:45	332	377	434	323	490	392	475
20:45-21:00	308	363	450	278	503	383	478

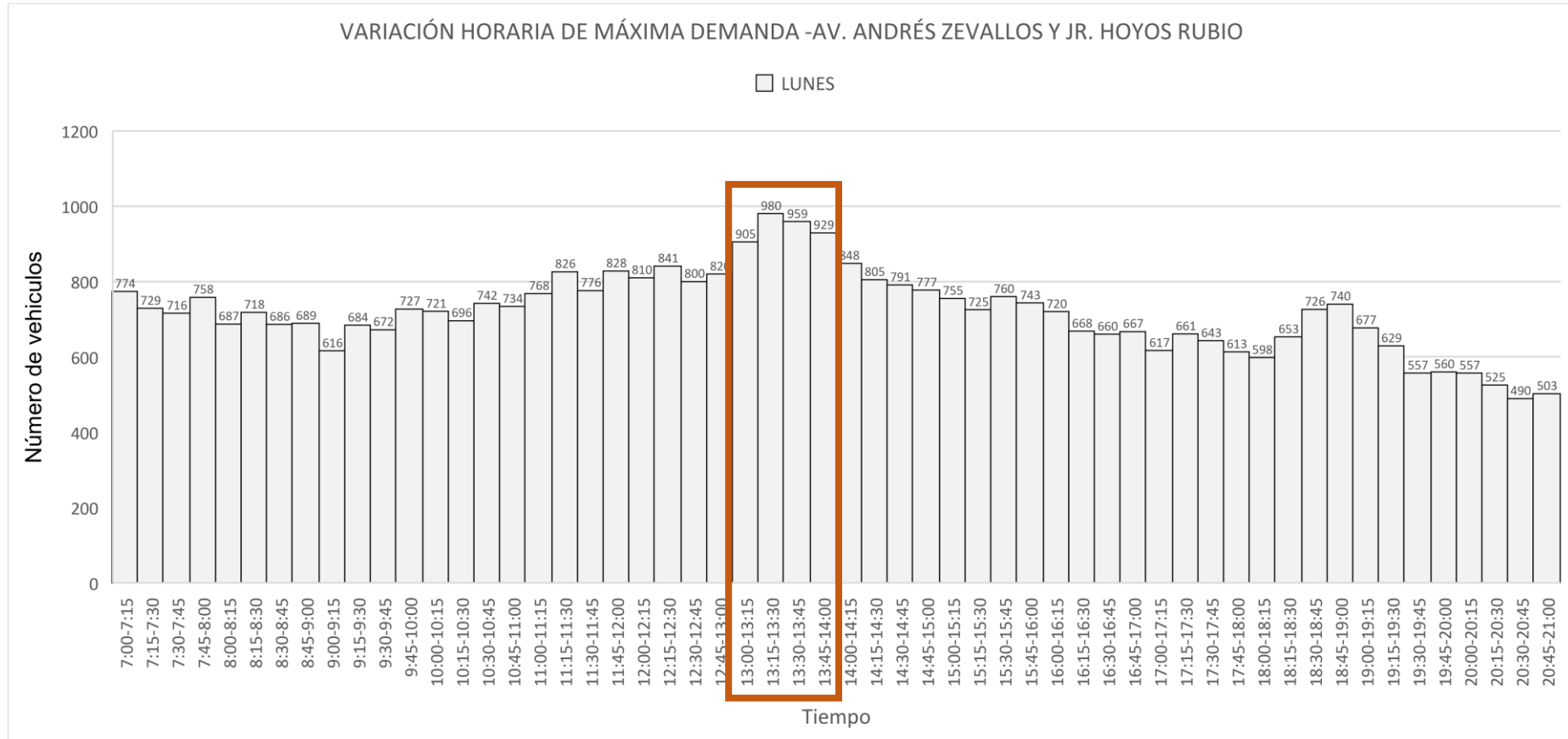
En la tabla anterior se observa que los mayores volúmenes vehiculares semanales por cada 15 minutos son al iniciar la mañana (7:00 a. m.), mediodía-tarde (1:00 p. m.), y en al iniciar la noche (6:30 pm). Sin embargo; el máximo valor en volumen por cada cuartos de hora, es el día lunes de 1:15 p. m. a 1:30 p. m. (horario de mediodía) con un volumen de 980 veh/h.

Figura 30. Variación de volumen por cada cuartos de hora- Intersección 1.



En la figura variación de volumen por cada cuartos de hora se logró identificar el día lunes como el de mayor volumen de vehículos que transitan por dicha intersección, seguidamente el día miércoles; En un grupo donde los volúmenes presentaron un comportamiento particular son los días martes, sábado, viernes y luego los días de menor volumen vehicular, es decir, con menor congestión fueron el día jueves y el día domingo.

Figura 31. Histograma de variación de volumen por cada cuartos de hora- Intersección 1.



En el histograma se pudo identificar con mayor detalle el volumen en periodos de cuartos de hora, donde el volumen horario de máxima demanda vehicular es el día lunes iniciando en horas de 1:00 p. m. hasta las 2:00 p. m.

Tabla 18. Volumen de Aforo vehicular semanal cada 15 min y por hora- Intersección 1

	JUEVES		VIERNES		SABADO		DOMINGO		LUNES		MARTES		MIÉRCOLES	
	Vol/15 min	Vol/hora	Vol/15 min	Vol/hora	Vol/15 min	Vol/hora	Vol/15 min	Vol/hora	Vol/15 min	Vol/hora	Vol/15 min	Vol/hora	Vol/15 min	Vol/hora
7:00-7:15	391	1485	699	2545	535	2191	128	800	774	2977	657	2469	779	3009
7:15-7:30	352	1443	661	2366	636	2159	184	870	729	2890	684	2318	775	2913
7:30-7:45	376	1473	636	2188	500	1981	280	858	716	2879	598	2119	747	2821
7:45-8:00	366	1447	549	2038	520	1924	208	786	758	2849	530	1943	708	2699
8:00-8:15	349	1452	520	1912	503	1901	198	785	687	2780	506	1872	683	2701
8:15-8:30	382	1423	483	1837	458	1802	172	851	718	2709	485	1813	683	2686
8:30-8:45	350	1374	486	1761	443	1756	208	827	686	2675	422	1774	625	2679
8:45-9:00	371	1387	423	1722	497	1726	207	837	689	2661	459	1776	710	2736
9:00-9:15	320	1373	445	1769	404	1730	264	878	616	2699	447	1780	668	2680
9:15-9:30	333	1426	407	1782	412	1756	148	880	684	2804	446	1792	676	2746
9:30-9:45	363	1405	447	1819	413	1779	218	923	672	2816	424	1831	682	2805
9:45-10:00	357	1354	470	1785	501	1856	248	957	727	2886	463	1883	654	2868
10:00-10:15	373	1285	458	1772	430	1799	266	965	721	2893	459	1923	734	2897
10:15-10:30	312	1201	444	1770	435	1847	191	967	696	2940	485	1994	735	2906
10:30-10:45	312	1230	413	1760	490	1918	252	983	742	3070	476	2012	745	2943
10:45-11:00	288	1229	457	1719	444	1938	256	953	734	3104	503	2124	683	2956
11:00-11:15	289	1268	456	1722	478	2038	268	948	768	3198	530	2209	743	3057
11:15-11:30	341	1356	434	1746	506	2178	207	944	826	3240	503	2258	772	3077
11:30-11:45	311	1361	372	1743	510	2243	222	947	776	3255	588	2357	758	3134
11:45-12:00	327	1458	460	1817	544	2304	251	1069	828	3279	588	2308	784	3163
12:00-12:15	377	1550	480	1872	618	2292	264	1041	810	3271	579	2337	763	3166
12:15-12:30	346	1629	431	1922	571	2365	210	1093	841	3366	602	2443	829	3244
12:30-12:45	408	1748	446	2101	571	2467	344	1239	800	3505	539	2530	787	3351
12:45-13:00	419	1749	515	2214	532	2577	223	1268	850	3604	617	2634	787	3480
13:00-13:15	456	1699	530	2259	691	2637	316	1393	905	3773	685	2669	841	3532
13:15-13:30	465	1653	610	2237	673	2571	356	1408	980	3783	689	2634	936	3519
13:30-13:45	409	1625	559	2200	681	2438	373	1428	959	3541	643	2590	916	3358
13:45-14:00	369	1573	560	2173	592	2285	348	1313	929	3373	652	2545	839	3261
14:00-14:15	410	1568	508	2194	625	2165	331	1280	848	3221	650	2446	828	3227
14:15-14:30	437	1532	573	2141	540	2095	376	1317	805	3128	645	2305	775	3137
14:30-14:45	357	1497	532	2033	528	2078	258	1240	791	3048	598	2166	819	3050
14:45-15:00	364	1500	581	1964	472	2092	315	1283	777	3017	553	1976	805	2953
15:00-15:15	374	1424	455	1830	555	2136	368	1274	755	2983	509	1959	738	2871
15:15-15:30	402	1387	465	1769	523	2174	299	1219	725	2948	506	1908	688	2843
15:30-15:45	360	1315	463	1760	542	2161	301	1154	760	2891	408	1797	722	2839
15:45-16:00	288	1341	447	1755	516	2120	306	1150	743	2791	536	1840	723	2737
16:00-16:15	337	1462	394	1841	593	2100	313	1131	720	2715	458	1808	710	2655
16:15-16:30	330	1528	456	1927	510	2015	234	1130	668	2612	395	1778	684	2537
16:30-16:45	386	1619	458	1964	501	1906	297	1282	660	2605	451	1810	620	2480
16:45-17:00	409	1618	533	2028	496	1866	287	1311	667	2588	504	1809	641	2482
17:00-17:15	403	1537	480	2048	508	1838	312	1299	617	2534	428	1816	592	2495
17:15-17:30	421	1517	493	2110	401	1913	386	1368	661	2515	427	1869	627	2520
17:30-17:45	385	1476	522	2228	461	2086	326	1272	643	2507	450	1872	622	2509
17:45-18:00	328	1533	553	2286	468	2190	275	1337	613	2590	511	1940	654	2593
18:00-18:15	383	1636	542	2374	583	2267	381	1452	598	2717	481	1988	617	2649
18:15-18:30	380	1609	611	2368	574	2261	290	1432	653	2796	430	2017	616	2722
18:30-18:45	442	1599	580	2279	565	2157	391	1423	726	2772	518	2069	706	2706
18:45-19:00	431	1518	641	2211	545	2041	390	1329	740	2603	559	2059	710	2622
19:00-19:15	356	1435	536	2026	577	1959	361	1223	677	2423	510	1977	690	2521
19:15-19:30	370	1433	522	1896	470	1831	281	1196	629	2303	482	1843	600	2427
19:30-19:45	361	1417	512	1834	449	1781	297	1154	557	2199	508	1754	622	2354
19:45-20:00	348	1388	456	1699	463	1766	284	1180	560	2132	477	1638	609	2207
20:00-20:15	354	1348	406	1606	449	1753	334	1174	557	2074	376	1544	596	2076
20:15-20:30	354		460		420		239		525		393		527	
20:30-20:45	332		377		434		323		490		392		475	
20:45-21:00	308		363		450		278		503		383		478	

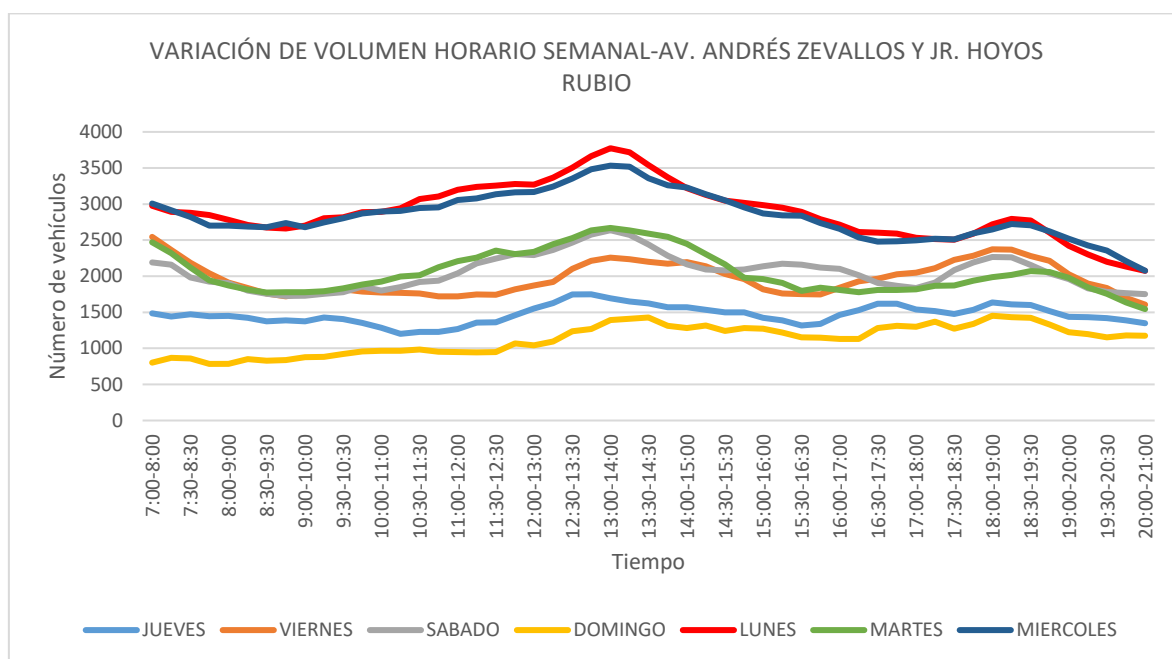
Según la tabla 18, en el día lunes, en horas de 1:00 p. m. a 2:00 p. m. se encuentran los mayores volúmenes por cada cuartos de hora siendo estos 905, 980, 959 y 929 vehículos; por tanto, sumando dichos volúmenes tenemos como resultado 3773 vehículos por hora, que representa el máximo volumen diario en la intersección 1.

Tabla 19. Volumen de Aforo vehicular semanal por hora- Intersección 1

HORA	VOLUMENES POR DIA - INTERSECCION 1							VOLUMEN TOTAL
	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIERCOLES	
7:00-8:00	1485	2545	2191	800	2977	2469	3009	15476
7:15-8:15	1443	2366	2159	870	2890	2318	2913	14959
7:30-8:30	1473	2188	1981	858	2879	2119	2821	14319
7:45-8:45	1447	2038	1924	786	2849	1943	2699	13686
8:00-9:00	1452	1912	1901	785	2780	1872	2701	13403
8:15-9:15	1423	1837	1802	851	2709	1813	2686	13121
8:30-9:30	1374	1761	1756	827	2675	1774	2679	12846
8:45-9:45	1387	1722	1726	837	2661	1776	2736	12845
9:00-10:00	1373	1769	1730	878	2699	1780	2680	12909
9:15-10:15	1426	1782	1756	880	2804	1792	2746	13186
9:30-10:30	1405	1819	1779	923	2816	1831	2805	13378
9:45-10:45	1354	1785	1856	957	2886	1883	2868	13589
10:00-11:00	1285	1772	1799	965	2893	1923	2897	13534
10:15-11:15	1201	1770	1847	967	2940	1994	2906	13625
10:30-11:30	1230	1760	1918	983	3070	2012	2943	13916
10:45-11:45	1229	1719	1938	953	3104	2124	2956	14023
11:00-12:00	1268	1722	2038	948	3198	2209	3057	14440
11:15-12:15	1356	1746	2178	944	3240	2258	3077	14799
11:30-12:30	1361	1743	2243	947	3255	2357	3134	15040
11:45-12:45	1458	1817	2304	1069	3279	2308	3163	15398
12:00-13:00	1550	1872	2292	1041	3271	2337	3166	15529
12:15-13:15	1629	1922	2365	1093	3366	2443	3244	16062
12:30-13:30	1748	2101	2467	1239	3505	2530	3351	16941
12:45-13:45	1749	2214	2577	1268	3664	2634	3480	17586
13:00-14:00	1699	2259	2637	1393	3773	2669	3532	17962
13:15-14:15	1653	2237	2571	1408	3710	2634	3519	17738
13:30-14:30	1625	2200	2438	1428	3541	2590	3358	17180
13:45-14:45	1573	2173	2285	1313	3373	2545	3261	16523
14:00-15:00	1568	2194	2165	1280	3221	2446	3227	16101
14:15-15:15	1532	2141	2095	1317	3128	2305	3137	15655
14:30-15:30	1497	2033	2078	1240	3048	2166	3050	15112
14:45-15:45	1500	1964	2092	1283	3017	1976	2953	14785
15:00-16:00	1424	1830	2136	1274	2983	1959	2871	14477
15:15-16:15	1387	1769	2174	1219	2948	1908	2843	14248
15:30-16:30	1315	1760	2161	1154	2891	1797	2839	13917
15:45-16:45	1341	1755	2120	1150	2791	1840	2737	13734
16:00-17:00	1462	1841	2100	1131	2715	1808	2655	13712
16:15-17:15	1528	1927	2015	1130	2612	1778	2537	13527
16:30-17:30	1619	1964	1906	1282	2605	1810	2480	13666
16:45-17:45	1618	2028	1866	1311	2588	1809	2482	13702
17:00-18:00	1537	2048	1838	1299	2534	1816	2495	13567
17:15-18:15	1517	2110	1913	1368	2515	1869	2520	13812
17:30-18:30	1476	2228	2086	1272	2507	1872	2509	13950
17:45-18:45	1533	2286	2190	1337	2590	1940	2593	14469
18:00-19:00	1636	2374	2267	1452	2717	1988	2649	15083
18:15-19:15	1609	2368	2261	1432	2796	2017	2722	15205
18:30-19:30	1599	2279	2157	1423	2772	2069	2706	15005
18:45-19:45	1518	2211	2041	1329	2603	2059	2622	14383
19:00-20:00	1435	2026	1959	1223	2423	1977	2521	13564
19:15-20:15	1433	1896	1831	1196	2303	1843	2427	12929
19:30-20:30	1417	1834	1781	1154	2199	1754	2354	12493
19:45-20:45	1388	1699	1766	1180	2132	1638	2207	12010
20:00-21:00	1348	1606	1753	1174	2074	1544	2076	11575

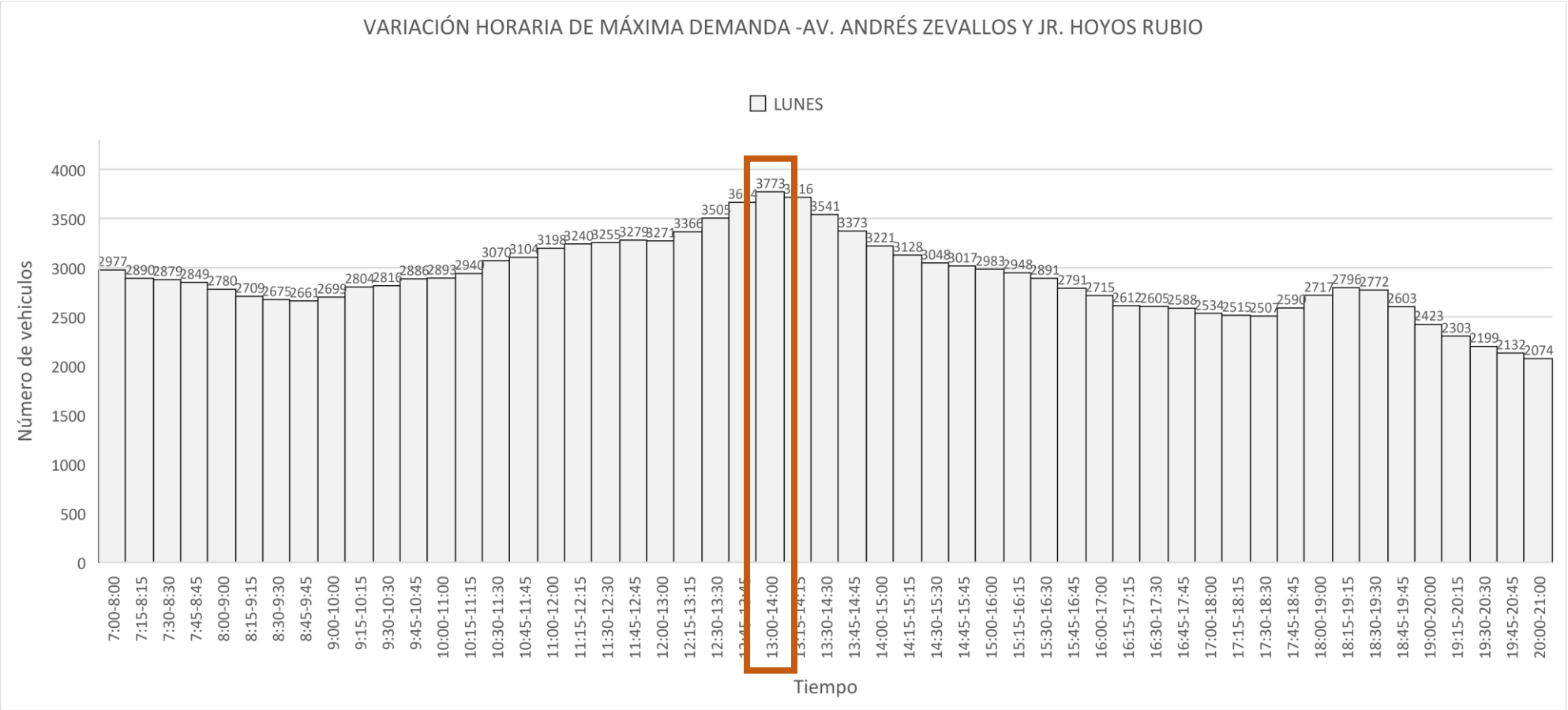
Con la información de la tabla 19 se obtuvo la comparación de los volúmenes horarios de todos los días de la semana, los volúmenes máximos por hora de cada día de la semana, identificado el día lunes como el de mayor flujo en la semana con un total de 3773 veh/h. El volumen máximo vehicular semanal en horario de 1:00 p. m. a 2:00 p. m. asciende a un total de 17962 veh/sem.

Figura 32. Variación de volumen horario semanal- Intersección 1.



En la figura 32 se observa el volumen horario semanal total por hora, en donde, el día de mayor volumen es lunes, y las horas de mayor flujo son en la mañana de 07:00 a. m. a 8:00 a. m. es de 2977 veh/h., al mediodía de 1:00 p. m. a 2:00 p. m. es de 3773 veh/h., y en la noche de 6:30 p. m. a 7:30 p. m. es de 2772 veh/h. Considerando como volumen de máxima demanda en el horario de mediodía, y las horas de menor demanda en media mañana y media tarde respectivamente.

Figura 33. Histograma de variación de volumen máximo- Intersección 1.



En el histograma anterior se pudo identificar con mayor detalle el volumen en vehículos por hora, donde la máxima demanda vehicular es el día lunes de 1:00 p. m. – 2:00 p. m. con un total de 3773 veh/h.

Con los datos encontrados seguidamente se calculó el número de vehículos mixtos y su equivalente a Unidad de Coche Patrón con los siguientes factores de equivalencia:

Tabla 20. Unidad de Coche Patrón (UCP)

Tipo de vehículo	UCP
Autos	1
Bus	3
Camiones	2.5
Camionetas	1.25
Microbus	2

Nota: HCM 2010

Para los tipos de vehículos menores que no están incluidos en el HCM, Larios (2021) considera para moto 0.33 y mototaxis 0.75 por ocupación de carril.

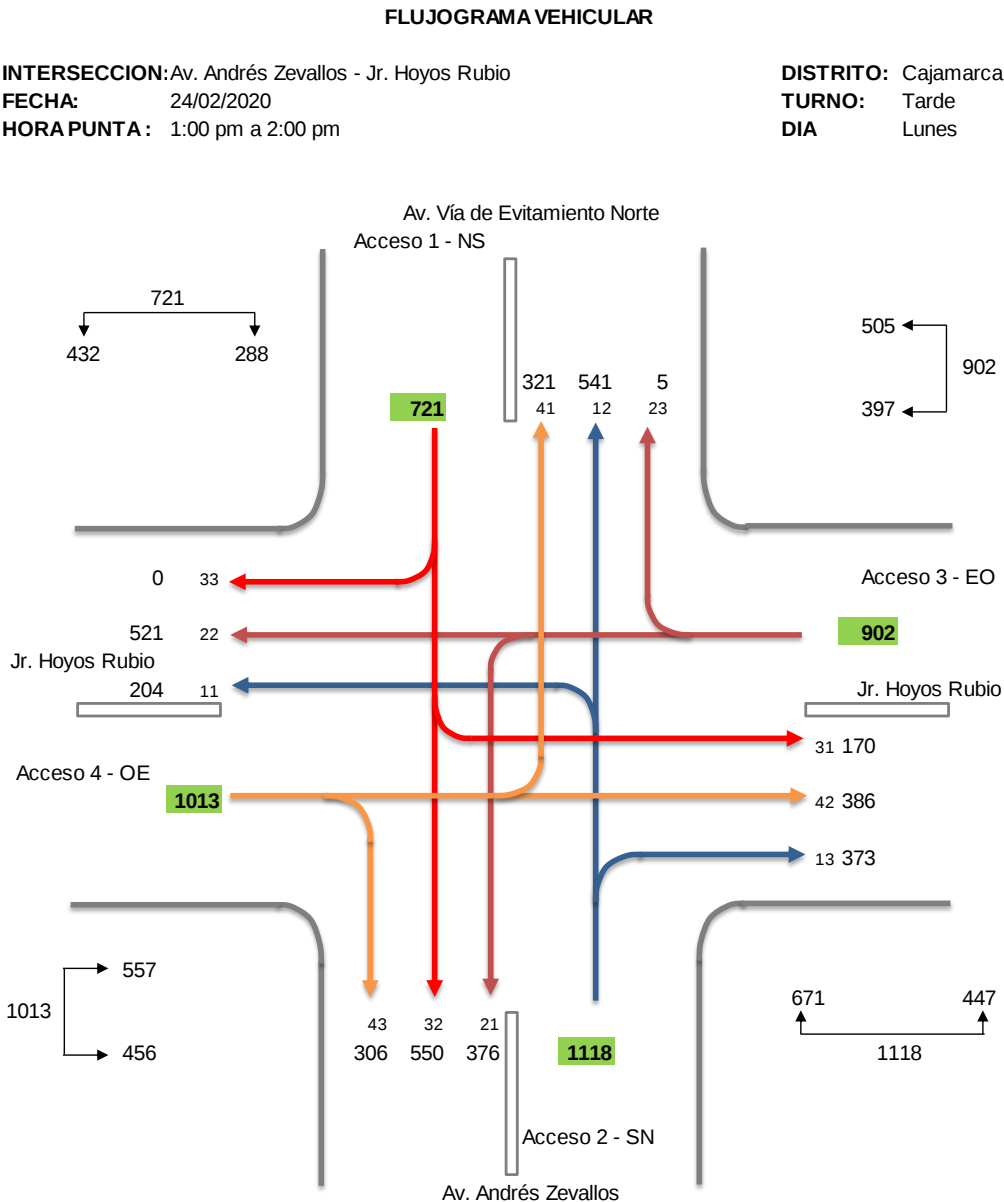
Flujograma vehicular en hora pico

Una vez calculados todos los vehículos con su respectivo UCP se realizó un flujograma de la demanda máxima horaria especificando en número de vehículos que transitan según su dirección de flujo (vuelta a la izquierda, de frente, vuelta a la derecha) de cada uno de los accesos que conforman la intersección en evaluación.

De la siguiente figura, flujograma vehicular en máxima demanda – Intersección 1, se pudo analizar que el mayor volumen vehicular en la intersección es la Av. Andrés Bello con 1118 veh/h en sentido Sur – Norte, seguidamente la Av. Hoyos Rubio con 1013 veh /h en sentido oeste – este.

El aforo peatonal también fue de mucha importancia para la evaluación de las intersecciones ya que los viajes urbanos en gran porcentaje se realizan a pie y es una de las alternativas imprescindibles para el tránsito.

Figura 34. Flujograma vehicular en máxima demanda – Intersección 1.



Del mismo modo que el tránsito vehicular, el trabajo de campo se realizó mediante las videgrabaciones ubicados en lugares estratégicos, luego se analizaron los comportamientos en los diferentes sentidos de circulación de tránsito de los peatones. Para cuantificar la demanda peatonal se realizó el aforo de las personas que circulan por las intersecciones en estudio en las horas de máxima demanda, por sentido de izquierda y derecha, y cruce por acceso en cada intersección. El aforo peatonal se muestra en la tabla de condiciones de tránsito de la vía.

Figura 35. Condiciones geométricas intersección 1.

CONDICIONES GEOMETRICAS

INTERSECCION: Av. Andrés Zevallos - Jr. Hoyos Rubio
FECHA: 24/02/2020
HORA PUNTA: 1:00 pm a 2:00 pm

DISTRITO: Cajamarca
TURNO: Tarde
DIA: Lunes

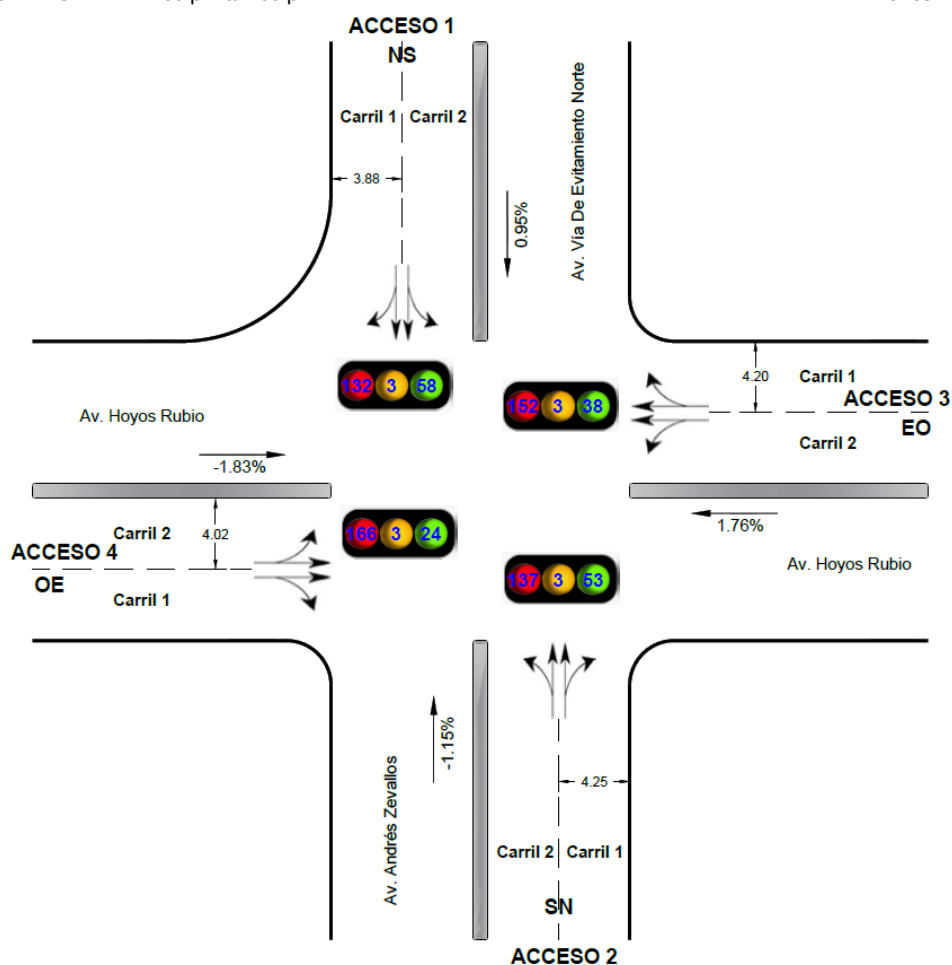


Tabla 21. Condiciones de tránsito de la vía - intersección 1.

Acceso	Tipo de Pavimento	Pen diente	Estaciona mientos	Bus es Nb	FHP	Qb (veh)	Vehiculos pesados %VP	Bicic leta	Peatones	
									Izq	Der
Acceso 1- NS	Rígido	0.95	No	11	0.90	38	2.6%	2	12	10
Acceso 2- SN	Rígido	-1.15	No	10	0.91	36	3.0%	7	9	11
Acceso 3- EO	Rígido	1.76	No	8	0.76	23	8.2%	4	8	6
Acceso 4- OE	Rígido	-1.83	No	17	0.94	24	9.1%	4	7	8

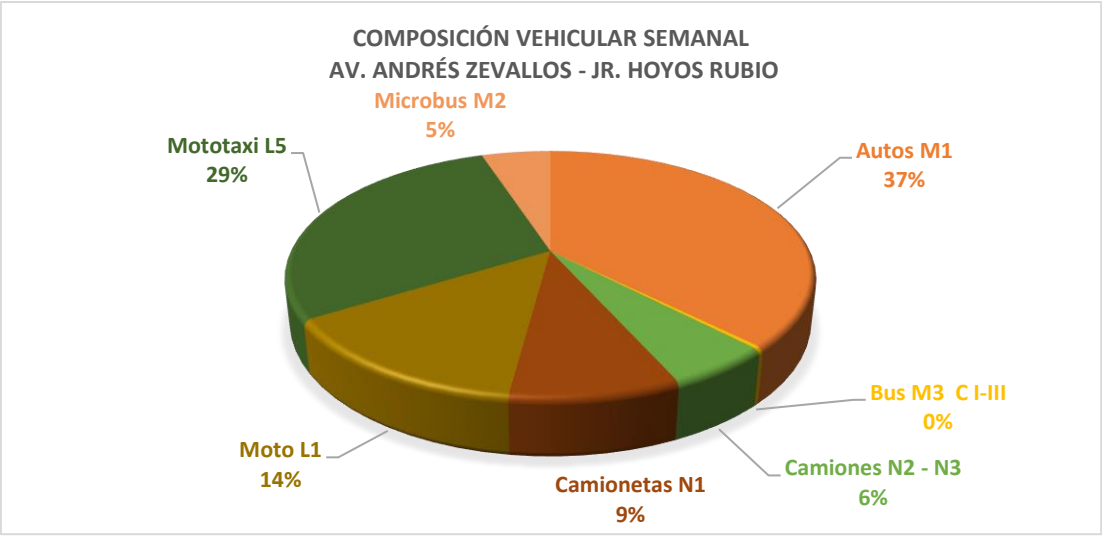
Donde:

%VP: Porcentaje de vehiculos pesados
Nb: Número de paradas de vehiculos

FHP: Factor en hora pico

En la tabla anterior se muestran las características del tipo de pavimento, las pendientes de cada uno de los accesos de la intersección, el porcentaje de vehículos pesados y el número de peatones y bicicletas.

Figura 36. Composición vehicular por tipo de vehículo – Intersección 1.



De la figura de composición vehicular se observa que la mayor cantidad de vehículos que transitan por la intersección son autos y mototaxis con un porcentaje del 37% y 29% respectivamente, siendo los vehículos pesados los de menor tránsito.

Cálculo de velocidad

Las velocidades de ambos accesos, tanto de sentido Sur- Norte y sentido de Norte- Sur presentan comportamiento parecidos, es decir, la velocidad que los vehículos no supera los 20 km/h en promedio debido a que el tramo no presenta una buena circulación, en el recorrido se evidencian muchas paradas improvisadas y colas por la alta congestión vehicular.

Las tablas de velocidades de marcha y velocidad promedio se detalla en anexos.

