

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
ESCUELA DE POSGRADO
PROGRAMA DE DOCTORADO EN INGENIERÍA CIVIL



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

**Propuesta de sistema adaptativo para intersecciones
semaforizadas en la ciudad de Jaén**

**Tesis para optar el Grado de
Doctor en Ingeniería Civil**

Autor:

Mg. Piedra Tineo, José Luis
DNI N° 45376157
Código ORCID: 0000-0002-2727-9692

Asesor:

Dr. Díaz Ortiz, Edwin Adolfo
DNI. N° 26602621
Código ORCID: 0000-0001-7213-9552

Línea de Investigación
Transporte

NUEVO CHIMBOTE - PERÚ
2024



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE TESIS

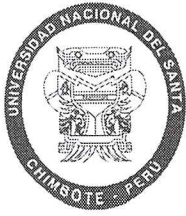
Yo, Dr. Edwin Adolfo Díaz Ortiz, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la Tesis Doctoral titulada: "PROPUESTA DE SISTEMA ADAPTATIVO PARA INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS EN LA CIUDAD DE JAÉN", por el magister José Luis Piedra Tineo, para obtener el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Civil en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, octubre del 2024.

Dr. Edwin Adolfo Díaz Ortiz
ASESOR

CODIGO ORCID: 0000-0001-7213-9552

DNI N° 26602621



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

Propuesta de Sistema Adaptativo para Intersecciones
Semaforizadas en la ciudad de Jaén.

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR EN INGENIERÍA CIVIL

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

Dr. Atilio Ruben López Carranza
PRESIDENTE
CODIGO ORCID: 0000-0002-3631-2001
DNI N° 32965940

Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla
SECRETARIO
CODIGO ORCID:0000-0003-3336-4786
DNI N° 33264434

Dr. Edwin Adolfo Díaz Ortiz
VOCAL
CODIGO ORCID: 0000-0001-7213-9552
DNI N° 26602621



UNS
ESCUELA DE
POSGRADO

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los veintiocho días del mes de octubre del año 2024, siendo las 18:00 horas, en el aula P-01 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 257-2024-EPG-UNS de fecha 14.05.2024, conformado por los docentes: Dr. Atilio Ruben López Carranza (Presidente), Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla (Secretaria) y Dr. Edwin Adolfo Díaz Ortiz (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis titulada "**PROPUESTA DE SISTEMA ADAPTATIVO PARA INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS EN LA CIUDAD DE JAÉN**"; presentado por el tesista **José Luis Piedra Tineo**, egresado del programa de **Doctorado en Ingeniería Civil**.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 488-2024-EPG-UNS de fecha 09 de octubre de 2024.


El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como APROBADO, asignándole la calificación de BUENO (18).

Siendo las 19:10 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.


Dr. Atilio Ruben López Carranza
Presidente


Dra. Jenisse del Rocío Fernández Mantilla
Secretaria


Dr. Edwin Adolfo Díaz Ortiz
Vocal

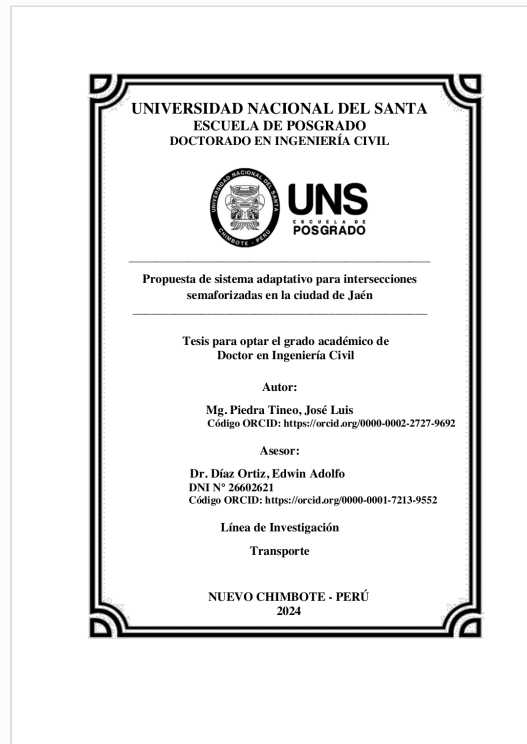


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: JOSÉ LUIS PIEDRA TINEO
Título del ejercicio: Informe de similitud Tesis José Luis Piedra Tineo
Título de la entrega: Informe de Similitud Tesis José Luis Piedra Tineo
Nombre del archivo: 4_TESIS_LEV_OBS..pdf
Tamaño del archivo: 18.25M
Total páginas: 388
Total de palabras: 68,759
Total de caracteres: 380,561
Fecha de entrega: 02-sept.-2024 10:28a. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega... 2443196689



Informe de Similitud Tesis José Luis Piedra Tineo

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	revistas.unj.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	Submitted to unj Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Cardiff University Trabajo del estudiante	<1%
6	Submitted to Universidad Carlos III de Madrid - EUR Trabajo del estudiante	<1%
7	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja Trabajo del estudiante	<1%
8	ouci.dntb.gov.ua Fuente de Internet	<1%

Dedicatoria y agradecimiento

Dedicatoria

Con todo aprecio a mis amados padres José Antonio y María Maura, por su ejemplar virtud educadora que desde muy niño mantengo; a mis queridas hermanas Yessica Milagros, Gina Yessenia y Judith Viviana, por darme fortaleza para el arduo camino profesional y aspiraciones personales; a mi apreciada novia Marlyn Fiorella, por su gran amor, optimismo, consejos y apoyo absoluto en cada proceso de escala de mi vida; y a mi incondicional hijo Josmar Jaziel por su bendición, comprensión y su fiel modo de expresarme su soporte ante las adversidades y la visión con y hacia un futuro de cumplimiento de metas y florecer de éxitos.

Agradecimiento

A mi Dios por ser el camino y quien me brinda sustento y salud en las peripecias de la vida con avances estables y seguros; a la Municipalidad Provincial de Jaén por la información y/o datos accedidos; la Universidad Nacional del Santa, por la oportunidad de admitir a seguir estudios profesionales y convertirse en la institución con perspectiva de logros educacionales; a mis docentes por sus criterios y aspiraciones brindadas; y en especial a mi asesor el Dr. Edwin Adolfo Díaz Ortiz, por su apoyo e indicaciones dadas que me llevaron con ímpetu a consumir mi investigación.

Índice general

Hoja de Conformidad del asesor	I
Hoja de conformidad del Jurado evaluador	II
Acta de sustentación	III
Acta de aprobación de originalidad	IV
Declaración Jurada de Autoría	V
Recibo Turnitin.....	VI
Reporte porcentual del Turnitin.....	VII
Dedicatoria y agradecimiento	VIII
Índice	X
Resumen y abstract.....	XXII
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2. OBJETIVOS	8
1.2.1. Objetivo general	8
1.2.2. Objetivos específicos	8
1.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	8
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	8
II. MARCO TEÓRICO	10
2.1. ANTECEDENTES	10
2.2. MARCO CONCEPTUAL	28
2.2.1. Sistema adaptativo.....	28
2.2.2. Intersecciones semafortizadas	39
III. METODOLOGÍA.....	54
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	54
3.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN	56
3.2.1. Definición conceptual.....	56
3.2.2. Definición operacional	56
3.2.3. Indicadores.....	56
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	60
3.4. ACTIVIDADES DEL PROCESO INVESTIGATIVO	60
3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	61
3.6. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS	62
3.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	63

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	135
4.1. RESULTADOS	135
4.2. DISCUSIÓN	257
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	262
5.1. CONCLUSIONES	262
5.2. RECOMENDACIONES.....	264
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	265
VII. ANEXOS	275

Índice de tablas

Cuadro 1: Equivalencias vehiculares usadas.....	42
Cuadro 2: Operacionalización de variables.....	58
Cuadro 3: Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	61
Cuadro 4: Valores de proporciones vehiculares en horas punta (Para calles – Día lunes) 69	
Cuadro 5: Valores de proporciones vehiculares en horas punta (Para avenida y calle – Día lunes)	70
Cuadro 6: Valores que relaciona la forma de estacionar y maniobrar (calles)	71
Cuadro 7: Valores que relaciona la forma de estacionar y maniobrar (avenida y calle) ...	71
Cuadro 8: Sinopsis del aforo de peatones, en intersección con calles (Lunes).....	72
Cuadro 9: Sinopsis del aforo de peatones, en intersección con avenida y calle (Lunes)...	73
Cuadro 10: Descripción de las variables recolectadas	74
Cuadro 11: Estadística de las variables de la base de datos	78
Cuadro 12: Variables: Rankin de atributos (R) y selección por mayor información (Peso) 81	
Cuadro 13: Grupo de variables de acuerdo a su importancia.....	83
Cuadro 14: Configuración de los hiperparámetros de los algoritmos	84
Cuadro 15: Código fuente del Form1 del inicio del sistema.....	99
Cuadro 16: Código para la configuración de la intersección	100
Cuadro 17: Código de la clase nivel de servicio	102
Cuadro 18: Código de ingreso del tipo de vehículos.....	104
Cuadro 19: Conversión a auto equivalente.....	105
Cuadro 20: Código de la clase fases.....	110
Cuadro 21: Código del ingreso del flujo vehicular	113
Cuadro 22: Código de la clase tiempos de fase.....	117
Cuadro 23: Código de la clase ciclo actual	119
Cuadro 24: Cálculo de la demora	120
Cuadro 25: Cálculo del tiempo de ciclo óptimo con el algoritmo.....	125
Cuadro 26: Código de la clase tiempos de fases optimizadas	127
Cuadro 27: Código del informe de ciclos.....	129
Cuadro 28: Código de la demora optimizada.....	133
Cuadro 29: Código de la generación de informes de demora	134
Cuadro 30: Datos complementarios de particularidades geométricas de la intersección (calles)	137
Cuadro 31: Datos complementarios de particularidades geométricas de la intersección (avenida y calle)	138
Cuadro 32: Vehículos por día - Total	139

Cuadro 33:	Vehículos por día - Total	139
Cuadro 34:	Volumen vehicular teniendo en cuenta el acceso – Hoja resumida (Para calles – Día lunes)	143
Cuadro 35:	Volumen vehicular teniendo en cuenta el acceso – Hoja resumida (Para avenida y calle – Día lunes)	144
Cuadro 36:	Tiempo de las fases.....	150
Cuadro 37:	Valores complemento de las fases.....	150
Cuadro 38:	Tiempo de las fases.....	150
Cuadro 39:	Valores complemento de las fases.....	151
Cuadro 40:	Resumen y clasificación de la intersección (calles)	153
Cuadro 41:	Resumen y clasificación de la intersección (avenida y calle)	154
Cuadro 42:	Resumen y selección del tiempo de ciclo óptimo y semafóricos (calles) ...	156
Cuadro 43:	Resumen y clasificación de la intersección en estado optimizado (calles) .	157
Cuadro 44:	Resumen y selección del tiempo de ciclo óptimo y semafóricos (avenida y calle).....	159
Cuadro 45:	Resumen y clasificación de la intersección en estado optimizado (avenida y calle)	160
Cuadro 46:	Estadísticos de precisión de los algoritmos del modelo MP_1	164
Cuadro 47:	Estadísticos de precisión de los algoritmos del modelo MP_2	166
Cuadro 48:	Estadísticos de precisión de los algoritmos del modelo MP_3	168
Cuadro 49:	Estadísticos de precisión de los algoritmos del modelo MP_4	170
Cuadro 50:	Estadísticos de precisión de los algoritmos del modelo MP_5	172
Cuadro 51:	Código del Modelo MP_1 para realizar predicciones	191
Cuadro 52:	Código del Modelo MP_2 para realizar predicciones	192
Cuadro 53:	Exportación del modelo MP_1 a onnx	193
Cuadro 54:	Exportación del modelo MP_2 a onnx	194

Índice de figuras

Figura 1	Criterio arde elección – intersecciones semaforizadas.....	29
Figura 2	Modelo binario de descarga	31
Figura 3	Conflictos primarios y secundarios	32
Figura 4	Definición de la distancia de conflicto	36
Figura 5	Flujos saturados.....	39
Figura 6	Tipos de simulaciones de tráfico: macroscópica (A), mesoscópica (B), microscópica (C) y sub-microscópica (D).....	40
Figura 7	Minería de datos - Técnicas	44
Figura 8	Proceso de “Descubrimiento de conocimiento en bases de datos”	45
Figura 9	Bloques de entrada y salida.....	48
Figura 10	Diagrama de flujo de la investigación.....	55
Figura 11	Proceso de actividades de la investigación	61
Figura 12	Esquema de flujo del procedimiento de recolección de datos	63
Figura 13	Imagen satelital centralizada de intersección de Pardo Miguel y Simón Bolívar.....	64
Figura 14	Imagen satelital centralizada de intersección de avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar	64
Figura 15	Características de la intersección (calles) en estudio	65
Figura 16	Características de la intersección (avenida y calle) en estudio	66
Figura 17	Cuatro enfoques de cámara - intersección de calles.....	67
Figura 18	Enfoques de cámaras - intersección de avenida y calle	68
Figura 19	Esquema de tiempo por fase.....	73
Figura 20	Esquema de tiempo por fase.....	74
Figura 21	Descripción estadística de las variables	77
Figura 22	Tipos de distribución de cada variable	80
Figura 23	Variables seleccionadas sin outliers.....	82
Figura 24	IDE visual Studio	87
Figura 25	Diseño y configuración de la interfaz de carga inicial	88
Figura 26	Diseño de la interfaz de inicio.....	88
Figura 27	Creación de sub ventanas en cada pestaña	89
Figura 28	Interfaz de configuración del nombre y ancho promedio de calzada.....	90
Figura 29	Interfaz gráfica del nivel de servicio	90
Figura 30	Ventana de ingreso del tipo de vehículos.....	91

Figura 31	Interfaz de asignación de fases	92
Figura 32	Ventana de ingreso del flujo vehicular.....	93
Figura 33	Interfaz gráfica del tiempo de fases.....	93
Figura 34	Diagrama del tiempo de ciclo actual	94
Figura 35	Diseño de la interfaz de cálculo de la demora actual	95
Figura 36	Diseño de la interfaz del tiempo de ciclo óptimo.....	95
Figura 37	Interfaz del tiempo de ciclo optimizado.....	96
Figura 38	Informe de los tiempos de ciclo actual y optimizado.....	96
Figura 39	Interfaz del cálculo de la demora optimizada.....	97
Figura 40	Interfaz de informe de tiempo de demora actual y optimizada.....	98
Figura 41	Control y señalización en intersección de calles.....	136
Figura 42	Control y señalización en intersección de avenida y calle	137
Figura 43	Intervalos de 15 minutos para el volumen vehicular, en calles (Lunes)	141
Figura 44	Intervalos de 15 minutos para el volumen vehicular, en avenida con calle (Lunes).....	142
Figura 45	Cotejo vehicular en horas pico (Para calles – Día lunes).....	146
Figura 46	Cotejo vehicular en horas pico (Para avenida y calle – Día lunes).....	146
Figura 47	Horario punta (Lunes tarde) – Flujograma para calles.....	147
Figura 48	Horario punta (Lunes tarde) – Flujograma para avenida y calle.....	148
Figura 49	Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio (Lunes); adaptado del MTC y HCM	152
Figura 50	Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio (Lunes); adaptado del MTC y HCM	154
Figura 51	Tiempo de ciclo óptimo y tiempos semafóricos por fases (Lunes); adaptado del HCM.....	156
Figura 52	Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio - optimizados (Lunes); adaptado del MTC y HCM	157
Figura 53	Tiempo de ciclo óptimo y tiempos semafóricos por fases (Lunes); adaptado del HCM.....	158
Figura 54	Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio - optimizados (Lunes); adaptado del MTC y HCM	160
Figura 55	Base de datos de las variables que influyen en el tiempo de demora.....	163
Figura 56	Base de datos de las variables que influyen en el tiempo de ciclo óptimo	163

Figura 57	Precisión de los algoritmos del modelo MP_1	165
Figura 58	Precisión de los algoritmos del modelo MP_2.....	167
Figura 59	Precisión de los algoritmos del modelo MP_3.....	169
Figura 60	Precisión de los algoritmos del modelo MP_4.....	171
Figura 61	Precisión de los algoritmos del modelo MP_5.....	173
Figura 62	Validación de los cinco algoritmos del modelo MP_1	174
Figura 63	Validación de los cinco algoritmos del modelo MP_2	174
Figura 64	Interfaz de inicio del sistema JJ22.....	195
Figura 65	Pestañas multifuncionales del sistema JJ22	197
Figura 66	Cálculo del tiempo de demora.....	198
Figura 67	Cálculo del tiempo de ciclo óptimo.....	199
Figura 68	Cálculo de la demora optimizada	200
Figura 69	Creación del proyecto intersección Pardo Miguel - Simón Bolívar.....	228
Figura 70	Verificación del nombre e ingreso de ancho de calzada	229
Figura 71	Verificación de niveles de servicio y demora	229
Figura 72	Verificación de vehículos y sus equivalentes.....	230
Figura 73	Ingreso del flujo vehicular según cada sentido, tipo de vehículo y turno	231
Figura 74	Asignación de las fases	232
Figura 75	Asignación del tiempo de fases	232
Figura 76	Informe de fases del tiempo de ciclo actual	233
Figura 77	Cálculo de la demora actual de la intersección	233
Figura 78	Cálculo del tiempo de ciclo óptimo.....	234
Figura 79	Informe de fases del ciclo optimizado.....	235
Figura 80	Comparación de fases del ciclo actual y optimizado	235
Figura 81	Creación del proyecto intersección Villanueva Pinillos - Simón Bolívar.....	236
Figura 82	Verificación del nombre e ingreso de ancho de calzada	237
Figura 83	Verificación de niveles de servicio y demora	237
Figura 84	Verificación de vehículos y sus equivalentes.....	238
Figura 85	Ingreso del flujo vehicular según cada sentido, tipo de vehículo y turno	239
Figura 86	Asignación de las fases	240
Figura 87	Asignación del tiempo de fases	240
Figura 88	Informe de fases del tiempo de ciclo actual	241
Figura 89	Cálculo de la demora actual de la intersección	241

Figura 90	Cálculo del tiempo de ciclo óptimo.....	242
Figura 91	Informe de fases del ciclo optimizado.....	243
Figura 92	Comparación de fases del ciclo actual y optimizado	243
Figura 93	Diagrama de fases	244
Figura 94	Creación del proyecto - intersección en Indonesia.....	245
Figura 95	Verificación del nombre e ingreso de ancho de calzada	245
Figura 96	Verificación de niveles de servicio y demora	246
Figura 97	Verificación de vehículos y sus equivalentes.....	246
Figura 98	Ingreso del flujo vehicular según cada sentido, tipo de vehículo y turno	247
Figura 99	Asignación de las fases	248
Figura 100	Asignación del tiempo de fases	248
Figura 101	Informe de fases del tiempo de ciclo actual	249
Figura 102	Cálculo de la demora actual de la intersección.....	249
Figura 103	Cálculo del tiempo de ciclo óptimo.....	250
Figura 104	Informe de fases del ciclo optimizado.....	251
Figura 105	Comparación de fases del ciclo actual y optimizado.....	251
Figura 106	Cálculo de la demora optimizada	252
Figura 107	Informe de las demoras actual y optimizada	253
Figura 108	Cálculo del tiempo de ciclo óptimo.....	254
Figura 109	Informe de fases del ciclo optimizado.....	254
Figura 110	Comparación de fases del ciclo actual y optimizado.....	255
Figura 111	Cálculo de la demora optimizada	255
Figura 112	Informe de las demoras actual y optimizada	256

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Aumento de gradiente (Gradient Boosting).....	35
Ecuación 2. Factor hora pico.....	43
Ecuación 3. Periodo de rojo – rojo.....	46
Ecuación 4. Relación entre longitud, distancia y velocidad que pierden los vehículos.....	46
Ecuación 5. Relación entre distancia y velocidad que ganan los vehículos.....	46
Ecuación 6. Demora.....	47
Ecuación 7. Coeficiente de verde.....	47
Ecuación 8. Factor o grado de saturación.....	47
Ecuación 9. Flujo de saturación.....	48
Ecuación 10. Duración óptima del ciclo.....	49
Ecuación 11. Flujo vehicular directo.....	49
Ecuación 12. Suma del flujo de saturación.....	50
Ecuación 13. Tiempo total perdido por ciclo.....	50
Ecuación 14. Tiempo total perdido por ciclo.....	50
Ecuación 15. Tiempo total del ciclo de luces verdes.....	50
Ecuación 16. Tiempo de verde de fase.....	51
Ecuación 17. Tiempo de luces rojas.....	51
Ecuación 18. Error cuadrático medio.....	85
Ecuación 19. Cuadrados totales del error.....	85
Ecuación 20. Coeficiente de determinación.....	85
Ecuación 21. Error relativo	85

Índice de anexos

Anexo A 1. Plano de ubicación y localización de la intersección de calles	276
Anexo A 2. Plano de ubicación y localización de la intersección de avenida y calle	277
Anexo B 2. Equipo de trabajo, para condiciones geométricas y de semaforización.....	280
Anexo B 3. Situación actual intersección de calles - flujo vehicular (mañana, tarde y noche)	281
Anexo B 4. Situación actual intersección de avenida y calle - flujo vehicular (mañana, tarde y noche)	282
Anexo C 1. Procedimiento para obtención de grabaciones en intersecciones involucradas y complementos.....	284
Anexo C 2. Intervalos de 1 hora para el volumen vehicular (Lunes).....	290
Anexo C 3. Intervalos de 15 minutos para el volumen vehicular (Miércoles).....	291
Anexo C 4. Intervalos de 1 hora para el volumen vehicular (Miércoles).....	292
Anexo C 5. Intervalos de 15 minutos para el volumen vehicular (Viernes)	293
Anexo C 6. Intervalos de 1 hora para el volumen vehicular (Viernes)	294
Anexo C 7. Intervalos de 1 hora para el volumen vehicular (Lunes).....	295
Anexo C 8. Intervalos de 15 minutos para el volumen vehicular (Miércoles).....	296
Anexo C 9. Intervalos de 1 hora para el volumen vehicular (Miércoles).....	297
Anexo C 10. Intervalos de 15 minutos para el volumen vehicular (Viernes)	298
Anexo C 11. Intervalos de 1 hora para el volumen vehicular (Viernes)	299
Anexo C 12. Hoja de resumen total de conjuntos vehiculares, sus horas punta y factor (Lunes).....	300
Anexo C 13. Hoja de resumen total de conjuntos vehiculares, sus horas punta y factor (Miércoles)	301
Anexo C 14. Hoja de resumen total de conjuntos vehiculares, sus horas punta y factor (Viernes).....	302
Anexo C 15. Hoja de resumen total de conjuntos vehiculares, sus horas punta y factor (Lunes).....	303
Anexo C 16. Hoja de resumen total de conjuntos vehiculares, sus horas punta y factor (Miércoles)	304
Anexo C 17. Hoja de resumen total de conjuntos vehiculares, sus horas punta y factor (Viernes).....	305
Anexo C 18. Volumen vehicular teniendo en cuenta el acceso – Hoja resumida (Día miércoles)	306
Anexo C 19. Volumen vehicular teniendo en cuenta el acceso – Hoja resumida (Día viernes)	307
Anexo C 20. Volumen vehicular teniendo en cuenta el acceso – Hoja resumida (Día miércoles)	308

Anexo C 21. Volumen vehicular teniendo en cuenta el acceso – Hoja resumida (Día viernes)	309
Anexo C 22. Constitución vehicular – Punta turno mañana (Lunes)	310
Anexo C 23. Constitución vehicular – Punta turno tarde (Lunes)	311
Anexo C 24. Constitución vehicular – Punta turno noche (Lunes)	312
Anexo C 25. Valores de proporciones vehiculares en horas punta (Miércoles).....	313
Anexo C 26. Constitución vehicular – Punta turno mañana (Miércoles).....	314
Anexo C 27. Constitución vehicular – Punta turno tarde (Miércoles)	315
Anexo C 28. Constitución vehicular – Punta turno noche (Miércoles).....	316
Anexo C 29. Valores de proporciones vehiculares en horas punta (Viernes)	317
Anexo C 30. Constitución vehicular – Punta turno mañana (Viernes)	318
Anexo C 31. Constitución vehicular – Punta turno tarde (Viernes).....	319
Anexo C 32. Constitución vehicular – Punta turno noche (Viernes)	320
Anexo C 33. Constitución vehicular – Punta turno mañana (Lunes)	321
Anexo C 34. Constitución vehicular – Punta turno tarde (Lunes)	322
Anexo C 36. Valores de proporciones vehiculares en horas punta (Miércoles).....	324
Anexo C 37. Constitución vehicular – Punta turno mañana (Miércoles).....	325
Anexo C 38. Constitución vehicular – Punta turno tarde (Miércoles)	326
Anexo C 39. Constitución vehicular – Punta turno noche (Miércoles).....	327
Anexo C 40. Valores de proporciones vehiculares en horas punta (Viernes)	328
Anexo C 41. Constitución vehicular – Punta turno mañana (Viernes)	329
Anexo C 42. Constitución vehicular – Punta turno tarde (Viernes).....	330
Anexo C 43. Constitución vehicular – Punta turno noche (Viernes)	331
Anexo C 44. Cotejo vehicular en horas pico (Miércoles)	332
Anexo C 45. Cotejo vehicular en horas pico (Viernes).....	333
Anexo C 46. Cotejo vehicular en horas pico (Miércoles)	334
Anexo C 47. Cotejo vehicular en horas pico (Viernes).....	335
Anexo C 48. Horario punta (Lunes mañana) – Flujograma	336
Anexo C 49. Horario punta (Lunes noche) – Flujograma	337
Anexo C 50. Horario punta (Miércoles mañana) – Flujograma	338
Anexo C 51. Horario punta (Miércoles tarde) – Flujograma	339
Anexo C 52. Horario punta (Miércoles noche) – Flujograma.....	340
Anexo C 53. Horario punta (Viernes mañana) – Flujograma.....	341
Anexo C 54. Horario punta (Viernes tarde) – Flujograma	342
Anexo C 55. Horario punta (Viernes noche) – Flujograma	343
Anexo C 56. Horario punta (Lunes mañana) – Flujograma.	344

Anexo C 57. Horario punta (Lunes noche) – Flujograma	345
Anexo C 58. Horario punta (Miércoles mañana) – Flujograma	346
Anexo C 59. Horario punta (Miércoles tarde) – Flujograma	347
Anexo C 60. Horario punta (Miércoles noche) – Flujograma	348
Anexo C 61. Horario punta (Viernes mañana) – Flujograma.....	349
Anexo C 62. Horario punta (Viernes tarde) – Flujograma	350
Anexo C 63. Horario punta (Viernes noche) – Flujograma	351
Anexo D 1. Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio (Miércoles)	353
Anexo D 2. Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio (Viernes).....	354
Anexo D 3. Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio (Miércoles)	355
Anexo D 4. Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio (Viernes).....	356
Anexo D 5. Tiempo de ciclo óptimo y tiempos semafóricos por fases (Miércoles)	357
Anexo D 6. Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio - optimizados (Miércoles)	358
Anexo D 7. Tiempo de ciclo óptimo y tiempos semafóricos por fases (Viernes).....	359
Anexo D 8. Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio - optimizados (Viernes).....	360
Anexo D 9. Tiempo de ciclo óptimo y tiempos semafóricos por fases (Miércoles)	361
Anexo D 10. Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio - optimizados (Miércoles)	362
Anexo D 11. Tiempo de ciclo óptimo y tiempos semafóricos por fases (Viernes).....	363
Anexo D 12. Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio - optimizados (Viernes).....	364

Resumen y abstract

Resumen

La investigación tuvo como objetivo, realizar la propuesta de un sistema adaptativo para intersecciones semaforizadas en la ciudad de Jaén, basado en algoritmos y ejecución de un sistema. El diseño del estudio fue cuantitativa y experimental. Por tanto, se hizo una recolección y análisis de datos de campo y fuentes primarias, para posterior construir algoritmos con la metodología Knowlegde Discovery Databases, pasando a crear una base de información, entrenar y validar con algoritmos de predicción los modelos que incluyó variables seleccionadas, luego predecir tiempos, que clasifican a un nivel de servicio; y finalizar con el desarrollo de un sistema usando Visual Studio compatible con los algoritmos generados, todo ello teniendo presente el método Webster y Highway Capacity Manual. Los resultados fueron clasificar intersecciones en su situación actual con demoras de 11.41, 8.32 segundos, y niveles de servicio “B”, “A”; dos modelos de alta precisión empleando el algoritmo RandomForest con R^2 de 0.995 y 0.996, prediciendo tiempos de demora y ciclo óptimo; y un sistema ejecutable adaptable que calcula y optimiza demoras, ciclos óptimos y niveles de servicios. Se concluye que existe solvencia, por la generación de un sistema adaptativo que estima y mejora la operatividad en una intersección semaforizada.

Palabras clave: Sistema adaptativo, intersecciones semaforizadas, algoritmo, sistema, demora.

Abstract

The objective of the research was to propose an adaptive system for traffic signalized intersections in the city of Jaén, based on algorithms and system execution. The design of the study was quantitative and experimental. Therefore, a collection and analysis of field data and primary sources was made, to later build algorithms with the Knowledge Discovery Databases methodology, going on to create an information base, train and validate with prediction algorithms the models that included selected variables, then predict times, which classify to a level of service; and finish with the development of a system using Visual Studio compatible with the generated algorithms, all this bearing in mind the Webster method and Highway Capacity Manual. The results were to classify intersections in their current situation with delays of 11.41, 8.32 seconds, and levels of service "B", "A"; two high precision models using the RandomForest algorithm with R^2 of 0.995 and 0.996, predicting delay times and optimal cycle; and an adaptable executable system that calculates and optimizes delays, optimal cycles and levels of service. It is concluded that there is solvency, for the generation of an adaptive system that estimates and improves the operability in a traffic-light intersection.

Keywords: Adaptive system, traffic signalized intersections, algorithm, system, delay.