Áreas de invasión en las vías

Tabla 22. Áreas de invasión por sentido de accesos

N°	Nomb re de vía	Origen de calle	Fin de calle	Long.	Carril Sur- Norte	Carril Norte-Sur	Long. Invasion Sur-Norte	Long. Invasion Norte-Sur	Area Sur- Norte (m2)	Area Norte-Sur (m2)	Area invasiada Sur-Norte (m2)	Area invasiada Norte-Sur (m2)
1	Av. Andrés Bello	Av. Hoyos Rubio	Jr. E Barrantes	72.48	8.50	7.76	16.32	21.76	616.08	562.44	52.02	63.32
2		Jr. E Barrantes	Jr. Julio C Tello	12.68	8.50	7.76	5.44	0.00	107.80	98.41	17.34	0.00
3		Jr. Julio C Tello	Jr. Irene Silva	23.64	8.50	7.76	5.44	0.00	200.90	183.41	17.34	0.00
4		Jr. Irene Silva	Psje. Max Hule	37.39	8.50	7.76	27.20	32.64	317.83	290.16	86.70	94.98
5		Psje. Max Hule	Jr. Arnaldo Marquez	87.79	8.50	7.80	65.28	81.60	746.20	684.75	208.08	238.68
6		Jr. Arnaldo Marquez	Jr. Zoilo León	40.82	8.30	7.80	10.88	16.32	338.81	318.40	33.86	47.74
7		Jr. Zoilo León	Psje. Sta Ana	11.96	8.30	7.80	0.00	0.00	99.23	93.26	0.00	0.00
8		Psje. Sta Ana	Jr. Cinco Esquinas	68.19	9.00	7.80	54.40	70.72	613.67	531.84	183.60	206.86
9		Jr. Cinco Esquinas	Jr. Jacarandá	77.18	9.00	7.80	48.96	76.16	694.58	601.97	165.24	222.77
10		Jr. Jacarandá	Jr. Los Leones	71.46	9.60	7.80	76.16	65.28	686.00	557.37	274.18	190.94
11		Jr. Los Leones	Prl. Ayacucho	73.53	9.80	7.80	70.72	59.84	720.55	573.50	259.90	175.03
12		Prl. Ayacucho	Calle El Sauco	130.94	9.80	7.80	32.64	108.80	1283.16	1021.29	119.95	318.24
13		Calle El Sauco	Calle El Mutuy	75.79	9.60	7.60	16.32	54.40	727.55	575.97	58.75	155.04
14		Calle El Mutuy	Jr. La Unión	34.55	9.60	7.60	16.32	21.76	331.65	262.56	58.75	62.02
15		Jr. La Unión	Jr. Carlos Malpica	142.13	8.30	7.40	21.76	16.32	1179.69	1051.77	67.73	45.29
16	Av. Vía de Evitamiento Sur	Jr. Carlos Malpica	Jr. La Rivera C-1	89.91	8.30	7.40	70.72	81.60	746.21	665.30	220.12	226.44
17		Jr. La Rivera C-1	Jr. La Fortaleza	62.36	7.60	7.40	43.52	65.28	473.91	461.43	124.03	181.15
18		Jr. La Fortaleza	Jr. Alas Peruanas	31.88	7.60	7.80	10.88	0.00	242.27	248.65	31.01	0.00
19		Jr. Alas Peruanas	Jr. El Inca	48.06	6.70	8.00	5.44	0.00	322.01	384.49	13.67	0.00
20		Jr. El Inca	Ca. Santa María	55.07	7.00	8.00	43.52	16.32	385.51	440.58	114.24	48.96
21		Ca. Santa María	Jr. Illimani	37.23	7.60	7.80	10.88	10.88	282.97	290.42	31.01	31.82
22		Jr. Illimani	Jr. Cumbe Mayo	58.59	7.60	7.80	59.84	48.96	445.26	456.98	170.54	143.21
23		Jr. Cumbe Mayo	Jr. Sta Teresa	77.21	7.80	7.80	59.84	65.28	602.22	602.22	175.03	190.94
24		Jr. Sta Teresa	Jr. San Luis	57.92	7.80	7.80	0.00	10.88	451.78	451.78	0.00	31.82
25		Jr. San Luis	Jr. San Francisco	231.70	7.80	7.80	108.80	81.60	1807.27	1807.27	318.24	238.68
26		Jr. San Francisco	Av. Manuel Ibañez R	59.72	7.80	7.80	48.96	32.64	465.78	465.78	143.21	95.47
27		Av. Manuel Ibañez R	Psj. Tumbes	35.01	7.80	7.80	32.64	27.20	273.05	273.05	95.47	79.56
28		Psj. Tumbes	Calle Juan Velasco	77.74	7.80	7.80	87.04	81.60	606.36	606.36	254.59	238.68
29		Calle Juan Velasco	Jr. Los Topacios	13.81	7.60	7.60	10.88	10.88	104.97	104.97	31.01	31.01
30		Jr. Los Topacios	Av. Luis Rebaza Ney	49.01	7.60	7.60	32.64	38.08	372.44	372.44	93.02	108.53
31		Av. Luis Rebaza Ney	Av. Atahualpa	14.00	7.60	7.60	0.00	5.44	106.40	106.40	0.00	15.50

A lo largo del tramo en evaluación se evidencian áreas que han sido invadidas como estacionamientos improvisados vehiculares ubicados en la margen derecha de los accesos de ambos sentidos, dicha invasión obliga a la reducción de la capacidad de las vías.

Tabla 23. Áreas totales y porcentaje de invasión por accesos

Area Total por carril Sur-Norte (m2)	16352.10
Area Total por carril Norte-Sur (m2)	15145.22
Area Total invadida Sur-Norte (m2)	3418.63
Area Total invadida Norte-Sur (m2)	3482.69
% Area Total invadida Sur-Norte	21%
% Area Total invadida Norte-Sur	23%

Con respecto a las áreas de los carriles de las vías de ambos sentidos se determina que las áreas de invasión por vehículos representan el 21% para los carriles que van en sentido sur-norte y el 23% para los carriles que van en sentido norte -sur.

Procedimiento de datos HCM 2010

Para determinar los niveles de servicio de las intersecciones del tramo en estudio se realizó por el método HCM el cual consiste en un procedimiento de cálculos matemáticos, iniciando con la determinación de datos de entrada, seguidamente el ajuste de la demanda, ajuste de la oferta, luego se realiza el análisis de la capacidad vial y por último se determina en nivel de servicio.

En anexos se encuentran los resultados cálculo de niveles de servicio - Intersección 1.

Resumen

Tabla 24. Capacidad y grados de saturación de la intersección

Capacidades y grados de saturación	N - S	S - N	E - O	O - E
Tasa de Flujo Ajustado en el Grupo de Carriles, V_p	753	1168	942	1058
Capacidad del grupo de carriles, $c = s(g/C)$, (veh/h)	825	746	563	333
Relación v/c , X	0.913	1.566	1.673	3.174
Estado	No saturad	Sobresatu	Sobresatu	Sobresatu
Grado de saturación crítico, $X_c = (Y_c)(C)/(C - L)$	1.59			

Nota: HCM 2010

Importante, de la tabla podemos identificar el funcionamiento de la capacidad de la vía con respecto a la demanda, cuando la tasa de flujo es menor que la capacidad de los carriles no hay exceso de demanda sobre la capacidad, caso contrario se satura, si la

relación es igual a 1 podemos afirmar que el acceso se encuentra trabajando al 100 % de su capacidad.

De acuerdo a la tabla anterior podemos indicar que presentan saturación excesiva la cual se tiene que resolver en el acceso 2, acceso 3 y acceso 4.

Tabla 25. Demoras y nivel de servicio de la intersección

Demoras y niveles de servicio	N - S	S - N	E - O	O - E
Demora uniforme, $d1$ (s): $d1 = 0.5C(1 - g/C)$	67.50	70.00	77.50	84.50
Demora Incremental, $d2$ (s/veh) $d2 = 900T[(X - 1)]$	16.17	261.21	310.66	986.00
Demora por cola inicial, $d3$ (s): $d3 = 3600Qb/c$	165.82	173.82	147.12	259.20
Factor de ajuste por progresión/coordinación, $PF =$	0.99	1.00	1.06	1.10
Demora, $d = d1(PF) + d2 + d3$ (s/veh)	248.52	505.02	539.62	1337.78
Demora de la Intersección, $dI = \sum(d \sum(dA \times vA) \sum vA)$	688.81			
NS de la Intersección	F			

Nota: HCM 2010

De la tabla anterior podemos mencionar que las demoras dependen de la capacidad de la vía y de los ciclos de tiempo de los semáforos, lo cual la intersección presenta 11.5 min de demora promedio por vehículo.

B. Escenario N° 02 – Evaluación, análisis y simulación del tramo en estudio

Procedimiento de simulación con software Synchro V8.0 de la Intersección

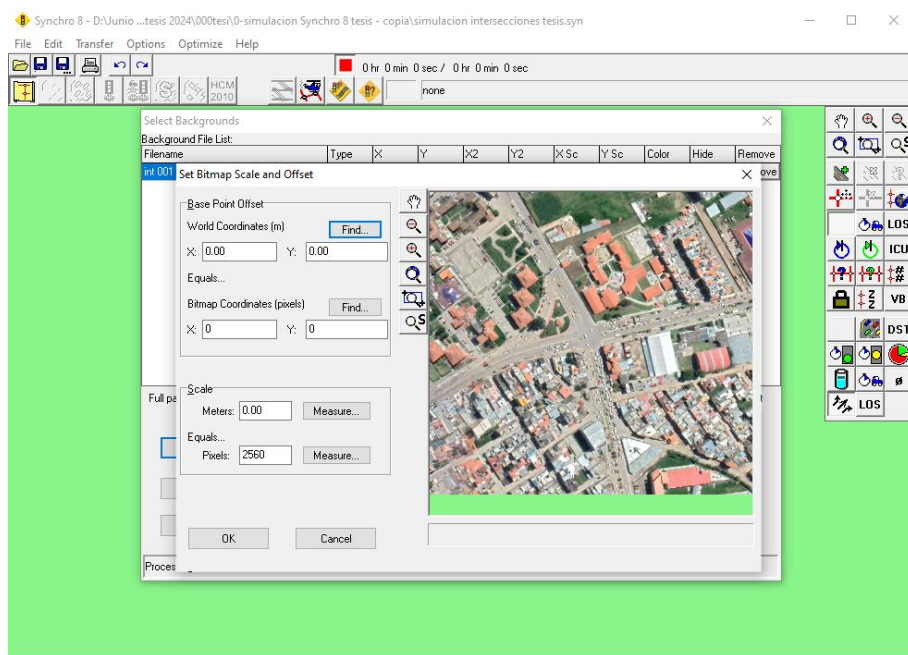
1 (Av. Andrés Bello- Jr. Hoyos Rubio)

Seguidamente se realizó la evaluación de la intersección en el escenario de situación actual a través de un software de computación (Synchro V8.0). Cabe mencionar que todos los datos requeridos para completar la información solicitada por el programa de software fueron adquiridos específicamente en campo, por lo cual los resultados que arroje tendrán valores reales acorde a cada intersección.

Para realizar la simulación del tramo se realizaron los siguientes pasos:

- Se identificó la intersección 1 conformada entre la Av. Andrés Bello y el Jr. Hoyos Rubio.

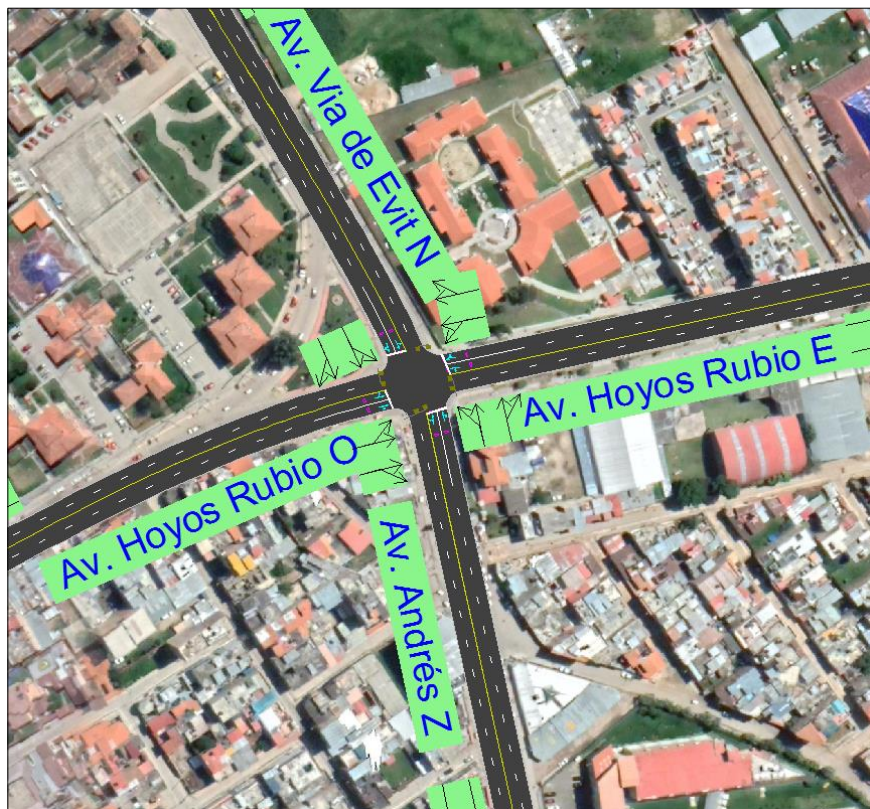
Figura 37. Planta de la intersección 1.



Nota: Software Synchro V8.0.

- b) Decodificación de cada uno de sus accesos que conforman dicha intersección 1 entre Av. Andrés Zevallos y el Jr. Hoyos Rubio.

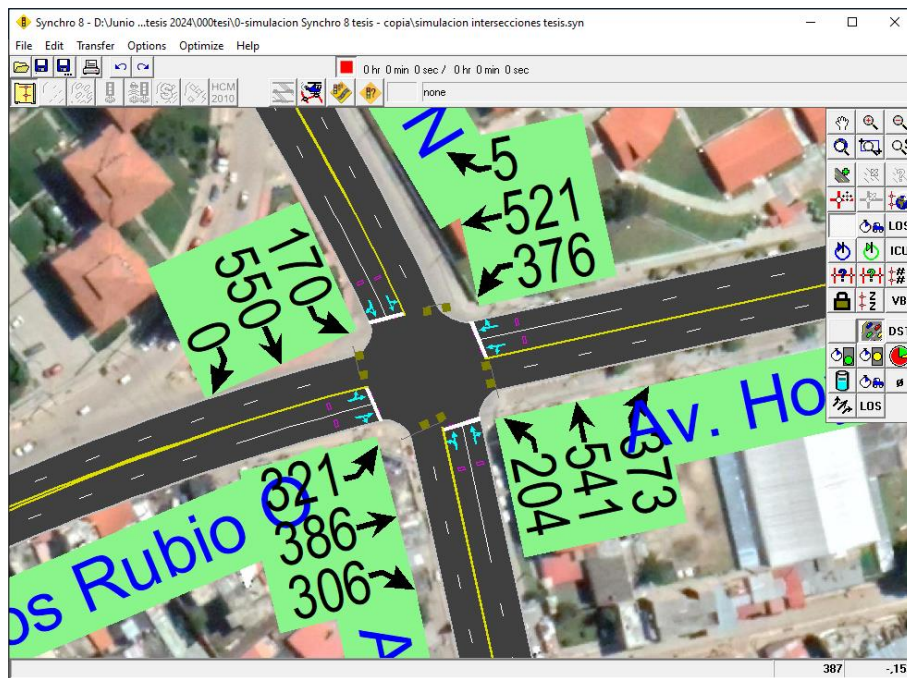
Figura 38. Planta de la intersección 1.



Nota: Software Synchro V8.0.

- c) Se definieron los datos de entrada a partir del análisis de tránsito que presenta dicha intersección, se identificaron los movimientos de los accesos de cada uno de los carriles, seguidamente se distribuyó los grupos de carriles de cada acceso que conforman la intersección, los volúmenes vehiculares y peatonales. Para los factores de los vehículos pesados se consideraron de acuerdo a la tabla de condiciones de tránsito de la vía de la intersección las cuales, determinan el número de parada de buses, la existencia de maniobras de parqueo.
- d) Ingreso de datos al software Synchro V8.0. Se procedió a registrar los volúmenes de cada dirección de flujo para cada uno de los carriles de la intersección

Figura 39. Ingreso de datos - intersección 1.



Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 40. Ajuste de volúmenes de intersección 1, Hoyos Rubio – Andrés Zevallos.

Synchro 8 - E:\CIV\PLANnnr DE TESIS set2020\0-simulacion Synchro 8 tesis\simulacion intersecciones tesis.syn												
File Edit Transfer Options Optimize Help												
0 hr 0 min 0 sec / 0 hr 0 min 0 sec												
1 Av. Via de Evit N & Av. Hoyos Rubio O/Av. Hoyos Rubio E												
x [Icons]												
VOLUME SETTINGS	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	↔			↔			↔			↔		
Traffic Volume (vph)	321	386	306	376	521	5	204	541	373	170	550	0
Conflicting Peds. (#/hr)	7	—	8	8	—	6	9	—	11	12	—	10
Conflicting Bicycles (#/hr)	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0
Peak Hour Factor	0.94	0.94	0.94	0.76	0.76	0.76	0.91	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90
Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Heavy Vehicles (%)	9	9	9	8	8	8	3	3	3	3	3	3
Bus Blockages (#/hr)	17	17	17	8	8	8	10	10	10	11	11	11
Adj. Parking Lane?	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Parking Maneuvers (#/hr)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Traffic from mid-block (%)	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—
Link OD Volumes	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Adjusted Flow (vph)	341	411	326	495	686	7	224	595	410	189	611	0
Traffic in shared lane (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lane Group Flow (vph)	0	1078	0	0	1188	0	0	1229	0	0	800	0

Nota: Software Synchro V8.0.

- e) Las condiciones geométricas de la vía, ancho de carriles de cada acceso que conforma la intersección, pendientes de vía se consideraron en la tabla de condiciones de tránsito de la vía de la intersección, con dichos datos el programa se realizó el cálculo del flujo de saturación de los carriles y de la intersección los cuales se indica en la siguiente figura.

Figura 41. Ajuste de carriles de la intersección 1, Hoyos Rubio – Andrés Zevallos.

Synchro 8 - E:\CIV\PLANnnr DE TESIS set2020\0-simulacion Synchro 8 tesis\simulacion intersecciones tesis.syn												
File Edit Transfer Options Optimize Help												
0 hr 0 min 0 sec / 0 hr 0 min 0 sec												
1 Av. Via de Evit N & Av. Hoyos Rubio O/Av. Hoyos Rubio E												
x [Icons]												
LANE SETTINGS	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	↔			↔			↔			↔		
Traffic Volume (vph)	321	386	306	376	521	5	204	541	373	170	550	0
Street Name	Av. Hoyos Rubio O			Av. Hoyos Rubio E			Av. Via de Evit N			Av. Via de Evit N		
Link Distance (m)	—	181.8	—	—	188.1	—	—	176.6	—	—	176.5	—
Link Speed (km/h)	—	45	—	—	45	—	—	45	—	—	45	—
Set Arterial Name and Speed	—	EB	—	—	WB	—	—	NB	—	—	SB	—
Travel Time (s)	—	14.5	—	—	15.0	—	—	14.1	—	—	14.1	—
Ideal Satd. Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lane Width (m)	4.0	4.0	4.0	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	3.9	3.9	3.9
Grade (%)	—	-2	—	—	2	—	—	-1	—	—	1	—
Area Type CBD	—	☐	—	—	☐	—	—	☐	—	—	☐	—
Storage Length (m)	0.0	—	0.0	0.0	—	0.0	0.0	—	0.0	0.0	—	0.0
Storage Lanes (#)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Right Turn Channelized	—	—	None	—	—	None	—	—	None	—	—	None
Curb Radius (m)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Add Lanes (#)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lane Utilization Factor	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Right Turn Factor	—	0.955	—	—	0.999	—	—	0.950	—	—	1.000	—
Left Turn Factor (prot)	—	0.984	—	—	0.980	—	—	0.991	—	—	0.988	—
Saturated Flow Rate (prot)	—	3133	—	—	3400	—	—	3407	—	—	3482	—
Left Turn Factor (perm)	—	0.984	—	—	0.980	—	—	0.991	—	—	0.988	—
Right Ped Bike Factor	—	0.988	—	—	1.000	—	—	0.983	—	—	1.000	—
Left Ped Factor	—	0.998	—	—	0.997	—	—	0.998	—	—	0.998	—
Saturated Flow Rate (perm)	—	3128	—	—	3391	—	—	3401	—	—	3476	—

Right Turn on Red?	—	—	☐	—	—	☐	—	—	☐	—	—	☐
Saturated Flow Rate (RTOR)	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—
Link Is Hidden	—	☐	—	—	☐	—	—	☐	—	—	☐	—
Hide Name in Node Title	—	☐	—	—	☐	—	—	☐	—	—	☐	—

Nota: Software Synchro V8.0.

- f) Seguidamente, se indicaron los datos de las condiciones semafóricas de la intersección para luces verde, ámbar, rojo, todo rojo. De acuerdo a ello, el programa por medio de la metodología indicada (HCM 2010) calculó la tasa de flujo de saturación, la capacidad, la relación volumen/capacidad, el tiempo de demora y finalmente los niveles de servicio de cada uno de los cuatro accesos que conforman la intersección 1. El cuadro de configuración del punto o nodo se indican los valores que corresponden a la intersección 1 en la siguiente figura:

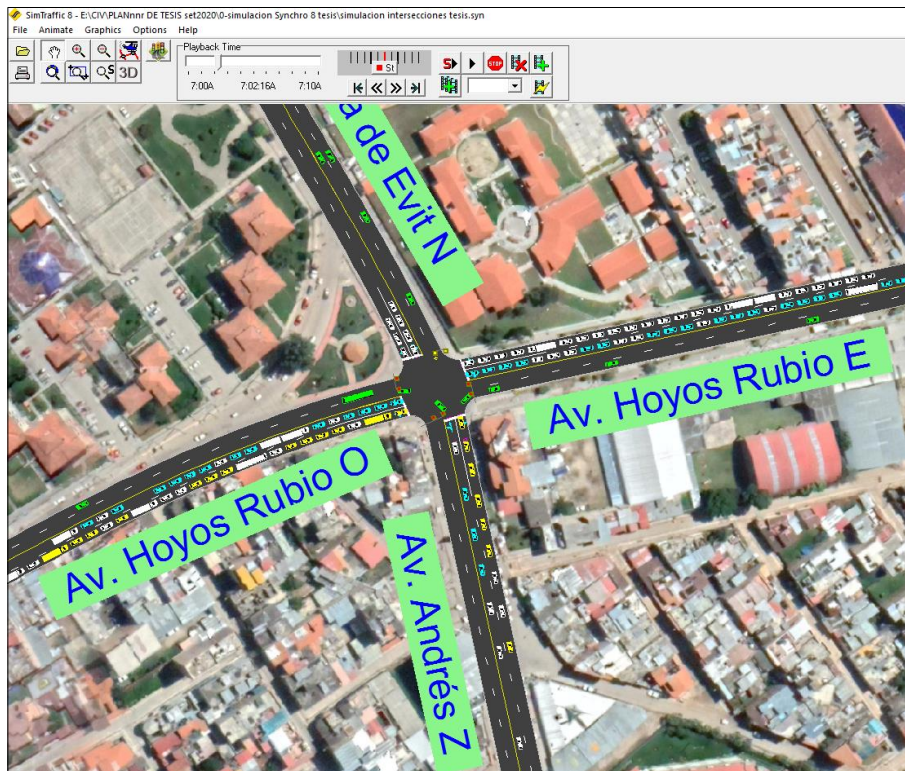
Figura 42. Ajuste de tiempos de semáforos de la intersección 1, Hoyos Rubio – Andrés Zevallos.

NODE SETTINGS		TIMING SETTINGS											
Node #	1	EBL EBT EBR WBL WBT WBR NBL NBT NBR SBL SBT SBR PED HOLD											
Zone:	Cajamar	Lanes and Sharing (HRL)											
X East (m):	313.8	Traffic Volume (vph)											
Y North (m):	-154.8	Turn Type											
Z Elevation (m):	0.0	Protected Phases											
Description		Permitted Phases											
Control Type	Pretimed	Detector Phases											
Cycle Length (s):	193.0	Switch Phase											
Lock Timings:	☐	Leading Detector (m)											
Optimize Cycle Length:	Optimize	Trailing Detector (m)											
Optimize Split:	Optimize	Minimum Initial (s)											
Actuated Cycle(s):	193.0	Minimum Split (s)											
Natural Cycle(s):	150.0	Total Split (s)											
Max v/c Ratio:	2.76	Yellow Time (s)											
Intersection Delay (s):	386.1	All-Red Time (s)											
Intersection LOS:	F	Lost Time Adjust (s)											
ICU:	1.26	Lagging Phase?											
ICU LOS:	H	Allow Lead/Lag Optimize?											
Offset (s):	0.0	Recall Mode											
Referenced to:	Begin of Green	Actuated Effct. Green (s)											
Reference Phase:	246 - Unassigned	Actuated g/C Ratio											
Master Intersection:	☐	Volume to Capacity Ratio											
Yield Point:	Single	Control Delay (s)											
Mandatory Stop On Yellow:	☐	Queue Delay (s)											
		Total Delay (s)											
		Level of Service											
		Approach Delay (s)											
		Approach LOS											
		Queue Length 50th (m)											
		Queue Length 95th (m)											
		Stops (vph)											
		Fuel Used (l/hr)											
		Dilemma Vehicles (#/hr)											

Nota: Software Synchro V8.0.

- g) Finalmente, para analizar el comportamiento de la intersección se exportaron los datos a Sim traffic y se realizó la simulación de la intersección 1.

Figura 43. Simulación vehicular de la intersección 1, Hoyos Rubio – Andrés Zevallos.



Nota: Sim traffic- Software Synchro V8.0.

Optimización de tiempos de semáforos

Para agilizar la circulación de la intersección 1 y disminuir las demoras se realizó la optimización de los tiempos del ciclo de los cuatro semáforos en función de cada uno de sus tiempos y de fases. Además, se consideraron seis paradas de vehículos por cada acceso para mantener un orden dentro de los 15 min que conforma cada intervalo.

Figura 44. Optimización de tiempos de semáforos de la intersección 1, Hoyos Rubio – Andrés Zevallos.

Synchro 8 - E:\CIV\PLANnnr DE TESIS set2020\0-simulacion Synchro 8 tesis\simulacion inter 1 optimiz.syn																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
File Edit Transfer Options Optimize Help																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
0 hr 0 min 0 sec / 0 hr 0 min 0 sec																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1 Av. Andrés Z/Av. Via de Evit N & Av. Hoyos Rubio O/Av. Hoyos Rubio E																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
x [Icons]																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
NODE SETTINGS		TIMING SETTINGS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Node #	1	EBL EBT EBR WBL WBT WBR NBL NBT NBR SBL SBT SBR PED HOLD																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Zone:	Cajamar																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
X East (m)	313.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Y North (m)	-154.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Z Elevation (m)	0.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Description																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
Control Type	Pretimed																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Cycle Length (s)	160.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Lock Timings:	☐																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Optimize Cycle Length:	Optimize																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Optimize Split:	Optimize																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Actuated Cycle(s)	160.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Natural Cycle(s)	160.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Max v/c Ratio:	2.13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Intersection Delay (s)	289.4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Intersection LOS:	F																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
ICU:	1.26																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
ICU LOS:	H																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Offset (s):	0.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Referenced to:	Begin of Green																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Reference Phase:	2+6 - Unassigned																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Master Intersection:	☐																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Yield Point:	Single																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
Mandatory Stop On Yellow:	☐																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
		<table> <tr> <td>Lanes and Sharing (HRL)</td> <td>EBL</td><td>EBT</td><td>EBR</td><td>WBL</td><td>WBT</td><td>WBR</td><td>NBL</td><td>NBT</td><td>NBR</td><td>SBL</td><td>SBT</td><td>SBR</td><td>PED</td><td>HOLD</td> </tr> <tr> <td>Traffic Volume (vph)</td> <td>321</td><td>386</td><td>306</td><td>376</td><td>521</td><td>5</td><td>204</td><td>541</td><td>373</td><td>170</td><td>550</td><td>0</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Turn Type</td> <td>Split</td><td>—</td><td>—</td><td>Split</td><td>—</td><td>—</td><td>Split</td><td>—</td><td>—</td><td>Split</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Protected Phases</td> <td>8</td><td>8</td><td>—</td><td>7</td><td>7</td><td>—</td><td>2</td><td>2</td><td>—</td><td>1</td><td>1</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Permitted Phases</td> <td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Detector Phases</td> <td>8</td><td>8</td><td>—</td><td>7</td><td>7</td><td>—</td><td>2</td><td>2</td><td>—</td><td>1</td><td>1</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Switch Phase</td> <td>0</td><td>0</td><td>—</td><td>0</td><td>0</td><td>—</td><td>0</td><td>0</td><td>—</td><td>0</td><td>0</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Leading Detector (m)</td> <td>—</td><td>10.0</td><td>—</td><td>—</td><td>10.0</td><td>—</td><td>—</td><td>10.0</td><td>—</td><td>—</td><td>10.0</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Trailing Detector (m)</td> <td>—</td><td>0.0</td><td>—</td><td>—</td><td>0.0</td><td>—</td><td>—</td><td>0.0</td><td>—</td><td>—</td><td>0.0</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Minimum Initial (s)</td> <td>4.0</td><td>4.0</td><td>—</td><td>4.0</td><td>4.0</td><td>—</td><td>4.0</td><td>4.0</td><td>—</td><td>4.0</td><td>4.0</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Minimum Split (s)</td> <td>25.0</td><td>25.0</td><td>—</td><td>25.0</td><td>25.0</td><td>—</td><td>25.0</td><td>25.0</td><td>—</td><td>25.0</td><td>25.0</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Total Split (s)</td> <td>30.0</td><td>30.0</td><td>—</td><td>40.0</td><td>40.0</td><td>—</td><td>50.0</td><td>50.0</td><td>—</td><td>40.0</td><td>40.0</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Yellow Time (s)</td> <td>3.0</td><td>3.0</td><td>—</td><td>3.0</td><td>3.0</td><td>—</td><td>3.0</td><td>3.0</td><td>—</td><td>3.0</td><td>3.0</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>All-Red Time (s)</td> <td>2.0</td><td>2.0</td><td>—</td><td>2.0</td><td>2.0</td><td>—</td><td>2.0</td><td>2.0</td><td>—</td><td>2.0</td><td>2.0</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Lost Time Adjust (s)</td> <td>—</td><td>0.0</td><td>—</td><td>—</td><td>0.0</td><td>—</td><td>—</td><td>0.0</td><td>—</td><td>—</td><td>0.0</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Lagging Phase?</td> <td>☒</td><td>☒</td><td>—</td><td>☐</td><td>☐</td><td>—</td><td>☒</td><td>☒</td><td>—</td><td>☐</td><td>☐</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Allow Lead/Lag Optimize?</td> <td>☒</td><td>☒</td><td>—</td><td>☒</td><td>☒</td><td>—</td><td>☒</td><td>☒</td><td>—</td><td>☒</td><td>☒</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Recall Mode</td> <td>Max</td><td>Max</td><td>—</td><td>Max</td><td>Max</td><td>—</td><td>Max</td><td>Max</td><td>—</td><td>Max</td><td>Max</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Actuated Effect: Green (s)</td> <td>—</td><td>25.0</td><td>—</td><td>—</td><td>35.0</td><td>—</td><td>—</td><td>45.0</td><td>—</td><td>—</td><td>35.0</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Actuated g/C Ratio</td> <td>—</td><td>0.16</td><td>—</td><td>—</td><td>0.22</td><td>—</td><td>—</td><td>0.28</td><td>—</td><td>—</td><td>0.22</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Volume to Capacity Ratio</td> <td>—</td><td>2.13</td><td>—</td><td>—</td><td>1.58</td><td>—</td><td>—</td><td>1.26</td><td>—</td><td>—</td><td>1.03</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Control Delay (s)</td> <td>—</td><td>547.0</td><td>—</td><td>—</td><td>305.4</td><td>—</td><td>—</td><td>171.1</td><td>—</td><td>—</td><td>100.3</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Queue Delay (s)</td> <td>—</td><td>0.0</td><td>—</td><td>—</td><td>0.0</td><td>—</td><td>—</td><td>0.0</td><td>—</td><td>—</td><td>0.0</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Total Delay (s)</td> <td>—</td><td>547.0</td><td>—</td><td>—</td><td>305.4</td><td>—</td><td>—</td><td>171.1</td><td>—</td><td>—</td><td>100.3</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Level of Service</td> <td>—</td><td>F</td><td>—</td><td>—</td><td>F</td><td>—</td><td>—</td><td>F</td><td>—</td><td>—</td><td>F</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Approach Delay (s)</td> <td>—</td><td>547.0</td><td>—</td><td>—</td><td>305.4</td><td>—</td><td>—</td><td>171.1</td><td>—</td><td>—</td><td>100.3</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Approach LOS</td> <td>—</td><td>F</td><td>—</td><td>—</td><td>F</td><td>—</td><td>—</td><td>F</td><td>—</td><td>—</td><td>F</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Queue Length 50th (m)</td> <td>—</td><td>~301.2</td><td>—</td><td>—</td><td>~296.2</td><td>—</td><td>—</td><td>~270.4</td><td>—</td><td>—</td><td>~150.4</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Queue Length 95th (m)</td> <td>—</td><td>#346.1</td><td>—</td><td>—</td><td>#266.6</td><td>—</td><td>—</td><td>#315.7</td><td>—</td><td>—</td><td>#193.8</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Stops (vph)</td> <td>—</td><td>615</td><td>—</td><td>—</td><td>629</td><td>—</td><td>—</td><td>905</td><td>—</td><td>—</td><td>649</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Fuel Used (l/hr)</td> <td>—</td><td>456</td><td>—</td><td>—</td><td>241</td><td>—</td><td>—</td><td>183</td><td>—</td><td>—</td><td>80</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> <tr> <td>Dilemma Vehicles (#/hr)</td> <td>—</td><td>0</td><td>—</td><td>—</td><td>0</td><td>—</td><td>—</td><td>0</td><td>—</td><td>—</td><td>0</td><td>—</td><td>—</td><td>—</td> </tr> </table>													Lanes and Sharing (HRL)	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR	PED	HOLD	Traffic Volume (vph)	321	386	306	376	521	5	204	541	373	170	550	0	—	—	Turn Type	Split	—	—	Split	—	—	Split	—	—	Split	—	—	—	—	Protected Phases	8	8	—	7	7	—	2	2	—	1	1	—	—	—	Permitted Phases	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Detector Phases	8	8	—	7	7	—	2	2	—	1	1	—	—	—	Switch Phase	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—	—	—	Leading Detector (m)	—	10.0	—	—	10.0	—	—	10.0	—	—	10.0	—	—	—	Trailing Detector (m)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	—	Minimum Initial (s)	4.0	4.0	—	4.0	4.0	—	4.0	4.0	—	4.0	4.0	—	—	—	Minimum Split (s)	25.0	25.0	—	25.0	25.0	—	25.0	25.0	—	25.0	25.0	—	—	—	Total Split (s)	30.0	30.0	—	40.0	40.0	—	50.0	50.0	—	40.0	40.0	—	—	—	Yellow Time (s)	3.0	3.0	—	3.0	3.0	—	3.0	3.0	—	3.0	3.0	—	—	—	All-Red Time (s)	2.0	2.0	—	2.0	2.0	—	2.0	2.0	—	2.0	2.0	—	—	—	Lost Time Adjust (s)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	—	Lagging Phase?	☒	☒	—	☐	☐	—	☒	☒	—	☐	☐	—	—	—	Allow Lead/Lag Optimize?	☒	☒	—	☒	☒	—	☒	☒	—	☒	☒	—	—	—	Recall Mode	Max	Max	—	Max	Max	—	Max	Max	—	Max	Max	—	—	—	Actuated Effect: Green (s)	—	25.0	—	—	35.0	—	—	45.0	—	—	35.0	—	—	—	Actuated g/C Ratio	—	0.16	—	—	0.22	—	—	0.28	—	—	0.22	—	—	—	Volume to Capacity Ratio	—	2.13	—	—	1.58	—	—	1.26	—	—	1.03	—	—	—	Control Delay (s)	—	547.0	—	—	305.4	—	—	171.1	—	—	100.3	—	—	—	Queue Delay (s)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	—	Total Delay (s)	—	547.0	—	—	305.4	—	—	171.1	—	—	100.3	—	—	—	Level of Service	—	F	—	—	F	—	—	F	—	—	F	—	—	—	Approach Delay (s)	—	547.0	—	—	305.4	—	—	171.1	—	—	100.3	—	—	—	Approach LOS	—	F	—	—	F	—	—	F	—	—	F	—	—	—	Queue Length 50th (m)	—	~301.2	—	—	~296.2	—	—	~270.4	—	—	~150.4	—	—	—	Queue Length 95th (m)	—	#346.1	—	—	#266.6	—	—	#315.7	—	—	#193.8	—	—	—	Stops (vph)	—	615	—	—	629	—	—	905	—	—	649	—	—	—	Fuel Used (l/hr)	—	456	—	—	241	—	—	183	—	—	80	—	—	—	Dilemma Vehicles (#/hr)	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	—
Lanes and Sharing (HRL)	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR	PED	HOLD																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Traffic Volume (vph)	321	386	306	376	521	5	204	541	373	170	550	0	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Turn Type	Split	—	—	Split	—	—	Split	—	—	Split	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Protected Phases	8	8	—	7	7	—	2	2	—	1	1	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Permitted Phases	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Detector Phases	8	8	—	7	7	—	2	2	—	1	1	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Switch Phase	0	0	—	0	0	—	0	0	—	0	0	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Leading Detector (m)	—	10.0	—	—	10.0	—	—	10.0	—	—	10.0	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Trailing Detector (m)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Minimum Initial (s)	4.0	4.0	—	4.0	4.0	—	4.0	4.0	—	4.0	4.0	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Minimum Split (s)	25.0	25.0	—	25.0	25.0	—	25.0	25.0	—	25.0	25.0	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Total Split (s)	30.0	30.0	—	40.0	40.0	—	50.0	50.0	—	40.0	40.0	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Yellow Time (s)	3.0	3.0	—	3.0	3.0	—	3.0	3.0	—	3.0	3.0	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
All-Red Time (s)	2.0	2.0	—	2.0	2.0	—	2.0	2.0	—	2.0	2.0	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Lost Time Adjust (s)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Lagging Phase?	☒	☒	—	☐	☐	—	☒	☒	—	☐	☐	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Allow Lead/Lag Optimize?	☒	☒	—	☒	☒	—	☒	☒	—	☒	☒	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Recall Mode	Max	Max	—	Max	Max	—	Max	Max	—	Max	Max	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Actuated Effect: Green (s)	—	25.0	—	—	35.0	—	—	45.0	—	—	35.0	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Actuated g/C Ratio	—	0.16	—	—	0.22	—	—	0.28	—	—	0.22	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Volume to Capacity Ratio	—	2.13	—	—	1.58	—	—	1.26	—	—	1.03	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Control Delay (s)	—	547.0	—	—	305.4	—	—	171.1	—	—	100.3	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Queue Delay (s)	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	0.0	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Total Delay (s)	—	547.0	—	—	305.4	—	—	171.1	—	—	100.3	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Level of Service	—	F	—	—	F	—	—	F	—	—	F	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Approach Delay (s)	—	547.0	—	—	305.4	—	—	171.1	—	—	100.3	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Approach LOS	—	F	—	—	F	—	—	F	—	—	F	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Queue Length 50th (m)	—	~301.2	—	—	~296.2	—	—	~270.4	—	—	~150.4	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Queue Length 95th (m)	—	#346.1	—	—	#266.6	—	—	#315.7	—	—	#193.8	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Stops (vph)	—	615	—	—	629	—	—	905	—	—	649	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Fuel Used (l/hr)	—	456	—	—	241	—	—	183	—	—	80	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
Dilemma Vehicles (#/hr)	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	—																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
a1 a2 a7 a8		40 s 50 s 40 s 50 s																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
Intersection Offset (s)		v/c > 1 Mins ok																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												

Nota: Software Synchro V8.0.