I. INTRODUCCIÓN

El control del tráfico en las zonas urbanas es cada vez más con el crecimiento exponencial del número de vehículos. La ampliación de la red de carreteras para acomodar el aumento del número de vehículos no es una opción socialmente viable y es esencial aumentar la utilización de la infraestructura existente mediante una regulación adecuada del flujo de tráfico. Los semáforos se introdujeron para controlar el flujo del tráfico, mejorando así la seguridad de los usuarios. Sin embargo, los semáforos crean cuellos de botella para el flujo de tráfico en los carriles que no tienen derecho de paso durante una fase específica y optimización de los tiempos de las señales para reducir el retraso global de todos los vehículos en la intersección. Con ello la optimización puede realizarse fuera de línea (programada previamente) o en línea (adaptativa). (Balaji et al., 2010, p. 177)

Jaén está experimentando un crecimiento constante en su población y el número de vehículos en las calles, lo que ha provocado un problema común en todo el país: la congestión del tráfico. La falta de control de esta situación refleja una gestión deficiente por parte de las autoridades actuales, además del cambio en el sistema de transporte. El punto clave es que para resolver el problema no podemos generalizar, sino que debemos ser específicos al abordar todas las áreas que presentan deficiencias. Este es el caso de las intersecciones en la ciudad, donde hay un gran congestionamiento, falta de control y seguridad, accidentes y bajos niveles de servicio. En conclusión, se realizó un análisis para intersecciones semaforizadas en la localidad de Jaén, con el objetivo de mejorar el tránsito urbano.

El análisis comenzó con visitas al área de estudio para reconocimiento y recolección de datos y fuentes primarias como artículos y tesis doctorales; que comprendieron condiciones geométricas (número y tamaño de carriles y calzada, pendiente, estacionamiento); condiciones del tráfico (número de vehículos, movimientos permitidos, flujo de saturación, grado de saturación, flujo del carril, flujo vehicular directo, flujo de saturación de la intersección, factor de equivalencia); condiciones de semaforización (tiempo de semáforo en verde, ámbar y rojo, tiempo de ciclo, coeficiente de verde, número de fases, tiempo total perdido por ciclo); y características para clasificar en situación actual y optimizada (tiempo de demora, tiempo de ciclo óptimo). Todo ello, para que luego con el apoyo de la metodología Knowledge Discovery Databases (KDD) con sus cinco fases como etapa de

selección, preprocesamiento, transformación, minería de datos e intervención y evaluación de datos, el uso del lenguaje de programación Python, las bibliotecas Sklearn, Numpy, Pandas, Seaborn, Scikit-learn y la interfaz Jupyter Lab, se construya algoritmos que predican la demora y tiempo de ciclo óptimo de la intersección; y posteriormente a través del entorno de desarrollo integrado Visual Studio se elabore y ejecute un sistema adaptativo que optó el ingreso de datos y posterior arrojó de resultados como las demoras, nivel de servicio y tiempo de ciclo óptimo, conociendo por tanto su estado situacional actual y optimizado; encerrando así y teniendo como base las metodologías de Webster y Highway Capacity Manual. Consecutivamente esta investigación, se deja de contribución y con la esperanza de su implementación; mejorando así la congestión vehicular y aportar al transporte urbano.

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Descripción del problema

La población mundial ha alcanzado los 7.700 millones en 2019, lo que supone un aumento de 1.000 millones desde 2007, y el tamaño de la población mundial se situaría entre 8.500 y 8.600 millones en 2030. El crecimiento de la población provoca un aumento del número de vehículos, y la falta de una gestión eficaz del tráfico conduciría a enormes pérdidas económicas como el consumo de energía, las emisiones de gases de efecto invernadero y el tiempo perdido. En ejemplo, Estados Unidos perdió 5.500 millones de horas de tiempo debido a la congestión del tráfico entre 2000 y 2010 (Lee & Chiu, 2020, p. 1). Así mismo, la Ciudad de México tiene 20.4 millones de habitantes lo que requiere de estrategias para mejorar el tráfico vehicular dentro de un crecimiento urbano acelerado. Aproximadamente, 1, 200, 000 automóviles circulan diariamente y se realizan 22 millones de viajes en la zona metropolitana, principalmente al centro de la ciudad, según los informes del Programa de Estudios Universitarios para la Ciudad de México (Flores et al., 2019, p. 1562). En efecto, las ciudades marroquíes sufren enormes presiones debido a su incapacidad para ofrecer una gestión del tráfico rodado que se adapte a las necesidades de la población (Chentoufi & Ellaia, 2018, p. 25). Del mismo modo, la ciudad de Bucarest tiene creciente número de vehículos y se ha desarrollado durante los últimos 30 años de forma caótica, impulsada por las oportunidades inmobiliarias; y desarrollaron grandes unidades residenciales en regiones suburbanas, sin un desarrollo adecuado de las infraestructuras de tráfico y del transporte público (Culita et al., 2020, p. 4). Por lo que, en el mundo actual, el problema de la

congestión del tráfico se ha convertido en una gran preocupación. No se limita a las megaciudades o metrópolis, sino incluso a las ciudades pequeñas (Faldy et al., 2019, p. 697). Hoy en día, muchas ciudades tienen problemas de congestión en determinadas horas punta, lo que produce más contaminación, ruido y estrés para los ciudadanos (Navarro et al., 2022, p. 1). Pues, las ciudades van incrementando su tamaño, lo que genera mayor cantidad de tráfico, principalmente en las de gran tamaño. Está demostrado que la congestión de tráfico urbano produce estrés, contaminación, repercute directamente en la calidad de vida, entre otras cosas (Fernández et al., 2020, p. 714). Más del 72% de los ciudadanos europeos residen en núcleos urbanos. Algunas estimaciones cuantifican el posible coste asociado al tiempo perdido en atascos en la Unión Europea entre los años 2016 y 2026 en más de 200 mil millones de euros. Las situaciones de congestión son los problemas de tráfico urbano más habituales (de la Cruz, 2019, p. 20). Sólo en la ciudad de São Paulo, el coste total atribuido exclusivamente a los atascos fue de 20.500 millones de dólares en 2012. Muchas ciudades brasileñas con congestión urbana siguen utilizando los métodos clásicos de control del tráfico (Pereira, 2022, p. 7).

El rápido desarrollo de las ciudades junto con el aumento de la población ha provocado un crecimiento exponencial del número de vehículos en las carreteras para que estos últimos se desplacen. Esto se suma al ya agobiante problema de la congestión del tráfico. Las soluciones a corto plazo, costosas y con poca visión de futuro, como la ampliación de las infraestructuras viarias, ya no son adecuadas (Shaikh et al., 2022, p. 48). Con el aumento gradual del desequilibrio entre la oferta de tráfico y la demanda de viajes, los problemas, tales como la congestión del tráfico, la contaminación del aire y los accidentes de tráfico son cada vez más graves (Tang et al., 2021, p. 1). La saturación de las infraestructuras y el creciente número de vehículos han dado lugar a varios problemas de transporte notables, como los retrasos, emisiones, índices de accidentes, alto coste de mantenimiento y consumo de suelo que afecta de forma recurrente a la vida cotidiana de los seres humanos (George & Santra, 2020, p. 1048). Así mismo, en los últimos años se ha producido un aumento significativo del número de vehículos privados, la migración de la población de las zonas rurales a las ciudades y el aumento del número de autopistas en mal estado (Olayode et al., 2021, p. 1). La gestión de los sistemas de tráfico es una actividad compleja que, debido al dinamismo intrínseco de los sistemas con los que trata y la urgencia de los problemas a resolver, suele estar sujeta a un rendimiento deficiente. Se presentan dificultades tanto en el plano estratégico como en el operativo, debido a que los problemas a resolver suelen tener

muchas variables de decisión, múltiples objetivos y estar sujetos a incertidumbre (Baquela, 2019, p. 1). La predicción dinámica de los flujos de tráfico es de considerable importancia para la mitigación de la congestión y la gestión de la demanda (Hou et al., 2019, p. 1). Así pues, predecir el flujo de tráfico ha sido reconocida como la solución para aliviar y reducir el problema de la congestión (Olayode et al., 2021, p. 1). Por tanto, para mejorar el tráfico, uno de los pasos más importantes es obtener estadísticas precisas sobre los movimientos en las metrópolis (Shashikanth et al., 2022, p. 1832). Por ello, desarrollar y mejorar los sistemas de control de los semáforos se ha convertido en el centro de atención de los estudios recientes (Alkandari & Al-Shaikhli, 2018, p. 100); por lo que la tecnología debería, como siempre, venir al rescate (Zaatouri et al., 2018, p. 1).

La congestión de las carreteras es un gran problema al que se enfrentan las personas, lo que supone una pérdida de tiempo y dinero. Principalmente, los sistemas tradicionales de control de semáforos están lejos de proporcionar una gestión eficaz del tráfico urbano en términos de tiempo de viaje y de espera, y son incapaces de seguir el ritmo del desarrollo de las ciudades inteligentes y de los requisitos de movilidad urbana (Hambli et al., 2021, p. 1). Es frecuente la pérdida de tiempo de los conductores y los embotellamientos de tráfico en las ciudades, por una configuración no óptima de los semáforos (Fernandez et al., 2018, p. 20). Diversas ciencias y especialidades han intentado comprender el fenómeno e identificar las causas en obtener una solución apropiada (Nacht et al., 2018, p. 83). La mayoría de los accidentes de tráfico y las congestiones suelen producirse en las intersecciones de las carreteras de las zonas urbanas, donde la velocidad de los vehículos es elevada. Esto ha hecho necesaria la creación de sistemas inteligentes de transporte por carretera y algoritmos de alto nivel para resolver el problema (Olayode et al., 2022, p. 1). Las intersecciones de tráfico actuales utilizan principalmente la señalización de ciclo red, que es muy subóptima y agrava la congestión y el gasto de combustible en las zonas urbanas. Además, ofrece una mínima garantía de calidad de servicio y dificulta la predicción del tiempo de viaje (MIAO & LEITNER, 2021, p. 39897). Los flujos de tráfico suelen presentar un estado de flujo libre o un estado de congestión. La marcada no linealidad de las variables del tráfico se debe a estados de congestión recurrentes o no recurrentes, debidos a cuellos de botella, incidentes, condiciones meteorológicas extremas u otros acontecimientos (Ma et al., 2020, p. 353). Una de las preocupaciones pertinentes en la gestión del tráfico es optimizar el tiempo de espera en los cruces de los semáforos (Merbah et al., 2023, p. 1). La estimación eficaz de los

parámetros y la baja complejidad computacional son los dos principales retos del control de semáforos (Zhang et al., 2019, p. 1255). En muchos problemas de optimización del mundo real, como el problema de la programación del tráfico, la evaluación de las soluciones candidatas requiere la simulación de un proceso en varios escenarios (Cintrano et al., 2021, p. 17).

El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) dio a conocer que, en el mes de febrero de 2023, el Índice de Flujo Vehicular aumentó en 2,9%, respecto al similar mes de 2022, esto debido al mayor movimiento de unidades ligeras (5,9%). En los últimos doce meses a febrero 2023, este indicador mostró variación positiva en 4,8%. Así pues, la congestión vehicular ha sido originada por diversos factores, ante esto en una entrevista en el año 2023 (Exitosa TV) al gerente de Estudios Económicos y Estadísticas de la Asociación Automotriz del Perú, Alberto Morisaki, mencionó que en un estudio que ha realizado la empresa privada TomTom, que ve el tema del tránsito y tráfico a nivel mundial; determina que en Lima, en promedio, circular 10 km con vehículos demora más o menos 27 minutos y 10 segundos: y refirió que ese número lo ubica a nivel regional en el primer lugar, pero a nivel mundial nos encontramos en la posición 8, para el año 2022. Con ello, la Asociación Automotriz del Perú (AAP), que tuvo en cuenta un trabajo realizado por la Fundación Transitemos, resolvió para el año 2022, como dato crucial que el 38% de limeños pierde una hora y media en el congestionado vehicular en Lima.

Según la Municipalidad Provincial de Cajamarca, a través de su Gerencia de Vialidad y Transporte, respecto a su informe técnico del año 2021, emana que como consecuencia del incremento del parque automotor aumento el congestionamiento vehicular en puntos críticos; además, la inspección de campo en calles específicas, determinaron principales inconvenientes como, calles con ángulo de giro inadecuado, calles con las dimensiones no adecuadas para el tránsito, congestionamiento vehicular, pendientes pronunciadas de las vías. Poniendo énfasis en varios ítems de sus observaciones, que una de las causas del problema (congestión) está contemplada en las intersecciones de la ciudad. A través de un reportaje en el año 2023 (Diario Gestión) durante la presentación de “Retos y oportunidades en tráfico y transporte en la ciudad de Cajamarca y Perú”, organizada por la Asociación Automotriz del Perú (AAP), Mario Candia, ingeniero de la Consultora Transis, resaltó que durante las últimas décadas se ha incrementado la congestión vehicular en esta ciudad, lo que estimó que genera una pérdida de S/ 100 millones por año.

Que, de acuerdo al Plan de Desarrollo Urbano Ciudad de Jaén 2013 – 2025, no existe en la ciudad un sistema de transporte público local, se caracteriza por tener un transporte local realizado por unidades menores (motos lineales y mototaxis), se evidencia la falta de infraestructura física de transporte público, estas unidades ocupación de calles como estacionamiento, para giros y salidas, contribuyendo a congestionar el tráfico vehicular y peatonal de la zona central de la ciudad, adicional a esta condiciones la presencia de vehículos de carga al entorno de los mercados ó paradas de comercio de la ciudad, originando caos en la vías y área de influencia por giros, estacionamientos, carga y descarga de productos, actividades propias de esta actividad, que son realizados en la vía pública. (MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN, 2013, p. 41, 42)

1.1.2. Fundamentación del problema

La ciudad de Jaén enfrenta desafíos en la gestión del tráfico vehicular, particularmente en las intersecciones más concurridas, las cuales presentan una infraestructura vial insuficiente y subóptima, que no responde adecuadamente a las demandas de movilidad contemporáneas. La falta de un sistema de control de tráfico eficiente se manifiesta en forma de congestión vehicular severa y riesgos elevados para la seguridad de los usuarios de la vía.

A pesar de la presencia de semáforos en algunas intersecciones, estos dispositivos no están configurados ni sincronizados adecuadamente para gestionar el flujo vehicular de manera eficiente. Esto resulta en largas colas de vehículos, tiempos de espera prolongados y una disminución general en la velocidad del tráfico. La ineficacia de estos semáforos no solo contribuye a la congestión, sino que también incrementa las probabilidades de accidentes y violaciones de las normas de tránsito.

En aquellas intersecciones que carecen de semáforos, la situación es aún más crítica. Conductores y peatones se ven obligados a tomar decisiones rápidas y a menudo inseguras, lo que aumenta la incidencia de infracciones y colisiones. La ausencia de una señalización adecuada y de un control del tráfico eficiente pone en riesgo la integridad física de los usuarios de la vía y afecta negativamente la fluidez del tránsito.

El casco urbano de Jaén y sus accesos principales presentan una planificación del tránsito deficiente, sin evaluaciones sistemáticas que aborden el análisis vial de manera integral. Esto ha dado lugar a concentraciones elevadas de tránsito vehicular, con una notable preponderancia de vehículos menores como mototaxis y motos lineales, que complican aún más la dinámica del tráfico. Las intersecciones actuales no solo presentan problemas de congestión, sino que también exhiben movimientos y giros conflictivos que interfieren con el paso seguro de peatones y vehículos.

En vista de estos problemas, es crucial proponer soluciones innovadoras y adaptativas. Esta investigación se centra en el análisis de las intersecciones semaforizadas dentro de la zona urbana de Jaén, con el objetivo de desarrollar un sistema adaptativo basado en algoritmos de inteligencia artificial. Este sistema permitirá optimizar los tiempos de espera y mejorar el nivel de servicio en las intersecciones, reduciendo así la congestión y mejorando la seguridad vial.

La implementación de un sistema adaptativo de control de tráfico en Jaén es de suma importancia no solo por su potencial para mejorar la movilidad urbana, sino también por su capacidad de reducir los impactos negativos del tráfico sobre la calidad de vida de los ciudadanos. La optimización del flujo vehicular contribuirá a disminuir las emisiones de gases contaminantes, mejorar la eficiencia del transporte público y privado, y fomentar un entorno urbano más seguro y habitable.

La investigación representa un paso fundamental hacia la solución de los problemas viales de Jaén, aportando un enfoque científico y práctico que puede ser de gran interés para instituciones, empresas y futuros investigadores. La implementación de este sistema adaptativo no solo mejorará la gestión del tráfico en la ciudad, sino que también sentará las bases para un desarrollo urbano sostenible y eficiente.

1.1.3. Formulación del problema

¿Influye en la transitabilidad la propuesta de un sistema adaptativo para intersecciones semaforizadas en la ciudad de Jaén?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Proponer un sistema adaptativo para intersecciones semaforizadas en la ciudad de Jaén.

1.2.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el accionar que presenta cada intersección semaforizada dentro del casco urbano.
- Elaborar y ejecutar un sistema basado en los datos de representación del algoritmo.

1.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La propuesta de un sistema adaptativo para intersecciones semaforizadas en la ciudad de Jaén si influye en la transitabilidad.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El presente trabajo de investigación proyecta reducir la problemática que afronta actualmente la ciudad de Jaén, debido al caos vehicular y por la falta de gestión que las instituciones públicas dan en cuanto al bienestar del usuario y el orden en las vías, con mayor énfasis en las intersecciones. Por lo que, se incita la propuesta de un sistema adaptativo, aplicado a intersecciones semaforizada dentro del casco urbano de la ciudad, con la finalidad de calcular y reducir las demoras y por ende evitar grandes colas, tiempos de espera, congestionamiento, e inseguridad. Por tanto, al mejorar las demoras, se daría una oferta en la mejora del nivel de servicio que debe presentar una intersección.

Metodológicamente, el sistema adaptativo estará basado en la generación de un algoritmo, como conjunto de instrucciones o reglas definidas que permita solucionar el problema y que puedan modificar su conducta durante su ejecución; y por medio de la representación del algoritmo ejecutar un sistema, que sea capaz de obtener y mejorar como última instancia las demoras y con ello el nivel de servicio en las intersecciones.

Técnicamente, el sistema adaptativo va a acopiar cada detalle presente en la zona de estudio con el fin de caracterizar e ingresar datos de entrada, procesar y recoger datos de salida acorde a lo adaptado en las intersecciones; por ende, realizaremos la simulación a través de un sistema y pretendemos mejorar el nivel de servicio (reduciendo las demoras).

Socialmente, el beneficiario (conductor y peatón), reducirá sus niveles de estrés e inseguridad, ya que, al evitar retrasos y congestión en la zona, el tránsito será más fluido y acorde a las características normativas y de mejora del ornato público.

Ambientalmente, este tipo de proyecto, contribuye a la reducción de la contaminación acústica y térmica; ya que se intenta evitar que la acumulación vehicular provoque emisiones de sonido abrumadores por querer avanzar; así mismo tratar de evitar que el involucrado permanezca demasiado tiempo a la intemperie por motivos de querer transitar.

Esta contribución es importante, para las autoridades a nivel local y/o regional, empresas y/o investigadores futuros, además favorecer a interesados como son peatones o conductores, que hacen uso de las intersecciones; mejorando el sistema de transporte y aportando con la ciudadanía de Jaén.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Internacionales

Savithramma & Sumathi (2023) en su artículo “Comparative Analysis of Waiting Delay Estimation Models for Signalized Intersections: A Case Study Tumakuru City”, llevaron a cabo un estudio que incluyó cuatro modelos de estimación de retrasos: Webster, Manual de Capacidad de Carreteras (HCM), Webster modificado y HCM modificado. Utilizando un diseño de investigación experimental, analizaron los retrasos en dos intersecciones específicas de Tumakuru, a saber, Townhall Circle y Shivakumara Swamiji Circle. La metodología consistió en comparar los modelos de retrasos con los retrasos reales observados y evaluar la precisión de los modelos calculando varios tipos de errores. El objetivo del estudio fue evaluar la precisión de estos modelos en la estimación de retrasos en intersecciones semaforizadas. Los resultados mostraron que los modelos Webster y HCM ofrecieron las estimaciones de retrasos más precisas. Sin embargo, se concluyó que los cuatro modelos son capaces de producir resultados aproximadamente correctos con una precisión del 90%. (p. 579)

Shamlitskiy et al. (2023) en su artículo “Transport Stream Optimization Based on Neural Network Learning Algorithms”, presentan un estudio con un diseño cuasiexperimental. La metodología de investigación se centró en la implementación y demostración de diversos métodos de cálculo utilizados en el control, regulación, análisis y gestión de flujos de tráfico, empleando tecnologías de automatización y algoritmos de aprendizaje de redes neuronales. El objetivo fue abordar la automatización de la gestión del flujo de tráfico y utilizar inteligencia artificial para resolver problemas de optimización del tráfico. Los resultados mostraron que los métodos utilizados son efectivos para controlar, regular, analizar y gestionar flujos de tráfico, proporcionando gradaciones de niveles de servicio y conveniencia en la estimación del rendimiento, y se analizaron diversos criterios para la regulación y el control de situaciones viales y de transporte en general. (p. 417)

Majstorović et al. (2023) en su artículo “Urban Traffic Signal Control under Mixed Traffic Flows: Literature Review”, presentan un diseño no experimental, basado en una revisión de literatura. La metodología de investigación consistió en una revisión exhaustiva de trabajos de investigación pertinentes que cubren el tema del control de señales de tráfico urbano (TSC) y los flujos de tráfico mixto. El objetivo fue proporcionar una visión general de las

mejores prácticas para la estimación del estado de la intersección y el TSC en el caso de flujos de tráfico mixto en un entorno urbano. Los resultados y conclusiones del estudio discuten posibles enfoques para la utilización de vehículos conectados (CVs) y vehículos autónomos conectados (CAVs) como sensores móviles y actuadores, resumidos como las mejores prácticas identificadas. (p. 1)

Doçi et al. (2022) en su artículo “Design of traffic intersection model and regulation with software and microcontrollers”, desarrollaron un modelo de intersección de tráfico con un diseño experimental, centrado en el desarrollo y regulación del modelo. La metodología de investigación incluyó la integración de software, microcontroladores y componentes electrónicos para optimizar las fases de viaje de los vehículos y regular el tráfico en tiempo real. El objetivo fue demostrar la viabilidad del modelo 3D para realizar y estudiar tareas básicas de regulación del tráfico. Como resultado, se encontró que el prototipo pudo realizar satisfactoriamente las funciones de regulación, destacando su potencial como ejemplo replicable para mejorar la gestión del tráfico en diferentes tipos de intersecciones viales. Este enfoque de diseño ofrece perspectivas prometedoras para futuras implementaciones en sistemas de control de tráfico urbano, proporcionando una base sólida para el desarrollo y la innovación en la ingeniería de transportes. (p. 117, 135)

An et al. (2022) en su artículo “Optimized Intersection Signal Timing: An Intelligent Approach-Based Study for Sustainable Models”, emplearon un diseño no experimental aplicando un algoritmo inspirado en Garra Rufa (GRI) para optimizar el control de señales de tráfico en intersecciones urbanas. La metodología consistió en un análisis teórico de optimización inteligente y la implementación del algoritmo GRI mediante simulaciones y análisis comparativos en dos intersecciones específicas. El objetivo fue evaluar la capacidad del algoritmo GRI para reducir la cantidad de vehículos en cola. Como resultado, se encontró que el algoritmo GRI logró disminuir en un 10.1% el número de vehículos en la intersección A y en un 16.5% en la intersección B. Estos hallazgos sugieren que el uso de algoritmos inteligentes puede significativamente mejorar la eficiencia del tráfico urbano y promover modelos de gestión más sostenibles. (p. consulte resumen)

Chen & Chen (2022) en su artículo “Variable Lane Control of Intersection Region based on Simulation Platform”, llevaron a cabo un estudio empleando un diseño de investigación no experimental, propusieron un método de control de carril variable para los carriles de

entrada de intersección. La metodología de investigación incluyó la predicción de flujos de tráfico a corto plazo utilizando el método de Kalman y la evaluación del método propuesto utilizando el simulador SUMO. El objetivo principal fue mejorar la eficiencia del tráfico en las intersecciones urbanas mediante la reducción de los retrasos medios. Como resultado, se encontró que el método desarrollado pudo efectivamente reducir los retrasos en la intersección, demostrando su eficacia en el control de carriles variables. Este estudio destaca la relevancia del método propuesto como una herramienta efectiva para optimizar el flujo de tráfico en entornos urbanos congestionados. (p. consulte resumen)

Olayode et al. (2022) en su artículo “Application of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Model on Traffic Flow of Vehicles at a Signalized Road Intersections utilizan un diseño de investigación no experimental, basado en la aplicación de un algoritmo híbrido creativo para abordar el problema de la congestión del tráfico en intersecciones señalizadas. La metodología de investigación se centra en el uso del sistema de inferencia neuro-fuzzy adaptativo (ANFIS) como el algoritmo híbrido propuesto. El objetivo del estudio es optimizar el flujo de tráfico señalizado para reducir la congestión repetitiva. El resultado del modelo ANFIS mostró un rendimiento de entrenamiento y prueba de 0.8722 y 0.9370, respectivamente. La conclusión plantea que un algoritmo híbrido adaptativo como el ANFIS es eficaz para optimizar el flujo de tráfico en intersecciones viales señalizadas. (p. 1)

Shaikh et al. (2022) en su artículo “A Review on Swarm Intelligence and Evolutionary Algorithms for Solving the Traffic Signal Control Problem”, presentan un diseño de investigación no experimental basado en una revisión bibliográfica sobre el control de señales de tráfico (TSC) utilizando algoritmos evolutivos, algoritmos de inteligencia de enjambre y otras meta-heurísticas basadas en la población. La metodología de investigación consiste en analizar y sintetizar la literatura existente sobre estos algoritmos aplicados al TSC. El objetivo del estudio es identificar las direcciones importantes para implementar algoritmos simples y eficientes en la vida real, específicamente enfocándose en reducir los tiempos de ejecución. La conclusión plantea que los algoritmos simples y eficientes son la clave para resolver eficazmente el TSC.

Fuad et al. (2022) en su artículo “Adaptive Deep Q-Network Algorithm with Exponential Reward Mechanism for Traffic Control in Urban Intersection Networks”, utilizan un diseño de investigación experimental basado en el desarrollo de un controlador de tráfico

adaptativo que emplea un algoritmo de aprendizaje por refuerzo denominado deep Q-network (DQN). La metodología de investigación incluye la implementación de una función de recompensa exponencial basada en el diagrama fundamental macroscópico (MFD) de la distribución de la densidad de vehículos en las intersecciones. El objetivo del estudio es prevenir la congestión en un modelo de red de tráfico del centro de Yakarta. El resultado mostró que el algoritmo funcionó eficazmente en la prevención de congestión. La conclusión plantea que el diseño del control del tráfico utilizando el MFD como medida de rendimiento puede ser exitoso para los sistemas de control del tráfico. (p. 1)

Savithramma et al. (2022) en su artículo “A Comparative Analysis of Machine Learning Algorithms in Design Process of Adaptive Traffic Signal Control System”, utilizan un diseño de investigación no experimental en un análisis comparativo de varios modelos de aprendizaje automático. La metodología de investigación incluye el uso de algoritmos como regresión lineal, Ridge, Lasso, regresión de vectores de soporte, k-Nearest Neighbour, Decision Tree, Random Forest y Gradient Boosting Regression Tree para predecir el tiempo verde en una intersección aislada, basándose en la clasificación del tráfico y el volumen para cada fase. El objetivo del estudio es evaluar la precisión de estos modelos en la predicción de los tiempos de verde. Los resultados revelan que todos los modelos seleccionados predicen los tiempos de verde con una precisión del 91% y 85%. La conclusión plantea que estos modelos son efectivos para diseñar sistemas adaptativos de control de señales de tráfico. (p. 1)

Radivojević et al. (2021) en su artículo “The adaptive algorithm of a four way intersection regulated by traffic lights with four phases within a cycle”, proponen una solución de software para el funcionamiento del sistema de semáforos que permita un modo adaptativo de los mismos. Utilizan el paquete de software LabVIEW y la detección de la posición de los vehículos mediante cámaras de flujo de tráfico. El objetivo del estudio es optimizar el ciclo de los semáforos en una intersección de cuatro vías regulada por semáforos con cuatro fases dentro de un ciclo. Los resultados mostraron que los ciclos iniciales ensayados con variación de flujos y tiempos de 78s, 76s, 96s, 106s, 93s, 79s, 76s, 83s, 73s se optimizaron a ciclos de 78s, 128s, 138s, 160s, 93s, 73s, 80s, 54s, 176s. La conclusión plantea que la solución de software optimiza el plan de señales, proporcionando una regulación del tráfico más eficiente. El aporte del estudio es que el sistema de gestión de tráfico adaptativo,

utilizando software y detección de posición de vehículos mediante cámaras de flujo de tráfico, ofrece una forma fácil y transparente de gestionar el tráfico. (p. 1, 11)

Li et al. (2021) en su artículo “Optimal design of transportation signal control at the intersection based on Webster signal timing method”, utilizan un diseño de investigación enfocado en la optimización del esquema de temporización de las señales de intersecciones. La metodología de investigación incluye la aplicación del método Webster para optimizar el esquema de temporización y la simulación de dos esquemas (antes y después) utilizando el software VISSIM. El objetivo del estudio es mejorar las condiciones del tráfico en la intersección. Los resultados mostraron que, tras la optimización, la demora real se redujo de 21.9s a 17.3s y el nivel de servicio aumentó del nivel C al nivel B, mejorando evidentemente las condiciones de tráfico en la intersección. La conclusión plantea que es factible el uso del método Webster para optimizar la temporización de señales en intersecciones. (p. 1)

Arjmand et al. (2021) en su artículo “Modeling and Simulation of Urban Traffic Network Using Enterprise Dynamics (Case study: the Sabzeh Meydan intersection in Qazvin city)”, utilizan un diseño de investigación no experimental basado en la creación de un modelo de simulación de la intersección en software. La metodología de investigación incluye el diseño de dos escenarios para mejorar las condiciones de tráfico y reducir el tiempo de espera, modelando ambos escenarios a través del software Enterprise Dynamics. El objetivo del estudio es comparar los dos escenarios para determinar la mejor opción a corto y largo plazo. Los resultados mostraron que el primer escenario podría ser la mejor opción a corto plazo, mientras que el segundo escenario podría ser una alternativa positiva a largo plazo. La conclusión plantea que es posible proponer y simular escenarios en software para una intersección. (p. 14)

Zhao et al. (2021) en su artículo “Novel Online Sequential Learning-Based Adaptive Routing for Edge Software-Defined Vehicular Networks”, utilizan un diseño de investigación cuasiexperimental en la propuesta de un esquema de enrutamiento adaptativo basado en el aprendizaje secuencial. La metodología de investigación incluye la división de la gran área geográfica, el diseño de un nuevo algoritmo con capacidades de optimización y la creación de un esquema para generar la política de enrutamiento. El objetivo del estudio es desarrollar un esquema de enrutamiento superior al de un único protocolo de enrutamiento tradicional. Los resultados mostraron que el esquema propuesto es superior en

comparación con los protocolos de enrutamiento tradicionales. La conclusión plantea que, con el apoyo del algoritmo, se logra un enrutamiento eficaz en redes vehiculares. (p. 2991)