Las demoras optimizadas con respecto a la situación actual disminuyen en 96.7 segundos, el flujo de saturación disminuye en 0.63 y con respecto al nuevo ciclo de cada fase disminuye en 30 segundos. A pesar de las consideraciones anteriores el nivel de servicio de la intersección no varía, se mantiene en el nivel F debido a la excesiva demanda que presenta todo el tramo en estudio.

Sincronización y coordinación de semáforos

El tramo en estudio está conformado por 6 intersecciones semaforicas de las cuales cada fase o cambio en verde de los semáforos debe estar en relación con el siguiente dispositivo y con los volúmenes de tránsito de la vía. El comportamiento de los semáforos debe ser sincronizado y coordinado para mantener una transitabilidad sin interrupciones o con demoras mínimas en las colas, asimismo, se debe considerar un tiempo de verde mínimo para el tránsito de peatones.

Las vías conformadas en el tramo en estudio por ser avenidas de mayor flujo de tránsito con respecto a las demás vías que se intersecan son consideradas con mayor número de tiempo en verde, es decir, la Av. Andrés Zevallos y la Av. Vía de Evitamiento Sur se calculan los valores de tiempo de desfase con respecto al dispositivo de tránsito más cercano.

Considerando que en las vías en mención la gran mayoría de las intersecciones son de dos fases (excepto en la Av. Hoyos rubio que tiene cuatro fases), cada tramo debe presentar un comportamiento análogo con respecto al tiempo de semáforos en color verde, por lo que es necesario su análisis, una sincronización y coordinación con respecto a los semáforos para conseguir un tránsito más fluido.

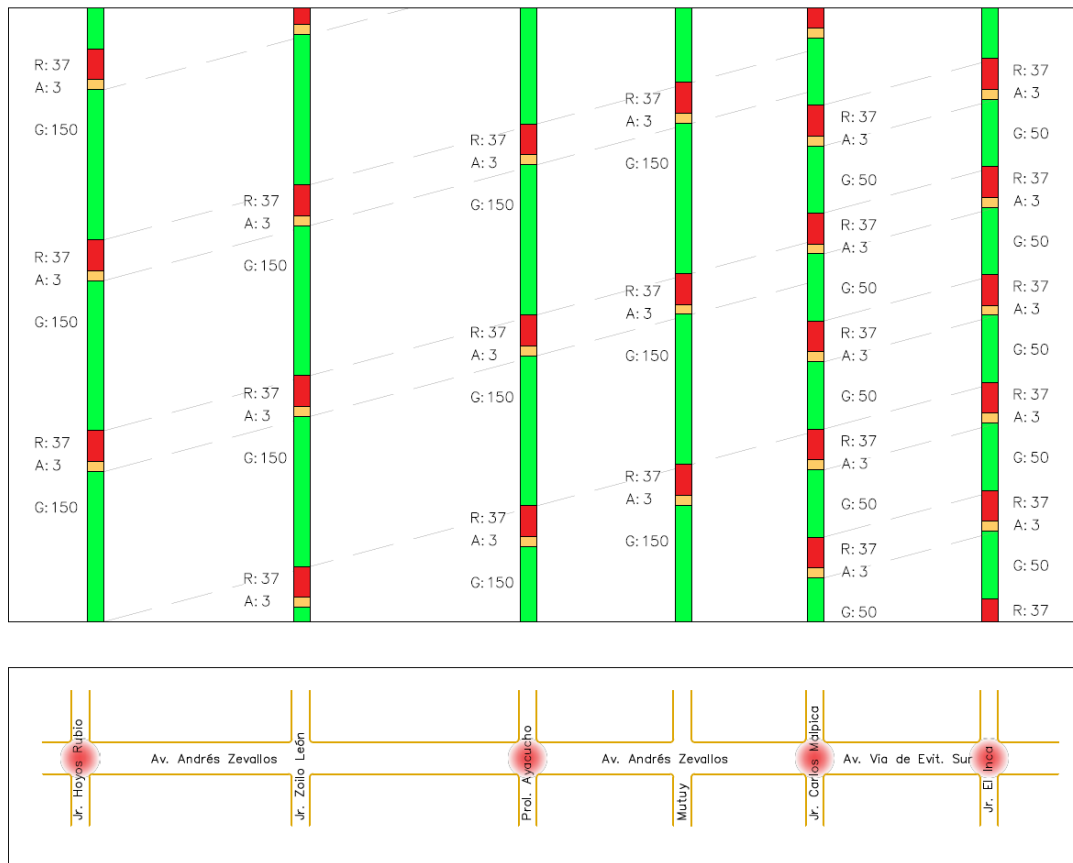
Tabla 26. Tiempos de desfase de las intersecciones

N°	Nombre de vía	Origen de calle	Fin de calle	Long. (m)	Velocidad (km/h)	Desfase (sg)
1	Av. Andrés Zevallos	Av. Hoyos Rubio	Jr. Zoilo León	274.80	35.00	28
2		Jr. Zoilo León	Prl. Ayacucho	302.30	35.00	31
3		Prl. Ayacucho	Calle El Mutuy	206.72	35.00	21
4		Calle El Mutuy	Jr. Carlos Malpica	176.68	35.00	18
5	Av. Vía de Evitamiento Sur	Jr. Carlos Malpica	Jr. El Inca	232.20	35.00	24
6		Jr. El Inca	Av. Atahualpa	767.00	35.00	79

Como se evidencia en la tabla de desfase de intersecciones, las longitudes entre semáforos presentan una irregularidad y por consiguiente también varían los tiempos de desfase, por ello es necesario efectuar un ajuste en el ciclo semaforico de tal manera que sea compatible con los demás semáforos y con la distancia de recorrido logrando una sincronización a lo largo de todo el tramo.

Con los datos de desfase se puede proyectar el movimiento de los vehículos en la Av. Andrés Zevallos y la Av. Vía de Evitamiento Sur.

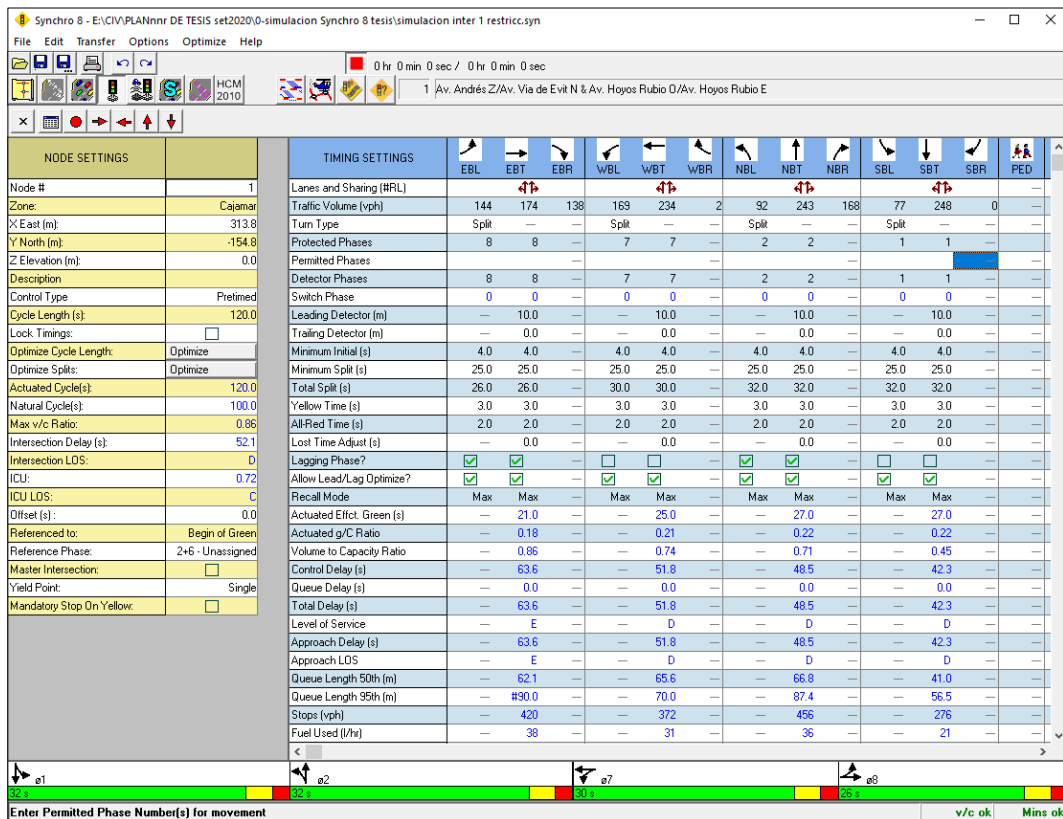
Figura 45. Sincronización y coordinación de semáforos Av. Andrés Zevallos y la Av. Vía de Evitamiento Sur.



C. Escenario N° 03 – Evaluación, análisis con restricción vehicular

Luego, se realizó la evaluación en base a una nueva valoración de flujo vehicular, en la cual se consideraron restricciones de tránsito vehicular a lo largo del tramo en estudio logrando un cambio en el comportamiento vial.

Figura 46. Restricción vehicular y tiempos de semáforos de la intersección 1, Hoyos Rubio – Andrés Zevallos.



Nota: Software Synchro V8.0.

Se evidencia el nuevo tiempo de demoras en la intersección con 52.1 sg, lo cual sigue manteniéndose en un valor significativo, pero con respecto a la situación actual el tiempo de demoras ha disminuido considerablemente, el tiempo del ciclo de semáforos llega 120 sg, el flujo de saturación disminuye a 0.86 y con un nivel de servicio D.

Figura 47. Simulación vehicular de la intersección 1 con restricción vehicular, Hoyos Rubio – Andrés Zevallos.



Nota: Software Synchro V8.0.

Con los cambios realizados evidencian que la circulación de vehicular presenta menores interrupciones en un menor tiempo de ciclo semafórico.

5.2. Análisis, interpretación y discusión de resultados

Los resultados obtenidos de la evaluación de la intersección 1 (Jr. Hoyos Rubio y Av. Andrés Zevallos), mediante la aplicación de la metodología HCM 2010 y el uso del software Synchro V8.0, evidencian que ambos métodos reflejan una saturación excesiva en el tramo en estudio. Este hallazgo es consistente con estudios previos que han señalado que muchas intersecciones urbanas, especialmente en áreas con altos niveles de actividad comercial y residencial, experimentan sobrecarga en los accesos durante las horas pico (González et al., 2021).

Una de las principales debilidades identificadas en la intersección 1 es la configuración de los semáforos, que opera con un ciclo de cuatro fases, generando tiempos de espera extensos en cada fase. Este diseño prolonga el ciclo semafórico, lo que genera una considerable acumulación de vehículos en las fases no habilitadas, una problemática señalada por Jaimes (2019), quien argumenta que un ciclo semafórico ineficiente en intersecciones de alto tráfico contribuye a la congestión y las demoras. Según las teorías de Basilio y Ferrer (2020), la sincronización adecuada de los semáforos es crucial para evitar la saturación de las intersecciones, especialmente en zonas de alta demanda vehicular como la observada en este estudio.

Además, el bloqueo arbitrario de los vehículos de transporte público al detenerse en lugares no autorizados para la subida y bajada de pasajeros contribuye significativamente a la reducción del flujo de tránsito, como también lo ha señalado Peña (2022) en su investigación sobre la influencia de la detención indebida de vehículos en las intersecciones. Este comportamiento, combinado con la inadecuada circulación de los vehículos que cambian de carril sin seguir las normas, que se encuentran en el carril derecho, giran a la izquierda y viceversa, generan obstrucciones temporales y bloqueos repentinos, lo que aumenta la probabilidad de congestionamiento. En estudios previos, González (2018) destaca cómo las maniobras inapropiadas de los conductores son factores determinantes en la disminución de la fluidez del tránsito.

En cuanto a las velocidades de tránsito, los resultados obtenidos en el tramo en estudio, con velocidades promedio de 18.91 km/h en sentido sur-norte y 19.63 km/h en sentido norte-sur, son indicativos de un tráfico altamente congestionado. Estas cifras se encuentran por debajo de los estándares recomendados para avenidas urbanas, como lo menciona Flores (2021), quien señala que las velocidades de tránsito por debajo de los 20 km/h reflejan condiciones de congestión y una baja capacidad de la infraestructura vial.

Según los resultados encontrados en la investigación con respecto a la tabla de demoras y nivel de servicio de la intersección 1 (la intersección más crítica), se observaron

demoras que superaron considerablemente la valoración de niveles de servicio de los accesos, asignando a la intersección el valor F. En el acceso 1, los valores obtenidos de la relación volumen-capacidad son de 0.913 muy cerca de provocar saturación en el tramo. Los accesos 2, 3 y 4 mostraron relaciones de volumen-capacidad de 1.566, 1.673 y 3.174, respectivamente, lo que supera ampliamente el valor de 1.0, que es el límite máximo recomendado para un funcionamiento adecuado de la vía, de modo que las vías se encontraron congestionadas y con saturación excesiva. Este hallazgo coincide con los estudios de Mojica (2018), que concluyó que una relación superior a 1.0 genera una sobrecarga de tráfico y una disminución de la calidad del servicio. Este análisis es clave para entender la gravedad del congestionamiento y el impacto que tiene sobre la eficiencia del sistema vial.

En la intersección 2, el acceso 1, 2 y 3 presentaron una relación volumen-capacidad de 0.736, 0.591 y 0.247 respectivamente con un bajo estado de provocar una saturación de las vías, sin embargo, el acceso 4 presentó una relación volumen-capacidad de 1.493 (superior a 1.0), lo que generó un nivel de servicio F y demoras promedio de 1.7 minutos por vehículo en dicha intersección.

Este patrón de saturación excesiva se repitió en la intersección 3, donde las relaciones volumen-capacidad de 1.443, 1.948 y 1.355 evidencian un tráfico altamente congestionado y un nivel de servicio F. con una demora promedio por vehículo de 6.7 min.

Para la intersección 4, en el acceso 1 y 2 presentaron una relación volumen-capacidad de 1.390 y 1.149 respectivamente con un nivel de servicio F, de modo que la vía se encontró congestionada, pero el acceso 3 presentó una relación volumen-capacidad de 0.521 con un nivel de servicio C; Por lo tanto, la intersección se encontró congestionada y con una demora promedio por vehículo de 4.1 min.

Estos resultados son consistentes con los estudios de Vega (2018), quienes encontraron una relación similar en las intersecciones de las avenidas principales de Cajamarca, donde las vías también se vieron saturadas y con altos niveles de demora.

El análisis de los escenarios con la implementación de restricciones en los vehículos ligeros demostró una mejora en el flujo vehicular, con una reducción del 55.37% en el volumen inicial, lo que se traduce en un mejor ordenamiento vehicular, especialmente durante las horas de mayor demanda. Este resultado respalda las recomendaciones de Bolívar et al. (2019), quienes sugieren que la implementación de restricciones en el uso de vehículos ligeros en horas pico puede mejorar considerablemente la fluidez del tráfico en intersecciones críticas.

Tabla 27. Comparación de demoras, saturación y NDS en la intersección 1

ITEM	Situación actual	Optimizado y con restricción vehicular
Long ciclo (sg)	193	120
X	2.76	0.86
Demora (sg)	386.1	52.1
NDS	F	D

Se evidencia el cambio de tiempos en ciclo de semáforos que ha disminuido en 73 sg haciendo un periodo más dinámico con respecto a los accesos que esperan su turno, el flujo de saturación ha disminuido en 1.90 logrando un estado de la intersección sin saturación, ya que es menor a 1, asimismo, las demoras producidas por las colas se han reducido en 334 sg que equivale a 5.6 minutos, logrando una demora total de 52 sg menor a 1 min en la intersección.

Tabla 28. Comparación de demoras, saturación y NDS en la intersección 2

ITEM	Situación actual	Optimizado y con restricción vehicular
Long ciclo	192	75
X	1.52	0.58
Demora	67.9	14.6
NDS	E	B

Debido a la optimización y la restricción vehicular el flujo del tránsito disminuye el 37.26% del volumen inicial, además, se evidencia el ciclo de semáforos que ha disminuido en 117 sg, el flujo de saturación ha disminuido en 0.94 logrando un estado

de la intersección sin saturación, por ser menor a 1, las demoras se han reducido en 53 sg, logrando una demora total de 14.6 sg en la intersección.

Tabla 29. Comparación de demoras, saturación y NDS en la intersección 3

ITEM	Situación actual	Optimizado y con restricción vehicular
Long ciclo	94	70
X	1.88	0.64
Demora	193.4	13.0
NDS	F	B

Debido a la optimización y la restricción vehicular el flujo del tránsito disminuye el 38.87% del volumen inicial, el ciclo de semáforos que ha disminuido en 24 sg, el flujo de saturación ha disminuido en 1.24 logrando un estado de la intersección sin saturación, por ser menor a 1, las demoras se han reducido en 180.4 sg, logrando una demora total de 13 sg en la intersección.

Tabla 30. Comparación de demoras, saturación y NDS en la intersección 4

ITEM	Situación actual	Optimizado y con restricción vehicular
Long ciclo	90	60
X	1.86	0.51
Demora	94.1	11.4
NDS	F	B

Se pudo verificar que luego de la optimización y la restricción vehicular el flujo del tránsito disminuye el 39.89% del volumen inicial, el ciclo de semáforos que ha disminuido en 30 sg, el flujo de saturación ha disminuido en 1.35 logrando un estado de la intersección sin saturación, por ser menor a 1, las demoras se han reducido en 82.7 sg, logrando una demora total de 11.4 sg en la intersección.

Se evidenció, además que los sistemas de control usados en el tránsito del tramo en estudio son insuficientes, presentan semáforos de tiempo fijo los cuales son programados al inicio y no considera los cambios de flujo de vehículos a lo largo de las horas del día, lo cual generan grandes embotellamientos en las intersecciones semaforicas, colas y esperas de los conductores en horas donde hay máxima demanda.

La problemática se mantiene a lo largo todo el tramo de la Av. Andrés Bello y el tramo de la Av. Vía de evitamiento Sur, pero con menor intensidad y van a de acuerdo a las características geométricas de los accesos que conforman las intersecciones, dicho problema identifica que todo el tramo en estudio presenta una gran demanda del servicio de transporte sobre todo el público, los vehículos de transporte de pasajeros tales como combis y sobre todo microbuses y cousters.

Importante indicar que, el estudio considera un comportamiento análogo a ambos sentidos de circulación de las avenidas y no contempla los giros en U.

Debido a la gran cantidad de flujo de tránsito que presenta el tramo en estudio es necesario una reorganización adecuada y sostenible del transporte público, con nuevas consideraciones, cambios a nivel de gestión y también de propuestas de restricciones de circulación de vehículos para evitar el aumento de congestión vehicular.

5.3. Contratación de hipótesis

De acuerdo con los escenarios y consideraciones planteadas en la investigación, se puede observar que la mejora en la transitabilidad de las vías es evidente al implementar medidas de optimización del flujo vehicular, como la reducción de los tiempos de espera provocados por el ciclo de semáforos y las paradas vehiculares. Esto no solo reduce el tiempo de transporte, sino que también contribuye a la disminución de las emisiones de gases contaminantes, lo cual es consistente con estudios previos que señalan que la mejora en la fluidez del tránsito tiene un impacto positivo sobre el ambiente (Andrade et al., 2022). La reducción de las emisiones es crucial en un contexto donde las ciudades enfrentan altos niveles de contaminación debido al tráfico vehicular desorganizado, lo que afecta directamente la salud de la población y la calidad del aire (Peña, 2022).

Por otro lado, al no evidenciar restricciones en la circulación de vehículos en los carriles derecho, izquierdo y de frente, la congestión se ve agravada. Este comportamiento se ve reflejado en los resultados obtenidos, donde vehículos de diferentes tipos y tamaños circulan por el mismo tramo, generando bloqueos y retrasos adicionales. Este fenómeno

de tránsito desorganizado, donde los vehículos no siguen las normas de circulación, se alinea con las teorías de Jaimes (2019), quien afirma que la falta de regulación y control en la disposición de los carriles aumenta el riesgo de congestión y reduce la eficiencia del flujo vehicular.

En este sentido, los resultados obtenidos de la investigación, que presentó una relación volumen-capacidad superior a 1.0, así como las demoras y los niveles de servicio F, validan lo planteado en la hipótesis inicial. La investigación confirma que la congestión en este tipo de intersecciones es consecuencia de la demanda vehicular excesiva, mala organización del tránsito, la presencia de paradas arbitrarias y la falta de restricciones en el uso de los carriles, tal como se había previsto en el capítulo III.

Finalmente, al contrastar la hipótesis planteada con los resultados obtenidos en los análisis previos, se confirma que la congestión y la saturación excesiva de las intersecciones se deben principalmente a los factores mencionados, como la mala sincronización de los semáforos, la obstrucción causada por el transporte público y la falta de regulación en la circulación de los vehículos. Estos hallazgos coinciden con los postulados de Mojica (2018) y González (2019), quienes enfatizan que las intersecciones mal gestionadas, sin restricciones claras, tienden a experimentar un incremento en el volumen de tráfico y, por ende, un deterioro significativo en los niveles de servicio y la fluidez del tránsito.

CONCLUSIONES

- Según los resultados obtenidos en la investigación, los accesos de las intersecciones evaluadas presentan diferentes niveles de servicio, sin embargo, al analizar el comportamiento de las intersecciones de manera conjunta, se determinó que las cuatro intersecciones críticas a lo largo del tramo en estudio presentaron un nivel de servicio F, lo que indica una saturación excesiva vehicular, situación que se debe a la alta demanda de tránsito vehicular en relación con la capacidad de las avenidas Andrés Bello y Vía de Evitamiento Sur, lo que genera una congestión severa y prolongadas demoras en la circulación.
- El análisis de las intersecciones del tramo en estudio revela un flujo de saturación excesivo, ya que la relación volumen-capacidad obtenida en cada intersección muestra que el grado de saturación es crítico, con valores superiores a 1, lo que indica que la demanda de vehículos excede la capacidad de las vías, generando un alto nivel de congestión y un nivel de servicio deficiente, con velocidades menores a 20 km/h, lo que se traduce en demoras elevadas tanto para los conductores como para los usuarios del transporte público.
- La influencia del entorno físico es muy importante ya que comprende la conexión de las vías en estudio dentro de un sistema integral, la correcta señalización de vías permite un desplazamiento seguro de vehículos y peatones; la variación de condiciones climáticas que determinan el comportamiento de las personas; la ubicación del tramo evaluado con importantes centros comerciales cercanos y de esparcimiento, ha favorecido la afluencia masiva de vehículos, lo que ha provocado la creación de paraderos y estacionamientos informales que contribuyen al embotellamiento y a la disminución de la capacidad de las vías; por ello, se determinó que la invasión de los accesos es el 21% de la capacidad de la vía en sentido sur-norte y el 23% en sentido norte-sur, lo que reduce significativamente la eficiencia del tráfico. Las avenidas no operan dentro de los parámetros de diseño establecidos, lo que refleja una pérdida de capacidad significativa.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la Universidad Nacional de Cajamarca, a través de la escuela de posgrado continúe con estudios sobre capacidad vial de la vía de evitamiento sur, vía de evitamiento norte y de las zonas de mayor influencia en la ciudad de Cajamarca; esta iniciativa permitirá el desarrollo de propuestas técnicas orientadas a mejorar la transitabilidad en zonas críticas de la zona urbana.
- Se recomienda la implementación de un sistema adaptativo de dispositivos de control sofisticados para las principales intersecciones de la ciudad, lo que permitirá reducir los tiempos de espera en los cruces y optimizar el flujo vehicular durante los horarios de mayor demanda, mejorando la eficiencia del tránsito y minimizando la congestión en puntos críticos.
- Se recomienda la reubicación estratégica de paraderos de transporte priorizando la eliminación de puntos informales que contribuyen a la congestión vehicular; además, es fundamental establecer zonas de embarque y desembarque con regulación adecuada, garantizando un flujo ordenado y evitando la obstrucción de la vía pública para mejorar la movilidad urbana.
- Es fundamental que la planificación del sistema vial de transporte considere las zonas con mayor proyección de crecimiento poblacional, asegurando que la gestión vial esté alineada con el ordenamiento territorial y respaldada por normativas municipales, lo que permitirá garantizar un desarrollo sostenible del tránsito vehicular y peatonal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto P. (2020). Microsimulación De los desplazamientos peatonales y vehiculares utilizando los softwares Vissim 9.0 Y Viswalk 9.0 en la plazuela Bolognesi de la ciudad de Cajamarca, [tesis, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca.
- Andrade, J., Lara, C., Muñoz, D., & Chicaiza, C. (2022). Efectos de la contaminación en las matrices ambientales agua, suelo y atmósfera.
- Argüello et al. (2020). Historia y evolución de la gestión del transporte público urbano en la provincia de Chimborazo. Ecuador.
- Bolívar, J., Suescún, J., & Silva, E. (2019). Estado del arte sobre el desarrollo de los aditivos que devuelvan al asfalto envejecido su estructura físico-química para restablecer su durabilidad.
- Cal Y Mayor. (2007). Ingeniería de Tránsito. México: Alfa omega grupo editor.
- Chamba (2022). Metodología para la evaluación de movilidad urbana, en relación a la congestión vehicular de centros poblados de hasta 5.000 habitantes, 2022, publicado por la Universidad Técnica de Machala. [Tesis para optar el título de Magister en ingeniería Civil, Universidad Técnica de Machala]. Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Machala.
- Estela V. (2018). Nivel de serviciabilidad y características del flujo vehicular del tramo de la vía de la av. Atahualpa comprendida entre las intersecciones del Jr. Sucre y Av. Vía de Evitamiento Sur de la ciudad de Cajamarca, [tesis, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca.
- Fernandez, R., & Valenzuela, E. (2004). Gestión Ambiental de tránsito: Como la ingeniería de transporte puede contribuir a la mejoría del medio ambiente. Eure. Santiago.

- Flores, J. (2021). Estudio de factibilidad para mejorar el tráfico de los accesos norte y sur a la ciudad de Riobamba.
- Florian (2021), Caracterización de los comportamientos de los biciusuarios y motociclistas, dos de los puntos con mayor accidentalidad en Bogotá D.C, [tesis de maestría de la Universidad Santo Tomás].
- García P. (2018). Análisis y mejora de intersecciones semaforizadas en Murcia mediante el control semafórico actuado por vehículos. [La tesis de master, Universidad Politécnica De Cartagena]. Repositorio digital de la Universidad Politécnica De Cartagena.
- Gonzáles, M. (2018). Evaluación y optimización de los flujos vehiculares y fases de semáforos para mejorar la capacidad vial y los niveles de servicio en las intersecciones con niveles de servicio inadecuados dentro del centro histórico de la ciudad del Cusco, [tesis, Universidad Andina de Cusco] Repositorio Institucional de la Universidad Andina de Cusco.
- Gutiérrez (2021). Evaluación comparativa de la superficie de rodadura en la estimación del nivel de servicio y capacidad vial de la carretera Pisac – Ollantaytambo, 2020, [tesis para optar el grado académico de maestro en ingeniera civil]. Repositorio Institucional de la Universidad Andina Del Cusco.
- HCM. (2010). Highway Capacity Manual. Washington D.C.
- Huertas (2022), Análisis de siniestralidad vial en puntos críticos de la ciudad de Tunja – Boyacá, [tesis de maestría de la Universidad Santo Tomás].
- Instituto De Construcción Y Gerencia (2005). Manual de diseño geométrico de vías urbanas.
- Instituto Nacional de Vías. INVIAS (2020). Manual de capacidad de niveles de servicio para carretera de dos carriles.
- Jaimes, G. (2019). Identificación de puntos críticos para fortalecer la seguridad vial en el distrito de Huacho-Huaura–Lima, en el año 2018.

- Javier, J., & Gonzales, K. (2024). Modelo híbrido mediante análisis estocástico, para el mejoramiento del tránsito vehicular en el distrito de Chaupimarca, Pasco 2022.
- Larios, R. (2021). Modelo de semaforización vial y peatonal para mitigar accidentes de tránsito, aplicando todo en rojo; para la av. inca Garcilaso de la Vega e intersecciones – ciudad de Lima, [tesis, Universidad Nacional Federico Villareal].
- Maquera C. (2019). Evaluación del nivel de servicio de flujos vehiculares, en dos intersecciones semaforizadas de la av. Jorge Basadre G. intersección con Av. Tarata y Av. internacional, alto alianza – Tacna, 2018, [tesis, Universidad Privada De Tacna].
- Ministerio De Transportes y Comunicaciones. (2006). Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, Lima, Perú. 12 p.
- Ministerio De Transportes y Comunicaciones. (2013). Manual de inventarios viales.
- Ministerio De Transportes y Comunicaciones. (2017). Plan estratégico de seguridad vial.
- Ministerio De Transportes y Comunicaciones. (2018). Reglamento Nacional de tránsito.
- Mojica (2018). Evaluación comparativa de capacidad y nivel de servicio con la metodología HCM - Versión 2000 y HCM - Versión 2010, y análisis geométrico, del Anillo vial 1 del plan de ordenamiento zonal del norte – POZ norte, en la ciudad de Bogotá D.C. [tesis de maestría para optar el grado académico de maestro en ingeniería civil]. Repositorio Institucional de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Peña (2022). Evaluación del tránsito vehicular para mejorar el nivel de servicio para la intersección de las avenidas Carlos Izaguirre y Santa Callao. [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Federico Villareal]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional Federico Villareal.
- Pérez, C. (2017). Análisis y mejora microscópica del corredor vial Tacna-Arequipa, tramo Juan Pardo- Manuel Segura. [tesis, Universidad Nacional De Ingeniería].

- Tello (2018). Evaluación y mejora de la seguridad vial peatonal y el nivel de servicio en la intersección de las avenidas los alisos y Túpac Amaru. [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica Del Perú]. Repositorio Institucional de la Pontificia Universidad Católica Del Perú.
- Synchro Studio 8 (2011), Synchro plus SimTraffic ad 3D Viewer. United State of America: Trafficware.
- Vega, C. (2018). Análisis de la Capacidad y Niveles de Servicio de las vías de ingreso a la ciudad de Cajamarca pertenecientes a la Red Vial Nacional”, [tesis, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca.

ANEXOS

ANEXO I

CALCULO DE NIVELES DE SERVICIO

Relación de Pelotón

INTERSECCIÓN 1: Av. Andrés Bello

- Av. Hoyos Rubio

Tabla 31. Relación de Pelotón de la intersección 1 –Acceso 1.

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban Ámbar y Rojo	Total Vehículos	P	Rp
1	32	45	77	0.416	1.383
2	27	52	79	0.342	1.137
3	29	56	85	0.341	1.135
4	25	49	74	0.338	1.124
5	23	51	74	0.311	1.034
6	41	53	94	0.436	1.451
Total	177	306	483	0.366	1.219
Promedio				0.364	1.211

Relación entre el tipo de llegada y la relación de pelotón

Tipo de llegada: 4

Rp por Defecto: 1.333

Calidad de la Progresión: Favorable

$P = RP(g/C)$: 0.401 fPA: 1.15

Tabla 32. Relación de Pelotón de la intersección 1 –Acceso 2

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban Ámbar y Rojo	Total Vehículos	P	Rp
1	16	40	56	0.286	1.040
2	18	36	54	0.333	1.214
3	19	34	53	0.358	1.305
4	15	42	57	0.263	0.958
5	20	49	69	0.290	1.056
6	16	51	67	0.239	0.870
Total	104	252	356	0.292	1.064
Promedio				0.295	1.074

Relación entre el tipo de llegada y la relación de pelotón

Tipo de llegada: 3

Rp por Defecto: 1

Calidad de la Progresión: Llegadas aleatorias

$P = RP(g/C)$: 0.275 fPA: 1

Tabla 33. Relación de Pelotón de la intersección 1 –Acceso 3

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban Ámbar y Rojo	Total Vehículos	P	Rp
1	15	60	75	0.200	1.016
2	15	66	81	0.185	0.941
3	17	61	78	0.218	1.107
4	20	59	79	0.253	1.286
5	19	57	76	0.250	1.270
6	20	60	80	0.250	1.270
Total	106	363	469	0.226	1.148
Promedio				0.226	1.148

Relación entre el tipo de llegada y la relación de pelotón

Tipo de llegada: 4

Rp por Defecto: 1.333

Calidad de la Progresión: Favorable

$P = RP(g/C)$: 0.262 fPA: 1.15

Tabla 34. Relación de Pelotón de la intersección 1 –Acceso 4

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban Ámbar y Rojo	Total Vehículos	P	Rp
1	6	37	43	0.140	1.122
2	7	36	43	0.163	1.309
3	8	32	40	0.200	1.608
4	6	35	41	0.146	1.177
5	7	30	37	0.189	1.521
6	9	29	38	0.237	1.905
Total	43	199	242	0.178	1.429
Promedio				0.179	1.440

Relación entre el tipo de llegada y la relación de pelotón

Tipo de llegada: 4

Rp por Defecto: 1.333

Calidad de la Progresión: Favorable

$P = RP(g/C)$: 0.166 fPA: 1.15

INTERSECCIÓN 2: Av. Andrés Bello
- Pról. Ayacucho

Tabla 35. Relación de Pelotón de la intersección 2 – Acceso 1

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban Ámbar y Rojo	Total Vehículos	P	Rp
1	22	22	44	0.500	0.633
2	21	24	45	0.467	0.591
3	20	27	47	0.426	0.539
4	21	23	44	0.477	0.605
5	19	25	44	0.432	0.547
6	22	26	48	0.458	0.581
Total	125	147	272	0.460	0.582
Promedio				0.460	0.583

Relación entre el tipo de llegada y la relación de pelotón

Tipo de Llegada: 2

Rp por Defecto: 0.667

Calidad de la Progresión: Desfavorable

$P = RP(g/C)$: 0.527 fPA: 0.93

Tabla 36. Relación de Pelotón de la intersección 2 – Acceso 2

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban Ámbar y Rojo	Total Vehículos	P	Rp
1	17	24	41	0.415	0.525
2	19	19	38	0.500	0.633
3	20	20	40	0.500	0.633
4	16	22	38	0.421	0.533
5	18	26	44	0.409	0.518
6	17	30	47	0.362	0.458
Total	70.8	164.4	248	0.285	0.362
Promedio				0.434	0.550

Relación entre el tipo de llegada y la relación de pelotón

Tipo de Llegada: 2

Rp por Defecto: 0.667

Calidad de la Progresión: Desfavorable

$P = RP(g/C)$: 0.527 fPA: 0.93

Tabla 37. Relación de Pelotón de la intersección 2 – Acceso 3

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban Ámbar y Rojo	Total Vehículos	P	Rp
1	1	2	3	0.333	1.979
2	0	3	3	0.000	0.000
3	0	1	1	0.000	0.000
4	2	2	4	0.500	2.969
5	1	4	5	0.200	1.188
6	1	1	2	0.500	2.969
Total	5	13	18	0.278	1.649
Promedio				0.256	1.517

Relación entre el tipo de llegada y la relación de pelotón

Tipo de Llegada: 5

Rp por Defecto: 1.667

Calidad de la Progresión: Altamente favorable

$P = RP(g/C)$: 0.281 fPA: 1

Tabla 38. Relación de Pelotón de la intersección 2 – Acceso 4

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban Ámbar y Rojo	Total Vehículos	P	Rp
1	5	23	28	0.179	1.060
2	9	20	29	0.310	1.843
3	10	21	31	0.323	1.915
4	7	18	25	0.280	1.663
5	8	24	32	0.250	1.484
6	9	22	31	0.290	1.724
Total	48	128	176	0.273	1.619
Promedio				0.272	1.615

Relación entre el tipo de llegada y la relación de pelotón

Tipo de Llegada: 5

Rp por Defecto: 1.667

Calidad de la Progresión: Altamente favorable

P = RP(g/C): 0.281 fPA: 1

INTERSECCIÓN 3: Av. Andrés Bello

- Av. Vía de Evitamiento Sur

Tabla 39. Relación de Pelotón de la intersección 3 – Acceso 1

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban Ámbar y Rojo	Total Vehíc Ulos	P	Rp
1	18	20	38	0.474	0.853
2	15	21	36	0.417	0.750
3	17	23	40	0.425	0.765
4	19	20	39	0.487	0.877
5	15	20	35	0.429	0.771
6	21	19	40	0.525	0.945
Total	105	123	228	0.461	0.829
Promedio				0.459	0.827

Relación entre el tipo de llegada y la relación de pelotón

Tipo de llegada: 2

Rp por Defecto: 0.667

Calidad de la Progresión: Desfavorable

P = RP(g/C): 0.371 fPA: 0.93

Tabla 40. Relación de Pelotón de la intersección 3 – Acceso 2

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban Ámbar y Rojo	Total Vehíc Ulos	P	Rp
1	13	24	37	0.351	1.054
2	14	22	36	0.389	1.167
3	12	21	33	0.364	1.091
4	11	23	34	0.324	0.971
5	13	26	39	0.333	1.000
6	10	27	37	0.270	0.811
Total	73	143	216	0.338	1.014
Promedio				0.339	1.016

Relación entre el tipo de llegada y la relación de pelotón

Tipo de llegada: 3

Rp por Defecto: 1

Calidad de la Progresión: Llegadas aleatorias

P = RP(g/C): 0.333 fPA: 1

Tabla 41. Relación de Pelotón de la intersección 3 – Acceso 3

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban Ámbar y Rojo	Total Vehíc ulos	P	Rp
1	9	18	27	0.333	1.000
2	11	20	31	0.355	1.065
3	12	17	29	0.414	1.241
4	10	15	25	0.400	1.200
5	10	13	23	0.435	1.304
6	14	12	26	0.538	1.615
Total	66	95	161	0.410	1.230
Promedio				0.413	1.238

Relación entre el tipo de llegada y la relación de pelotón

Tipo de llegada: 4

Rp por Defecto: 1.333

Calidad de la Progresión: Favorable

P = RP(g/C): 0.444 fPA: 1.15

INTERSECCIÓN 4: Av. Vía de Evitamiento Sur - Jr. El Inca

Tabla 42. Relación de Pelotón de la intersección 4 – Acceso 1

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban Ámbar y Rojo	Total Vehíc ulos	P	Rp
1	44	38	82	0.537	0.966
2	36	42	78	0.462	0.831
3	42	36	78	0.538	0.969
4	46	39	85	0.541	0.974
5	38	32	70	0.543	0.977
6	45	35	80	0.563	1.013
Total	251	222	473	0.531	0.955
Promedio				0.531	0.955

Relación entre el tipo de llegada y la relación de pelotón

Tipo de llegada: 3

Rp por Defecto: 1

Calidad de la Progresión: Llegada aleatoria

P = RP(g/C): 0.556 fPA: 1

Tabla 43. Relación de Pelotón de la intersección 4 – Acceso 2

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban Ámbar y Rojo	Total Vehículos	P	Rp
1	34	32	66	0.515	0.927
2	39	25	64	0.609	1.097
3	45	28	73	0.616	1.110
4	33	32	65	0.508	0.914
5	40	15	55	0.727	1.309
6	44	31	75	0.587	1.056
Total	235	163	398	0.590	1.063
Promedio				0.594	1.069

Relación entre el tipo de llegada y la relación de pelotón

Tipo de Llegada: 3

Rp por Defecto: 1

Calidad de la Progresión: Llegada aleatoria

P = RP(g/C): 0.556 fPA: 1

Tabla 44. Relación de Pelotón de la intersección 4 – Acceso 3

Ciclo	Veh. Arriban en Verde	Veh. Arriban Ámbar y Rojo	Total Vehículos	P	Rp
1	8	12	20	0.400	1.200
2	7	11	18	0.389	1.167
3	9	10	19	0.474	1.421
4	10	8	18	0.556	1.667
5	11	7	18	0.611	1.833
6	7	9	16	0.438	1.313
Total	52	57	109	0.477	1.431
Promedio				0.478	1.433

Relación entre el tipo de llegada y la relación de pelotón

Tipo de Llegada: 4

Rp por Defecto: 1.333

Calidad de la Progresión: Favorable

P = RP(g/C): 0.444 fPA:1.15

Diagrama de fases de los semáforos

Figura 48. Diagrama de fases de los semáforos de la intersección 2.

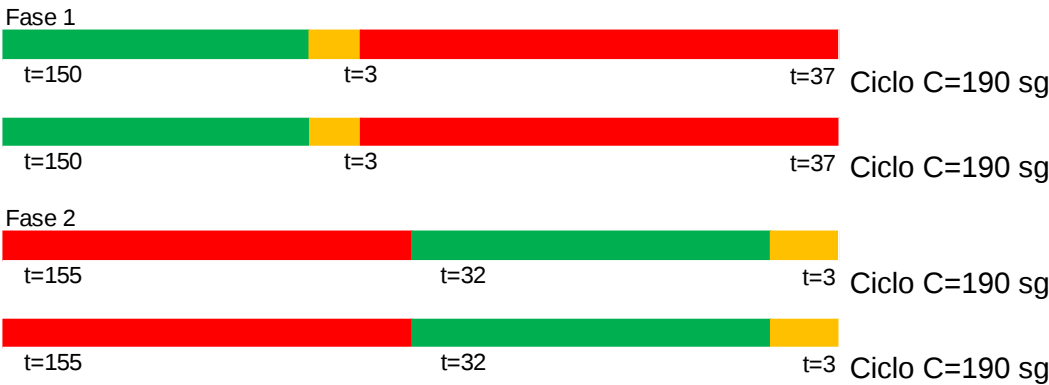


Figura 49. Diagrama de fases de los semáforos de la intersección 3.

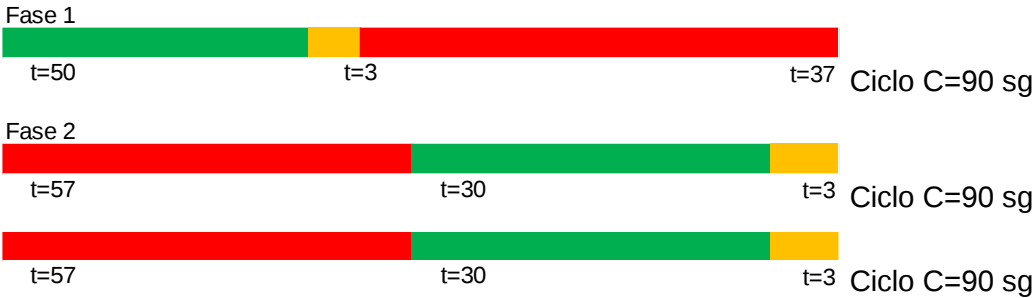
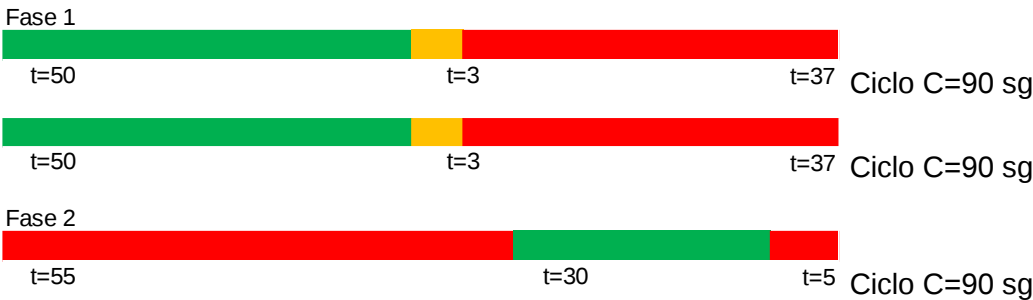


Figura 50. Diagrama de fases de los semáforos de la intersección 4.



Parámetros del ciclo semafórico

Tabla 45. Parámetros del ciclo semafórico - Intersección 2

Parámetro	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 4
G	150	150	32	32
A	3	3	3	3
R	37	37	155	155
C	190	190	190	190
TR	2	2	2	2
Y	5	5	5	5
I1	2	2	2	2
I2=Y-e	3	3	3	3
tL=I1+I2	5	5	5	5
e	2	2	2	2
g	150	150	32	32
r	40	40	158	158

Tabla 46. Parámetros del ciclo semafórico - Intersección 3

Parámetro	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
G	50	30	30
A	3	3	3
R	37	57	57
C	90	90	90
TR	4	4	4
Y	7	7	7
I1	2	2	2
I2=Y-e	5	5	5
tL=I1+I2	7	7	7
e	2	2	2
g	50	30	30
r	40	60	60

Tabla 47. Parámetros del ciclo semafórico - Intersección 4

Parámetro	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3
G	50	50	30
A	3	3	0
R	37	37	60
C	90	90	90
TR	2	2	5
Y	5	5	5
I1	2	2	2
I2=Y-e	3	3	3
tL=I1+I2	5	5	5
e	2	2	2
g	50	50	30
r	40	40	60

Volumen de Aforo vehicular semanal

Tabla 48. Volumen de Aforo vehicular semanal- Intersección 2

	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIERCOLES
7:00-8:00	1878	2010	2582	907	2854	2623	2817
7:15-8:15	1871	1960	2556	932	2831	2641	2802
7:30-8:30	1804	1939	2497	909	2842	2600	2770
7:45-8:45	1831	1949	2440	909	2827	2471	2676
8:00-9:00	1722	1962	2385	895	2785	2399	2646
8:15-9:15	1687	1999	2309	902	2739	2309	2600
8:30-9:30	1654	1976	2286	903	2667	2247	2545
8:45-9:45	1651	1958	2272	902	2579	2235	2534
9:00-10:00	1626	1949	2232	975	2514	2181	2508
9:15-10:15	1603	1879	2256	961	2495	2162	2549
9:30-10:30	1547	1840	2272	1032	2454	2146	2570
9:45-10:45	1441	1871	2359	1097	2487	2147	2590
10:00-11:00	1447	1863	2398	1063	2506	2192	2584
10:15-11:15	1475	1968	2438	1058	2536	2259	2576
10:30-11:30	1496	2025	2506	1049	2660	2305	2619
10:45-11:45	1483	2043	2518	984	2748	2409	2656
11:00-12:00	1521	2055	2570	985	2858	2495	2740
11:15-12:15	1506	2045	2649	989	2953	2562	2792
11:30-12:30	1532	2103	2693	999	2996	2671	2829
11:45-12:45	1616	2172	2758	1097	3080	2673	2868
12:00-13:00	1627	2244	2858	1148	3176	2719	2929
12:15-13:15	1714	2320	2925	1210	3273	2796	3028
12:30-13:30	1806	2415	3008	1292	3411	2839	3145
12:45-13:45	1900	2429	3060	1355	3505	2882	3271
13:00-14:00	1949	2521	3014	1434	3532	2887	3296
13:15-14:15	2002	2526	2977	1495	3509	2858	3283
13:30-14:30	1976	2506	2937	1485	3411	2846	3186
13:45-14:45	1927	2504	2894	1450	3259	2825	3079
14:00-15:00	1911	2483	2864	1424	3128	2755	3024
14:15-15:15	1796	2430	2771	1398	3038	2647	2930
14:30-15:30	1765	2316	2690	1355	2944	2521	2853
14:45-15:45	1706	2200	2544	1322	2927	2375	2801
15:00-16:00	1696	2075	2437	1278	2899	2250	2719
15:15-16:15	1700	2050	2414	1245	2857	2196	2686
15:30-16:30	1685	2055	2319	1217	2812	2108	2665
15:45-16:45	1760	2076	2292	1230	2731	2125	2599
16:00-17:00	1803	2126	2280	1234	2679	2197	2591
16:15-17:15	1885	2109	2226	1259	2626	2166	2526
16:30-17:30	2010	2186	2226	1354	2623	2182	2497
16:45-17:45	2042	2223	2218	1371	2622	2192	2497
17:00-18:00	2060	2248	2209	1452	2587	2209	2520
17:15-18:15	2079	2291	2281	1501	2599	2266	2597
17:30-18:30	2091	2283	2334	1510	2604	2277	2635
17:45-18:45	2131	2307	2424	1533	2676	2306	2728
18:00-19:00	2164	2332	2482	1502	2760	2330	2767
18:15-19:15	2196	2304	2479	1465	2834	2334	2774
18:30-19:30	2162	2265	2461	1385	2883	2369	2756
18:45-19:45	2121	2222	2418	1348	2832	2388	2677
19:00-20:00	2062	2125	2388	1307	2792	2329	2614
19:15-20:15	2014	2080	2325	1313	2759	2255	2533
19:30-20:30	2001	2058	2333	1374	2717	2210	2521
19:45-20:45	1969	2011	2287	1405	2699	2140	2476
20:00-21:00	1937	1998	2265	1435	2686	2091	2419

Tabla 49. Volumen de Aforo vehicular semanal- Intersección 3

	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIERCOLES
7:00-8:00	2725	2818	2635	2229	2888	2704	2779
7:15-8:15	2685	2769	2625	2141	2843	2692	2749
7:30-8:30	2591	2707	2591	2048	2802	2673	2703
7:45-8:45	2485	2641	2518	1911	2731	2613	2635
8:00-9:00	2370	2592	2451	1836	2664	2582	2617
8:15-9:15	2289	2537	2407	1782	2609	2551	2571
8:30-9:30	2237	2487	2369	1741	2582	2512	2514
8:45-9:45	2207	2447	2345	1697	2543	2529	2504
9:00-10:00	2162	2405	2310	1678	2522	2496	2456
9:15-10:15	2153	2388	2316	1685	2540	2484	2433
9:30-10:30	2132	2374	2318	1687	2534	2457	2415
9:45-10:45	2107	2387	2379	1712	2523	2403	2384
10:00-11:00	2136	2406	2392	1743	2549	2397	2399
10:15-11:15	2114	2406	2389	1751	2532	2394	2406
10:30-11:30	2113	2435	2386	1758	2573	2399	2451
10:45-11:45	2118	2427	2353	1790	2627	2412	2475
11:00-12:00	2152	2411	2371	1801	2690	2418	2517
11:15-12:15	2213	2460	2397	1819	2760	2432	2574
11:30-12:30	2266	2498	2461	1863	2818	2454	2614
11:45-12:45	2337	2563	2541	1879	2856	2476	2686
12:00-13:00	2341	2624	2597	1909	2890	2516	2721
12:15-13:15	2370	2655	2667	1950	2922	2540	2775
12:30-13:30	2416	2695	2727	1993	2979	2530	2927
12:45-13:45	2454	2762	2735	2041	3086	2555	3033
13:00-14:00	2514	2848	2799	2060	3160	2563	3138
13:15-14:15	2514	2918	2798	2088	3231	2545	3157
13:30-14:30	2544	2957	2771	2055	3266	2534	3095
13:45-14:45	2504	2896	2754	2016	3234	2506	3030
14:00-15:00	2456	2834	2735	1998	3161	2456	2960
14:15-15:15	2409	2780	2734	1970	3135	2427	2938
14:30-15:30	2372	2746	2710	1997	3068	2404	2886
14:45-15:45	2364	2750	2713	2043	3036	2400	2882
15:00-16:00	2376	2742	2661	2053	3003	2415	2836
15:15-16:15	2412	2713	2604	2078	2963	2440	2823
15:30-16:30	2390	2673	2601	2094	2928	2459	2785
15:45-16:45	2414	2682	2574	2111	2887	2483	2754
16:00-17:00	2440	2659	2588	2142	2912	2498	2759
16:15-17:15	2452	2670	2620	2158	2903	2516	2750
16:30-17:30	2506	2697	2627	2177	2901	2553	2789
16:45-17:45	2530	2699	2620	2191	2953	2579	2819
17:00-18:00	2581	2733	2665	2230	2972	2639	2878
17:15-18:15	2645	2760	2682	2283	2988	2721	2898
17:30-18:30	2703	2755	2732	2318	3044	2802	2937
17:45-18:45	2787	2774	2817	2389	3037	2894	2956
18:00-19:00	2820	2812	2845	2442	3059	2945	2996
18:15-19:15	2871	2856	2882	2441	3120	2944	3024
18:30-19:30	2828	2875	2857	2415	3097	2923	3012
18:45-19:45	2726	2865	2825	2326	3095	2844	2995
19:00-20:00	2632	2795	2747	2243	3017	2801	2931
19:15-20:15	2506	2723	2727	2211	2957	2773	2855
19:30-20:30	2454	2677	2680	2201	2901	2734	2793
19:45-20:45	2403	2617	2590	2197	2840	2695	2733
20:00-21:00	2386	2523	2555	2224	2785	2630	2654

Tabla 50. Volumen de Aforo vehicular semanal- Intersección 4

	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	MIERCOLES
7:00-8:00	2144	2334	2448	1949	2698	2356	2633
7:15-8:15	2075	2234	2402	1881	2624	2267	2506
7:30-8:30	1977	2135	2300	1810	2524	2139	2353
7:45-8:45	1888	2032	2187	1772	2449	2024	2198
8:00-9:00	1869	1962	2148	1744	2344	1998	2114
8:15-9:15	1845	1945	2136	1700	2298	1951	2086
8:30-9:30	1871	1887	2118	1624	2259	1956	2037
8:45-9:45	1891	1880	2086	1547	2259	1945	1986
9:00-10:00	1895	1862	2087	1469	2240	1946	1990
9:15-10:15	1870	1846	2068	1440	2225	1964	2022
9:30-10:30	1853	1865	2181	1437	2246	1996	2080
9:45-10:45	1820	1900	2235	1486	2246	2008	2170
10:00-11:00	1829	1938	2257	1517	2294	2085	2215
10:15-11:15	1870	2013	2265	1581	2376	2111	2289
10:30-11:30	1875	2075	2233	1632	2423	2116	2345
10:45-11:45	1871	2126	2240	1660	2400	2203	2374
11:00-12:00	1839	2160	2283	1662	2429	2150	2395
11:15-12:15	1852	2132	2322	1706	2445	2224	2396
11:30-12:30	1909	2157	2337	1762	2528	2301	2413
11:45-12:45	1985	2170	2461	1877	2651	2336	2471
12:00-13:00	2097	2229	2523	2000	2738	2453	2560
12:15-13:15	2172	2302	2661	2054	2821	2494	2611
12:30-13:30	2266	2335	2743	2169	2886	2574	2724
12:45-13:45	2306	2426	2804	2176	2951	2638	2799
13:00-14:00	2353	2490	2807	2243	3023	2645	2839
13:15-14:15	2338	2492	2794	2298	3035	2663	2880
13:30-14:30	2354	2516	2820	2280	3032	2559	2906
13:45-14:45	2379	2451	2715	2283	2987	2544	2837
14:00-15:00	2364	2403	2726	2245	2899	2475	2791
14:15-15:15	2368	2395	2631	2216	2887	2438	2762
14:30-15:30	2294	2354	2549	2193	2836	2430	2656
14:45-15:45	2263	2376	2504	2192	2796	2364	2662
15:00-16:00	2201	2309	2446	2161	2753	2324	2590
15:15-16:15	2179	2268	2428	2136	2684	2248	2529
15:30-16:30	2155	2263	2392	2123	2675	2237	2514
15:45-16:45	2170	2198	2416	2104	2650	2200	2458
16:00-17:00	2211	2221	2452	2114	2661	2229	2477
16:15-17:15	2252	2209	2457	2094	2638	2267	2465
16:30-17:30	2324	2193	2487	2091	2572	2241	2475
16:45-17:45	2319	2235	2477	2056	2571	2232	2470
17:00-18:00	2295	2237	2443	2050	2577	2241	2489
17:15-18:15	2304	2305	2506	2102	2639	2317	2554
17:30-18:30	2279	2333	2543	2179	2720	2391	2585
17:45-18:45	2314	2356	2641	2304	2806	2501	2670
18:00-19:00	2352	2410	2709	2374	2862	2560	2758
18:15-19:15	2375	2379	2704	2395	2907	2551	2802
18:30-19:30	2375	2384	2733	2346	2891	2525	2833
18:45-19:45	2333	2357	2648	2283	2854	2488	2766
19:00-20:00	2286	2283	2596	2222	2766	2400	2646
19:15-20:15	2208	2263	2526	2121	2687	2304	2547
19:30-20:30	2143	2176	2447	2040	2598	2213	2412
19:45-20:45	2044	2094	2394	1912	2443	2122	2310
20:00-21:00	1971	2003	2300	1791	2372	2037	2234

Volumen horario semanal

Figura 51. Variación de volumen horario semanal- Intersección 2.

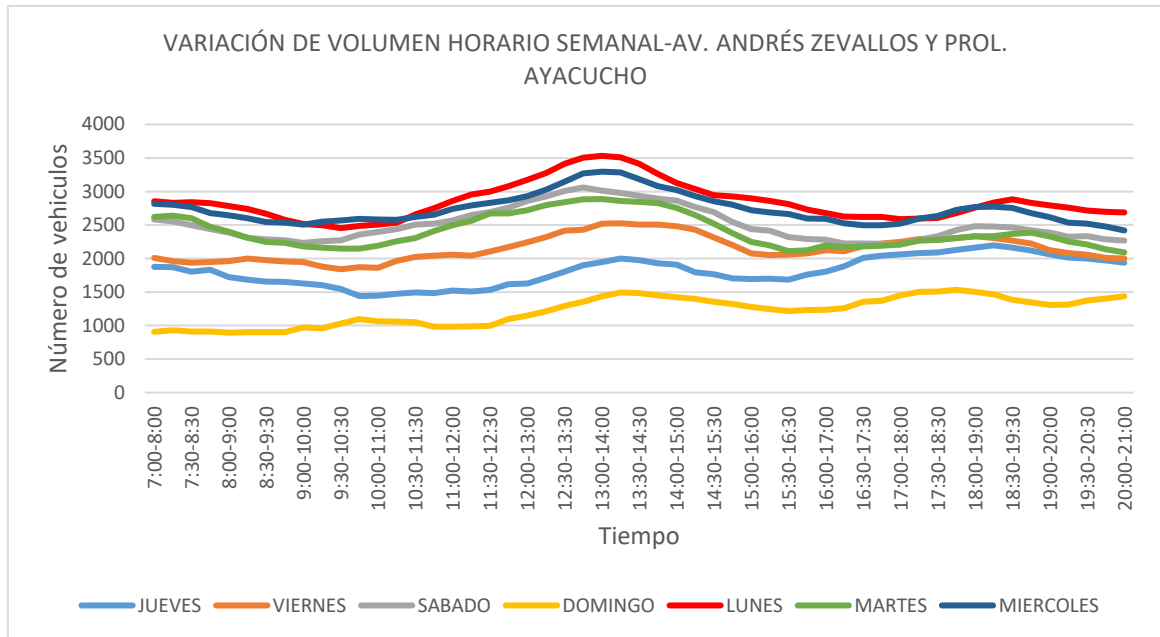


Figura 52. Variación de volumen horario semanal- Intersección 3.

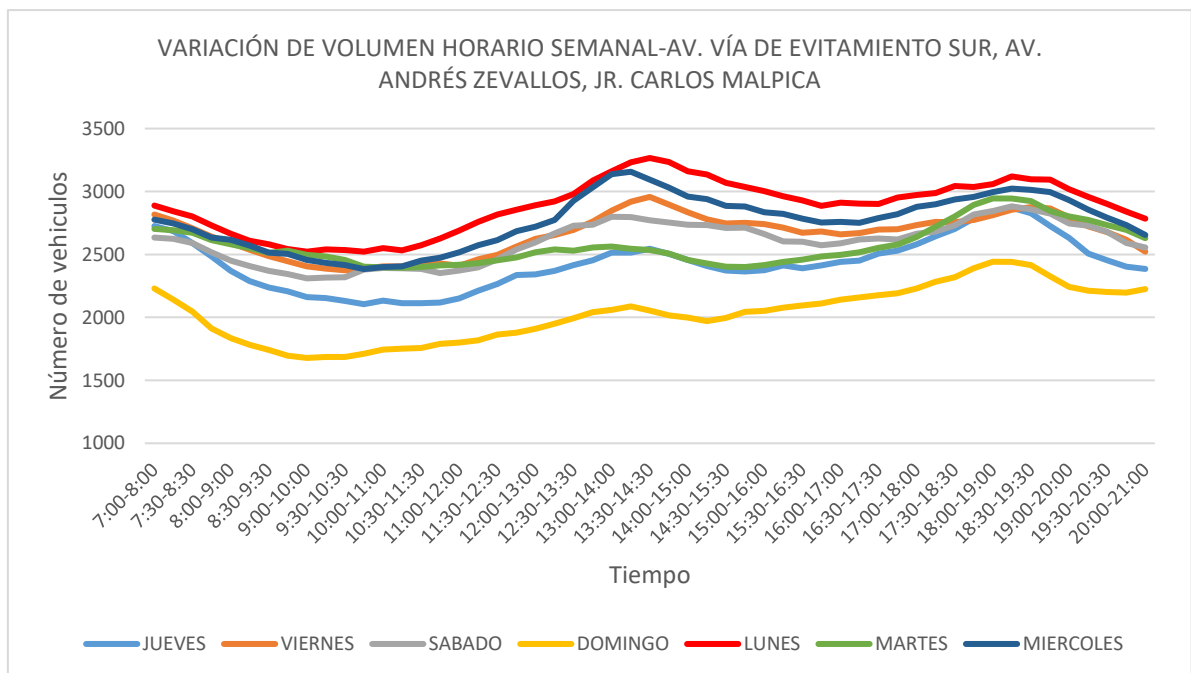
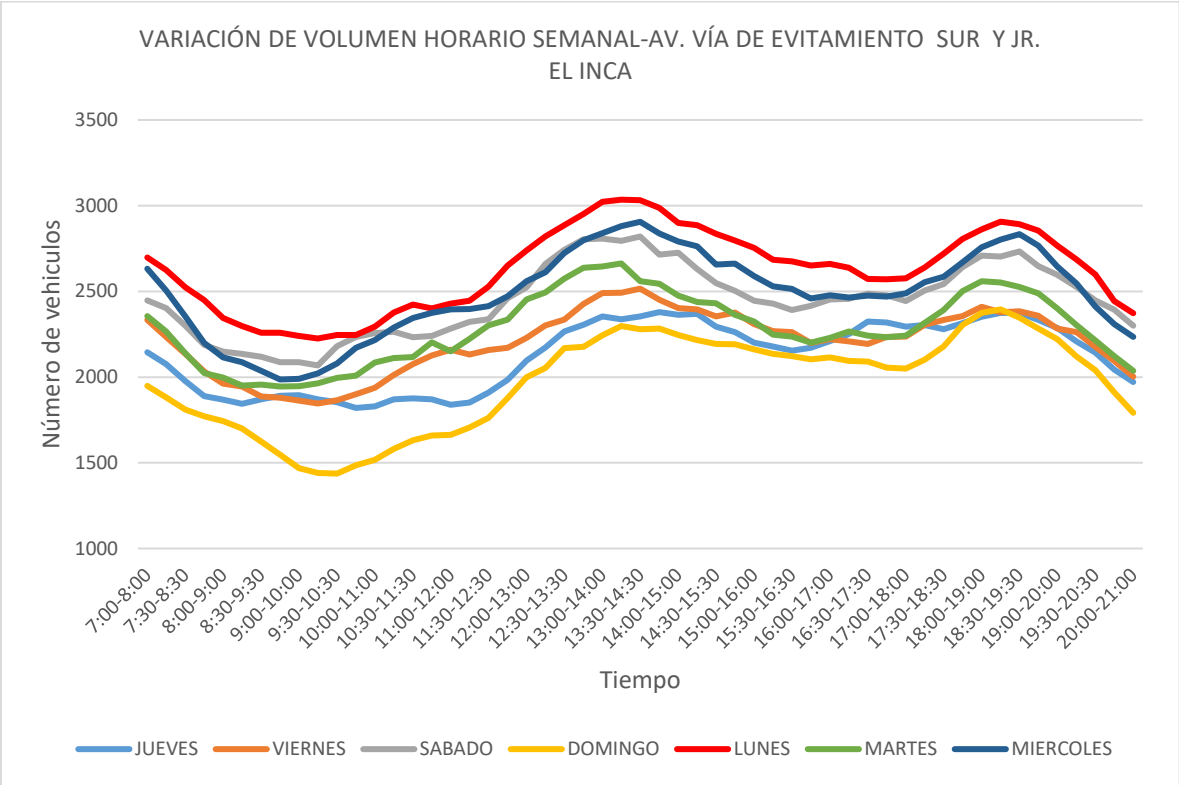


Figura 53. Variación de volumen horario semanal- Intersección 4.



Histograma de variación de volumen máximo

Figura 54. Histograma de variación de volumen máximo- Intersección 2.

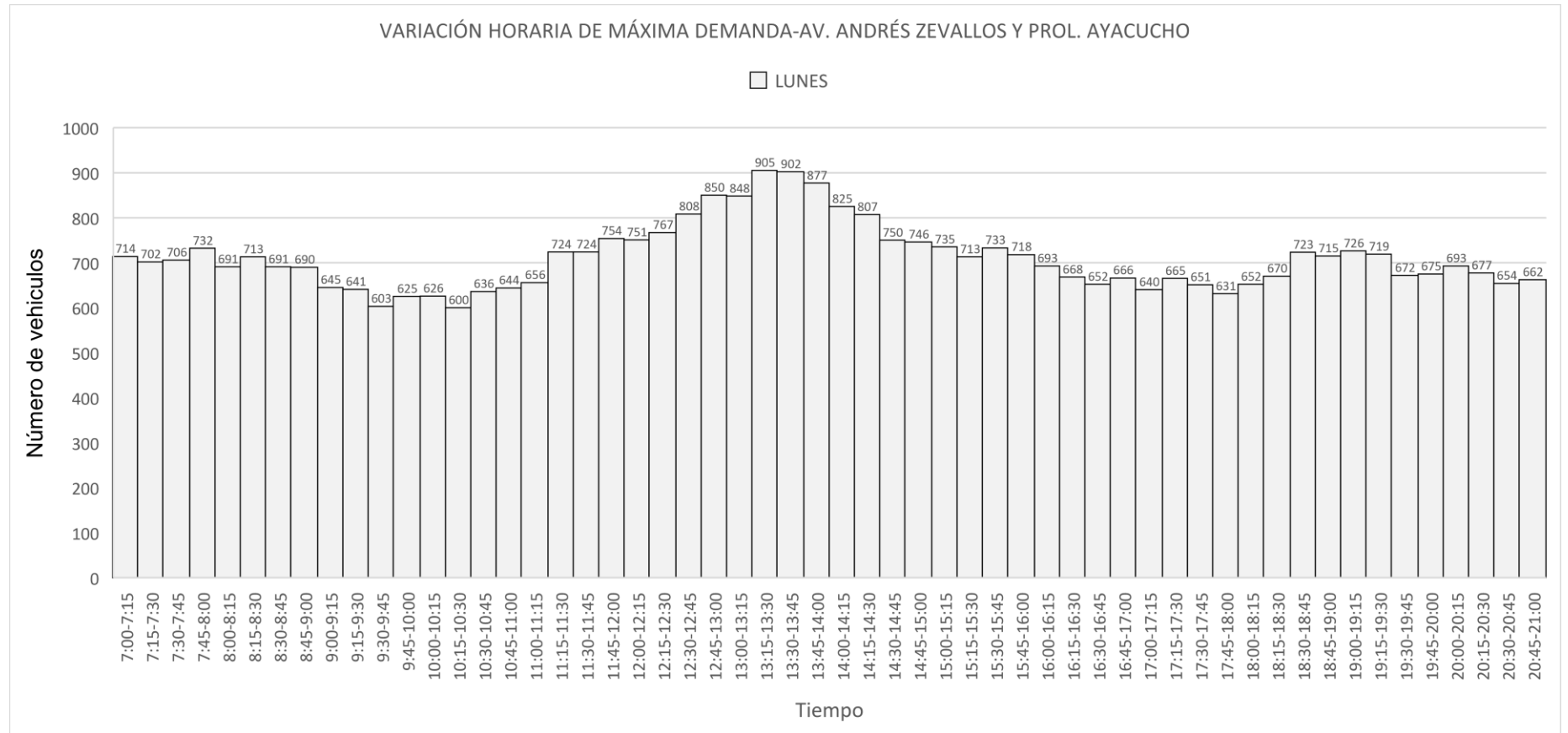


Figura 55. Histograma de variación de volumen máximo- Intersección 3

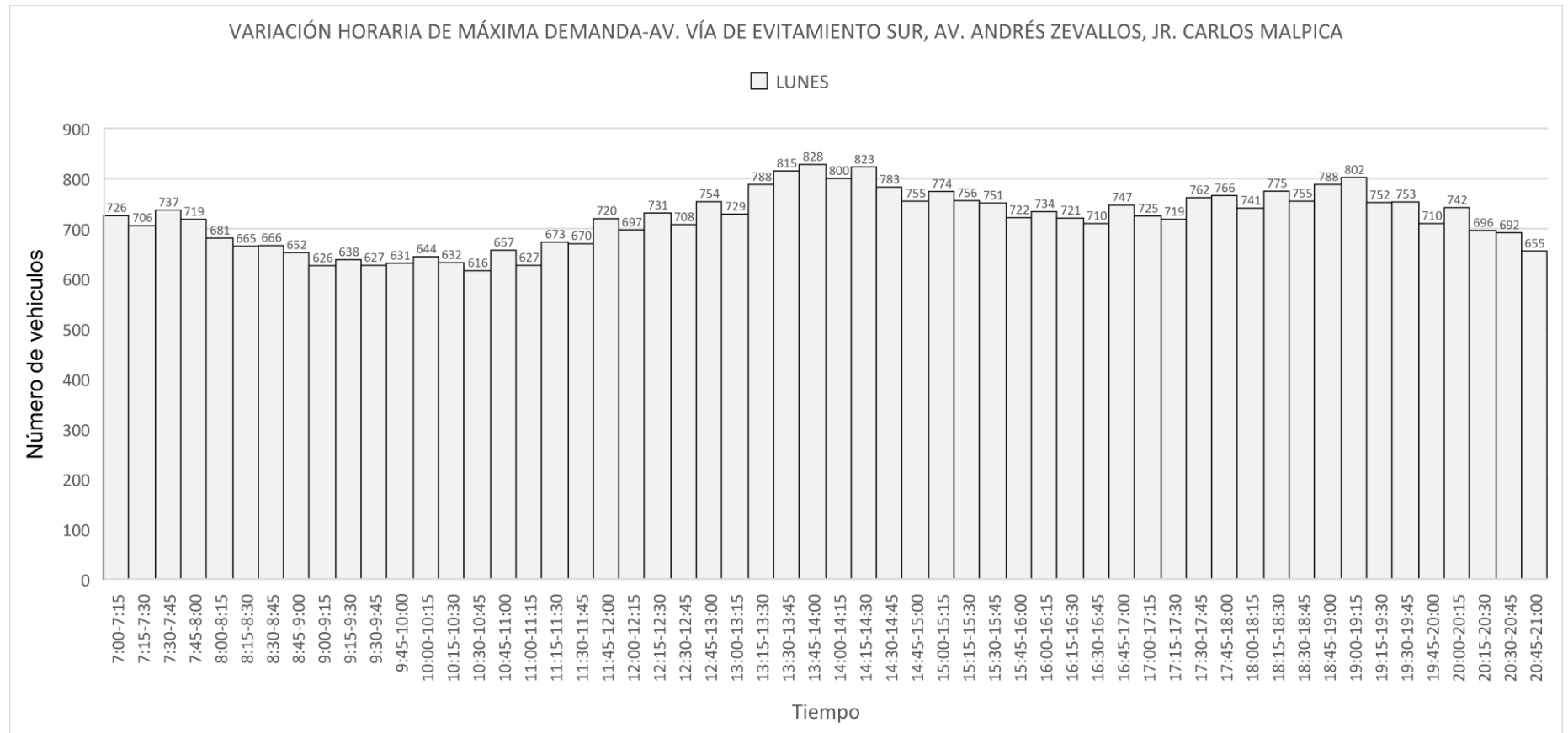


Figura 56. Histograma de variación de volumen máximo- Intersección 4

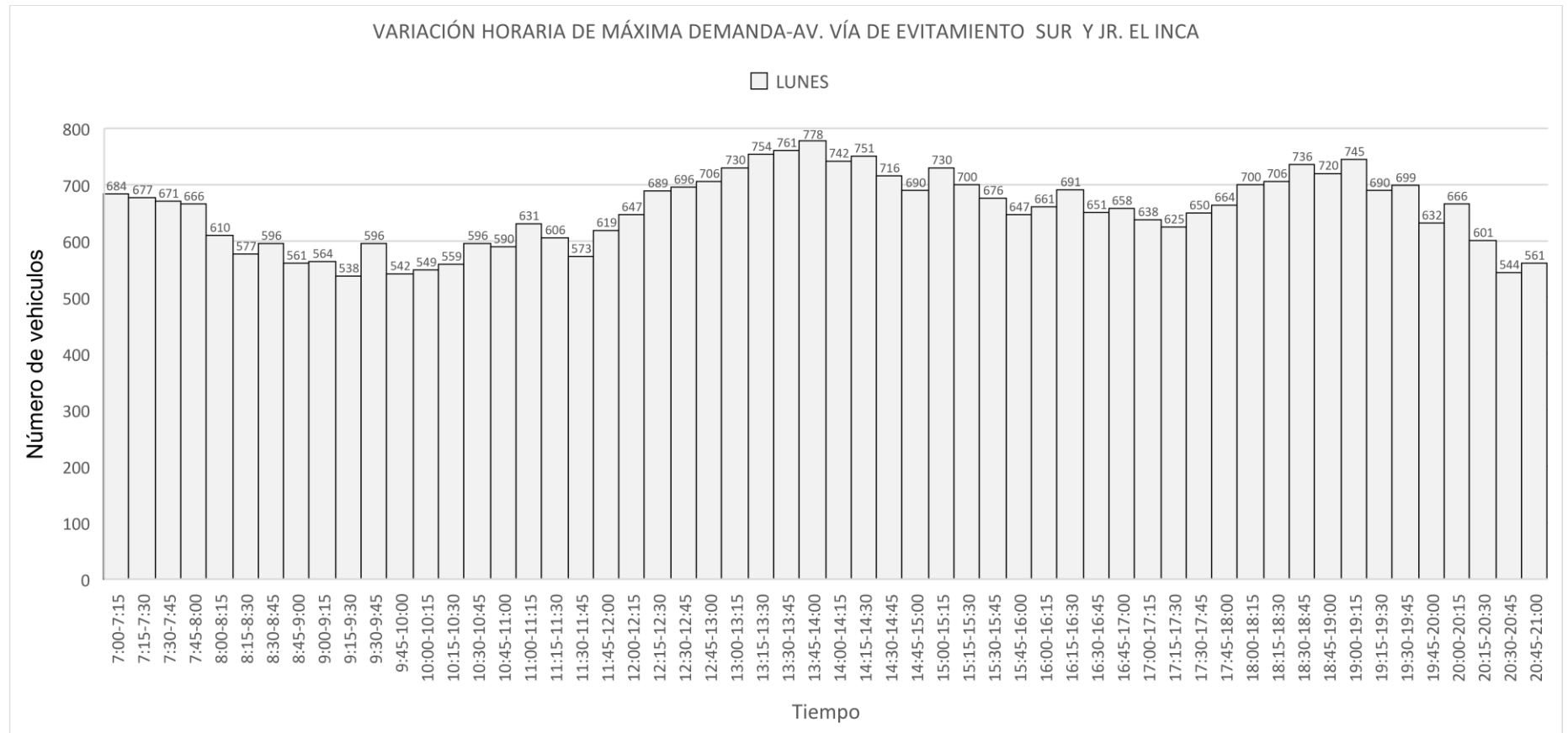


Figura 57. Flujograma vehicular en máxima demanda – Intersección 2.