Hambli et al. (2021) en su artículo “Smart control algorithm in traffic lights at urban intersections”, utilizan un diseño de investigación experimental, basado en el desarrollo de un algoritmo de control inteligente de los semáforos. La metodología de investigación incluye dos estrategias importantes: el cálculo del camino más corto y un algoritmo de gestión y control de semáforos. El objetivo del estudio es sincronizar los semáforos de manera efectiva. Los resultados mostraron que la sincronización de los semáforos se calcula con éxito. La conclusión plantea que, a través de un algoritmo de control, se puede lograr la sincronización eficaz de los semáforos. (p. 1)

Zhang et al. (2021) en su artículo “Traffic Light Optimization Based on Modified Webster Function”, presentan un diseño de investigación no experimental, centrado en la optimización de semáforos. La metodología de investigación incluye el uso de una función Webster modificada, donde el ciclo de la señal y la proporción de duración de luz verde se consideran como variables clave para desarrollar una función de retardo de vehículos en la intersección. El objetivo del estudio fue emplear un algoritmo genético modificado para encontrar la solución óptima a esta función, con el fin de reducir el retardo en la intersección. Los resultados indican que el esquema de temporización optimizado logrado mediante el algoritmo genético puede reducir el retardo en la intersección en un 15.64%. La conclusión destaca la eficacia del enfoque propuesto para mejorar la eficiencia del control de tráfico mediante técnicas avanzadas de optimización y modelado funcional. (p. 1)

ALI et al. (2021) en su artículo “An Adaptive Method for Traffic Signal Control Based on Fuzzy Logic With Webster and Modified Webster Formula Using SUMO Traffic Simulator”, proponen un diseño de investigación experimental centrado en el desarrollo de un sistema adaptativo de control de señales de tráfico. La metodología de investigación incluye el uso de lógica difusa junto con la fórmula de Webster y su versión modificada. Los métodos propuestos son evaluados en una intersección aislada utilizando datos reales recopilados en campo. El objetivo del estudio es comparar estos métodos adaptativos con los sistemas tradicionales de control de tráfico basados en tiempo fijo y lógica difusa. Los resultados de la simulación muestran que los métodos propuestos superan significativamente a los métodos tradicionales en términos de retraso vehicular promedio,

velocidad y tiempo de viaje. La conclusión destaca la eficacia del enfoque adaptativo basado en lógica difusa y las fórmulas de Webster para mejorar la gestión del tráfico en intersecciones urbanas. (p. 102985)

Yang et al. (2020) en su artículo “Urban Traffic Control in Software Defined Internet of Things via a Multi-Agent Deep Reinforcement Learning Approach”, presentan un diseño de investigación enfocado en la propuesta de la Política Proximal Modificada (PPO). La metodología de investigación incluye la generación de un algoritmo como esquema de control de tráfico, donde se ajusta de manera adaptativa el hiperparámetro del clip para limitar la distancia entre la siguiente política y la política actual. El objetivo del estudio es mejorar el rendimiento de un software definido de las cosas mediante esta metodología con algoritmo, específicamente aliviando la congestión del tráfico. Los resultados indican que el método propuesto es más competitivo y estable en comparación con el algoritmo original. El aporte del estudio radica en la aplicación efectiva de una metodología basada en algoritmos para mejorar la gestión del tráfico urbano en entornos de Internet de las Cosas definido por software.

Bashiri (2020) en su tesis doctoral “Data-Driven Intersection Management Solutions for Mixed Traffic of Human-Driven and Connected and Automated Vehicles”, propone dos soluciones para el control del tráfico urbano en presencia de vehículos conectados y automatizados. El diseño de investigación fue no experimental se centra en un método basado en datos para la sincronización óptima de señales y en un método heurístico basado en datos para estimar las decisiones de encaminamiento. El objetivo del estudio es demostrar que el controlador de tráfico desarrollado supera la metodología del Manual de Capacidad de Autopistas, logrando reducir el retraso medio hasta un 25% cuando se ajusta adecuadamente. La conclusión resalta el aporte significativo de un control adaptativo para lograr una sincronización óptima de señales en intersecciones, especialmente en entornos mixtos de vehículos conectados y automatizados. (p. 3, 4)

Jiajia & Xingquan (2020) en su artículo “Research on Fuzzy Control and Optimization for Traffic Lights at Single Intersection”, presentan un diseño de investigación no experimental centrado en un método de control difuso para semáforos, basado en una secuencia de cuatro fases para controlar una intersección. La metodología incluye el uso de un algoritmo genético para optimizar las reglas difusas y las funciones de pertenencia del sistema de

control difuso con el objetivo de mejorar su rendimiento. El método de control difuso se implementa utilizando el software de simulación Sumo (Simulation of Urban Mobility). Los resultados muestran que este método puede reducir significativamente el tiempo medio de retraso y mejorar la capacidad de tráfico de la intersección. El aporte principal del estudio es la demostración de cómo un algoritmo puede efectivamente reducir el retraso y mejorar las condiciones de tráfico en una intersección mediante el uso de control difuso optimizado. (p. 2401)

Novikov et al. (2020) en su artículo “Development of a procedure for adapting a model of adjustable intersection”, presentan un diseño de investigación no experimental centrado en el desarrollo de un algoritmo para evaluar el funcionamiento adecuado de un modelo de cruce controlado y su aplicación práctica. La metodología se enfoca en el uso de software que permite simular los procesos de transporte durante las etapas iniciales de actividades relacionadas con la organización o reorganización del tráfico rodado. El objetivo del estudio es desarrollar un algoritmo para verificar la adaptación del modelo de cruce controlado en el entorno del software Aimsun, proponiendo un nuevo plan de coordinación para la intersección. Los resultados destacan el desarrollo exitoso del algoritmo de comprobación de adaptación del modelo y la propuesta de un plan de coordinación mejorado para la intersección. El aporte principal del estudio es la introducción de nuevas propuestas de coordinación basadas en algoritmos para mejorar la gestión del tráfico en intersecciones urbanas. (p. 726)

Savithramma & Sumathi (2020) en su artículo “Road Traffic Signal Control and Management System: A Survey”, realizan una revisión bibliográfica. El diseño de investigación fue no experimental, centrado en recopilar y analizar información relevante sobre sistemas inteligentes de señalización del tráfico (ITSS) y sistemas de control de señales de tráfico (TSCS). Utilizan una metodología de investigación que incluye la revisión exhaustiva de estudios previos y la síntesis de resultados clave. El objetivo del estudio es proponer soluciones efectivas para mitigar la congestión del tráfico urbano mediante el uso de ITSS y TSCS basados en técnicas de aprendizaje automático. Como resultado, identifican que los sistemas inteligentes de señalización podrían reducir significativamente el tiempo de espera y mejorar la eficiencia del tráfico urbano. En conclusión, subrayan la importancia de implementar estos sistemas para optimizar la gestión del tráfico urbano y mejorar la calidad de vida en áreas urbanas congestionadas. (p. 104)

Hussain et al. (2020) en su artículo “Optimal control of traffic signals using quantum annealing”, presentan un diseño de investigación experimental centrado en el formateo QUBO del problema de control óptimo de señales de tráfico. La metodología se enfoca en facilitar el flujo de tráfico mediante el uso del recocido cuántico de D-Wave Systems para resolver este problema complejo. El objetivo del estudio es mostrar cómo el problema de coordinación de semáforos puede ser formulado en un formato QUBO, aprovechando la capacidad del recocido cuántico para optimizar la función de costes, incluyendo el término Q2. Los resultados destacan que controlar óptimamente las señales de tráfico mediante esta técnica puede mejorar significativamente la coordinación de los semáforos subsiguientes. El estudio resalta el aporte significativo de la aplicación del recocido cuántico para resolver problemas complejos de control de tráfico, mostrando su potencial para futuras aplicaciones en gestión de tráfico urbano. (p. 16)

Qin et al. (2020) en su artículo “A graph convolutional network model for evaluating potential congestion spots based on local urban built environments”, presentan un diseño de investigación no experimental, que utiliza una técnica de aprendizaje automático junto con imágenes y datos de dominio público. La metodología se centra en el desarrollo de una red convolucional basada en grafos que puede: (a) extraer características del entorno urbano; (b) modelar dependencias espaciales entre la congestión del tráfico en redes de carreteras; y (c) evaluar el nivel de riesgo de intersecciones con potencial de congestión. El objetivo del estudio es aplicar este modelo en la ciudad de Wuhan (China) para predecir puntos potenciales de congestión. Los resultados del estudio muestran que la predicción del modelo es altamente coherente, alcanzando alrededor del 85.5% de precisión cuando se compara con datos reales. Este hallazgo subraya la eficacia del enfoque propuesto para identificar y prever puntos críticos de congestión en entornos urbanos, proporcionando así herramientas efectivas para la gestión del tráfico urbano. (p. 1382)

Prihantini et al. (2020) en su artículo “Application of Webster's Method to Optimizing Traffic Lights at the Intersection of Bantul - Nasional III Street, Yogyakarta”, proponen un estudio detallado del sistema de semáforos en la intersección APILL en la calle Bantul-Nasional III, Yogyakarta, utilizando el método Webster. El diseño de investigación fue experimental centrado en analizar y optimizar los tiempos de los semáforos en diferentes direcciones. Para la calle Bantul (norte), se encontró que la duración óptima de la luz verde es de 30 segundos, seguida de 3 segundos de amarillo y 28 segundos de rojo. Similarmente,

para la calle Nacional III (este), se determinó que los tiempos ideales son 24 segundos de verde, 3 segundos de amarillo y 34 segundos de rojo. Estos ajustes resultaron en configuraciones más óptimas en comparación con los tiempos actuales observados en el campo. Este estudio demuestra cómo la aplicación adecuada del método Webster puede mejorar eficazmente la gestión del tráfico en intersecciones urbanas, optimizando el tiempo de espera y mejorando la fluidez del tráfico. (p. 347)

Cao (2019) en su tesis doctoral “Real-Time control for intersection traffic signals”, propone un diseño de investigación no experimental, centrado en desarrollar un control en tiempo real para semáforos de intersecciones. La metodología incluye la derivación de un algoritmo de control en tiempo real (DORAS), seguido de un algoritmo de control avanzado (MADM), y finalmente, el desarrollo de un algoritmo matemático. El objetivo del estudio es implementar estos algoritmos para reducir significativamente el retraso medio de los vehículos en la intersección. Como resultado, el estudio muestra que el algoritmo propuesto logra una notable reducción en el retraso experimentado por los vehículos en comparación con métodos convencionales. Este hallazgo subraya el aporte significativo de los algoritmos de control en la optimización del flujo de tráfico en intersecciones urbanas, mejorando así la eficiencia del sistema de señalización de tráfico. (p. 2)

Saeed & Elhadeef (2019) en su artículo “A Distributed inVANETs-Based Intersection Traffic Control Algorithm”, presentan un diseño de investigación experimental enfocado en mejorar el sistema distribuido de algoritmo de control de tráfico en intersecciones. La metodología adoptada implica un enfoque completamente distribuido donde los vehículos compiten por el derecho de paso en la intersección. El objetivo del estudio es demostrar la efectividad y corrección del algoritmo mejorado, asegurando que cumpla con las propiedades necesarias para el control de intersecciones. Como resultado, se prueba la validez del algoritmo mejorado, mostrando cómo puede optimizar el flujo de tráfico de manera eficiente. Este estudio subraya el aporte significativo de mejorar los algoritmos de control de tráfico para obtener resultados más efectivos y eficientes en la gestión del tráfico en intersecciones urbanas (p. 343)

De la Cruz (2019) en su tesis “Contribución a las estrategias de optimización multiobjetivo para la coordinación de vehículos en intersecciones urbanas”, aborda el problema de la coordinación de vehículos en cruces de carreteras o intersecciones en un entorno urbano,

empleando un diseño experimental. La metodología de investigación propone una estrategia basada en la centralidad de la red de carreteras para identificar las mejores posiciones de ésta. Utiliza dos propuestas: una centrada en el desarrollo de un sistema multiagente y otra en el comportamiento de los vehículos en el interior de las intersecciones. El objetivo fue mejorar los procesos de optimización en intersecciones mediante el diseño y utilización de un algoritmo genético. Los resultados indican que estas estrategias permiten una mejora significativa en la coordinación y optimización del flujo vehicular en entornos urbanos. En conclusión, De la Cruz demuestra que, a través del uso de algoritmos genéticos y metodologías centradas en la red vial, se pueden lograr optimizaciones efectivas en la gestión del tráfico en intersecciones urbanas. (p. 20, 21, consulte resumen)

Leprêtre et al. (2019) en su artículo “Fitness landscapes analysis and adaptive algorithms design for traffic lights optimization on SIALAC benchmark”, optimizaron semáforos utilizando análisis de paisajes de aptitud y diseño de algoritmos adaptativos, empleando un diseño no experimental. La metodología de investigación se centra en el desarrollo de un nuevo algoritmo de optimización adaptable para abordar cada escenario del benchmark SIALAC. El objetivo fue mejorar el diseño de los algoritmos de optimización para problemas de movilidad del mundo real. Los resultados indican que es posible proponer nuevos algoritmos de optimización adaptables. En conclusión, el estudio demuestra la viabilidad y eficacia de estos nuevos algoritmos para optimizar el tráfico en entornos urbanos complejos. (p. 1)

Wijaya et al. (2019) en su estudio “Analysis of Vehicle Waiting Time Efficiency Using Webster Method and Newton’s Divided Difference: Case Study at Mirota Kampus Intersection, Yogyakarta, Indonesia”, analizan la duración óptima de las señales en una intersección muy concurrida, mediante un diseño no experimental. La metodología de investigación emplea el método de Webster y la interpolación por diferencia de Newton, observando que los valores de la onda normal son directamente proporcionales a la duración del ciclo. El objetivo fue optimizar la duración de las señales en la intersección. Los resultados del análisis muestran una disminución de la duración de la señal hasta un 21.7%, una reducción del retraso del vehículo hasta un 13.0% y una reducción del tiempo de ciclo en un 14.8%, lo que implica una reducción del tiempo de espera. En conclusión, esta configuración puede optimizar la eficacia de la duración de la señal en la intersección. (p. 1)

Celik & Karadeniz (2018) en su artículo “Urban Traffic Optimization with Real Time Intelligence Intersection Traffic Light System”, desarrollaron un sistema de semáforos para optimizar el flujo de tráfico en la ciudad, empleando un diseño experimental. La metodología consistió en probar el sistema de semáforos utilizando entradas de vehículos y carreteras en el sistema de simulación de tráfico urbano SUMO, llevando a cabo la simulación en 7 intersecciones iluminadas. El objetivo fue desarrollar un sistema de semáforos para optimizar el flujo del tráfico. Los resultados indican que la propuesta se comporta mejor que el sistema de semáforos de tiempo fijo y el de onda verde. En conclusión, el aporte de Celik & Karadeniz demuestra que un sistema de semáforos inteligentes optimiza el flujo de tráfico de manera más eficiente que los sistemas de semáforos fijo y de onda verde. (p. 218)

Andronov & Leverents (2018) en su artículo “Calculation of vehicle delay at signal-controlled intersections with adaptive traffic control algorithm”, detallaron un diseño de investigación no experimental, enfocado en un modelo de simulación de una intersección controlada por señales para evaluar la eficacia del control adaptativo. La metodología emplea un experimento numérico basado en el método de Monte Carlo. El objetivo del estudio fue calcular los retrasos de los vehículos, la longitud de las colas y la duración de los ciclos de los semáforos bajo diferentes intensidades de los flujos de tráfico entrante y la presencia o ausencia de tráfico peatonal. Los resultados indican que el modelo de simulación puede calcular eficazmente estos parámetros críticos. En conclusión, el estudio aporta una herramienta valiosa para calcular retrasos, colas y ciclos de semáforos en intersecciones controladas, demostrando la utilidad del modelo de simulación en la evaluación y mejora del control de tráfico adaptativo. (p. 1)

Zhang & Zhou (2018) en su artículo “Distributed coordination control of traffic network flow using adaptive genetic algorithm based on cloud computing”, emplearon un diseño de investigación no experimental, enfocado en una estrategia de optimización por niveles de los ciclos de las señales. La metodología se centra en el desarrollo de un algoritmo genético adaptativo paralelo de grano grueso (CPAGA) para la optimización del control de coordinación distribuido. El objetivo del estudio fue demostrar que el control de coordinación distribuida de los semáforos es superior al control de tiempo comúnmente utilizado para reducir el retraso del tráfico. Los resultados indican que el control adaptativo de las señales de tráfico puede ajustar automáticamente los ciclos de las señales, las

compensaciones y los coeficientes de verde. En conclusión, el estudio aporta una estrategia eficaz para la optimización del control de tráfico, mejorando significativamente la gestión del flujo vehicular en redes de tráfico mediante el uso de algoritmos genéticos adaptativos y computación en la nube. (p. 110)

Noval et al. (2018) en su artículo “Optimasi Lampu Lalu Lintas Cerdas Menggunakan Metode Webster”, propusieron el diseño de un semáforo en miniatura con tres carriles, mediante un diseño experimental. La metodología incluyó el procesamiento de los datos obtenidos mediante el método Webster y la utilización de estos resultados como entrada para que el microcontrolador controle el sistema de sensores y establezca la duración de los semáforos. El objetivo del estudio fue demostrar la optimización del sistema de semáforos existente. Los resultados muestran una reducción del tiempo medio de retardo de los vehículos en un 40.52% para la fase 1 y en un 15.97% para la fase 2, en comparación con las condiciones existentes. En conclusión, el estudio aporta una solución efectiva para la optimización de los semáforos, logrando una significativa reducción de los tiempos de retardo vehicular y mejorando la eficiencia del control del tráfico.