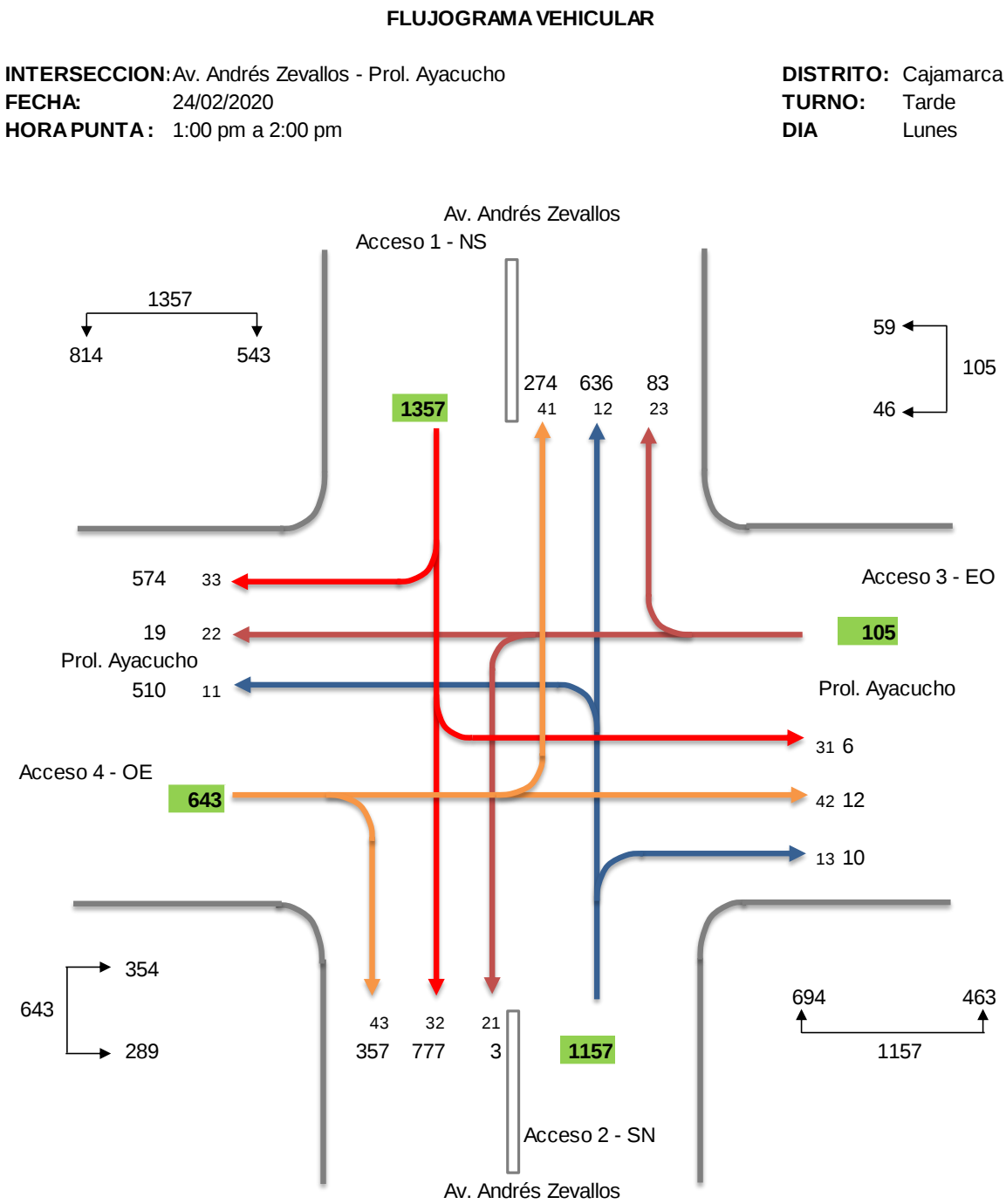


Figura 58. Condiciones geométricas intersección 2.

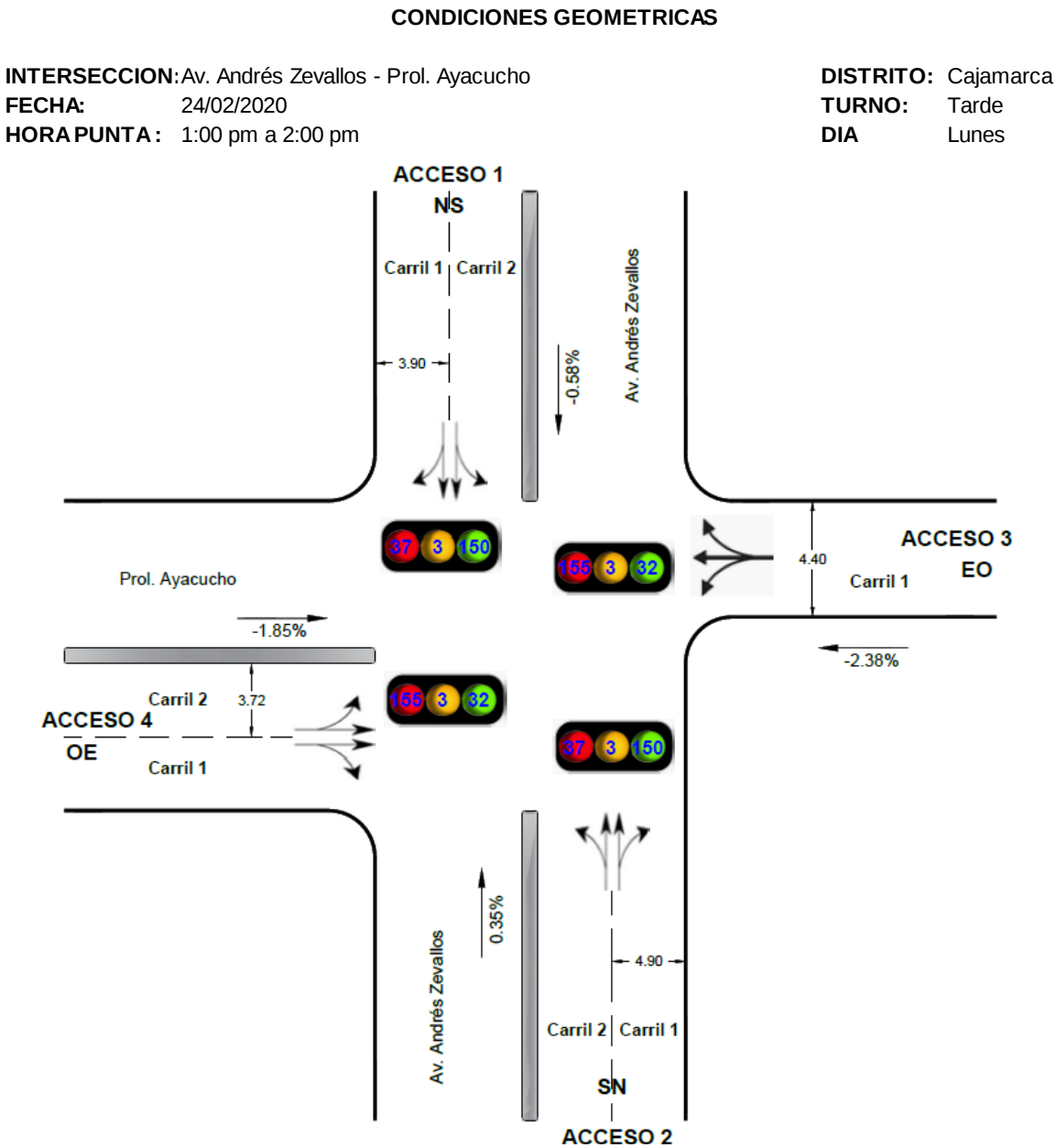


Tabla 51. Condiciones de tránsito de vía - intersección 2

Acceso	Tipo de Pavimento	Pen dien te	Estaciona mientos	Bus es Nb	FHP	Qb (veh)	Vehiculos pesados %VP	Bicic leta	Peatones	
									Izq	Der
Acceso 1- NS	Rigido	0.95	No	8	0.79	25	3.1%	5	14	15
Acceso 2- SN	Rigido	-1.15	No	7	0.80	33	7.3%	5	12	11
Acceso 3- EO	Rigido	1.76	No	0	0.67	5	0.0%	0	11	10
Acceso 4- OE	Rigido	-1.83	No	1	0.80	12	1.6%	0	12	9

Donde:

%VP: Porcentaje de vehiculos pesados
Nb: Número de paradas de vehiculos

FHP: Factor en hora pico

Figura 59. Flujograma vehicular en máxima demanda – Intersección 3.

FLUJOGRAMA VEHICULAR

INTERSECCION: Av. Vía de Evitamiento Sur - Av. Andrés Zevallos- Jr. Carlos Malpica

FECHA: 24/02/2020

HORA PUNTA: 1:30 pm a 2:30 pm

DISTRITO: Cajamarca

TURNO: Tarde

DIA: Lunes

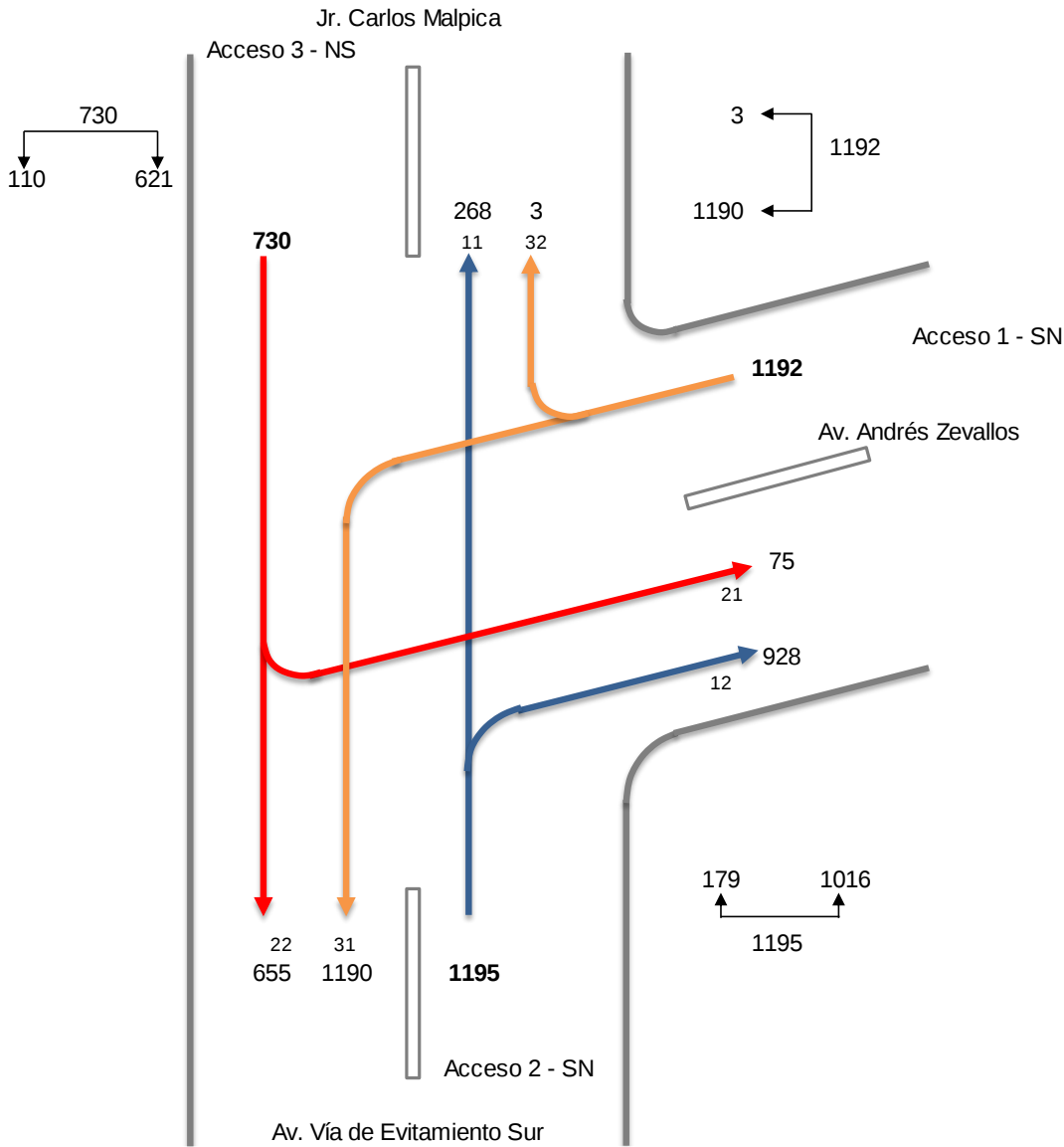


Figura 60. Condiciones geométricas intersección 3.

CONDICIONES GEOMETRICAS

INTERSECCION: Av. Vía de Evitamiento Sur - Av. Andrés Zevallos- Jr. Carlos Malpica **DISTRITO:** Cajamarca
FECHA: 24/02/2020 **TURNO:** Tarde
HORAPUNTA: 1:30 pm a 2:30 pm **DIA:** Lunes

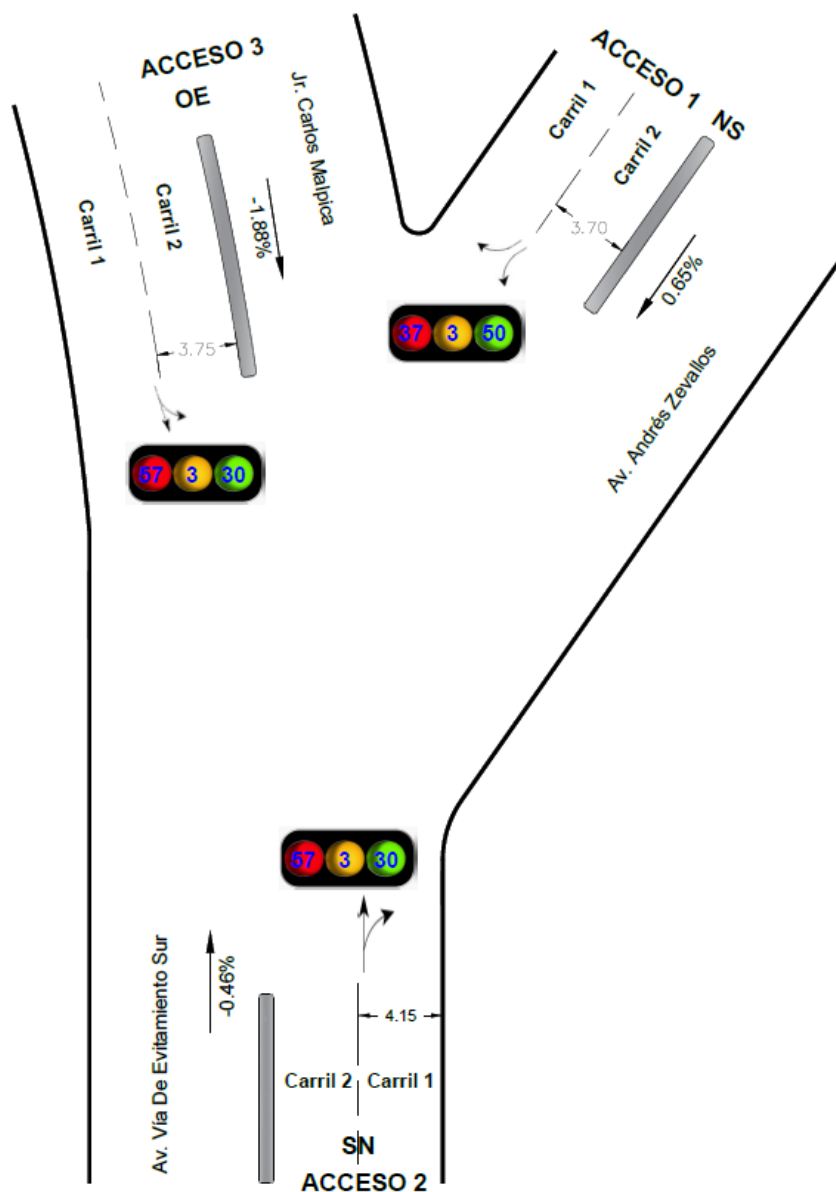


Tabla 52. Condiciones de tránsito de vía - intersección 3

Acceso Dirección	Tipo de Pavimento	Pen dien te	Estaciona mientos	Bus es Nb	FHP	Qb (veh)	Vehiculos pesados %VP	Bicic leta	Peatones	
									Izq	Der
Acceso 1- NS	Flexible	0.65	No	7	0.73	30	7.7%	3	7	5
Acceso 2- SN	Flexible	-0.46	No	5	0.93	11	3.8%	15	8	10
Acceso 3- OE	Flexible	-1.88	No	1	0.92	13	3.3%	6	8	7

Donde:

%VP: Porcentaje de vehiculos pesados
Nb: Número de paradas de vehiculos

FHP: Factor en hora pico

Figura 61. Flujoograma vehicular en máxima demanda – Intersección 4.

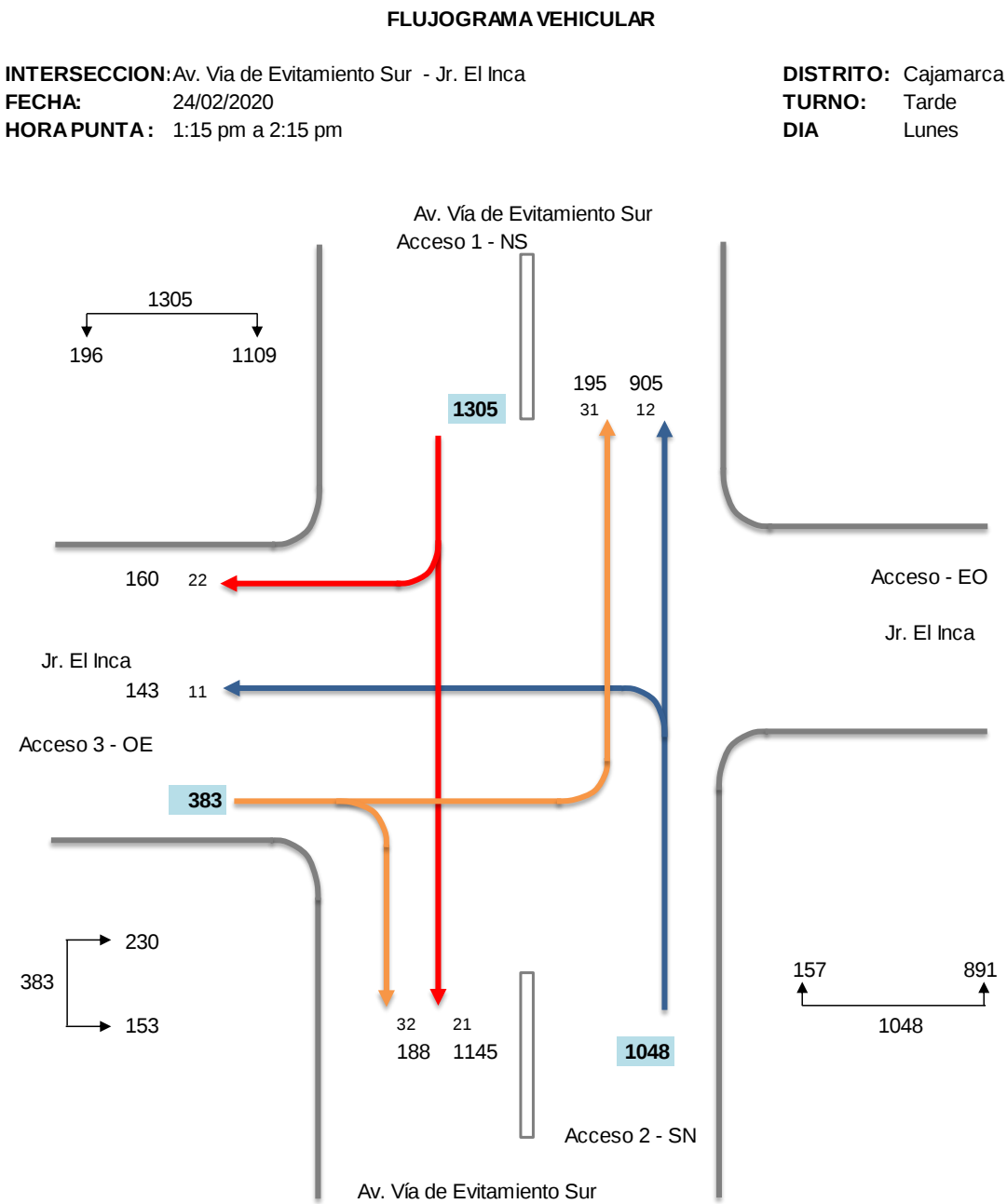


Figura 62. Condiciones geométricas intersección 4.

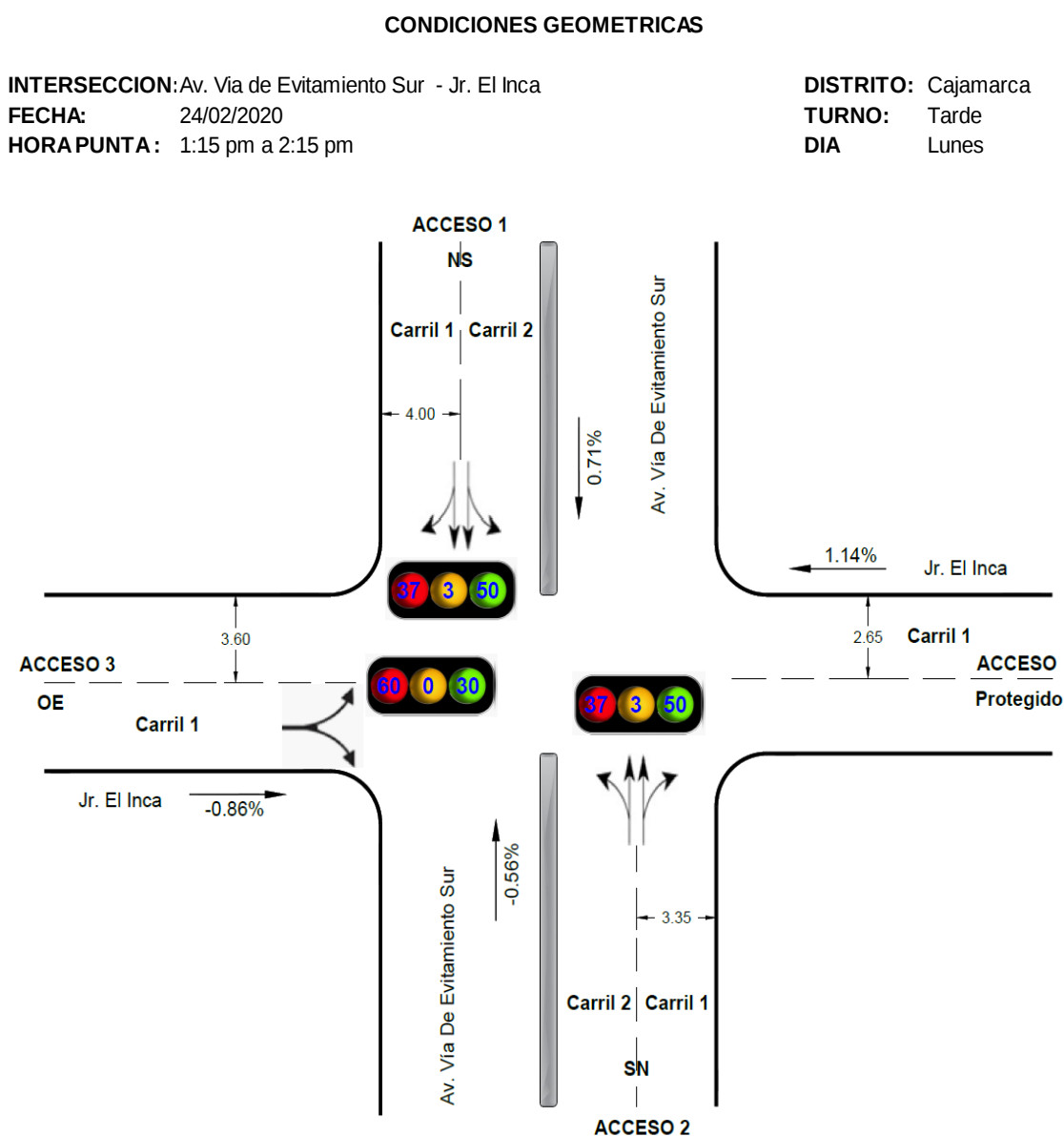


Tabla 53. Condiciones de tránsito de vía - intersección 4

Acceso	Tipo de Pavimento	Pendiente	Estacionamientos	Buses Nb	FHP	Qb (veh)	Vehículos pesados %VP	Bicicleta	Peatones	
									Izq	Der
Acceso 1- NS	Flexible	0.71	No	8	0.94	42	4.8%	11	10	7
Acceso 2- SN	Flexible	-0.56	No	6	0.97	30	3.0%	7	7	10
Acceso 3- OE	Flexible	-0.86	No	4	0.93	12	1.3%	4	10	13

Donde:

%VP: Porcentaje de vehículos pesados
Nb: Número de paradas de vehículos

FHP: Factor en hora pico

Composición vehicular por tipo de vehículo

Figura 63. Composición vehicular por tipo de vehículo – Intersección 2.

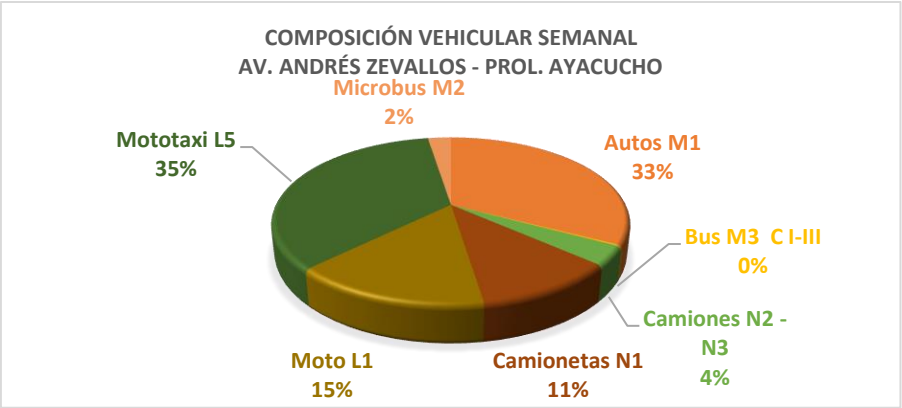


Figura 64. Composición vehicular por tipo de vehículo – Intersección 3.

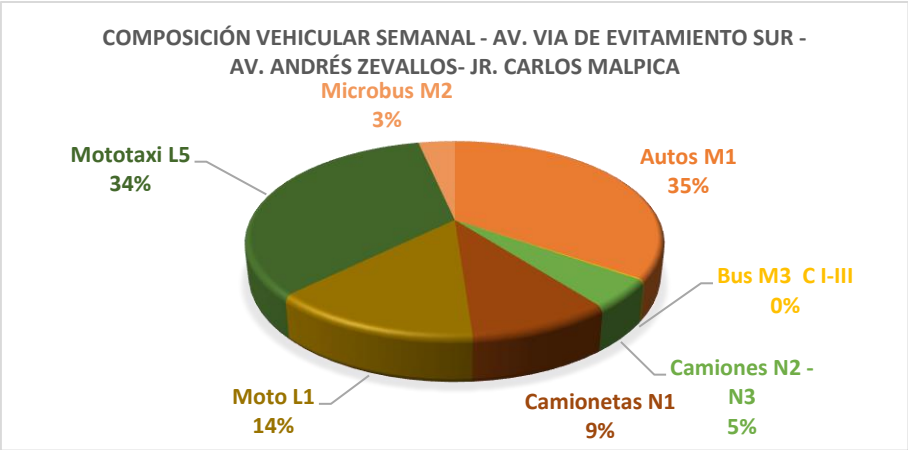
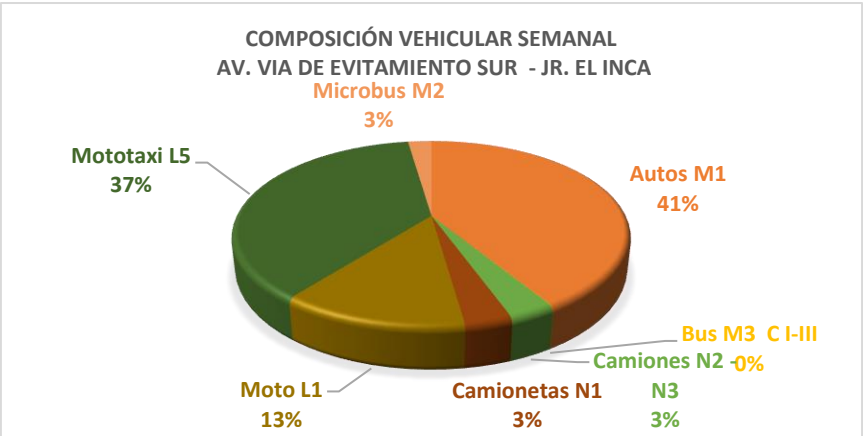


Figura 65. Composición vehicular por tipo de vehículo – Intersección 4.



Cálculo de velocidad

Tabla 54. Velocidad de marcha

Item	Sentido de flujo	Tiempo (sg)	Distancia Recorrida (m)	Velocidad (km/h)
1	SUR-NORTE	20.00	167.66	30.18
2	SUR-NORTE	17.00	167.66	35.50
3	SUR-NORTE	18.00	167.66	33.53
4	NORTE-SUR	21.00	167.66	28.74
5	NORTE-SUR	16.00	167.66	37.72
6	NORTE-SUR	18.00	167.66	33.53
7	SUR-NORTE	19.00	222.66	42.19
8	SUR-NORTE	22.00	222.66	36.43
9	SUR-NORTE	14.00	222.66	57.25
10	NORTE-SUR	29.00	222.66	27.64
11	NORTE-SUR	24.00	222.66	33.40
12	NORTE-SUR	33.00	222.66	24.29
13	SUR-NORTE	42.00	368.41	31.58
14	SUR-NORTE	41.00	368.41	32.35
15	SUR-NORTE	39.00	368.41	34.01
16	NORTE-SUR	48.00	368.41	27.63
17	NORTE-SUR	33.00	368.41	40.19
18	NORTE-SUR	38.00	368.41	34.90
19	SUR-NORTE	28.00	245.31	31.54
20	SUR-NORTE	23.00	245.31	38.40
21	SUR-NORTE	21.00	245.31	42.05
22	NORTE-SUR	26.00	245.31	33.97
23	NORTE-SUR	24.00	245.31	36.80
24	NORTE-SUR	23.00	245.31	38.40
Velocidad Sur-Norte (km/h)				37.08
Velocidad Norte-Sur (km/h)				33.10
Velocidad total (km/h)				35.09

Tabla 55. Velocidad promedio

Item	Sentido de flujo	Tiempo (sg)	Distancia Recorrida (m)	Velocidad (km/h)
1	SUR-NORTE	40.00	196.41	17.68
2	SUR-NORTE	32.00	196.41	22.10
3	SUR-NORTE	35.00	196.41	20.20
4	NORTE-SUR	37.00	196.41	19.11
5	NORTE-SUR	35.00	196.41	20.20
6	NORTE-SUR	35.00	196.41	20.20
7	SUR-NORTE	50.00	235.76	16.97
8	SUR-NORTE	46.00	235.76	18.45
9	SUR-NORTE	53.00	235.76	16.01
10	NORTE-SUR	48.00	235.76	17.68
11	NORTE-SUR	40.00	235.76	21.22
12	NORTE-SUR	39.00	235.76	21.76
13	SUR-NORTE	81.00	386.16	17.16
14	SUR-NORTE	78.00	386.16	17.82
15	SUR-NORTE	85.00	386.16	16.36
16	NORTE-SUR	82.00	386.16	16.95
17	NORTE-SUR	82.00	386.16	16.95
18	NORTE-SUR	87.00	386.16	15.98
19	SUR-NORTE	47.00	282.94	21.67
20	SUR-NORTE	48.00	282.94	21.22
21	SUR-NORTE	48.00	282.94	21.22
22	NORTE-SUR	47.00	282.94	21.67
23	NORTE-SUR	45.00	282.94	22.64
24	NORTE-SUR	48.00	282.94	21.22
Velocidad prom. Sur-Norte (km/h)				18.91
Velocidad prom. Norte-Sur (km/h)				19.63
Velocidad promedio total (km/h)				19.27

Cálculo de niveles de servicio - Intersección 1

Intersección: Av. Andrés Bello - Av. Hoyos Rubio

1. El factor de la hora de máxima demanda

Velocidad de flujo libre base

$$VHMD = 3753, \quad q_{\max}(15) = 980, \quad FHMD(15) = 0.957$$

2. Ajuste de volumen de la intersección 1.

Tabla 56. Módulo de ajuste de volumen de la intersección 1.

Información General		N - S	S - N	E - O	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello y Av. Hoya Rubio				
Día	Lunes				
Hora	1:00 pm a 2:00 pm				
Ajuste de Volumen					
Volumen Izquierda, V_{lzq} (veh/h)		170	204	376	321
Volumen Directo, V_{dir} (veh/h)		550	541	521	386
Volumen Derecha, V_{der} (veh/h)		0	373	5	306
Volumen, V (veh/h)		721	1118	902	1013
Factor de Hora Pico, PHF		0.957	0.957	0.957	0.957
Tasa de Flujo Ajustado Izquierda, $V_p = V_{lzq}/PHF$ (veh/h)		178	213	392	335
Tasa de Flujo Ajustado Directo, $V_p = V_{dir}/PHF$ (veh/h)		575	565	544	404
Tasa de Flujo Ajustado Derecha, $V_p = V_{der}/PHF$ (veh/h)		0	389	6	319
Tasa de Flujo Ajustado en el Grupo de Carriles, V_p		753	1168	942	1058
Proporción de Giros LT o RT (PLT o PRT)					
Proporción de Giros a la Izquierda (PLT)		0.236	0.183	0.417	0.317
Proporción de Giros a la Derecha (PRT)		0.000	0.333	0.006	0.302

Nota: HCM 2010

La demora uniforme es el tiempo en que todos los arribos se distribuyen de manera uniforme. La demora incremental, es el tiempo causado por los periodos de saturación excesiva de las vías. La demora inicial por cola, es cuando la cola que procede del periodo anterior está en el inicio del análisis. Es el tiempo adicional que se necesita para evacuar a la cola inicial.

3. Factor de ajuste de peatones para giros protegidos a la izquierda en la intersección

Tabla 57. Ajuste de peatones para giros protegidos a la izquierda en la intersección 1.

Información General		N - S	S - N	E - O	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello y Av. Hoya Rubio				
Día	Lunes				
Hora	1:00 pm a 2:00 pm				
Longitud de ciclo, C (s)		193	193	193	193
Tiempo de verde efectivo para peatones, gp (s)		58	53	38	24
Volumen peatonal, Vped (p/h)		12	9	8	7
Vpedg = Vped (C/gp)		40	33	41	56
OCCpedg = Vpedg / 2000 si, (Vpedg ≤ 1 000) OCCpedg = 0.4 + Vpedg / 10000 si, (1000 < Vpedg ≤ 5000)		0.020	0.016	0.020	0.028
Número de carriles de recepción, Nrec		2	2	2	2
Número de carriles de giro, Nturn		2	2	2	2
ApbT = 1 - OCCr si, Nrec = Ntum ApbT = 1 - 0.6(OCCr) si, Nrec > Ntum		0.980	0.984	0.980	0.972
Proporción de giros a la izquierda, 2 PLT		0.236	0.183	0.417	0.317
Proporción de giros a la izquierda empleando la fase protegida, PLTA		0.236	0.183	0.417	0.317
fLpb = 1.0 - PLT(1 - ApbT)(1 - PLTA)		0.996	0.998	0.995	0.994

Notas

1. Si no existen giros a la izquierda opuestos, entonces OCCr = OCCpedu = OCCpedg.
2. Refiérase a la hoja de Ajuste de Volumen.

Nota: HCM 2010

4. Factor de ajuste de peatones y bicicletas para giros protegidos a la derecha en la intersección

Tabla 58. Ajuste de peatones y bicicletas para giros protegidos a la derecha en la intersección 1.

Información General		N - S	S - N	E - O	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello y Av. Hoya Rubio				
Día	Lunes				
Hora	1:00 pm a 2:00 pm				
Longitud de ciclo, C (s)		193	193	193	193
Tiempo de verde efectivo para peatones, gp (s)		58	53	38	24
Volumen peatonal, Vped (p/h)		10	11	6	8
Volumen de bicicletas, 3 Vbic (bicicletas/h)		2	7	4	4
Vpedg = Vped (C/gp)		33	40	30	64
OCCpedg = Vpedg / 2000 si, (Vpedg ≤ 1 000) OCCpedg = 0.4 + Vpedg / 10000 si, (1000 < Vpedg ≤ 5000)		0.017	0.020	0.015	0.032
Verde efectivo, g (s)		58	53	38	24
Vbicg = Vbic (C/g)		7	25	20	32
OCCbicg = 0.02 + Vbicg/2700		0.022	0.029	0.028	0.032
OCCr = OCCpedg + OCCbicg - (OCCpedg)(OCCbicg)		0.039	0.049	0.042	0.063
Número de carriles de recepción, Nrec		2	2	2	2

Número de carriles de giro, N _{tum}	2	2	2	2
ApbT = 1 - OOCr si, Nrec = N _{tum} ; ApbT = 1 - 0.6(OOCr) si, Nrec > N _{tum}	0.961	0.951	0.958	0.937
Proporción de giros a la derecha, 2 PRT	0.000	0.333	0.006	0.302
Proporción de giros a la derecha empleando la fase protegida, PRTA	0.000	0.333	0.006	0.302
fRpb = 1.0 - PRT(1 - ApbT)(1 - PRTA)	1.000	0.989	1.000	0.987

Notas

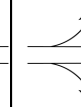
2. Refiérase a la hoja de Ajuste de Volumen.

3. Si V_{bic} = 0 entonces V_{bicg} = 0, OCC_{bicg} = 0, y OCCr = OCC_{pedg}.

Nota: HCM 2010

5. Módulo de ajuste de la tasa de flujo de saturación de la intersección

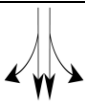
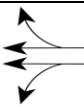
Tabla 59. Módulo de ajuste de la tasa de flujo de saturación de la intersección 1.

Información General		N - S	S - N	E - O	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello y Av. Hoya Rubio				
Día	Lunes				
Hora	1:00 pm a 2:00 pm				
Tasa de Flujo de Saturación					
Flujo de Saturación Ideal, s ₀ (veh/h/carril)		1900	1900	1900	1900
Número de carriles, N		2	2	2	2
Ancho de carril, W		3.88	4.25	4.2	4.02
Factor de ajuste por ancho de carril, f _w		1.03	1.07	1.07	1.05
Volumen de vehículos pesados, HV		19	34	74	92
Porcentaje de vehículos pesados, %HV = 100*HV/N		2.64	3.04	8.21	9.08
Equivalente en vehículos livianos, E _t = 2.0 pc/HV		2	2	2	2
Factor de ajuste por vehículos pesados, f _{HV}		0.974	0.970	0.924	0.917
Pendiente en el grupo de carriles, %G		0.95	-1.15	1.76	-1.83
Factor de ajuste por pendiente, f _g		0.995	1.006	0.991	1.009
Número de maniobras de estacionamiento por hora		XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
Factor de ajuste por estacionamiento, f _p ≥ 0.050		1	1	1	1
Número de buses que se detienen por hora, NB ≤ 2		11	10	8	17
Factor de ajuste por bloqueo de buses, f _{bb} ≥ 0.050		0.978	0.98	0.984	0.966
Tipo de área		CBD	CBD	CBD	CBD
Factor de ajuste por tipo de área, f _a		0.9	0.9	0.9	0.9
Tasa de flujo no ajustado para el grupo de carriles,		720.81	1118	901.64	1012.94
Tasa de flujo no ajustado para el carril con mayor volumen del grupo de carriles, vg1 (veh/h)		432.486	670.800	504.918	557.117
Factor de ajuste por utilización de carril, f _{LU}		0.83	0.83	0.89	0.91
Factor de ajuste por giro a la izquierda, f _{LT}		0.988	0.991	0.980	0.984
Factor de ajuste por giro a la derecha, f _{RT} ≥ 0.050		1.000	0.950	0.999	0.955
Factor de ajuste por peat/bic para giros a la izquierda		0.996	0.998	0.995	0.994
Factor de ajuste por peat/bic para giros a la derecha		1.000	0.989	1.000	0.987
Flujo de Saturación Ajustado, s (veh/h) S = S ₀ * N * f _w * f _{HV} * f _g * f _p * f _{bb} * f _a * f _{LU} * f _{LT} * f _{RT} * f _{Lpb} * f _{Rpb}		2744	2715	2859	2681

Nota: HCM 2010

6. Análisis de la capacidad

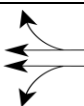
Tabla 60. Módulo de análisis de la capacidad de la intersección 1.

Información General		N - S	S - N	E - O	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello y Av. Hoyos Rubio				
Día	Lunes				
Hora	1:00 pm a 2:00 pm				
Fase		1	2	3	4
Tipo de fase		prt	prt	prt	prt
Tasa de flujo ajustado, v (veh/h)		753	1168	942	1058
Tasa de flujo de saturación, s (veh/h)		2744	2715	2859	2681
Tiempo perdido, tL (s), $tL = l + Y - e$		5	5	5	5
Longitud de ciclo, C (s)		193	193	193	193
Tiempo de verde efectivo, g (s), $g = G + Y - tL$		58	53	38	24
Proporción de verde, g/C		0.30	0.27	0.20	0.124
Capacidad del grupo de carriles, c = s(g/C), (veh/h)		825	746	563	333
Relación v/c, X		0.913	1.566	1.673	3.174
Relación de flujo, v/s		0.274	0.430	0.329	0.395
Grupo de carriles/fase crítico(a) ($\sqrt{}$)		$\sqrt{}$	$\sqrt{}$	$\sqrt{}$	$\sqrt{}$
Sumatoria de relaciones de flujo para grupos de carriles críticos, $Y_c = \sum$ (grupos de carriles críticos, v/s)		1.428			
Tiempo perdido total por ciclo, L (s)		20			
Grado de saturación crítico, $X_c = (Y_c)(C)/(C - L)$		1.59			

Nota: HCM 2010

7. Demoras y nivel de servicio

Tabla 61. Análisis de la demora uniforme y por cola inicial de la intersección 1.

Información General		N - S	S - N	E - O	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello y Av. Hoyos Rubio				
Día	Lunes				
Hora	1:00 pm a 2:00 pm				
Parámetros de Entrada					
Cola inicial, Qb (veh)		38	36	23	24
Proporción de vehículos que llegan en verde, P		0.401	0.275	0.262	0.166
Relación de pelotón (Rp)		1.333	1.000	1.333	1.333
Factor de ajuste suplementario, fPA (Tabla)		1.150	1.000	1.150	1.150
Factor de ajuste por progresión/coordinación, PF=		0.985	1.000	1.056	1.096
Duración de la demanda insatisfecha en T, t (h) t		0.250	0.250	0.250	0.250
Caso de Análisis		CASO 3	CASO 5	CASO 5	CASO 5
Casos I y II (Qb = 0) No aplica		No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Caso III (Qb > 0) (X < 1.0) (t < T)		No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Caso IV (Qb > 0) (X < 1.0) (t = T)		Aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Caso V (Qb > 0) (X > 1.0) (t = T)		No aplica	Aplica	Aplica	Aplica
Demora por cola inicial, d3 (s): $d3 = 3600Qb/c$		165.82	173.82	147.12	259.20
Demora uniforme, d1 (s): $d1 = 0.5C(1 - g/C)$		67.50	70.00	77.50	84.50

Nota: HCM 2010

8. Módulo de análisis del nivel de servicio de la intersección

Tabla 62. Módulo de análisis del nivel de servicio de la intersección 1.

Información General		N - S	S - N	E - O	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello y Av. Hoyos Rubio				
Día	Lunes				
Hora	1:00 pm a 2:00 pm				
Nivel de servicio					
Tasa de flujo ajustado, V (veh/h)		753	1168	942	1058
Capacidad del grupo de carriles, c = s(g/C), (veh/h)		825	746	563	333
Relación v/c, X		0.913	1.566	1.673	3.174
Calibración de la demora incremental, k		0.50	0.50	0.50	0.50
Factor de ajuste por entradas de la intersección co		1.00	1.00	1.00	1.00
Duración del análisis, T (h)		0.25	0.25	0.25	0.25
Demora Incremental, d2 (s/veh) $d2 = 900T[(X - 1)]$		16.17	261.21	310.66	986.00
Demora, $d = d1(PF) + d2 + d3$ (s/veh)		248.52	505.02	539.62	1337.78
Nivel de servicio NS por grupo de carriles		F	F	F	F
Demora por acceso, $dA = \sum (d \times v) \sum v$ (s/veh)		248.52	505.02	539.62	1337.78
Nivel de servicio NS por acceso		F	F	F	F
Tasa de flujo del acceso, VA (veh/h)		753	1168	942	1058
Demora de la Intersección, $dI = \sum (dA \times vA) \sum vA$		688.81			
NS de la Intersección		F			

Nota: HCM 2010

Cálculo de niveles de servicio - Intersección 2

Intersección: Av. Andrés Bello - Pról. Ayacucho

1. El factor de la hora de máxima demanda

Velocidad de flujo libre base

$$VHMD = 3262, \quad q_{\max}(15) = 905, \quad FHMD(15) = 0.901$$

2. Ajuste de volumen de la intersección

Tabla 63. Módulo de ajuste de volumen de la intersección 2

Información General		N - S	S - N	E - O	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello y Prol. Ayacucho				
Día	Lunes				
Hora	1:00 pm a 2:00 pm				
Ajuste de Volumen					
Volumen Izquierda, V_{lzq} (veh/h)		6	510	3	274
Volumen Directo, V_{dir} (veh/h)		777	636	19	12
Volumen Derecha, V_{der} (veh/h)		574	10	83	357
Volumen, V (veh/h)		1357	1157	105	643
Factor de Hora Pico, PHF		0.901	0.901	0.901	0.901
Tasa de Flujo Ajustado Izquierda, $V_p = V_{lzq}/PHF$ (veh/h)		7	566	3	305
Tasa de Flujo Ajustado Directo, $V_p = V_{dir}/PHF$ (veh/h)		862	706	21	14
Tasa de Flujo Ajustado Derecha, $V_p = V_{der}/PHF$ (veh/h)		637	11	92	396
Tasa de Flujo Ajustado en el Grupo de Carriles, V_p		1506	1284	116	714
Proporción de Giros LT o RT (PLT o PRT)					
Proporción de Giros a la Izquierda (PLT)		0.004	0.441	0.029	0.427
Proporción de Giros a la Derecha (PRT)		0.423	0.009	0.793	0.554

Nota: HCM 2010

3. Factor de ajuste de peatones para giros protegidos a la izquierda en la intersección

Tabla 64. Ajuste de peatones para giros protegidos a la izquierda en la intersección 2

Información General		N - S	S - N	E - O	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello y Prol. Ayacucho				
Día	Lunes				
Hora	1:00 pm a 2:00 pm				
Longitud de ciclo, C (s)		190	190	190	190
Tiempo de verde efectivo para peatones, g_p (s)		150	150	32	32
Volumen peatonal, V_{ped} (p/h)		14	12	11	12
$V_{pedg} = V_{ped} (C/g_p)$		18	15	65	71
$OCC_{pedg} = V_{pedg} / 2000$ si, ($V_{pedg} \leq 1000$) $OCC_{pedg} = 0.4 + V_{pedg} / 10000$ si, ($1000 < V_{pedg} \leq 5000$)		0.009	0.008	0.033	0.036
Número de carriles de recepción, N_{rec}		2	2	2	2
Número de carriles de giro, N_{turn}		2	2	2	2
$ApbT = 1 - OCC_r$ si, $N_{rec} = N_{tum}$ $ApbT = 1 - 0.6(OCC_r)$ si, $N_{rec} > N_{tum}$		0.991	0.992	0.967	0.964
Proporción de giros a la izquierda, 2 PLT		0.004	0.441	0.029	0.427
Proporción de giros a la izquierda empleando la fase protegida, PLTA		0.004	0.441	0.029	0.427
$f_{Lpb} = 1.0 - PLT(1 - ApbT)(1 - PLTA)$		1.000	0.998	0.999	0.991

Notas

1. Si no existen giros a la izquierda opuestos, entonces $OCC_r = OCC_{pedu} = OCC_{pedg}$.
2. Refiérase a la hoja de Ajuste de Volumen.

Nota: HCM 2010

4. Factor de ajuste de peatones y bicicletas para giros protegidos a la derecha en la intersección 2

Tabla 65. Ajuste de peatones y bicicletas para giros protegidos a la derecha en la intersección 2.

Información General		N - S	S - N	E - O	O - E
Lugar	Av. Andrés Zevallos y Prol. Ayacucho				
Día	Lunes				
Hora	1:00 pm a 2:00 pm				
Longitud de ciclo, C (s)		190	190	190	190
Tiempo de verde efectivo para peatones, gp (s)		150	150	32	32
Volumen peatonal, Vped (p/h)		15	11	10	9
Volumen de bicicletas, 3 Vbic (bicicletas/h)		5	5	0	0
Vpedg = Vped (C/gp)		19	14	59	53
OCCpedg = Vpedg / 2000 si, (Vpedg ≤ 1 000) OCCpedg = 0.4 + Vpedg / 10000 si, (1000 < Vpedg ≤ 5000)		0.010	0.007	0.030	0.027
Verde efectivo, g (s)		150	150	32	32
Vbicg = Vbic (C/g)		6	6	0	0
OCCbicg = 0.02 + Vbicg/2700		0.022	0.022	0.020	0.020
OCCr = OCCpedg + OCCbicg - (OCCpeda)(OCCbica)		0.032	0.029	0.049	0.046
Número de carriles de recepción, Nrec		2	2	2	2
Número de carriles de giro, Ntum		2	2	2	2
ApbT = 1 - OCCr si, Nrec = Ntum ; ApbT = 1 - 0.6(OCCr) si, Nrec > Ntum		0.968	0.971	0.951	0.954
Proporción de giros a la derecha, 2 PRT		0.423	0.009	0.793	0.554
Proporción de giros a la derecha empleando la fase protegida, PRTA		0.423	0.009	0.793	0.554
fRpb = 1.0 - PRT(1 - ApbT)(1 - PRTA)		0.992	1.000	0.992	0.989

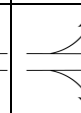
Notas

- Refiérase a la hoja de Ajuste de Volumen.
- Si Vbic = 0 entonces Vbicg = 0, OCCbicg = 0, y OCCr = OCCpedg.

Nota: HCM 2010

5. Módulo de ajuste de la tasa de flujo de saturación de la intersección

Tabla 66. Módulo de ajuste de la tasa de flujo de saturación de la intersección 2

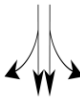
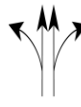
Información General		N - S	S - N	E - O	O - E
Lugar	Av. Andrés Zevallos y Prol. Ayacucho				
Día	Lunes				
Hora	1:00 pm a 2:00 pm				
Tasa de Flujo de Saturación					
Flujo de Saturación Ideal, so (veh/h/carril)		1900	1900	1900	1900
Número de carriles, N		2	2	2	2
Ancho de carril, W		3.88	4.25	4.2	4.02
Factor de ajuste por ancho de carril, fw		1.03	1.07	1.07	1.05
Volumen de vehículos pesados, HV		42	85	0	10
Porcentaje de vehículos pesados, %HV = 100*HV/N		3.09	7.35	0.00	1.55
Equivalente en vehículos livianos, Et = 2.0 pc/HV		2	2	2	2

Factor de ajuste por vehículos pesados, fHV	0.970	0.932	1.000	0.985
Pendiente en el grupo de carriles, %G	0.95	-1.15	1.76	-1.83
Factor de ajuste por pendiente, fg	0.995	1.006	0.991	1.009
Número de maniobras de estacionamiento por hora	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
Factor de ajuste por estacionamiento, fp ≥ 0.050	1	1	1	1
Número de buses que se detienen por hora, NB ≤ 2	8	7	0	1
Factor de ajuste por bloqueo de buses, fbb ≥ 0.050	0.984	0.986	1	0.998
Tipo de área	CBD	CBD	CBD	CBD
Factor de ajuste por tipo de área, fa	0.9	0.9	0.9	0.9
Tasa de flujo no ajustado para el grupo de carriles,	1357.16	1156.74	104.61	643.12
Tasa de flujo no ajustado para el carril con mayor volumen del grupo de carriles, vg1 (veh/h)	814.296	694.044	59.000	353.716
Factor de ajuste por utilización de carril, fLU	0.83	0.83	0.89	0.91
Factor de ajuste por giro a la izquierda, fLT	1.000	0.978	0.999	0.979
Factor de ajuste por giro a la derecha, fRT ≥ 0.050	0.937	0.999	0.881	0.917
Factor de ajuste por peat/bic para giros a la izquierda	1.000	0.998	0.999	0.991
Factor de ajuste por peat/bic para giros a la derecha	0.992	1.000	0.992	0.989
Flujo de Saturación Ajustado, s (veh/h) S = So * N * fw * fHV * fg * fp * fbb * fa * fLU * fLT * fRT * fLpb * fRpb	2593	2752	2795	2839

Nota: HCM 2010

6. Análisis de la capacidad

Tabla 67. Módulo de análisis de la capacidad de la intersección 2.

Información General		N - S	S - N	E - O	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello y Prol. Ayacucho				
Día	Lunes				
Hora	1:00 pm a 2:00 pm				
Fase		1	2	3	4
Tipo de fase		prt	prt	prt	prt
Tasa de flujo ajustado, v (veh/h)		1506	1284	116	714
Tasa de flujo de saturación, s (veh/h)		2593	2752	2795	2839
Tiempo perdido, tL (s), tL = l1 + Y - e		5	5	5	5
Longitud de ciclo, C (s)		190	190	190	190
Tiempo de verde efectivo, g (s), g = G + Y - tL		150	150	32	32
Proporción de verde, g/C		0.79	0.79	0.17	0.168
Capacidad del grupo de carriles, c = s(g/C), (veh/h)		2047	2173	471	478
Relación v/c, X		0.736	0.591	0.247	1.493
Relación de flujo, v/s		0.581	0.466	0.042	0.251
Grupo de carriles/fase crítico(a) (√)		√	√	√	√
Sumatoria de relaciones de flujo para grupos de carriles críticos, Yc = Σ (grupos de carriles críticos, v/s)		1.340			
Tiempo perdido total por ciclo, L (s)		20			
Grado de saturación crítico, Xc = (Yc)(C)/(C - L)		1.50			

Nota: HCM 2010

7. Demoras y nivel de servicio

Tabla 68. Análisis de la demora uniforme y por cola inicial de la intersección 2.

Información General		N - S	S - N	E - O	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello y Prol. Ayacucho				
Día	Lunes				
Hora	1:00 pm a 2:00 pm				
Parámetros de Entrada					
Cola inicial, Qb (veh)		25	33	5	12
Proporción de vehículos que llegan en verde, P		0.527	0.527	0.281	0.281
Relación de pelotón (Rp)		0.667	0.667	1.667	1.667
Factor de ajuste suplementario, fPA (Tabla)		0.930	0.930	1.000	1.000
Factor de ajuste por progresión/coordinación, PF=		2.091	2.091	0.865	0.865
Duración de la demanda insatisfecha en T, t (h)		0.046	0.037	0.014	0.250
Caso de Análisis		CASO 3	CASO 3	CASO 3	CASO 5
Casos I y II (Qb = 0) No aplica		No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Caso III (Qb > 0) (X < 1.0) (t < T)		Aplica	Aplica	Aplica	No aplica
Caso IV (Qb > 0) (X < 1.0) (t = T)		No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
Caso V (Qb > 0) (X > 1.0) (t = T)		No aplica	No aplica	No aplica	Aplica
Demora por cola inicial, d3 (s): $d3 = 3600Qb/c$		4.06	4.06	1.08	90.35
Demora uniforme, d1 (s): $d1 = 0.5C(1 - g/C)$		13.74	10.86	73.00	79.00

Nota: HCM 2010

8. Módulo de análisis del nivel de servicio de la intersección

Tabla 69. Módulo de análisis del nivel de servicio de la intersección 2.

Información General		N - S	S - N	E - O	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello y Prol. Ayacucho				
Día	Lunes				
Hora	1:00 pm a 2:00 pm				
Nivel de servicio					
Tasa de flujo ajustado, V (veh/h)		1506	1284	116	714
Capacidad del grupo de carriles, c = s(g/C), (veh/h)		2047	2173	471	478
Relación v/c, X		0.736	0.591	0.247	1.493
Calibración de la demora incremental, k		0.50	0.50	0.50	0.50
Factor de ajuste por entradas de la intersección		1.00	1.00	1.00	1.00
Duración del análisis, T (h)		0.25	0.25	0.25	0.25
Demora Incremental, d2 (s/veh) $d2 = 900T[(X - 1)]$		2.40	1.19	1.25	232.62
Demora, $d = d1(PF) + d2 + d3$ (s/veh)		35.19	27.96	65.46	391.30
Nivel de servicio NS por grupo de carriles		D	C	E	F
Demora por acceso, $dA = \sum(d \times v) \sum v$ (s/veh)		35.19	27.96	65.46	391.30
Nivel de servicio NS por acceso		D	C	E	F
Tasa de flujo del acceso, VA (veh/h)		1506	1284	116	714
Demora de la Intersección, $dI = \sum(d \times dA \times vA) \sum vA$		103.81			
NS de la Intersección		F			

Nota: HCM 2010

Resumen

Tabla 70. Capacidad y grados de saturación de la intersección 2

Capacidades y grados de saturación	N - S	S - N	E - O	O - E
Tasa de Flujo Ajustado en el Grupo de Carriles, V_p	1506	1284	116	714
Capacidad del grupo de carriles, $c = s(g/C)$, (veh/h)	2047	2173	471	478
Relación v/c , X	0.736	0.591	0.247	1.493
Estado	No saturado	No saturado	No saturado	Sobresaturado
Grado de saturación crítico, $X_c = (Y_c)(C)/(C - L)$	1.50			

Nota: HCM 2010

Tabla 71. Demoras y nivel de servicio de la intersección 2.

Demoras y niveles de servicio	N - S	S - N	E - O	O - E
Demora uniforme, d_1 (s): $d_1 = 0.5C(1 - g/C)$	13.74	10.86	73.00	79.00
Demora Incremental, d_2 (s/veh) $d_2 = 900T[(X - 1)]$	2.40	1.19	1.25	232.62
Demora por cola inicial, d_3 (s): $d_3 = 3600Qb/c$	4.06	4.06	1.08	90.35
Factor de ajuste por progresión/coordinación, $PF =$	2.09	2.09	0.86	0.86
Demora, $d = d_1(PF) + d_2 + d_3$ (s/veh)	35.19	27.96	65.46	391.30
Demora de la Intersección, $dI = \sum(d \sum(A \times vA) \sum v_i)$	103.81			
NS de la Intersección	F			

Nota: HCM 2010

La intersección presenta 1.7 min de demora promedio por vehículo.

Cálculo de niveles de servicio - Intersección 3

Intersección: Av. Andrés Bello - Av. Vía de Evitamiento Sur

1. El factor de la hora de máxima demanda

Velocidad de flujo libre base

VHMD = 3117.83 $q_{max}(15) = 828$ FHMD (15) = 0.941

2. Ajuste de volumen de la intersección

Tabla 72. Módulo de ajuste de volumen de la intersección 3

Información General		N - S	S - N	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello - Av. Via de Evitamiento			
Día	Lunes			
Hora	1:30 a 2:30 pm			
Ajuste de Volumen				
Volumen Izquierda, V_{lzq} (veh/h)		0	0	75
Volumen Directo, V_{dir} (veh/h)		1190	928	0
Volumen Derecha, V_{der} (veh/h)		3	268	655
Volumen, V (veh/h)		1192	1195	730
Factor de Hora Pico, PHF		0.941	0.941	0.941
Tasa de Flujo Ajustado Izquierda, $V_p = V_{lzq}/PHF$ (veh/h)		0	0	79
Tasa de Flujo Ajustado Directo, $V_p = V_{dir}/PHF$ (veh/h)		1264	985	0
Tasa de Flujo Ajustado Derecha, $V_p = V_{der}/PHF$ (veh/h)		3	284	696
Tasa de Flujo Ajustado en el Grupo de Carriles, V_p		1267	1270	776
Proporción de Giros LT o RT (PLT o PRT)				
Proporción de Giros a la Izquierda (PLT)		0.000	0.000	0.102
Proporción de Giros a la Derecha (PRT)		0.002	0.224	0.898

Nota: HCM 2010

3. Factor de ajuste de peatones para giros protegidos a la izquierda en la intersección

Tabla 73. Ajuste de peatones para giros protegidos a la izquierda en la intersección 3.

Información General		N - S	S - N	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello - Av. Via de Evitamiento			
Día	Lunes			
Hora	1:30 a 2:30 pm			
Longitud de ciclo, C (s)		90	90	90
Tiempo de verde efectivo para peatones, g_p (s)		50	30	30
Volumen peatonal, V_{ped} (p/h)		7	8	8
$V_{pedg} = V_{ped} (C/g_p)$		13	24	24
$OCC_{pedg} = V_{pedg} / 2000$ si, ($V_{pedg} \leq 1000$) $OCC_{pedg} = 0.4 + V_{pedg} / 10000$ si, ($1000 < V_{pedg} \leq 5000$)		0.006	0.012	0.012
Número de carriles de recepción, N_{rec}		2	2	2
Número de carriles de giro, N_{turn}		2	2	2
$A_{pbT} = 1 - OCC_r$ si, $N_{rec} = N_{turn}$ $A_{pbT} = 1 - 0.6(OCC_r)$ si, $N_{rec} > N_{turn}$		0.994	0.988	0.999
Proporción de giros a la izquierda, 2 PLT		0.000	0.000	0.102
Proporción de giros a la izquierda empleando la fase protegida, PLTA		0.000	0.000	0.102
$f_{Lpb} = 1.0 - PLT(1 - A_{pbT})(1 - PLTA)$		1.000	1.000	1.000

Notas

1. Si no existen giros a la izquierda opuestos, entonces $OCC_r = OCC_{pedu} = OCC$
2. Refiérase a la hoja de Ajuste de Volumen.

Nota: HCM 2010

4. Factor de ajuste de peatones y bicicletas para giros protegidos a la derecha en la intersección

Tabla 74. Ajuste de peatones y bicicletas para giros protegidos a la derecha en la intersección 3.

Información General		N - S	S - N	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello - Av. Vía de Evitamiento			
Día	Lunes			
Hora	1:30 a 2:30 pm			
Longitud de ciclo, C (s)		90	90	90
Tiempo de verde efectivo para peatones, gp (s)		50	30	30
Volumen peatonal, Vped (p/h)		5	10	7
Volumen de bicicletas, Vbic (bicicletas/h)		3	15	6
Vpedg = Vped (C/gp)		9	30	21
OCCpedg = Vpedg / 2000 si, (Vpedg ≤ 1 000) OCCpedg = 0.4 + Vpedg / 10000 si, (1000 < Vpedg ≤ 5000)		0.005	0.015	0.011
Verde efectivo, g (s)		50	30	30
Vbicg = Vbic (C/g)		5	45	18
OCCbicg = 0.02 + Vbicg/2700		0.022	0.037	0.027
OCCr = OCCpedg + OCCbicg - (OCCpedg)(OCCbicg)		0.026	0.051	0.037
Número de carriles de recepción, Nrec		2	2	2
Número de carriles de giro, Ntum		2	2	2
ApbT = 1 - OCCr si, Nrec = Ntum ; ApbT = 1 - 0.6(OCCr) si, Nrec > Ntum		0.974	0.949	0.998
Proporción de giros a la derecha, PRT		0.002	0.224	0.898
Proporción de giros a la derecha empleando la fase protegida, PRTA		0.002	0.224	0.898
fRpb = 1.0 - PRT(1 - ApbT)(1 - PRTA)		1.000	0.991	1.000

Notas

2. Refiérase a la hoja de Ajuste de Volumen.

3. Si Vbic = 0 entonces Vbicg = 0, OCCbicg = 0, y OCCr = OCCpedg.

Nota: HCM 2010

5. Módulo de ajuste de la tasa de flujo de saturación de la intersección

Tabla 75. Módulo de ajuste de la tasa de flujo de saturación de la intersección 3

Información General		N - S	S - N	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello - Av. Vía de Evitamiento			
Día	Lunes			
Hora	1:30 a 2:30 pm			
Tasa de Flujo de Saturación				
Flujo de Saturación Ideal, s_o (veh/h/carril)		1900	1900	1900
Número de carriles, N		2	2	2
Ancho de carril, W		3.7	4.15	3.75
Factor de ajuste por ancho de carril, f_w		1.01	1.06	1.02
Volumen de vehículos pesados, HV		92	45	24
Porcentaje de vehículos pesados, $\%HV = 100 \cdot HV/N$		7.72	3.76	3.29
Equivalente en vehículos livianos, $E_t = 2.0 \text{ pc}/HV$		2	2	2
Factor de ajuste por vehículos pesados, f_{HV}		0.928	0.964	0.968
Pendiente en el grupo de carriles, $\%G$		0.65	-0.46	-1.88
Factor de ajuste por pendiente, f_g		0.997	1.002	1.009
Número de maniobras de estacionamiento por hora, N_{st}		XXXX	XXXX	XXXX
Factor de ajuste por estacionamiento, $f_p \geq 0.050$		1	1	1
Número de buses que se detienen por hora, $N_B \leq 2$		7	5	1
Factor de ajuste por bloqueo de buses, $f_{bb} \geq 0.050$		0.986	0.99	0.998
Tipo de área		CBD	CBD	CBD
Factor de ajuste por tipo de área, f_a		0.9	0.9	0.9
Tasa de flujo no ajustado para el grupo de carriles, s		1192.3	1195.32	730.21
Tasa de flujo no ajustado para el carril con mayor volumen del grupo de carriles, vg_1 (veh/h)		1189.720	1016.022	620.679
Factor de ajuste por utilización de carril, f_{LU}		0.50	0.59	0.59
Factor de ajuste por giro a la izquierda, f_{LT}		1.000	1.000	0.995
Factor de ajuste por giro a la derecha, $f_{RT} \geq 0.050$		1.000	0.966	0.865
Factor de ajuste por peat/bic para giros a la izquierda, f_{Lpb}		1.000	1.000	1.000
Factor de ajuste por peat/bic para giros a la derecha, f_{Rpb}		1.000	0.991	1.000
Flujo de Saturación Ajustado, s (veh/h) $S = S_o \cdot N \cdot f_w \cdot f_{HV} \cdot f_g \cdot f_p \cdot f_{bb} \cdot f_a \cdot f_{LU} \cdot f_{LT} \cdot f_{RT} \cdot f_{Lpb} \cdot f_{Rpb}$		1580	1955	1717

Nota: HCM 2010

6 Análisis de la capacidad

Tabla 76. Módulo de análisis de la capacidad de la intersección 3.

Información General		N - S	S - N	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello - Av. Vía de Evitamiento			
Día	Lunes			
Hora	1:30 a 2:30 pm			
Fase		1	2	4
Tipo de fase		prt	prt	prt
Tasa de flujo ajustado, v (veh/h)		1267	1270	776

Tasa de flujo de saturación, s (veh/h)	1580	1955	1717
Tiempo perdido, tL (s), $tL = I1 + Y - e$	7	7	7
Longitud de ciclo, C (s)	90	90	90
Tiempo de verde efectivo, g (s), $g = G + Y - tL$	50	30	30
Proporción de verde, g/C	0.56	0.33	0.333
Capacidad del grupo de carriles, $c = s(g/C)$, (veh/h)	878	652	572
Relación v/c , X	1.443	1.948	1.4
Relación de flujo, v/s	0.801	0.649	0.452
Grupo de carriles/fase crítico(a) ($\sqrt{}$)	$\sqrt{}$	$\sqrt{}$	$\sqrt{}$
Sumatoria de relaciones de flujo para grupos de carriles críticos, $Y_c = \sum$ (grupos de carriles críticos, v/s)	1.903		
Tiempo perdido total por ciclo, L (s)	21		
Grado de saturación crítico, $X_c = (Y_c)(C)/(C - L)$	2.48		

Nota: HCM 2010

7. Demoras y nivel de servicio

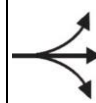
Tabla 77. Análisis de la demora uniforme y por cola inicial de la intersección 3.

Información General		N - S	S - N	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello - Av. Vía de Evitamiento			
Día	Lunes			
Hora	1:30 a 2:30 pm			
Parámetros de Entrada				
Cola inicial, Q_b (veh)		30	11	13
Proporción de vehículos que llegan en verde, P		0.371	0.333	0.444
Relación de pelotón (R_p)		0.667	1.000	1.333
Factor de ajuste suplementario, f_{PA} (Tabla)		0.930	1.000	1.150
Factor de ajuste por progresión/coordinación, PF		1.317	1.000	0.959
Duración de la demanda insatisfecha en T , t (h)		0.250	0.250	0.250
Caso de Análisis		CASO 5	CASO 5	CASO 5
Casos I y II ($Q_b = 0$) No aplica		No aplica	No aplica	No aplica
Caso III ($Q_b > 0$) ($X < 1.0$) ($t < T$)		No aplica	No aplica	No aplica
Caso IV ($Q_b > 0$) ($X < 1.0$) ($t = T$)		No aplica	No aplica	No aplica
Caso V ($Q_b > 0$) ($X > 1.0$) ($t = T$)		Aplica	Aplica	Aplica
Demora por cola inicial, d_3 (s): $d_3 = 3600Q_b/c$		123.01	60.76	81.77
Demora uniforme, d_1 (s): $d_1 = 0.5C(1 - g/C)$		20.00	30.00	30.00

Nota: HCM 2010

8. Módulo de análisis del nivel de servicio de la intersección.

Tabla 78. Módulo de análisis del nivel de servicio de la intersección 3.

Información General		N - S	S - N	O - E
Lugar	Av. Andrés Bello - Av. Vía de Evitamiento			
Día	Lunes			
Hora	1:30 a 2:30 pm			
Nivel de servicio				
Tasa de flujo ajustado, V (veh/h)		1267	1270	776
Capacidad del grupo de carriles, c = s(g/C), (veh/h)		878	652	572
Relación v/c, X		1.443	1.948	1.355
Calibración de la demora incremental, k		0.50	0.50	0.50
Factor de ajuste por entradas de la intersección controlada, f _Y		1.00	1.00	1.00
Duración del análisis, T (h)		0.25	0.25	0.25
Demora Incremental, d ₂ (s/veh) $d_2 = 900T[(X - 1)]$		205.64	432.30	171.10
Demora, $d = d_1(PF) + d_2 + d_3$ (s/veh)		354.99	523.06	281.63
Nivel de servicio NS por grupo de carriles		F	F	F
Demora por acceso, $dA = \sum(d \times v) / \sum v$ (s/veh)		354.99	523.06	281.63
Nivel de servicio NS por acceso		F	F	F
Tasa de flujo del acceso, VA (veh/h)		1267	1270	776
Demora de la Intersección, $dI = \sum(dA \times vA) / \sum vA$		402.24		
NS de la Intersección		F		

Nota: HCM 2010

Resumen

Tabla 79. Capacidad y grados de saturación de la intersección 3.

Capacidades y grados de saturación	N - S	S - N	O - E
Tasa de Flujo Ajustado en el Grupo de Carriles, Vp	1267	1270	776
Capacidad del grupo de carriles, c = s(g/C), (veh/h)	878	652	572
Relación v/c, X	1.443	1.948	1.355
Estado	Sobresaturado	Sobresaturado	Sobresaturado
Grado de saturación crítico, X _c = (Y _c)(C)/(C - L)	2.48		

Nota: HCM 2010

Tabla 80. Demoras y nivel de servicio de la intersección 3.

Demoras y niveles de servicio	N - S	S - N	O - E
Demora uniforme, d ₁ (s): $d_1 = 0.5C(1 - g/C)$	20.00	30.00	30.00
Demora Incremental, d ₂ (s/veh) $d_2 = 900T[(X - 1)]$	205.64	432.30	171.10
Demora por cola inicial, d ₃ (s): $d_3 = 3600Qb/c$	123.01	60.76	81.77
Factor de ajuste por progresión/coordiación, PF	1.32	1.00	0.96
Demora, $d = d_1(PF) + d_2 + d_3$ (s/veh)	354.99	523.06	281.63
Demora de la Intersección, $dI = \sum(dA \times vA) / \sum vA$	402.24		
NS de la Intersección	F		

Nota: HCM 2010

La intersección presenta 6.7 min de demora promedio por vehículo

Cálculo de niveles de servicio - Intersección 4

Intersección: Av. Vía de Evitamiento Sur - Jr. El Inca

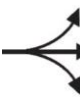
1. El factor de la hora de máxima demanda

Velocidad de flujo libre base

VHMD = 2735.78, $q_{\max}(15) = 778$, FHMD (15) = 0.879

2. Ajuste de volumen de la intersección

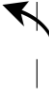
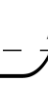
Tabla 81. Módulo de ajuste de volumen de la intersección 4.