Saha et al. (2017) en su artículo “Delay at Signalized Intersections under Mixed Traffic Conditions”, emplearon un diseño de investigación no experimental, centrado en mejorar el modelo de retraso para intersecciones señalizadas en condiciones de tráfico heterogéneo. La metodología incluye la modificación del modelo HCM (Highway Capacity Manual) utilizando datos de tráfico recopilados. Se empleó la regla del tercio de Simpson para estimar tanto el retraso total en un ciclo como el retraso promedio por vehículo. El objetivo del estudio fue validar el modelo propuesto utilizando datos de otras intersecciones, demostrando que la diferencia máxima entre el retraso observado y el estimado es inferior al 5%. En conclusión, el estudio proporciona una mejora significativa en la precisión del modelo de retraso para intersecciones señalizadas bajo condiciones de tráfico mixto, destacando su utilidad para la gestión eficiente del tráfico urbano.

Zakariya & Rabia (2016) en su artículo “Estimating the minimum delay optimal cycle length based on a time-dependent delay formula”, emplearon un diseño de investigación no experimental, centrado en dos fórmulas de regresión para estimar la longitud óptima del ciclo con el mínimo retraso, basadas en una fórmula de retardo dependiente del tiempo utilizada en la Guía Canadiense de Capacidad y en el Manual de Capacidad de Autopistas

(HCM). La metodología incluye el desarrollo de un algoritmo de búsqueda para determinar esta longitud óptima, crucial para el análisis de regresión. El objetivo fue estimar el tiempo de ciclo óptimo con el mínimo retraso. Los resultados del estudio indican que las fórmulas propuestas ofrecen una estimación más precisa de la longitud óptima del ciclo en condiciones de alto flujo de intersección en comparación con el método de Webster. Este enfoque representa una mejora significativa en la planificación y gestión del ciclo de semáforos para minimizar el retraso en las intersecciones señalizadas. (p. 2509)

Cheng et al. (2016) en su artículo “Review on Theoretical Delay Estimation Model for Signalized Intersections”, llevan a cabo una revisión sistemática. El diseño de investigación fue no experimental, centrándose en analizar la evolución histórica de los modelos teóricos de estimación de retrasos en intersecciones señalizadas. Utilizan una metodología de revisión bibliográfica que abarca tres etapas principales de desarrollo: la Etapa 1 (1920-1970) donde se derivan enfoques basados en la teoría del estado estacionario, la Etapa 2 (1970-2000) que emplea técnicas de transformación de la coordinación, y la Etapa 3 (desde 2000) que introduce enfoques modificados y términos suplementarios. El objetivo principal es identificar las deficiencias y proponer futuras direcciones de investigación para mejorar la precisión y aplicabilidad de los modelos teóricos de demora en intersecciones señalizadas. Los resultados destacan las mejoras históricas en la precisión de los modelos y sugieren áreas clave para futuras investigaciones, enfocadas en optimizar el rendimiento de los modelos de estimación de retrasos. (p. 479)

Alkandari et al. (2014) en su artículo “Optimization of traffic control methods comparing with dynamic webster with Dynamic Cycle Time (DWDC) using simulation software”, emplearon un diseño no experimental, proponiendo métodos de control de tráfico utilizando el método de semáforo Dynamic Webster con Dynamic Cycle Time en simulaciones de cuatro fases de una intersección. La metodología se en el desarrollo de diferentes métodos de control de tráfico. El objetivo fue comparar este método con otros convencionales, enfocándose en ajustes dinámicos del ciclo de semáforos y flujo vehicular. Los resultados mostraron mejoras significativas en la eficiencia del tráfico y flujo vehicular respecto a métodos tradicionales, destacando la utilidad de adaptar ciclos de semáforos dinámicamente para mejorar la gestión urbana del tráfico.

Qian et al. (2013) en su artículo “A Traffic Emission-saving Signal Timing Model for Urban Isolated Intersections, proponen un modelo de temporización de semáforos diseñado para reducir las emisiones de tráfico en intersecciones urbanas aisladas, mediante un diseño no experimental. Utilizan un algoritmo genético mejorado codificado en tiempo real para resolver este modelo. La metodología de investigación implica la prueba y validación de tres algoritmos mediante numerosos cálculos numéricos. Los resultados destacan la precisión del algoritmo en la resolución de modelos y su efectividad en la reducción de emisiones y en mejorar la eficacia del control de carreteras. En conclusión, los algoritmos tienen un potencial para mitigar el impacto ambiental y mejorar la gestión del tráfico urbano. (p. 2404)

Chen et al. (2011) en su artículo “Multi-objective Optimization Method of Signal Timing for the Non-motorized Transport at Intersection”, desarrollan un estudio con un diseño de investigación no experimental, que utiliza un enfoque de optimización multiobjetivo para la temporización de señales en intersecciones urbanas. La metodología de investigación implica el uso de datos de volumen de vehículos y transporte no motorizado como entradas, con el retraso del viajero, las paradas y la capacidad de tráfico como objetivos de optimización, y el grado de saturación como restricciones. El objetivo fue mejorar la sincronización de las señales para reducir la congestión en condiciones de tráfico mixto mediante el uso de un algoritmo genético. Los resultados del estudio demuestran que el modelo propuesto logra una mejor sincronización de señales en comparación con el método Webster, lo que contribuye significativamente a la eficiencia del control de tráfico urbano y a la movilidad no motorizada en las intersecciones. En conclusión, el enfoque multiobjetivo es efectivo para abordar los desafíos de la congestión urbana al integrar eficazmente diversas metas y restricciones en la optimización de la temporización de semáforos. (p. 106)

Balaji et al. (2010) en su artículo “Urban traffic signal control using reinforcement learning agents”, presentan un estudio con un diseño de investigación no experimental, centrado en un sistema multiagente para optimizar el tiempo de verde en una red de carreteras urbanas con el objetivo de reducir el tiempo total de viaje y el retraso en las intersecciones. La metodología de investigación incluye la utilización de datos de tráfico recolectados por sensores en cada intersección, así como patrones históricos de tráfico y datos de comunicación entre intersecciones adyacentes. Los parámetros críticos, como pesos y umbrales para calcular el tiempo de verde, son ajustados mediante aprendizaje de refuerzo

en línea. El objetivo fue mejorar la eficiencia del control de señales mediante el uso de agentes de aprendizaje por refuerzo (RLA). Los resultados obtenidos muestran que el sistema propuesto logra una significativa reducción en el tiempo medio de retardo y mejora la velocidad promedio en comparación con otros sistemas tradicionales de control de señales. En conclusión, el enfoque basado en agentes de aprendizaje por refuerzo demuestra ser efectivo para la optimización dinámica y adaptativa del tiempo de verde en entornos urbanos, contribuyendo así a la gestión eficiente del tráfico y la movilidad urbana. (p. 177)

Shelby (2004) en su artículo “Single-Intersection Evaluation of Real-Time Adaptive Traffic Signal Control Algorithms”, aborda la evaluación de algoritmos de control adaptativo en tiempo real para señales de tráfico. El diseño de investigación fue no experimental, centrándose en identificar deficiencias en generaciones actuales de estos algoritmos. La metodología implica un estudio comparativo mediante simulaciones que evalúan las capacidades computacionales en tiempo real de algoritmos como OPAC, PRODYN, ALLONS-D y COP-97, incluyendo el algoritmo de control de intersecciones de RHODES. El objetivo es destacar las limitaciones de capacidad de cálculo y proponer mejoras basadas en análisis simulados. Los resultados indican que los algoritmos COP-97 y ALLONS-D presentan ventajas significativas en cuanto a complejidad computacional y reducción del retardo del tráfico, respectivamente. En conclusión, el estudio subraya la importancia de mejorar las capacidades de cálculo en tiempo real para optimizar el control adaptativo de señales de tráfico en intersecciones urbanas. (p. 183)

Qiao et al. (2002) en su artículo “Fuzzy logic based intersection delay estimation”, el diseño de investigación fue no experimental, centrándose en combinar factores técnicos y no técnicos complejos, adaptándose dinámicamente a cambios en el entorno de conducción. La metodología incluye simulaciones y pruebas de campo para validar el sistema difuso propuesto. El objetivo es mejorar la precisión en la estimación de retrasos en intersecciones mediante un enfoque basado en lógica difusa. Los resultados obtenidos demuestran que la modelización basada en lógica difusa es prometedora, mostrando mejoras significativas en la estimación de retrasos en comparación con métodos tradicionales. En conclusión, el estudio destaca la viabilidad y efectividad de la lógica difusa para abordar la complejidad y dinámica de las condiciones de tráfico en intersecciones. (p. 1425)

2.1.2. Regionales

Navarro et al. (2022) en su artículo “Traffic Flow Prediction for Smart Traffic Lights Using Machine Learning Algorithms”, utilizan un diseño de investigación experimental, basado en la aplicación de algoritmos de aprendizaje automático (ML) y de aprendizaje profundo (DL) para predecir el flujo de tráfico en una intersección. La metodología de investigación incluye el uso de dos conjuntos de datos públicos para entrenar, validar y probar los modelos ML y DL propuestos. El objetivo del estudio es evaluar la capacidad de estos algoritmos para predecir el flujo de tráfico. Los resultados mostraron que todos los algoritmos ML y DL obtuvieron buenas métricas de rendimiento. La conclusión plantea que los algoritmos son viables para su implementación en controladores de semáforos inteligentes. (p. 1)

Baquela (2019) en su tesis “Desarrollo de técnicas de optimización via simulación aplicadas a sistemas de tráfico”, presenta un diseño de investigación experimental centrado en el desarrollo de algoritmos basados en el concepto de optimización vía Simulación (OvS) para abordar problemas de optimización en sistemas de tráfico urbano. La metodología incluye la presentación de tres algoritmos: uno que utiliza metamodelos para reducir el costo computacional de la OvS, otro que explora el uso de tiempos de simulación variables para el mismo propósito, y un tercero que busca obtener Fronteras de Pareto más robustas que las obtenidas con métodos tradicionales. El objetivo del estudio es demostrar cómo estos algoritmos pueden optimizar eficazmente el tráfico urbano. Como resultado, se destaca que el desarrollo de estos algoritmos proporciona herramientas efectivas para la gestión y optimización de sistemas de tráfico urbano, mejorando así la eficiencia y la calidad del transporte en entornos urbanos. (p. 156, consulte resumen)

Fernandez et al. (2018) en su artículo “Sistema dinámico y adaptativo para el control del tráfico de una intersección de calles: modelación y simulación de un sistema multi-agente”, presentan un diseño de investigación no experimental, que se enfoca en un algoritmo destinado a reducir el tiempo de espera de los conductores en una intersección. La metodología incluye la validación del algoritmo en tres escenarios posibles, definidos por la variación de la frecuencia de los autos. El objetivo del estudio fue demostrar la eficacia del algoritmo en la reducción del tiempo de espera. Los resultados muestran una reducción máxima del 45% en el tiempo de espera. En conclusión, el estudio aporta una solución eficaz mediante la generación de un algoritmo que logra reducir significativamente los tiempos de espera en una intersección, mejorando así la eficiencia del flujo de tráfico urbano. (p. 20)

Celis-Peñaranda et al. (2016) en su artículo “Control adaptativo para optimizar una intersección semafórica basado en un sistema embebido”, llevaron a cabo un diseño de investigación no experimental, orientado al desarrollo de un algoritmo de control adaptativo para intersecciones semafóricas, utilizando un sistema embebido como plataforma de implementación. La metodología de investigación incluyó la creación de una base de datos para depurar el rendimiento del controlador y la evaluación del algoritmo mediante un instrumento virtual. El objetivo principal fue mejorar el flujo vehicular y reducir los tiempos de espera en la intersección. Como resultado, se observó un aumento del flujo vehicular de hasta un 5.5%, junto con una reducción significativa del tiempo máximo de espera de los vehículos en hasta 28 segundos y de la longitud de las filas en un 18%. Estos hallazgos demuestran la efectividad del control adaptativo implementado mediante sistemas embebidos para optimizar la gestión del tráfico urbano, subrayando la importancia de integrar tecnologías de software y hardware para mejorar la eficiencia de los sistemas de regulación vial. (p. 169, 170)

2.1.3. Locales

Díaz & Horna (2023) en su artículo "Evaluación del flujo vehicular y peatonal en la intersección de las calles Francisco Orellana N°01 y Luna Pizarro N°02 y 03 en la ciudad de Jaén utilizando el software PTV Vissim". Emplearon un diseño de investigación experimental. La metodología consistió en el análisis detallado del flujo vehicular y peatonal utilizando simulación por software. El objetivo fue valorar el flujo vehicular y peatonal en una intersección de alto tráfico en la ciudad de Jaén. Los resultados obtenidos fueron la identificación de colas y retenciones vehiculares debido al giro de la calle Francisco Orellana sur hacia la calle Luna Pizarro oeste, así como desplazamientos inadecuados de peatones. En conclusión, la simulación propuesta, que incluyó cambios como la eliminación del giro para vehículos pesados, canalización de movimientos peatonales y la introducción de semáforos, demostró un nivel de servicio "B" con mejoras significativas en la velocidad de acceso a Francisco Orellana sur, alcanzando 25 km/h y disminuyendo progresivamente a 10 km/h, revelando una estrategia efectiva para mejorar la eficiencia y seguridad en la intersección evaluada. (p. 43)

Paucar et al. (2022) en su artículo "Unconventional geometric design in an intersection in the city of Lima ", se enfocó en llevar a cabo un análisis del tráfico en una intersección para identificar las condiciones actuales y proponer una intersección no convencional como

solución al problema de congestión. El diseño de investigación incluyó el uso de microsimulación para evaluar el diseño geométrico y operativo de la alternativa propuesta. La metodología de investigación consideró la capacidad vial excedida y la falta de modificaciones en el diseño. El objetivo fue reducir los retrasos, la longitud de las colas y el número de paradas por vehículo. Los resultados mostraron una disminución significativa en estos indicadores, validando la efectividad de la intersección no convencional propuesta. En conclusión, el estudio demuestra que el rediseño de intersecciones utilizando microsimulación puede mejorar significativamente las condiciones del tráfico en Lima. (p. 1, 6)

Bances & Ramos (2014) en su artículo “Semáforos Inteligentes para la Regulación del Tráfico Vehicular” presentaron un Sistema de Semáforo Inteligente (SSI) basado en lógica difusa, cuyo diseño de investigación fue no experimental centrándose en el uso de visión por computadora y algoritmos de procesamiento de imágenes en Python, como OpenCV y Highgui, junto con el microcontrolador PIC 18F2550. La metodología de investigación emplea cámaras web para capturar la densidad vehicular y ajustar los tiempos del semáforo en tiempo real según las condiciones del tráfico. El objetivo del trabajo es regular el tráfico vehicular en la ciudad de Chiclayo, reduciendo significativamente la congestión vehicular que provoca caos en la ciudad. Los resultados muestran que el sistema desarrollado puede organizar los cambios de luces del semáforo de manera eficiente, mejorando la fluidez del tráfico. En conclusión, la aplicación de lógica difusa y visión por computador en el SSI demuestra ser una solución eficaz para disminuir la congestión vehicular en Chiclayo. (p. 37, 44)

2.2. MARCO CONCEPTUAL

2.2.1. Sistema adaptativo

Un sistema adaptativo es un conjunto de elementos que interactúan entre sí y tiene al menos un proceso que controla la adaptación del sistema, es decir, la correlación entre estructura, función o comportamiento y su entorno, con el fin de aumentar su eficacia para alcanzar sus objetivos. Este proceso interno se denomina "proceso adaptativo". Por ejemplo, en el caso de los sistemas adaptativos artificiales, el objetivo se define primero y, a continuación, se diseñan los procesos de adaptación de forma que el sistema pueda aumentar su rendimiento para alcanzar sus objetivos. (Martín et al., 2009, p. 760)

2.2.1.1. Control de tráfico adaptativo

Es una versión del control de tráfico actuado con un algoritmo adicional de optimización en tiempo real. El principio fundamental de una técnica de control de tráfico adaptativo es su capacidad de respuesta a los cambios dinámicos en la demanda de tráfico. En esta técnica, se debe ajustar al menos uno de los parámetros de tráfico ajustables, como la duración del ciclo, las divisiones de tiempo verdes y las secuencias de fases. Los principales objetivos del ajuste de estos parámetros incluyen la reducción del tiempo medio de espera. (ALI et al., 2021, p. 102986)

2.2.1.2. Modelado de sistemas de tráfico

Modelar un sistema de tráfico implica modelar, en forma parcialmente separada, cada uno de sus componentes, así como también sus interrelaciones. De acuerdo al objetivo que persiga el modelado podemos optar por la herramienta a utilizar, pero en forma general un sistema de tráfico se modela mediante la siguiente división: la demanda de tráfico (las necesidades de movimientos), la oferta de tráfico (la infraestructura y las políticas) y el comportamiento del sistema (el resultado de la interacción entre oferta y demanda). (Baquela, 2019, p. 45)

2.2.1.2.1. Simulaciones de tráfico

Existen 4 clases principales de modelos de simulación utilizados para estos sistemas: macroscópicos, mesoscópicos, microscópicos y submicroscópicos. (Baquela, 2019, p. 49)

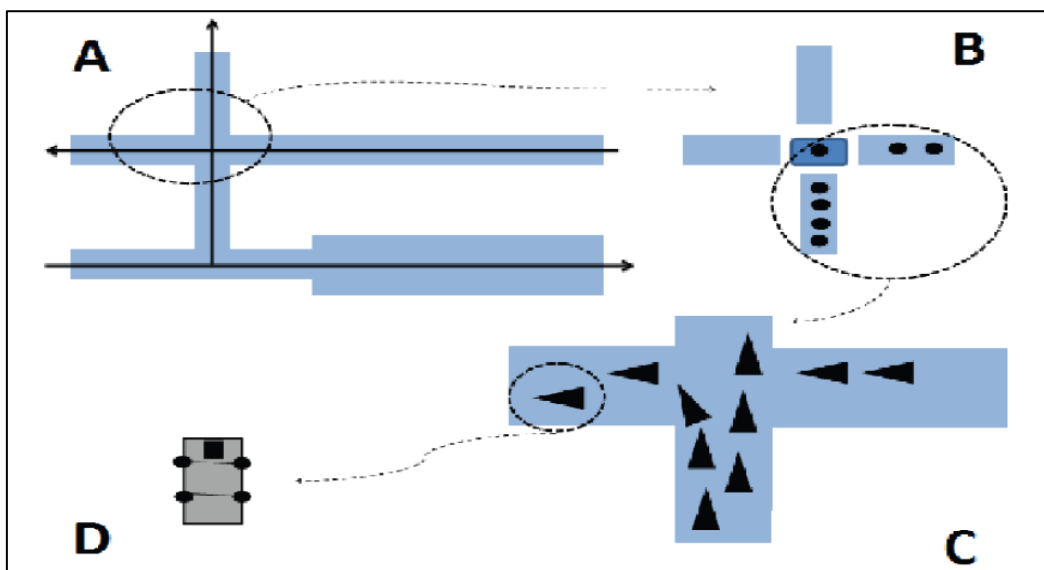


Figura 1: Tipos de simulaciones de tráfico: macroscópica (A), mesoscópica (B), microscópica (C) y sub-microscópica (D)

Resaltamos las simulaciones mesoscópicas ya que trabajan en una escala menor, modelando el sistema de tráfico como un sistema de eventos discretos basado en teoría de colas, en el cual los vehículos son considerados como entidades transitorias que requieren servicio. Estas simulaciones son útiles para modelar accidentes puntuales del sistema de tráfico como, por ejemplo, intersecciones semaforizadas y accesos a rutas. (Baquela, 2019, p. 49, 50)

2.2.1.3. Algoritmo

Es un método para resolver un problema. La resolución de un problema exige el diseño de un algoritmo que resuelva el problema propuesto. Los pasos para la resolución de un problema son: 1. Diseño del algoritmo, que describe la secuencia ordenada de pasos —sin ambigüedades— que conducen a la solución de un problema dado. (Análisis del problema y desarrollo del algoritmo.); 2. Expresar el algoritmo como un programa en un lenguaje de programación adecuado. (Fase de codificación.); 3. Ejecución y validación del programa por la computadora. Los algoritmos son independientes tanto del lenguaje de programación en que se expresan como de la computadora que los ejecuta. En cada problema el algoritmo se puede expresar en un lenguaje diferente de programación y ejecutarse en una computadora distinta; sin embargo, el algoritmo será siempre el mismo. (Joyanes, 2008, p. 64, 65)

2.2.1.4. Características de los algoritmos

Las características fundamentales que debe cumplir son: • Debe ser preciso e indicar el orden de realización de cada paso; • Debe estar bien definido. Si se sigue un algoritmo dos veces, se debe obtener el mismo resultado cada vez; • Debe ser finito. Si se sigue un algoritmo, se debe terminar en algún momento; o sea, debe tener un número finito de pasos. La definición de un algoritmo debe describir tres partes: Entrada, Proceso y Salida. (Joyanes, 2008, p. 65)

2.2.1.5. Diseño del algoritmo

Una computadora no tiene capacidad para solucionar problemas más que cuando se le proporcionan los sucesivos pasos a realizar. Estos pasos sucesivos que indican las instrucciones a ejecutar por la máquina constituyen, el algoritmo. Normalmente, los pasos diseñados en el primer esbozo del algoritmo son incompletos e indicarán sólo unos pocos pasos (un máximo de doce aproximadamente). Tras esta primera descripción, éstos se amplían en una descripción más detallada con más pasos específicos. Este proceso se denomina refinamiento del algoritmo (stepwise refinement). (Joyanes, 2008, p. 66, 67)

2.2.1.6. Representación gráfica de los algoritmos

Los métodos usuales para representar un algoritmo son: 1. diagrama de flujo; 2. diagrama N-S (Nassi-Schneiderman); 3. lenguaje de especificación de algoritmos: pseudocódigo; 4. lenguaje español, inglés; 5. fórmulas. Los métodos 4 y 5 no suelen ser fáciles de transformar en programas. Una descripción en español narrativo no es satisfactoria, ya que es demasiado prolija y generalmente ambigua. Una fórmula, sin embargo, es un buen sistema de representación. (Joyanes, 2008, p. 69, 70)

2.2.1.7. KDD (Knowledge Discovery in Databases o Descubrimiento de Conocimiento en Bases de Datos) - Minería de datos

2.2.1.7.1. Principios

La minería de datos, también conocida como Descubrimiento de Conocimiento en Bases de Datos (KDD), es un proceso analítico para explorar grandes cantidades de datos en busca de patrones consistentes, correlaciones y/o relaciones sistemáticas entre variables, y luego validar los hallazgos aplicando los patrones detectados a nuevos subconjuntos de datos. (Ahiaga-Dagbui & Smith, 2014, p. 13, 27)

Además, las bases de la minería de datos se encuentran en la inteligencia artificial y en el análisis estadístico. Mediante los modelos extraídos utilizando técnicas se aborda la solución a problemas de predicción, clasificación y segmentación; dichas técnicas, no son más que algoritmos, que se aplican sobre un conjunto de datos para obtener resultados. En la fase de minería de datos, se decide cuál es la tarea a realizar (clasificar, agrupar etc.) y se elige la técnica descriptiva o predictiva que se va a utilizar, ver Figura 2. (Corso, 2014, p. 1, 2)

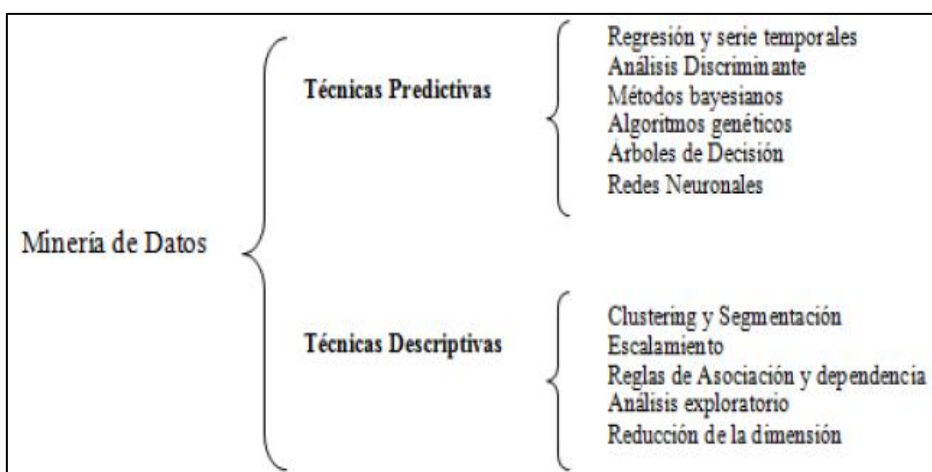


Figura 2: Minería de datos - Técnicas

KDD incluye las siguientes actividades: selección de datos (data selection), preprocesamiento (pre-processing), transformación de datos (data transformation), DM (minería de datos) y análisis de resultados (result analysis). (Marbán et al., 2009, p. 2, 12)

La Figura 3, muestra dichas actividades, según Schuh et al. (2018).

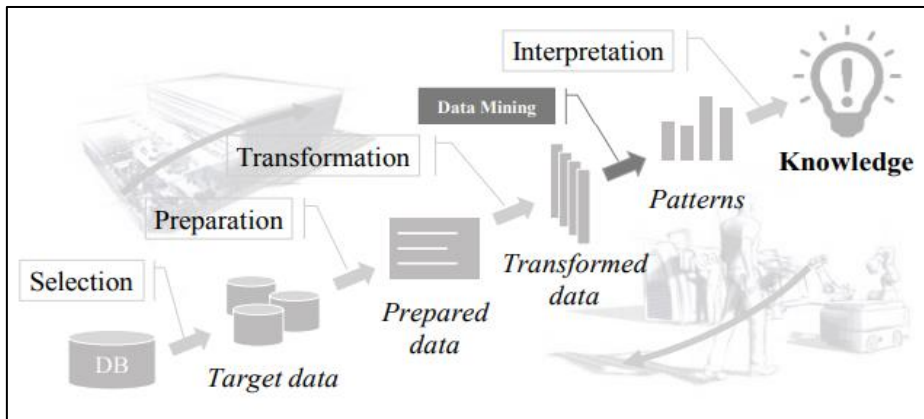


Figura 3: Proceso de “Descubrimiento de conocimiento en bases de datos”

2.2.1.7.2. Técnicas de minería de datos

La minería de datos adopta su técnica de muchas áreas de investigación, incluido el aprendizaje automático estático, los sistemas de bases de datos, los conjuntos aproximados, la visualización y las redes neuronales. (Gheware et al., 2014, p. 8096)

2.2.1.8. Python

Python es un lenguaje de programación de alto nivel y de propósito general diseñado para ser fácil de aprender y de usar. Posee una sintaxis sencilla y utiliza tipado dinámico. Esto, junto con su naturaleza interpretada, lo hacen un lenguaje ideal para el desarrollo rápido en muchas áreas y plataformas. Algunas de las características y facilidades de Python son: a. Sintaxis clara; b. Permite la utilización de paradigmas de programación; c. El intérprete de Python es software libre disponible; d. Posee una abundante, diversa, concisa y organizada documentación oficial; e. Python es utilizado en los ámbitos académico, educacional, científico y productivo. (Soto, 2021, p. 7, 8)

2.2.1.8.1. Python y sus paquetes

Algunos de los paquetes principales que realizan el trabajo pesado y son mantenidos por la comunidad Python son: NumPy (Paquete fundamental para el cálculo numérico); Scipy (Paquete mejorado para computación científica basada en NumPy); Pandas (Paquete

mejorado para estructura de datos y manipulación); Matplotlib (El paquete proporciona funcionalidades básicas de trazado); Scikit-learn (Paquete para aprendizaje automático, a menudo abreviado como aprender). Además de estos paquetes troncales, la interfaz del intérprete de Python está evolucionando. En este momento, probablemente la interfaz más fácil de usar para Python es Jupyter Notebook, que proporciona una interfaz interactiva para el intérprete de Python y es muy adecuada para la mayoría del trabajo de análisis de datos. (Hao & Ho, 2019, p. 5, 6)