Información General		N - S	S - N	O - E
Lugar	Av. Vía de Evitamiento Sur - Jr. El Inca			
Día	Lunes			
Hora	1:15 pm a 2:15 pm			
Ajuste de Volumen				
Volumen Izquierda, V_{lzq} (veh/h)		0	143	195
Volumen Directo, V_{dir} (veh/h)		1145	905	0
Volumen Derecha, V_{der} (veh/h)		160	0	188
Volumen, V (veh/h)		1305	1048	383
Factor de Hora Pico, PHF		0.879	0.879	0.879
Tasa de Flujo Ajustado Izquierda, $V_p = V_{lzq}/PHF$ (veh/h)		0	163	222
Tasa de Flujo Ajustado Directo, $V_p = V_{dir}/PHF$ (veh/h)		1302	1029	0
Tasa de Flujo Ajustado Derecha, $V_p = V_{der}/PHF$ (veh/h)		182	0	214
Tasa de Flujo Ajustado en el Grupo de Carriles, V_p (veh/h)		1484	1192	436
Proporción de Giros LT o RT (PLT o PRT)				
Proporción de Giros a la Izquierda (PLT)		0.000	0.137	0.509
Proporción de Giros a la Derecha (PRT)		0.123	0.000	0.491

Nota: HCM 2010

3. Factor de ajuste de peatones para giros protegidos a la izquierda en la intersección

Tabla 82. Ajuste de peatones para giros protegidos a la izquierda en la intersección 4

Información General		N - S	S - N	O - E
Lugar	Av. Vía de Evitamiento Sur - Jr. El Inca			
Día	Lunes			
Hora	1:15 pm a 2:15 pm			
Longitud de ciclo, C (s)		90	90	90
Tiempo de verde efectivo para peatones, g_p (s)		50	50	30
Volumen peatonal, V_{ped} (p/h)		10	7	10
$V_{pedg} = V_{ped} (C/g_p)$		18	13	30

$OCC_{pedg} = V_{pedg} / 2000$ si, $(V_{pedg} \leq 1\,000)$ $OCC_{pedg} = 0.4 + V_{pedg} / 10000$ si, $(1000 < V_{pedg} \leq 5000)$	0.009	0.006	0.015
Número de carriles de recepción, Nrec	2	2	2
Número de carriles de giro, Nturn	2	2	1
$ApbT = 1 - OCCr$ si, $Nrec = Nturn$ $ApbT = 1 - 0.6(OCCr)$ si, $Nrec > Nturn$	0.991	0.994	0.999
Proporción de giros a la izquierda, 2 PLT	0.000	0.137	0.509
Proporción de giros a la izquierda empleando la fase protegida, PLTA	0.000	0.137	0.509
$fLpb = 1.0 - PLT(1 - ApbT)(1 - PLTA)$	1.000	0.999	1.000

Notas

1. Si no existen giros a la izquierda opuestos, entonces $OCCr = OCC_{pedu} = OCC$
2. Refiérase a la hoja de Ajuste de Volumen.

Nota: HCM 2010

4. Factor de ajuste de peatones y bicicletas para giros protegidos a la derecha en la intersección.

Tabla 83. Ajuste de peatones y bicicletas para giros protegidos a la derecha en la intersección 4.

Información General		N - S	S - N	O - E
Lugar	Av. Via de Evitamiento Sur - Jr. El Inca			
Día	Lunes			
Hora	1:15 pm a 2:15 pm			
Longitud de ciclo, C (s)		90	90	90
Tiempo de verde efectivo para peatones, gp (s)		50	50	30
Volumen peatonal, Vped (p/h)		7	10	13
Volumen de bicicletas, 3 Vbic (bicicletas/h)		11	7	4
$V_{pedg} = V_{ped} (C/gp)$		13	18	39
$OCC_{pedg} = V_{pedg} / 2000$ si, $(V_{pedg} \leq 1\,000)$ $OCC_{pedg} = 0.4 + V_{pedg} / 10000$ si, $(1000 < V_{pedg} \leq 5000)$		0.006	0.009	0.020
Verde efectivo, g (s)		50	50	30
$V_{bicg} = V_{bic} (C/g)$		20	13	12
$OCC_{bicg} = 0.02 + V_{bicg}/2700$		0.027	0.025	0.024
$OCCr = OCC_{pedg} + OCC_{bicg} - (OCC_{pedg})(OCC_{bicg})$		0.033	0.033	0.043
Número de carriles de recepción, Nrec		2	2	2
Número de carriles de giro, Nturn		2	2	1

$ApbT = 1 - OCCr$ si, $Nrec = Ntum$; $ApbT = 1 - 0.6(OCCr)$ si, $Nrec > Ntum$	0.967	0.967	0.997
Proporción de giros a la derecha, 2 PRT	0.123	0.000	0.491
Proporción de giros a la derecha empleando la fase protegida, PRTA	0.123	0.000	0.491
$fRpb = 1.0 - PRT(1 - ApbT)(1 - PRTA)$	0.996	1.000	0.999

Notas

2. Refiérase a la hoja de Ajuste de Volumen.

3. Si $Vbic = 0$ entonces $Vbicg = 0$, $OCCbicg = 0$, y $OCCr = OCCpedg$.

Nota: HCM 2010

5. Módulo de ajuste de la tasa de flujo de saturación de la intersección

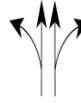
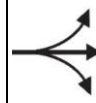
Tabla 84. Módulo de ajuste de la tasa de flujo de saturación de la intersección 4.

Información General		N - S	S - N	O - E
Lugar	Av. Vía de Evitamiento Sur - Jr. El Inca			
Día	Lunes			
Hora	1:15 pm a 2:15 pm			
Tasa de Flujo de Saturación				
Flujo de Saturación Ideal, s_o (veh/h/carril)		1900	1900	1900
Número de carriles, N		2	2	1
Ancho de carril, W		4	3.35	3.6
Factor de ajuste por ancho de carril, f_w		1.04	0.97	1.00
Volumen de vehículos pesados, HV		63	31	5
Porcentaje de vehículos pesados, $\%HV = 100 \cdot HV/N$		4.83	2.96	1.31
Equivalente en vehículos livianos, $Et = 2.0 \text{ pc}/HV$		2	2	2
Factor de ajuste por vehículos pesados, f_{HV}		0.954	0.971	0.987
Pendiente en el grupo de carriles, $\%G$		0.71	-0.56	-0.86
Factor de ajuste por pendiente, f_g		0.996	1.003	1.004
Número de maniobras de estacionamiento por hora, N_{18}		XXXX	XXXX	XXXX
Factor de ajuste por estacionamiento, $f_p \geq 0.050$		1	1	1
Número de buses que se detienen por hora, $NB \leq 2$		8	6	4
Factor de ajuste por bloqueo de buses, $f_{bb} \geq 0.050$		0.984	0.988	0.984
Tipo de área		CBD	CBD	CBD
Factor de ajuste por tipo de área, f_a		0.9	0.9	0.9
Tasa de flujo no ajustado para el grupo de carriles, s		1304.72	1048	383.06
Tasa de flujo no ajustado para el carril con mayor volumen del grupo de carriles, vg_1 (veh/h)		1109.012	890.800	229.836
Factor de ajuste por utilización de carril, f_{LU}		0.59	0.59	1.67
Factor de ajuste por giro a la izquierda, f_{LT}		1.000	0.993	0.975
Factor de ajuste por giro a la derecha, $f_{RT} \geq 0.050$		0.982	1.000	0.926
Factor de ajuste por peat/bic para giros a la izquierda, f_{Lpb}		1.000	0.999	1.000
Factor de ajuste por peat/bic para giros a la derecha, f_{Rpb}		0.996	1.000	0.999
Flujo de Saturación Ajustado, s (veh/h) $S = S_o * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_{LT} * f_{RT} * f_{Lpb} * f_{Rpb}$		1922	1868	2509

Nota: HCM 2010

6. Análisis de la capacidad

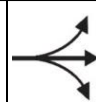
Tabla 85. Módulo de análisis de la capacidad de la intersección 4.

Información General		N - S	S - N	O - E
Lugar	Av. Vía de Evitamiento Sur - Jr. El Inca			
Día	Lunes			
Hora	1:15 pm a 2:15 pm			
Fase		1	2	4
Tipo de fase		prt	prt	prt
Tasa de flujo ajustado, v (veh/h)		1484	1192	436
Tasa de flujo de saturación, s (veh/h)		1922	1868	2509
Tiempo perdido, tL (s), $tL = I1 + Y - e$		5	5	5
Longitud de ciclo, C (s)		90	90	90
Tiempo de verde efectivo, g (s), $g = G + Y - tL$		50	50	30
Proporción de verde, g/C		0.56	0.56	0.333
Capacidad del grupo de carriles, c = s(g/C), (veh/h)		1068	1038	836
Relación v/c, X		1.390	1.149	0.521
Relación de flujo, v/s		0.772	0.638	0.174
Grupo de carriles/fase crítico(a) ($\sqrt{}$)		$\sqrt{}$	$\sqrt{}$	$\sqrt{}$
Sumatoria de relaciones de flujo para grupos de carriles críticos, $Yc = \Sigma$ (grupos de carriles críticos, v/s)		1.584		
Tiempo perdido total por ciclo, L (s)		15		
Grado de saturación crítico, $Xc = (Yc)(C)/(C - L)$		1.90		

Nota: HCM 2010

7. Demoras y nivel de servicio

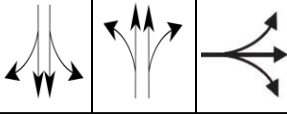
Tabla 86. Análisis de la demora uniforme y por cola inicial de la intersección 4.

Información General		N - S	S - N	O - E
Lugar	Av. Vía de Evitamiento Sur - Jr. El Inca			
Día	Lunes			
Hora	1:15 pm a 2:15 pm			
Parámetros de Entrada				
Cola inicial, Qb (veh)		42	30	12
Proporción de vehículos que llegan en verde, P		0.556	0.556	0.444
Relación de pelotón (Rp)		1.000	1.000	1.333
Factor de ajuste suplementario, fPA (Tabla)		1.000	1.000	1.150
Factor de ajuste por progresión/coordinación, PF=		1.000	1.000	0.959
Duración de la demanda insatisfecha en T, t (h)		0.250	0.250	0.030
Caso de Análisis		CASO 5	CASO 5	CASO 3
Casos I y II (Qb = 0) No aplica		No aplica	No aplica	No aplica
Caso III (Qb > 0) (X < 1.0) (t < T)		No aplica	No aplica	Aplica
Caso IV (Qb > 0) (X < 1.0) (t = T)		No aplica	No aplica	No aplica
Caso V (Qb > 0) (X > 1.0) (t = T)		Aplica	Aplica	No aplica
Demora por cola inicial, d3 (s): $d3 = 3600Qb/c$		141.59	104.07	3.09
Demora uniforme, d1 (s): $d1 = 0.5C(1 - g/C)$		20.00	20.00	27.80

Nota: HCM 2010

8. Módulo de análisis del nivel de servicio de la intersección

Tabla 87. Módulo de análisis del nivel de servicio de la intersección 4.

Información General		N - S	S - N	O - E
Lugar	Av. Vía de Evitamiento Sur - Jr. El Inca			
Día	Lunes			
Hora	1:15 pm a 2:15 pm			
Nivel de servicio				
Tasa de flujo ajustado, V (veh/h)		1484	1192	436
Capacidad del grupo de carriles, c = s(g/C), (veh/h)		1068	1038	836
Relación v/c, X		1.390	1.149	0.521
Calibración de la demora incremental, k		0.50	0.50	0.50
Factor de ajuste por entradas de la intersección co		1.00	1.00	1.00
Duración del análisis, T (h)		0.25	0.25	0.25
Demora Incremental, d2 (s/veh) $d2 = 900T[(X - 1)]$		181.23	78.37	2.32
Demora, $d = d1(PF) + d2 + d3$ (s/veh)		342.82	202.44	32.05
Nivel de servicio NS por grupo de carriles		F	F	C
Demora por acceso, $dA = \sum (d \times v) / \sum v$ (s/veh)		342.82	202.44	32.05
Nivel de servicio NS por acceso		F	F	C
Tasa de flujo del acceso, VA (veh/h)		1484	1192	436
Demora de la Intersección, $dI = \sum (dA \times vA) / \sum vA$		245.53		
NS de la Intersección		F		

Nota: HCM 2010

Resumen

Tabla 88. Capacidad y grados de saturación de la intersección 4.

Capacidades y grados de saturación	N - S	S - N	O - E
Tasa de Flujo Ajustado en el Grupo de Carriles, Vp	1484	1192	436
Capacidad del grupo de carriles, c = s(g/C), (veh/h)	1068	1038	836
Relación v/c, X	1.390	1.149	0.521
Estado	Sobresatu	Sobresatu	No Saturado
Grado de saturación crítico, $Xc = (Yc)(C)/(C - L)$	1.90		

Nota: HCM 2010

Tabla 89. Demoras y nivel de servicio de la intersección 4.

Demoras y niveles de servicio	N - S	S - N	O - E
Demora uniforme, d1 (s): $d1 = 0.5C(1 - g/C)$	20.00	20.00	27.80
Demora Incremental, d2 (s/veh) $d2 = 900T[(X - 1)]$	181.23	78.37	2.32
Demora por cola inicial, d3 (s): $d3 = 3600Qb/c$	141.59	104.07	3.09
Factor de ajuste por progresión/coordiación, PF=	1.00	1.00	0.96
Demora, $d = d1(PF) + d2 + d3$ (s/veh)	342.82	202.44	32.05
Demora de la Intersección, $dI = \sum (dA \times vA) / \sum vA$	245.53		
NS de la Intersección	F		

Nota: HCM 2010

La intersección presenta 4.1 min de demora promedio por vehículo.

Evaluación, análisis y simulación del escenario N° 02 – Intersección 2

Figura 66. Planta de intersección 2, sentido de circulación.



Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 67. Ajuste de volúmenes de intersección 2, Av. Andrés Zevallos – Av. Pról. Ayacucho.

Synchro 8 - D:\JULIO\...APTOP CHAMBA\0-simulacion Synchro 8 tesis 2 real plaza\0-simulacion Synchro 8 tesis 2da.syn												
File Edit Transfer Options Optimize Help												
0 hr 0 min 0 sec / 0 hr 0 min 0 sec												
2 Av. Andrés Z S / Av. Andrés Z N & Prl. Ayacucho O / Prl. Ayacucho E												
x [Icons]												
VOLUME SETTINGS	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	4			4			4			4		
Traffic Volume (vph)	274	12	357	3	19	83	510	636	10	6	777	574
Conflicting Peds. (#/hr)	12	—	9	11	—	10	12	—	11	14	—	15
Conflicting Bicycles (#/hr)	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0
Peak Hour Factor	0.80	0.80	0.80	0.67	0.67	0.67	0.80	0.80	0.80	0.79	0.79	0.79
Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Heavy Vehicles (%)	2	2	2	0	0	0	7	7	7	3	3	3
Bus Blockages (#/hr)	1	1	1	0	0	0	7	7	7	8	8	8
Adj. Parking Lane?	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Parking Maneuvers (#/hr)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Traffic from mid-block (%)	—	0	—	—	0	—	—	0	—	—	0	—
Link OD Volumes	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Adjusted Flow (vph)	342	15	446	4	28	124	638	795	12	8	984	727
Traffic in shared lane (%)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Lane Group Flow (vph)	0	803	0	0	156	0	0	1445	0	0	1719	0

Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 68. Ajuste de carriles de intersección 2, Av. Andrés Zevallos – Av. Pról. Ayacucho.

Synchro 8 - D:\JULIO\...APTOP CHAMBA\0-simulacion Synchro 8 tesis 2 real plaza\0-simulacion Synchro 8 tesis 2da.syn												
File Edit Transfer Options Optimize Help												
0 hr 0 min 0 sec / 0 hr 0 min 0 sec												
2 / Av. Andrés Z S / Av. Andrés Z N & Prl. Ayacucho 0 / Prl. Ayacucho												
x [Icons]												
LANE SETTINGS	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	EBT			WBT			NBT			SBT		
Traffic Volume (vph)	274	12	357	3	19	83	510	636	10	6	777	574
Street Name	Prl. Ayacucho O			Prl. Ayacucho E			Av. Andrés Z S			Av. Andrés Z N		
Link Distance (m)	155.7			155.4			104.2			110.5		
Links Speed (km/h)	30			30			30			30		
Set Arterial Name and Speed	EB			WB			NB			SB		
Travel Time (s)	18.7			18.6			12.5			13.3		
Ideal Satd. Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lane Width (m)	3.7	3.7	3.7	4.4	4.4	4.4	4.8	4.8	4.8	3.9	3.9	3.9
Grade (%)	-2			-2			0			-1		
Area Type CBD	☐			☐			☐			☐		
Storage Length (m)	0.0	—	0.0	0.0	—	0.0	0.0	—	0.0	0.0	—	0.0
Storage Lanes (#)	—			—			—			—		
Right Turn Channelized	—			None			—			None		
Curb Radius (m)	—			—			—			—		
Add Lanes (#)	—			—			—			—		
Lane Utilization Factor	0.95	0.95	0.95	1.00	1.00	1.00	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Right Turn Factor	—			—			—			—		
Left Turn Factor (prot)	—			—			—			—		
Saturated Flow Rate (prot)	—			—			—			—		
Left Turn Factor (perm)	—			—			—			—		
Right Ped Bike Factor	—			—			—			—		
Left Ped Factor	—			—			—			—		
Saturated Flow Rate (perm)	—			—			—			—		
Right Turn on Red?	—			—			—			—		
Saturated Flow Rate (RTOR)	—			—			—			—		
Link Is Hidden	—			—			—			—		
Hide Name in Node Title	—			—			—			—		

Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 69. Ajuste de tiempos de semáforos de intersección 2, Av. Andrés Zevallos – Av. Pról. Ayacucho.

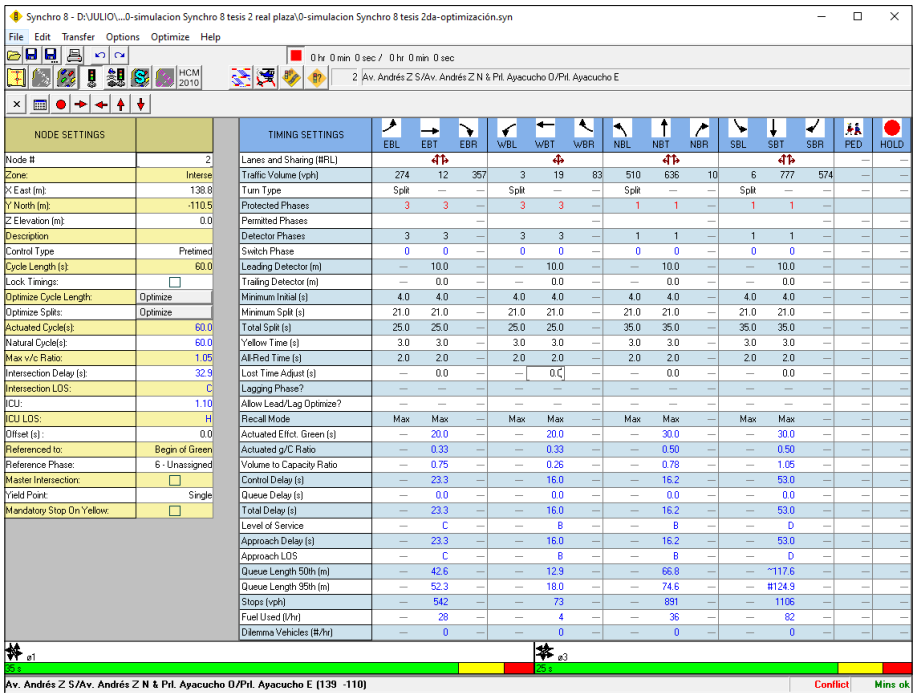
Synchro 8 - D:\JULIO\LAPTOP CHAMBA\0-simulacion Synchro 8 tesis 2 real plaza\0-simulacion Synchro 8 tesis 2da.syn												
File Edit Transfer Options Optimize Help												
0 hr 0 min 0 sec / 0 hr 0 min 0 sec												
2 Av. Andrés Z S/Av. Andrés Z N & Prl. Ayacucho 0 / Prl. Ayacucho E												
<												

Figura 70. Simulación vehicular de la intersección 2, Av. Andrés Zevallos – Av. Pról. Ayacucho.



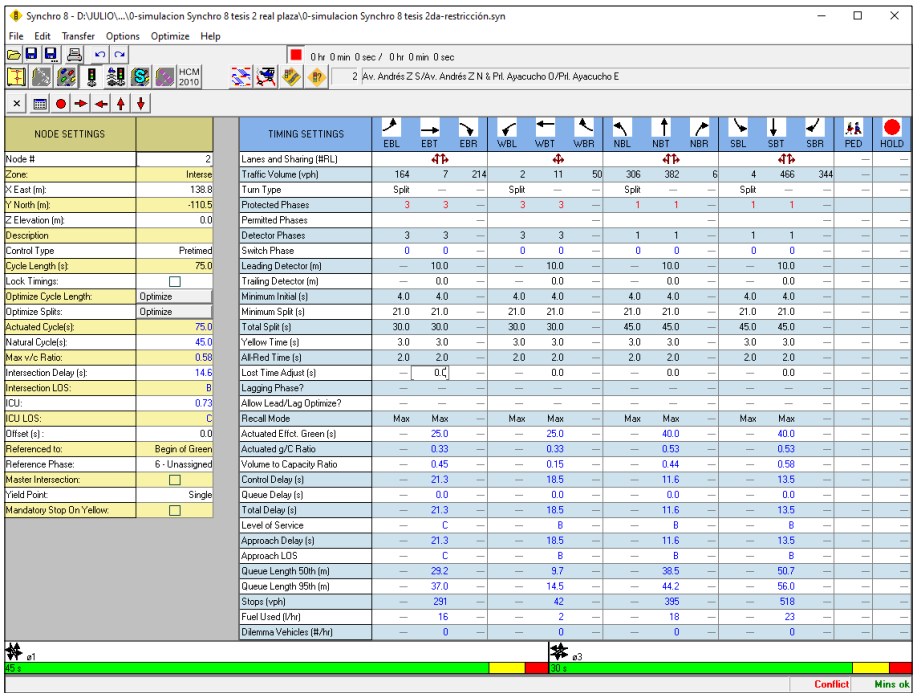
Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 71. Optimización de tiempos de semáforos de la intersección 2, Av. Andrés Zevallos – Av. Pról. Ayacucho.



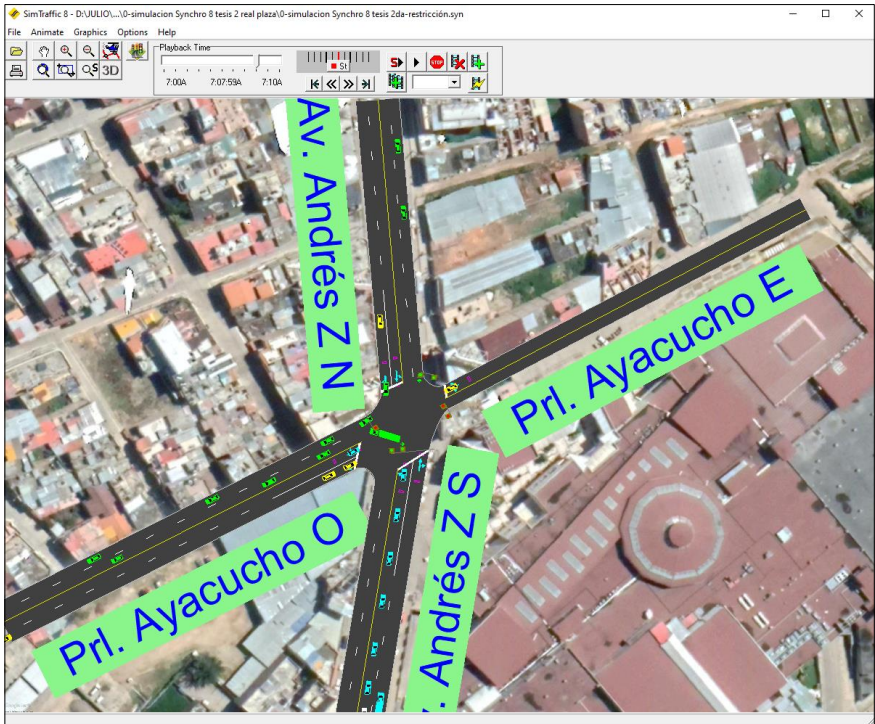
Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 72. Restricción vehicular y tiempos de semáforos de la intersección 2, Av. Andrés Zevallos – Av. Pról. Ayacucho.



Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 73. Simulación vehicular de la intersección 2, Av. Andrés Zevallos – Av. Pról. Ayacucho.



Nota: Software Synchro V8.0.

Evaluación, análisis y simulación del escenario N° 02 – Intersección 3

Figura 74. Planta de intersección 3, sentido de circulación.



Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 75. Ajuste de volúmenes de la intersección 3, Av. Vía de Evitamiento Sur - Av.

Andrés Zevallos – Jr. Carlos Malpica.

Synchro 8 - D:\JULIO\...HAMBAL\0-simulacion Synchro 8 tesis 3 cruce vias\0-simu						
File Edit Transfer Options Optimize Help						
0 hr 0 min 0 s						
2 A						
VOLUME SETTINGS						
	NBT	NBR	SBL	SBT	SWL	SWR
Lanes and Sharing (#RL)	↑	↑		↑↑	↑	↑
Traffic Volume (vph)	268	928	75	655	1190	3
Conflicting Peds. (#/hr)	—	5	8	—	8	7
Conflicting Bicycles (#/hr)	—	0	—	—	—	0
Peak Hour Factor	0.92	0.92	0.93	0.93	0.73	0.73
Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Heavy Vehicles (%)	3	3	4	4	8	8
Bus Blockages (#/hr)	1	1	5	5	7	7
Adj. Parking Lane?	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Parking Maneuvers (#/hr)	—	—	—	—	—	—
Traffic from mid-block (%)	0	—	—	0	0	—
Link OD Volumes	—	—	—	—	—	—
Adjusted Flow (vph)	291	1009	81	704	1630	4
Traffic in shared lane (%)	—	—	—	—	—	—
Lane Group Flow (vph)	291	1009	0	785	1630	4

Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 76. Ajuste de carriles de la intersección 3, Av. Vía de Evitamiento Sur - Av. Andrés Zevallos – Jr. Carlos Malpica.

Synchro 8 - D:\JULIO\...HAMB\0-simulacion Synchro 8 tesis 3 cruce vias\0-simu						
File Edit Transfer Options Optimize Help						
LANE SETTINGS NBT NBR SBL SBT SWL SWR						
Lanes and Sharing (#RL)	↑		↑↑		↑↑	
Traffic Volume (vph)	268	928	75	655	1190	3
Street Name	Av. Vía Evitam S		Jr. Carlos M		Av. Andrés Z	
Link Distance (m)	188.4	—	—	226.9	241.0	—
Links Speed (km/h)	45	—	—	30	30	—
Set Arterial Name and Speed	NB	—	—	SB	SW	—
Travel Time (s)	15.1	—	—	27.2	28.9	—
Ideal Satd. Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lane Width (m)	4.2	4.2	3.8	3.8	3.7	3.7
Grade (%)	0	—	—	-2	1	—
Area Type CBD	☐	—	—	☐	☐	—
Storage Length (m)	—	0.0	0.0	—	0.0	0.0
Storage Lanes (#)	—	—	—	—	—	—
Right Turn Channelized	—	Signal	—	None	—	None
Curb Radius (m)	—	9.0	—	—	—	—
Add Lanes (#)	—	0	—	—	—	—
Lane Utilization Factor	1.00	1.00	0.95	0.95	1.00	1.00
Right Turn Factor	1.000	0.850	—	1.000	1.000	0.850
Left Turn Factor (prot)	1.000	1.000	—	0.995	0.950	1.000
Saturated Flow Rate (prot)	1960	1666	—	3530	1634	1462
Left Turn Factor (perm)	1.000	1.000	—	0.995	0.950	1.000
Right Ped Bike Factor	1.000	0.987	—	1.000	1.000	0.976
Left Ped Factor	1.000	1.000	—	0.999	0.997	1.000
Saturated Flow Rate (perm)	1960	1643	—	3527	1629	1427
Right Turn on Red?	—	☐	—	—	—	☐
Saturated Flow Rate (RTOR)	0	0	—	0	0	0
Link Is Hidden	☐	—	—	☐	☐	—
Hide Name in Node Title	☐	—	—	☐	☐	—

Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 77. Ajuste de tiempos de semáforos de la intersección 3, Av. Vía de Evitamiento Sur - Av. Andrés Zevallos – Jr. Carlos Malpica.

Synchro 8 - D:\JULIO\...HAMB\0-simulacion Synchro 8 tesis 3 cruce vias\0-simulacion Synchro 8 tesis cruce vias.syn											
File Edit Transfer Options Optimize Help											
NODE SETTINGS 2 260.5 -208.9 0.0 Prelimed 94.0 ☐ Optimize Optimize 94.0 150.0 1.88 193.4 F 1.18											
TIMING SETTINGS NBT NBR SBL SBT SWL SWR PED HOLD											
Lanes and Sharing (#RL)	↑		↑↑		↑↑		↑↑		↑↑		—
Traffic Volume (vph)	268	928	75	655	1190	3	—	—	—	—	—
Turn Type	—	Free	Split	—	—	Perm	—	—	—	—	—
Protected Phases	2	—	2	2	1	—	—	—	—	—	—
Permitted Phases	—	Free	—	—	—	1	—	—	—	—	—
Detector Phases	2	None	2	2	1	1	—	—	—	—	—
Switch Phase	0	0	0	0	0	0	—	—	—	—	—
Leading Detector (m)	10.0	2.0	—	10.0	2.0	2.0	—	—	—	—	—
Trailing Detector (m)	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	—	—	—	—	—
Minimum Initial (s)	4.0	—	4.0	4.0	4.0	4.0	—	—	—	—	—
Minimum Split (s)	23.0	—	23.0	23.0	23.0	23.0	—	—	—	—	—
Total Split (s)	37.0	—	37.0	37.0	57.0	57.0	—	—	—	—	—
Yellow Time (s)	3.0	—	3.0	3.0	3.0	3.0	—	—	—	—	—
All-Red Time (s)	4.0	—	4.0	4.0	4.0	4.0	—	—	—	—	—
Lost Time Adjust (s)	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	—	—	—	—	—
Lagging Phase?	☒	—	☒	☒	☐	☐	—	—	—	—	—
Allow Lead/Lag Optimize?	☒	—	☒	☒	☒	☒	—	—	—	—	—

ICU LOS:	H	Recall Mode	Max	—	Max	Max	Max	Max	—	—
Offset (s):	0.0	Actuated Effct. Green (s)	30.0	94.0	—	30.0	50.0	50.0	—	—
Referenced to:	Begin of Green	Actuated g/C Ratio	0.32	1.00	—	0.32	0.53	0.53	—	—
Reference Phase:	2 - NBSB	Volume to Capacity Ratio	0.46	0.61	—	0.70	1.88	0.01	—	—
Master Intersection:	☐	Control Delay (s)	28.6	1.7	—	32.0	419.6	10.3	—	—
Yield Point:	Single	Queue Delay (s)	0.0	0.0	—	0.0	0.0	0.0	—	—
Mandatory Stop On Yellow:	☐	Total Delay (s)	28.6	1.7	—	32.0	419.6	10.3	—	—
		Level of Service	C	A	—	C	F	B	—	—
		Approach Delay (s)	7.7	—	—	32.0	418.6	—	—	—
		Approach LOS	A	—	—	C	F	—	—	—
		Queue Length 50th (m)	44.1	0.0	—	68.5	~478.4	0.3	—	—
		Queue Length 95th (m)	68.8	0.0	—	89.9	#422.4	1.6	—	—
		Stops (vph)	209	1	—	618	826	2	—	—
		Fuel Used (l/hr)	15	19	—	43	425	0	—	—
		Dilemma Vehicles (#/hr)	0	0	—	0	0	0	—	—

a1

a2

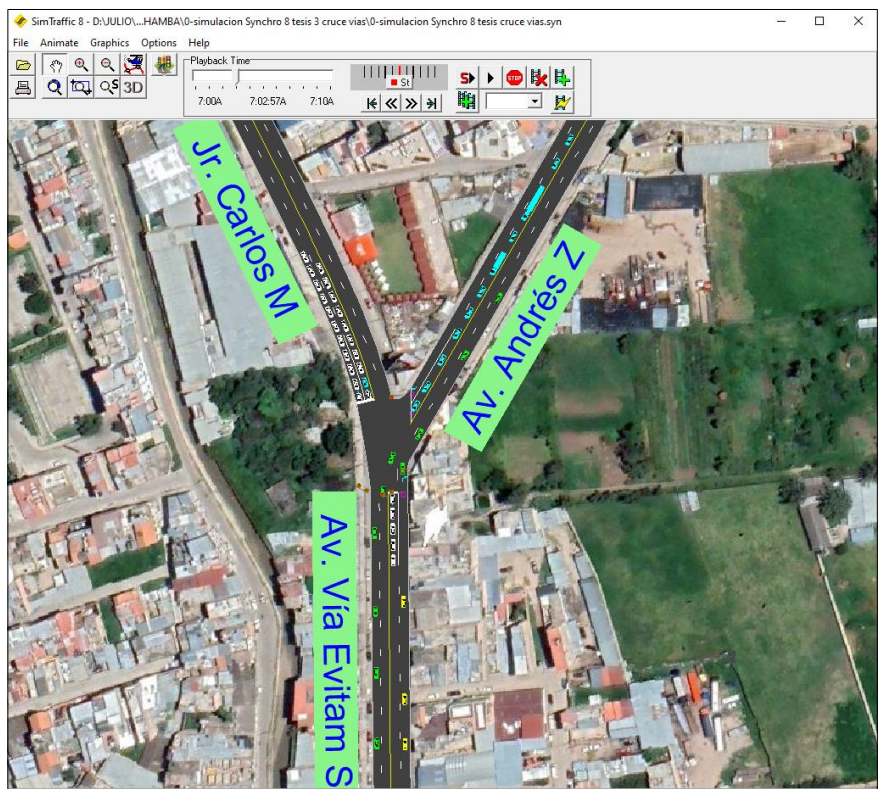
37 s

Conflict

Mins ok

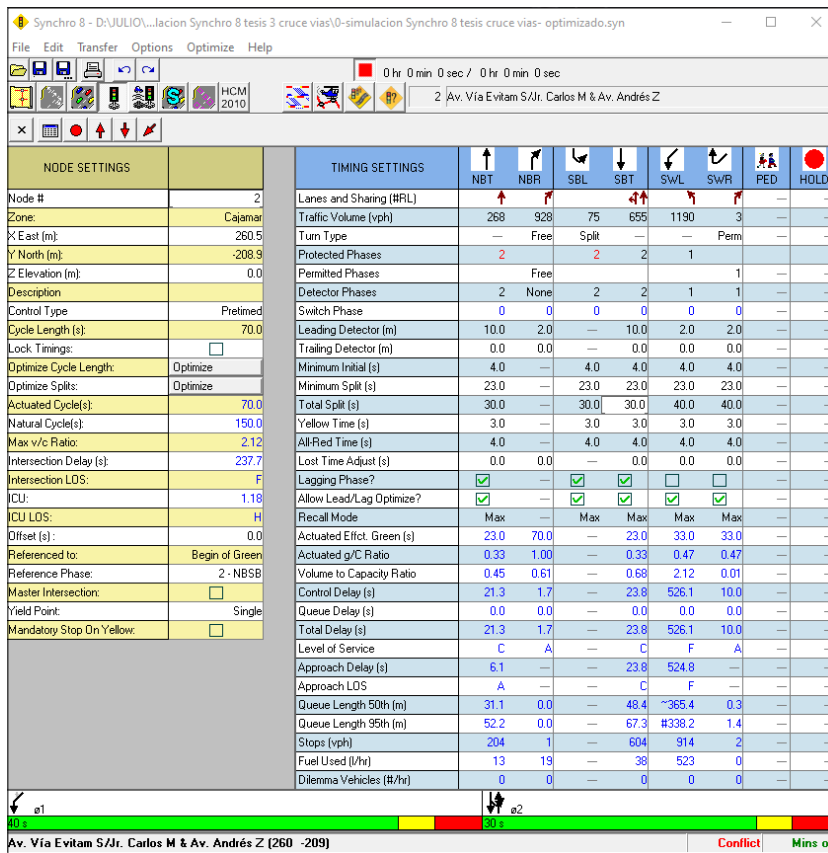
Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 78. Simulación vehicular de la intersección 3, Av. Vía de Evitamiento Sur - Av. Andrés Zevallos – Jr. Carlos Malpica.



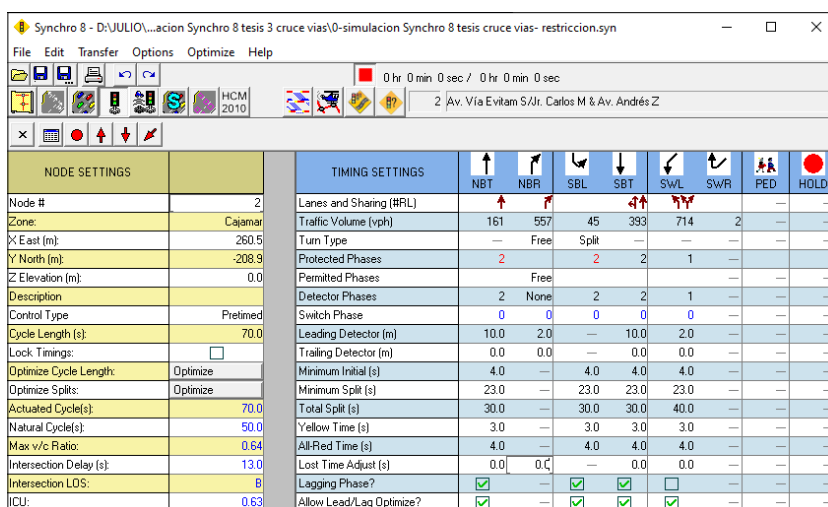
Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 79. Optimización de tiempos de semáforos de la intersección 3, Av. Vía de Evitamiento Sur - Av. Andrés Zevallos – Jr. Carlos Malpica.



Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 80. Restricción vehicular y tiempos de semáforos de la intersección 3, Av. Vía de Evitamiento Sur - Av. Andrés Zevallos – Jr. Carlos Malpica.

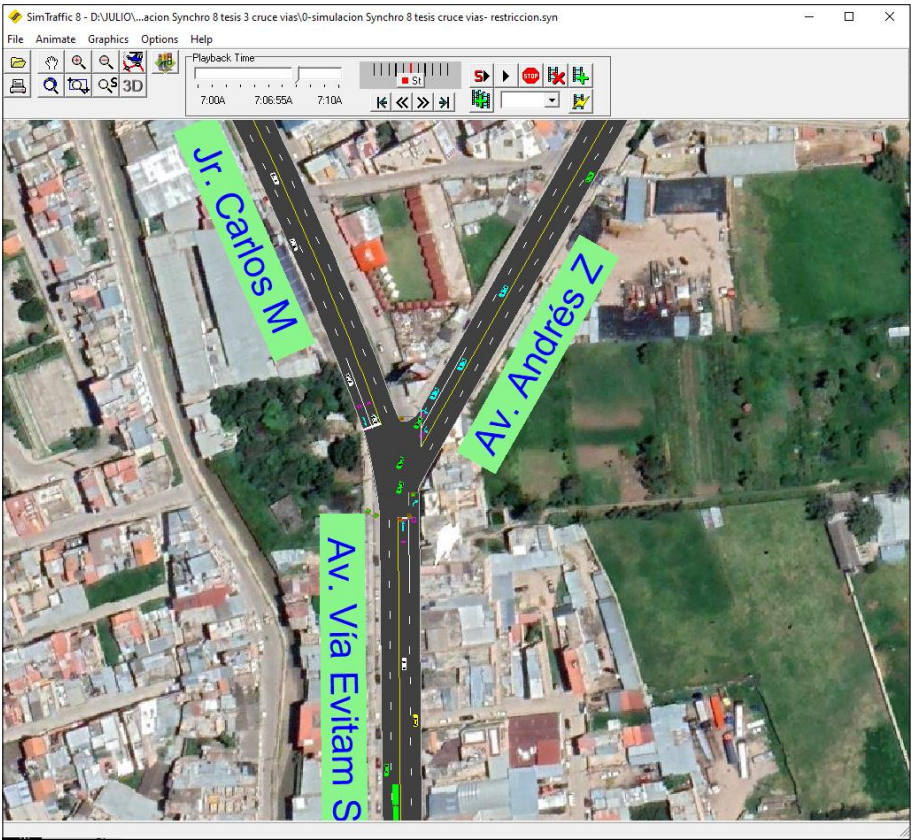


ICU LOS:	B	Recall Mode	Max	—	Max	Max	Max	—	—	—
Offset (s):	60.0	Actuated Effct. Green (s)	23.0	70.0	—	23.0	33.0	—	—	—
Referenced to:	Begin of Green	Actuated g/C Ratio	0.33	1.00	—	0.33	0.47	—	—	—
Reference Phase:	6 - Unassigned	Volume to Capacity Ratio	0.27	0.37	—	0.41	0.64	—	—	—
Master Intersection:	☐	Control Delay (s)	18.8	0.6	—	19.5	16.5	—	—	—
Yield Point:	Single	Queue Delay (s)	0.0	0.0	—	0.0	0.0	—	—	—
Mandatory Stop On Yellow:	☐	Total Delay (s)	18.8	0.6	—	19.5	16.5	—	—	—
		Level of Service	B	A	—	B	B	—	—	—
		Approach Delay (s)	4.7	—	—	19.5	16.5	—	—	—
		Approach LOS	A	—	—	B	B	—	—	—
		Queue Length 50th (m)	17.5	0.0	—	26.1	50.0	—	—	—
		Queue Length 95th (m)	32.0	0.0	—	38.4	50.4	—	—	—
		Stops (vph)	114	0	—	323	515	—	—	—
		Fuel Used (l/hr)	7	11	—	21	34	—	—	—
		Dilemma Vehicles (#/hr)	0	0	—	0	0	—	—	—

Sum of Startup Lost time less Extension into Yellow time (s). (-5 to +3 s)	Conflict	Mins ok
--	----------	---------

Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 81. Simulación vehicular de la intersección 3, Av. Vía de Evitamiento Sur - Av. Andrés Zevallos – Jr. Carlos Malpica.



Nota: Software Synchro V8.0.

Evaluación, análisis y simulación del escenario N° 02 – Intersección 4

Figura 82. Planta de intersección 4, sentido de circulación.



Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 83. Ajuste de volúmenes de intersección 4, Av. Vía de Evitamiento Sur – Jr. El Inca.

Synchro 8 - D:\JULIO\...PTOP CHAMBA\0-simulacion Synchro 8 tesis 4 Jr inca\0-s						
File Edit Transfer Options Optimize Help						
0 hr 0 min 0 s						
HCM 2010						
VOLUME SETTINGS						
	EBL	EBR	NBL	NBT	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	↖	↗	↖	↗	↖	↗
Traffic Volume (vph)	195	188	143	905	1145	160
Conflicting Peds. (#/hr)	10	13	7	—	—	7
Conflicting Bicycles (#/hr)	—	0	—	—	—	0
Peak Hour Factor	0.93	0.93	0.97	0.97	0.94	0.94
Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Heavy Vehicles (%)	1	1	3	3	5	5
Bus Blockages (#/hr)	4	4	6	6	8	8
Adj. Parking Lane?	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Parking Maneuvers (#/hr)	—	—	—	—	—	—
Traffic from mid-block (%)	0	—	—	0	0	—
Link OD Volumes	—	—	—	—	—	—
Adjusted Flow (vph)	210	202	147	933	1218	170
Traffic in shared lane (%)	—	—	—	—	—	—
Lane Group Flow (vph)	412	0	147	933	1218	170

Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 84. Ajuste de carriles de la intersección 4, Av. Vía de Evitamiento Sur – Jr. El Inca.

LANE SETTINGS						
	EBL	EBR	NBL	NBT	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)						
Traffic Volume (vph)	195	188	143	905	1145	160
Street Name	Jr. El Inca O		Av. Vía de Evit S		v. Vía de Evit N	
Link Distance (m)	225.2	—	—	118.7	151.6	—
Links Speed (km/h)	30	—	—	45	45	—
Set Arterial Name and Speed	EB	—	—	NB	SB	—
Travel Time (s)	27.0	—	—	9.5	12.1	—
Ideal Satd. Flow (vphpl)	1900	1900	1900	1900	1900	1900
Lane Width (m)	3.6	3.6	3.4	3.4	4.0	4.0
Grade (%)	-1	—	—	-1	1	—
Area Type CBD	☐	—	—	☐	☐	—
Storage Length (m)	0.0	0.0	0.0	—	—	0.0
Storage Lanes (#)	—	—	—	—	—	—
Right Turn Channelized	—	None	—	None	—	None
Curb Radius (m)	—	—	—	—	—	—
Add Lanes (#)	—	—	—	—	—	—
Lane Utilization Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Right Turn Factor	0.934	—	1.000	1.000	1.000	0.850
Left Turn Factor (prot)	0.975	—	0.950	1.000	1.000	1.000
Saturated Flow Rate (prot)	1666	—	1681	1769	1820	1547
Left Turn Factor (perm)	0.975	—	0.080	1.000	1.000	1.000
Right Ped Bike Factor	0.984	—	1.000	1.000	1.000	0.961
Left Ped Factor	0.991	—	1.000	1.000	1.000	1.000
Saturated Flow Rate (perm)	1652	—	142	1769	1820	1486
Right Turn on Red?	—	☐	—	—	—	☐
Saturated Flow Rate (RTOR)	0	—	0	0	0	0
Link Is Hidden	☐	—	—	☐	☐	—
Hide Name in Node Title	☐	—	—	☐	☐	—

Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 85. Ajuste de tiempos de semáforos de la intersección 4, Av. Vía de Evitamiento Sur – Jr. El Inca.

NODE SETTINGS		TIMING SETTINGS						
		EBL	EBR	NBL	NBT	SBT	SBR	PED
Node #	1							
Zone	Cajamar							
X East (m)	188.0							
Y North (m)	-151.5							
Z Elevation (m)	0.0							
Description								
Control Type	Pretimed							
Cycle Length (s)	90.0							
Lock Timings	☐							
Optimize Cycle Length	Optimize							
Optimize Splits	Optimize							
Actuated Cycle(s)	90.0							
Natural Cycle(s)	150.0							
Max v/c Ratio	1.86							
Intersection Delay (s)	94.1							
Intersection LOS	F							
ICU	1.04							
Lanes and Sharing (#RL)								
Traffic Volume (vph)		195	188	143	905	1145	160	—
Turn Type		—	—	Perm	—	—	Perm	—
Protected Phases		4	—	—	2	6	—	—
Permitted Phases		—	—	2	—	—	6	—
Detector Phases		4	—	2	2	6	6	—
Switch Phase		0	—	0	0	0	0	—
Leading Detector (m)		2.0	—	2.0	10.0	10.0	2.0	—
Trailing Detector (m)		0.0	—	0.0	0.0	0.0	0.0	—
Minimum Initial (s)		4.0	—	4.0	4.0	4.0	4.0	—
Minimum Split (s)		21.0	—	21.0	21.0	21.0	21.0	—
Total Split (s)		35.0	—	55.0	55.0	55.0	55.0	—
Yellow Time (s)		3.0	—	3.0	3.0	3.0	3.0	—
All-Red Time (s)		2.0	—	2.0	2.0	2.0	2.0	—
Lost Time Adjust (s)		0.0	—	0.0	0.0	0.0	0.0	—
Lagging Phase?		—	—	—	—	—	—	—
Allow Lead/Leg Optimize?		—	—	—	—	—	—	—

ICU LOS:	G	Recall Mode	Max	—	Max	Max	Max	Max	—	—
Offset (s):	0.0	Actuated Effct. Green (s)	30.0	—	50.0	50.0	50.0	50.0	—	—
Referenced to:	Begin of Green	Actuated g/C Ratio	0.33	—	0.56	0.56	0.56	0.56	—	—
Reference Phase:	2 - NB TL	Volume to Capacity Ratio	0.74	—	1.86	0.95	1.20	0.21	—	—
Master Intersection:	☐	Control Delay (s)	36.3	—	452.9	39.3	124.1	10.9	—	—
Yield Point:	Single	Queue Delay (s)	0.0	—	0.0	0.0	0.0	0.0	—	—
Mandatory Stop On Yellow:	☐	Total Delay (s)	36.3	—	452.9	39.3	124.1	10.9	—	—
		Level of Service	D	—	F	D	F	B	—	—
		Approach Delay (s)	36.3	—	—	95.6	110.2	—	—	—
		Approach LOS	D	—	—	F	F	—	—	—
		Queue Length 50th (m)	65.8	—	~27.2	149.2	~272.5	14.5	—	—
		Queue Length 95th (m)	#103.2	—	#65.9	#242.7	#350.9	25.5	—	—
		Stops (vph)	329	—	95	736	914	76	—	—
		Fuel Used (l/hr)	24	—	53	51	143	5	—	—
		Dilemma Vehicles (#/hr)	0	—	0	0	0	0	—	—

Enter Permitted Phase Number(s) for movement	v/c > 1	Mins ok
--	---------	---------

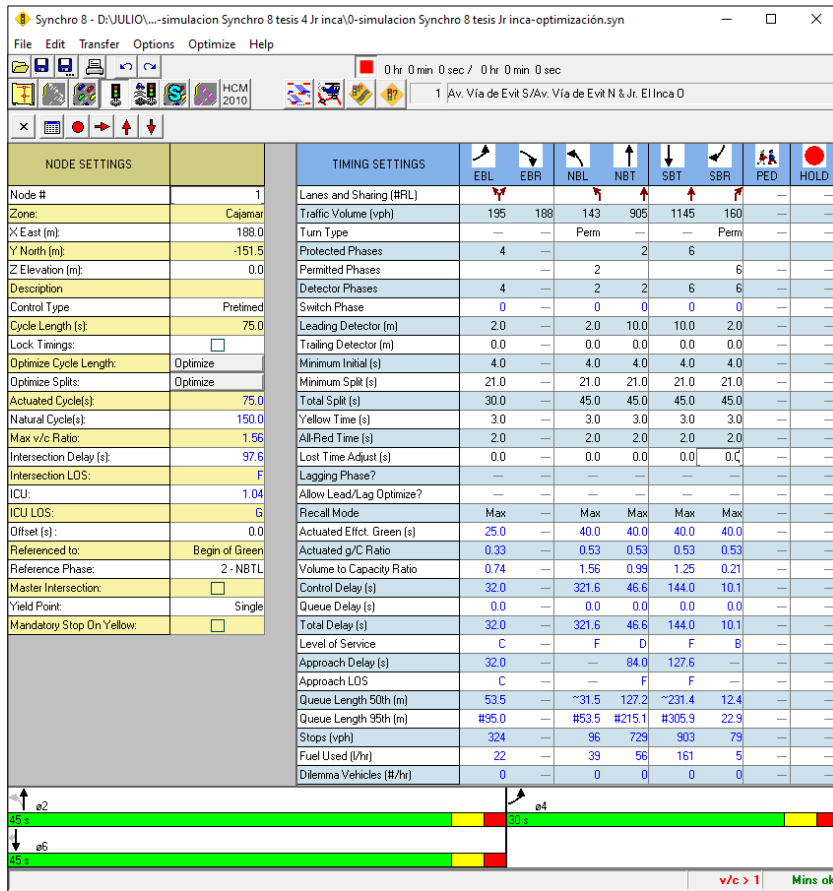
Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 86. Simulación vehicular de la intersección 4, Av. Vía de Evitamiento Sur – Jr. El Inca.



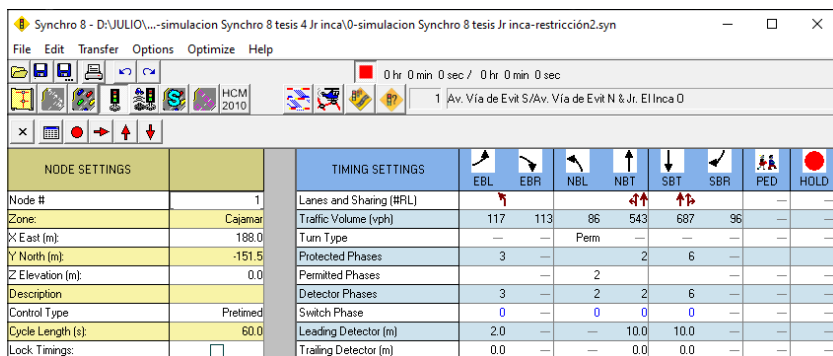
Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 87. Optimización de tiempos de semáforos de la intersección 4, Av. Vía de Evitamiento Sur – Jr. El Inca.



Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 88. Restricción vehicular y tiempos de semáforos de la intersección 4, Av. Vía de Evitamiento Sur – Jr. El Inca.

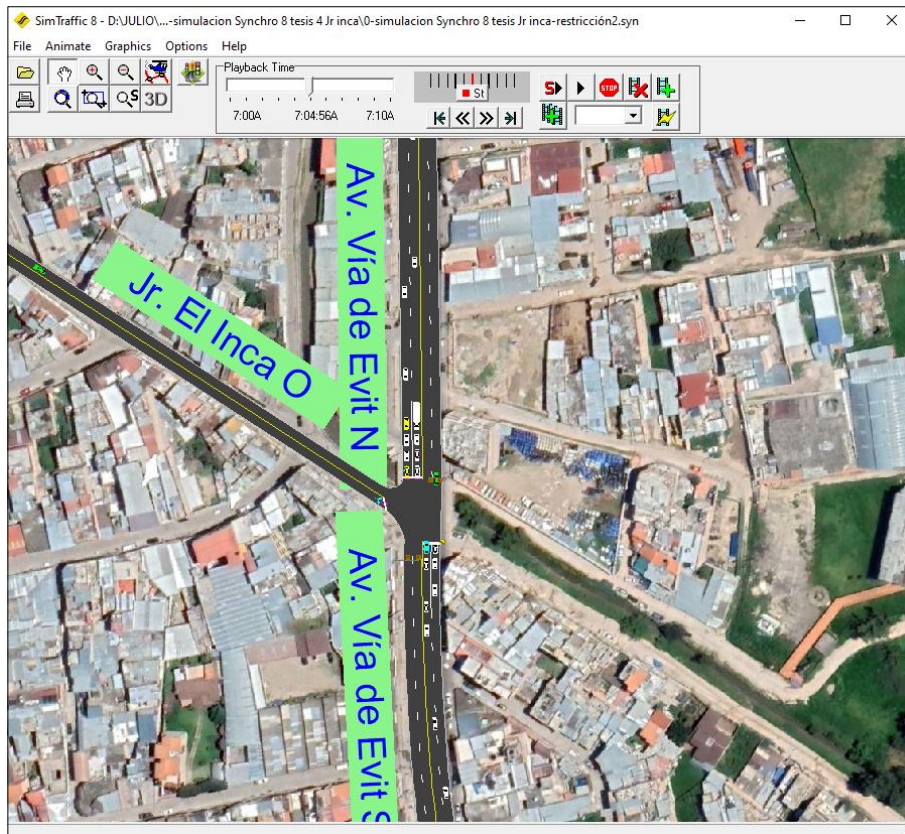


Actuated Cycle(s):	60.0	Total Split (s)	25.0	—	35.0	35.0	35.0	—	—	—
Natural Cycle(s):	45.0	Yellow Time (s)	3.5	—	3.0	3.0	3.0	—	—	—
Max v/c Ratio:	0.51	All-Red Time (s)	0.5	—	2.0	2.0	2.0	—	—	—
Intersection Delay (s):	11.4	Lost Time Adjust (s)	0.0	0.0	—	0.0	0.0	—	—	—
Intersection LOS:	B	Lagging Phase?	—	—	—	—	—	—	—	—
ICU:	0.65	Allow Lead/Lag Optimize?	—	—	—	—	—	—	—	—
ICU LOS:	C	Recall Mode	Max	—	Max	Max	Max	—	—	—
Offset (s):	0.0	Actuated Effct. Green (s)	21.0	—	—	30.0	30.0	—	—	—
Referenced to:	Begin of Green	Actuated g/C Ratio	0.35	—	—	0.50	0.50	—	—	—
Reference Phase:	2 - NB TL	Volume to Capacity Ratio	0.39	—	—	0.51	0.48	—	—	—
Master Intersection:	☐	Control Delay (s)	11.3	—	—	11.9	11.1	—	—	—
Yield Point:	Single	Queue Delay (s)	0.0	—	—	0.0	0.0	—	—	—
Mandatory Stop On Yellow:	☐	Total Delay (s)	11.3	—	—	11.9	11.1	—	—	—
		Level of Service	B	—	—	B	B	—	—	—
		Approach Delay (s)	11.3	—	—	11.9	11.1	—	—	—
		Approach LOS	B	—	—	B	B	—	—	—
		Queue Length 50th (m)	12.9	—	—	24.4	30.8	—	—	—
		Queue Length 95th (m)	28.9	—	—	37.5	44.3	—	—	—
		Stops (vph)	107	—	—	396	478	—	—	—
		Fuel Used (l/hr)	9	—	—	20	27	—	—	—
		Dilemma Vehicles (#/hr)	0	—	—	0	0	—	—	—

a2	35 s	a3	25 s	a6	35 s
Sum of Startup Lost time less Extension into Yellow time (s). [-5 to +3 s]					
v/c ok Mins ok					

Nota: Software Synchro V8.0.

Figura 89. Simulación vehicular de la intersección 4, Av. Vía de Evitamiento Sur – Jr. El Inca.



Nota: Software Synchro V8.0.

ANEXO II
FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1: Se observa la Av. Andrés Zevallos rubio con la intersección con el Jr. Hoyos Rubio en dirección, acumulación de vehículos cuando el semáforo está en color rojo.



Fotografía 2: Levantamiento topográfico de la intersección de Av. Andrés Zevallos rubio con Jr. Hoyos Rubio.



Fotografía 3: Se observa la circulación de un vehículo pesado en horas del día, el cual puede generar demoras en los vehículos menores que le preceden.



Fotografía 4: En la zona de ingreso al centro comercial Real Plaza la aglomeración de mototaxis excesiva ya que ocupan el área del carril derecho de la vía y se estacionan a la espera de pasajeros.



Fotografía 5: Levantamiento topográfico de la intersección de la Av. Andrés Bello y Pról. Ayacucho, en la zona de ingreso al centro comercial Real Plaza.



Fotografía 6: Debido a la gran demanda del centro comercial “Real plaza” vehículos menores como taxis y mototaxis se estacionan en la salida provocando más congestión vehicular obstaculizando el flujo del tránsito.



Fotografía 7: Intersección de la Av. Andrés Zevallos, Jr Carlos Malpica y Vía de Evitamiento Sur, se observa la circulación de vehículos menores como motos lineales y vehículos de transporte de carga.



Fotografía 8: Intersección de la Vía de Evitamiento Sur con el Jr. El Inca (puente amarillo) se observa las largas colas de vehículos.



Fotografía 9: Levantamiento topográfico de la intersección de la Vía de Evitamiento Sur con el Jr. El Inca (puente amarillo).



Fotografía 10: Las colas de la Vía de Evitamiento Sur provocadas por el semáforo de la intersección de la Vía de Evitamiento Sur con el Jr. El Inca (puente amarillo) en horas de máxima demanda se extienden hasta el Jr Santa teresa.



Fotografía 11: El transporte de vehículos pesados disminuye el tiempo de circulación de los demás vehículos generando demoras y largas colas.

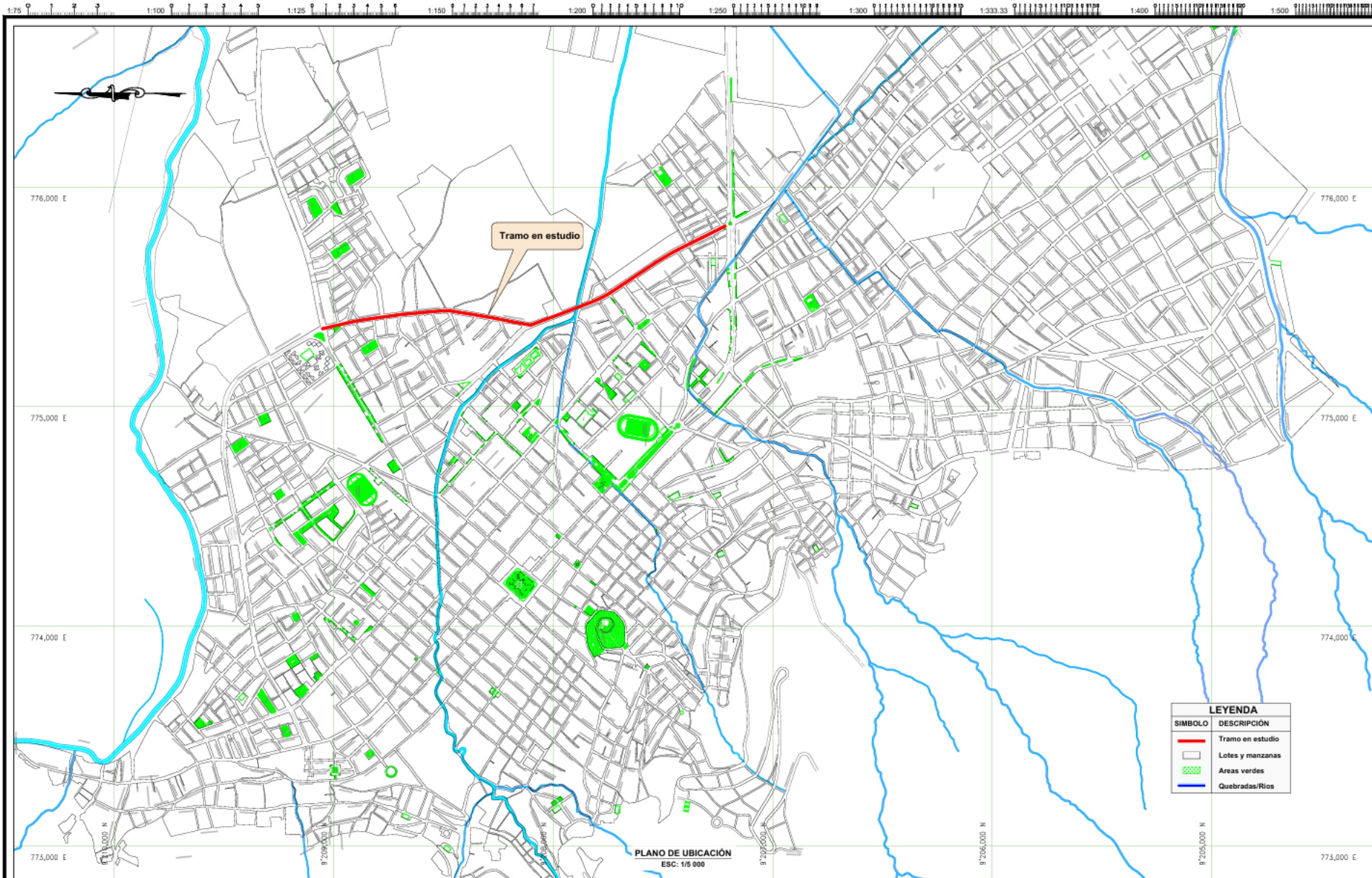


Fotografía 12: A la altura de la Calle San Francisco, se encuentra un local dedicado a la comercialización de vehículos, el cual algunos vehículos se estacionan a lo largo de vía de Evitamiento Sur por varias horas provocando la reducción de la vía.



Fotografía 13: A lo largo de la Vía de Evitamiento Sur hay tiendas de autopartes por lo cual los vehículos se estacionan a la margen derecha de la vía ocupando por largo tiempo, ocasionando una reducción del carril para el flujo del tránsito.

ANEXO III
PLANOS



LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	Tramo en estudio
	Lotes y manzanas
	Áreas verdes
	Quebradas/Ríos

PLANO DE UBICACIÓN
ESC: 1/5 000

"Fuente: Catastro Digital Municipalidad Provincial de Cajamarca"



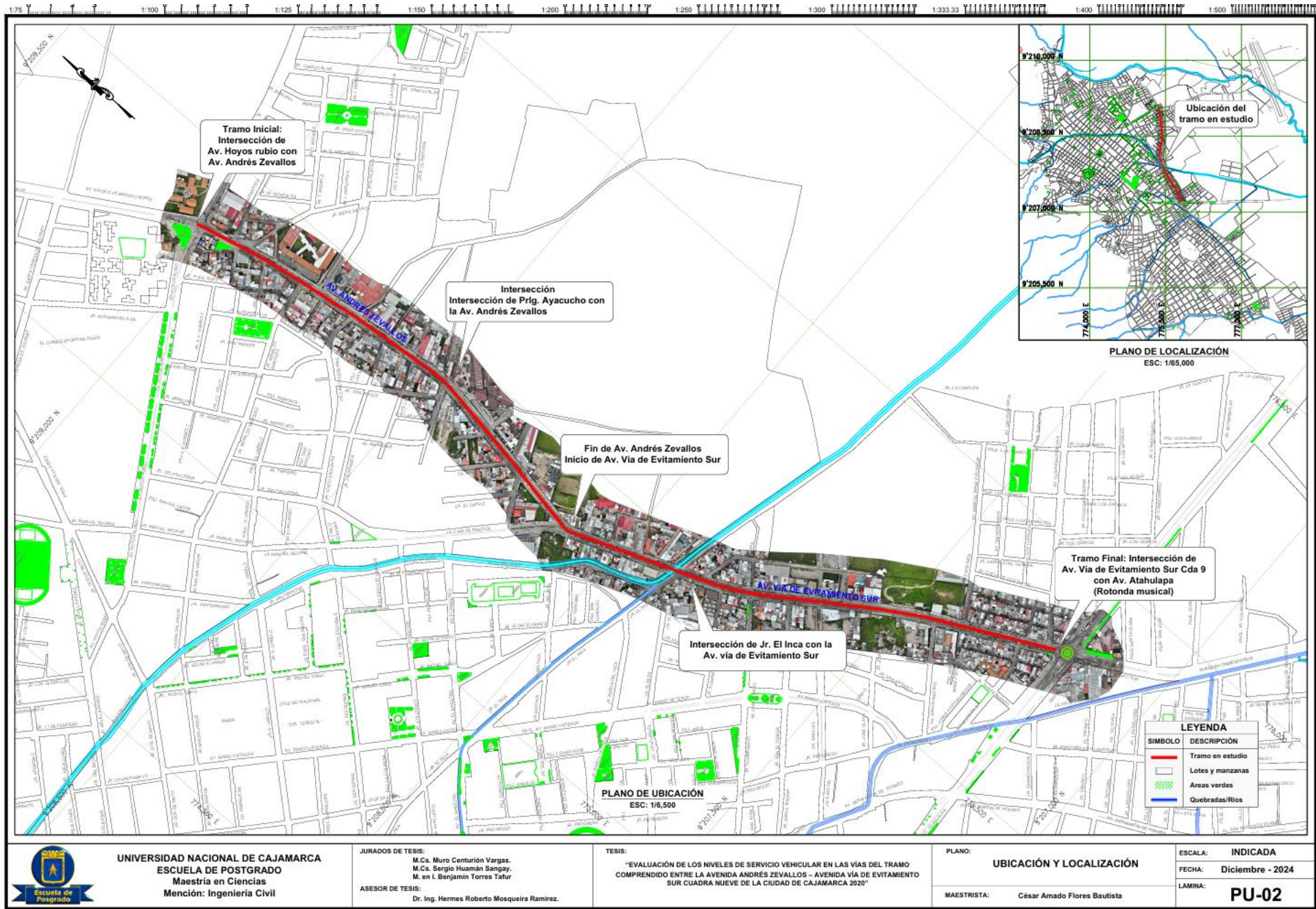
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE POSTGRADO
Maestría en Ciencias
Mención: Ingeniería Civil

JURADOS DE TESIS:
M.Cs. Muro Centurión Vargas,
M.Cs. Sergio Huamán Sangay,
M. en I. Benjamín Torres Tafur
ASESOR DE TESIS:
Dr. Ing. Hermes Roberto Mosquera Ramírez.

TESIS:
"EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE SERVICIO VEHICULAR EN LAS VÍAS DEL TRAMO
COMPRENDIDO ENTRE LA AVENIDA ANDRÉS ZEVALLOS - AVENIDA VÍA DE EVITAMIENTO
SUR CUADRA NUEVE DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA 2020"

PLANO: UBICACIÓN
MAESTRISTA: César Amado Flores Bautista

ESCALA: INDICADA
FECHA: Diciembre - 2024
LAMINA: PU-01



"Fuentes: Catastro Digital Municipalidad Provincial De Cajamarca"



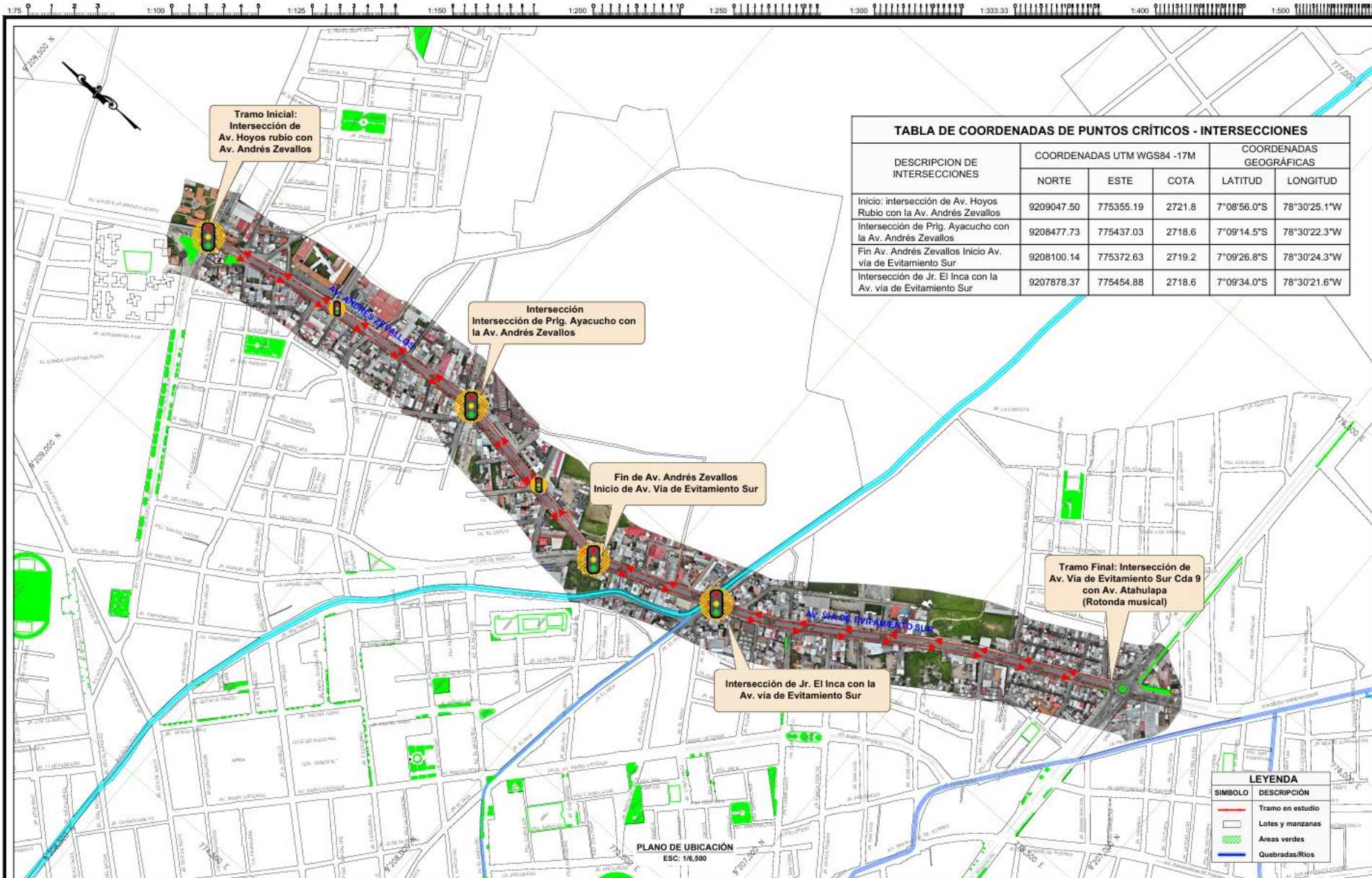
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE POSTGRADO
Maestría en Ciencias
Mención: Ingeniería Civil

JURADOS DE TESIS:
M.Cs. Muro Centurión Vargas,
M.Cs. Sergio Huamán Sangay,
M. en I. Benjamín Torres Tatur
ASESOR DE TESIS:
Dr. Ing. Hermes Roberto Mosquera Ramírez.

TESIS:
"EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE SERVICIO VEHICULAR EN LAS VÍAS DEL TRAMO
COMPRENDIDO ENTRE LA AVENIDA ANDRÉS ZEVALLOS - AVENIDA VÍA DE EVITAMIENTO
SUR CUADRA NUEVE DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA 2020"

PLANO:
UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN
MAESTRISTA: César Amado Flores Bautista

ESCALA: INDICADA
FECHA: Diciembre - 2024
LAMINA: PU-02



DESCRIPCION DE INTERSECCIONES	COORDENADAS UTM WGS84 -17M			COORDENADAS GEOGRAFICAS	
	NORTE	ESTE	COTA	LATITUD	LONGITUD
Inicio: intersección de Av. Hoyo Rubio con la Av. Andrés Zevallos	9209047.50	775355.19	2721.8	7°08'56.0"S	78°30'25.1"W
Intersección de Prig. Ayacucho con la Av. Andrés Zevallos	9208477.73	775437.03	2718.6	7°09'14.5"S	78°30'22.3"W
Fin Av. Andrés Zevallos Inicio Av. vía de Evitamiento Sur	9208100.14	775372.63	2719.2	7°09'26.8"S	78°30'24.3"W
Intersección de Jr. El Inca con la Av. vía de Evitamiento Sur	9207878.37	775454.88	2718.6	7°09'34.0"S	78°30'21.6"W

LEYENDA	
SIMBOLO	DESCRIPCION
[Red line]	Tramo en estudio
[Green line]	Lotés y manzanas
[Green area]	Áreas verdes
[Blue line]	Quebradas/Ríos

PLANO DE UBICACIÓN
ESC: 1/6,500

Fuente: Catastro Digital Municipalidad Provincial De Cajamarca



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
ESCUELA DE POSTGRADO
Maestría en Ciencias
Mención: Ingeniería Civil

JURADOS DE TESIS:
M.Cs. Muro Centurión Vargas.
M.Cs. Sergio Huamán Sangay.
M. en I. Benjamín Torres Tafur
ASESOR DE TESIS:
Dr. Ing. Hernán Roberto Mosquera Ramírez.

TESIS:
"EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE SERVICIO VEHICULAR EN LAS VÍAS DEL TRAMO
COMPRENDIDO ENTRE LA AVENIDA ANDRÉS ZEVALLOS - AVENIDA VÍA DE EVITAMIENTO
SUR CUADRA NUEVE DE LA CIUDAD DE CAJAMARCA 2020"

PLANO:
DIRECCIÓN DE FLUJO DE VÍAS
MAESTRISTA: César Amado Flores Bautista

ESCALA: INDICADA
FECHA: Diciembre - 2024
LAMINA: PU-03