2.2.1.8.2. Paquete Scikit-learn en Python

El paquete Scikit-learn cubre cuatro temas principales relacionados con el aprendizaje automático. Son transformación de datos, aprendizaje supervisado, aprendizaje no supervisado y evaluación y selección de modelos. Tiene muchas características que lo hacen destacar entre el software de aprendizaje automático. El primero es su cobertura integral de los métodos de aprendizaje automático. La segunda es que la implementación del algoritmo de los métodos de aprendizaje automático en Scikit-learn está optimizada para la eficiencia informática. La tercera es que Scikit-learn cuenta con un sólido apoyo comunitario para la documentación, el seguimiento de errores y el control de calidad. Por último, pero no menos importante, Scikit-learn impone una convención unificada de datos de entrada/salida y tiene un procedimiento de ajuste de modelo fijo. (Hao & Ho, 2019, p. 6, 7)

2.2.1.9. Algoritmos de Aprendizaje Automático (Machine Learning Algorithms)

Existen tres tipos de algoritmos de aprendizaje automático: aprendizaje supervisado, aprendizaje semisupervisado y aprendizaje no supervisado. (Ravipati & Abualkibash, 2019, p. 70)

2.2.1.9.1. Bosque aleatorio (Random Forest)

Es un algoritmo de clasificación supervisada. Puede utilizarse para identificar las características más importantes del conjunto de datos de entrenamiento. Método de creación del algoritmo Random Forest: 1. Seleccionar aleatoriamente "K" características del total de "m" características donde $k \ll m$; 2. Entre las "K" características, calcular el nodo "d" utilizando el mejor punto de división; 3. Dividir el nodo en nodos hijos utilizando la mejor división; 4. Repetir los pasos a a c hasta alcanzar "l" número de nodos; 5. Construir el bosque repitiendo los pasos a hasta c un número "n" de veces para crear un número "n" de árboles. A continuación, se muestra el pseudocódigo de predicción del bosque aleatorio: 1. Toma las

características de prueba y utiliza las reglas de cada árbol de decisión creado aleatoriamente para predecir el resultado y almacena el resultado predicho (objetivo); 2. Calcula los votos para cada objetivo predicho; 3. Considera la predicción más votada como la predicción final del algoritmo de bosque aleatorio. (Ravipati & Abualkibash, 2019, p. 74)

2.2.1.9.2. Algoritmo KNearest Neighbor - KNN

K Nearest Neighbor (KNN) es un algoritmo de aprendizaje automático gestionado útil para problemas de clasificación. El algoritmo KNN funciona de la siguiente manera: Cargar los datos; inicializar el valor de k; para obtener la clase predicha, iterar desde 1 hasta el número total de puntos de datos de entrenamiento (a. Calcular la distancia entre los datos de prueba y cada fila de datos de entrenamiento; b. Ordenar las distancias calculadas en orden ascendente en base a los valores de distancia; c. Obtener las k primeras filas del array ordenado; d. Obtener la clase más frecuente de estas filas; e. Devuelve la clase predicha). (Ravipati & Abualkibash, 2019, p. 71, 72)

2.2.1.9.3. Máquina de vectores soporte (Support Vector Machine - SVM)

Representa un marco interesante tanto desde el punto de vista del aprendizaje automático como de los sistemas empotrados. Una SVM es un clasificador lineal y no lineal, es decir, una función matemática que puede distinguir dos tipos diferentes de objetos. Estos objetos se clasifican en clases, lo que no debe confundirse con una clase Java. El entrenamiento de una SVM puede ilustrarse con el siguiente pseudocódigo: Requerir: X e y cargados con datos etiquetados de entrenamiento, $\alpha \leq 0$ o $\alpha \leq$ parcialmente entrenado SVM. 1. $C \leq$ algún valor (10 por ejemplo); 2. Repetir; 3. para todo $\{x_i, y_i\}, \{x_j, y_j\}$ hacer; 4. Optimizar α_i y α_j ; 5. fin para; 6. hasta que no se produzcan cambios en α o se cumplan otros criterios de restricción de recursos. Asegurar: Conservar sólo los vectores de apoyo ($\alpha_i > 0$). (Ravipati & Abualkibash, 2019, p. 73)

La máquina de vectores de soporte (SVM) también expresado como SMO; es muy útil tanto para la clasificación como para la regresión. (Shafiq et al., 2020, p. 38)

2.2.1.9.4. Perceptrón multicapa (Multi-Layer Perceptron - MLP)

Un MLP puede verse como un clasificador de regresión logística en el que la entrada se transforma primero utilizando una transformación no lineal aprendida. Un MLP consta de al menos tres capas de nodos: una capa de entrada, una capa oculta y una capa de salida. Excepto los nodos de entrada, cada nodo es una neurona que utiliza una función de

activación no lineal. El MLP utiliza una técnica de aprendizaje supervisado llamada retropropagación para el entrenamiento. El perceptrón multicapa funciona de la siguiente manera: 1. Para todas las neuronas de entrada i hacer; 2. Establecer $ai \leftarrow xi$; 3. Fin para; 4. Para todas las neuronas ocultas y de salida i en orden topológico hacer; 5. Establecer $neti \leftarrow wi0 + \sum j \epsilon pred(i) wijaj$; 6. Establecer $ai \leftarrow f \log (neti)$; 7. Fin para; 8. Para todas las neuronas de salida i hacer; 9. ensamblar ai en el vector de salida y ; 10. Fin para; 11. Devuelve y . (Ravipati & Abualkibash, 2019, p. 74)

2.2.1.9.5. Aumento de gradiente (Gradient Boosting)

Presenta una medida de importancia de variables basada en el promedio del número de veces que se ha seleccionado cada variable en cada partición, ponderando por la mejora al cuadrado del modelo como resultado de cada partición.

$$I_j^2(T) = \sum_{t=1}^{J-1} l_t^2 1(v_t = j) \quad (1)$$

Donde la sumatoria es sobre los nodos no terminales “ t ” del nodo terminal “ J ” del árbol “ T ”. v_t es la variable de división asociada con el nodo “ t ” y l_t^2 es la correspondiente mejora empírica en error cuadrático. (Alarcón et al., 2017, p. 126)

2.2.1.10. Sistema

Conjunto de elementos que interactúan entre sí y tiene al menos un proceso que controla la adaptación del sistema, es decir, la correlación entre estructura, función o comportamiento y su entorno, con el fin de aumentar su eficacia para alcanzar sus objetivos. (Martín et al., 2009, p. 760)

2.2.1.11. Partes de sistematización

Conceptualmente puede ser considerado como una caja negra, como se muestra en la Figura 4. La caja negra o el algoritmo de resolución, en realidad, es el conjunto de códigos que transforman las entradas (datos) en salidas (resultados). Las entradas, en cualquier caso, procederán de un dispositivo de entrada —teclado, disco...—. Las salidas de datos se deben presentar en dispositivos periféricos de salida: pantalla, impresoras, discos, etc. La operación de salida de datos se conoce también como escritura o acción de escribir. (Joyanes, 2008, p. 84)

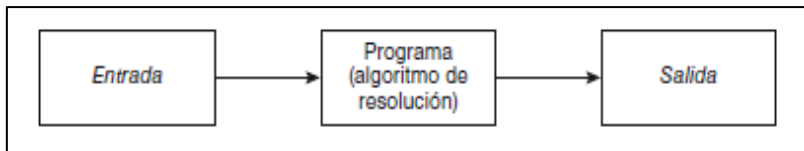


Figura 4: Bloques de entrada y salida

2.2.1.12. Elementos básicos

Los elementos básicos constitutivos son: • palabras reservadas (inicio, fin, si-entonces..., etc.); • identificadores (nombres de variables esencialmente, procedimientos, funciones, nombre, etc.); • caracteres especiales (coma, apóstrofo, etc.); • constantes; • variables; • expresiones; • instrucciones. Además de estos elementos básicos, existen otros elementos que forman parte, cuya comprensión y funcionamiento será vital para el correcto diseño de un algoritmo y naturalmente la codificación. Estos elementos son: • bucles; • contadores; • acumuladores; • interruptores; • estructuras: 1. secuenciales, 2. selectivas, 3. repetitivas. (Joyanes, 2008, p. 89)

2.2.1.13. Datos y tipos de datos

El primer objetivo de toda computadora es el manejo de la información o datos. Un dato es la expresión general que describe los objetos con los cuales opera una computadora. La mayoría de las computadoras pueden trabajar con varios tipos (modos) de estos. Los algoritmos y los programas correspondientes operan sobre esos tipos. En los lenguajes de programación los datos deben de ser de un tipo de dato específico. El tipo de datos determina cómo se representan estos en la computadora y los diferentes procesos que dicha computadora realiza con ellos. (Joyanes, 2008, p. 89, 90)

2.2.1.14. Constantes y variables

Contienen ciertos valores que no deben cambiar durante su ejecución. Tales valores se llaman constantes. De igual forma, existen otros valores que cambiarán; a estos valores se les llama variables. Una constante es un dato que permanece sin cambios durante todo el desarrollo del algoritmo o durante la ejecución. La mayoría de los lenguajes de programación permiten diferentes tipos de constantes: enteras, reales, caracteres y booleano o lógicas, y representan datos de esos tipos. Una variable es un objeto o tipo de datos cuyo valor puede cambiar durante el desarrollo del algoritmo o ejecución. Dependiendo del lenguaje, hay diferentes tipos de variables, tales como enteras, reales, carácter, lógicas y de cadena. (Joyanes, 2008, p. 92, 93, 94)

2.2.1.15. Expresiones

Las expresiones son combinaciones de constantes, variables, símbolos de operación, paréntesis y nombres de funciones especiales. Las mismas ideas son utilizadas en notación matemática tradicional. Cada expresión toma un valor que se determina tomando los valores de las variables y constantes implicadas y la ejecución de las operaciones indicadas. Una expresión consta de operandos y operadores. Según sea el tipo de objetos que manipulan. (Joyanes, 2008, p. 94, 95)

2.2.1.16. Funciones internas

Las operaciones que se requieren exigen en numerosas ocasiones, además de las operaciones aritméticas básicas, ya tratadas, un número determinado de operadores especiales que se denominan funciones internas, incorporadas o estándar. Por ejemplo, la función “ln” se puede utilizar para determinar el logaritmo neperiano de un número y la función raiz2 (sqrt) calcula la raíz cuadrada de un número positivo. Existen otras funciones que se utilizan para determinar las funciones trigonométricas. (Joyanes, 2008, p. 102)

2.2.1.17. Operación de asignación

Es el modo de almacenar valores a una variable. Se representa con el símbolo u operador ← (en la mayoría de los lenguajes de programación, como C, C++, Java, el signo de la operación asignación es =). La operación de asignación se conoce como instrucción o sentencia de asignación cuando se refiere a un lenguaje de programación. El formato general de una operación de asignación es <nombre de la variable> ← <expresión>. (Joyanes, 2008, p. 104)

2.2.1.18. Entrada y salida de información

Las operaciones de entrada permiten leer determinados valores y asignarlos a determinadas variables. Esta entrada se conoce como operación de lectura (read). La salida puede aparecer en un dispositivo de salida (pantalla, impresora, etc.). La operación de salida se denomina escritura (write). En la escritura de algoritmos las acciones de lectura y escritura se representan por los formatos siguientes: leer (lista de variables de entrada); escribir (lista de variables de salida). (Joyanes, 2008, p. 107)

2.2.1.19. Lenguaje de trabajo

2.2.1.19.1. Visual Studio

Que a menudo también se llama VB .Net, es básicamente un lenguaje de programación informática. Donde el significado de un lenguaje de programación son comandos o instrucciones que una computadora entiende para realizar tareas. Además de llamarse lenguaje de programación, también se conoce a menudo como un medio (herramienta) para producir sistemas basados en Windows, programas de aplicación. Ya no necesitamos memorizar varias sintaxis o formatos de idiomas. (Gusrion et al., 2018, p. 151)

2.2.1.19.2. Net Framework

Net Framework es un software que se utiliza principalmente en el Sistema Operativo Microsoft Windows Net Framework es un entorno de trabajo para facilitar el desarrollo y ejecución de varios lenguajes de programación y colecciones de bibliotecas para que puedan trabajar juntos; al ejecutar aplicaciones basadas en Windows tiene un idioma, a saber (ensamblado), por lo que cuando desarrolla una aplicación en .Net, la computadora no entenderá ese idioma. Por lo tanto, necesita un software (traductor) para poder ejecutarlo. (Gusrion et al., 2018, p.152)

2.2.1.19.3. Visual Basic.Net (VB.Net)

VB.Net es un lenguaje completo que admite encapsulación, herencia y polimorfismo. Es parte de un conjunto completo de herramientas asociadas con la arquitectura .Net. Sin embargo, podemos considerarlo fácilmente como un lenguaje de programación independiente que contiene componentes que encajan dentro de la arquitectura .Net. Al crear VB.Net, Microsoft ha convertido a VB en un lenguaje elegante y consistente. Algunos ejemplos de esto son: • La sintaxis es más limpia; • El tipo de datos variante ha desaparecido. En su lugar, el programador debe utilizar explícitamente el tipo de variable; • Los parámetros se llaman, de forma predeterminada, por valor; • Una declaración de VB.Net como Dim x, y, z As Integer significa que las variables son todas enteras; • No hay propiedades predeterminadas. Por ejemplo, el programador debe escribir TextBox1.Text para describir la propiedad Texto de un cuadro de texto; • Funciones como gráficos y manejo de archivos se han trasladado del lenguaje mismo a las bibliotecas; • Se ha proporcionado un mecanismo limpio de manejo de excepciones en VB.Net en contraste con el torpe mecanismo anterior. (Bell, 2002, p. 107)

2.2.2. Intersecciones semaforizadas

2.2.2.1. Intersección semaforizada

Lugar donde se interceptan dos o más calles, en el cual la circulación de vehículos está regulada permanente o mayoritariamente mediante sistemas de luces que establecen las prioridades de paso por la intersección. (Fonseca et al., 2014, p. 32)

Valero (2024), precisa en cuanto a las intersecciones semaforizadas, que es utilizado en un medio urbano, con volúmenes de tráfico importante, donde las velocidades no son muy altas. Además, se evita utilizar en autopistas. Así pues, la Figura 5 muestra que el criterio de elección está en base a una densidad urbana y tráfico altos.

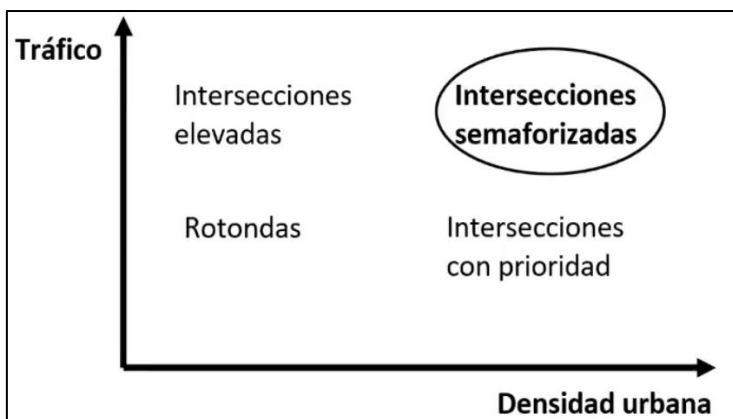


Figura 5: Criterio de elección – intersecciones semaforizadas

2.2.2.2. Modelo binario de descarga

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (2020), precisa que en una intersección semaforizada el proceso de descarga de una cola en una pista es el fenómeno básico que debe ser analizado para estimar su capacidad. Una vez iniciado el período de verde, y transcurrido un cierto lapso de tiempo, la salida de los vehículos se produce a una tasa máxima denominada flujo de saturación (s). Esta tasa se mantiene aproximadamente constante hasta el final del tiempo de verde. Durante el período de amarillo la descarga disminuye hasta anularse al final de ese período o poco después. La Figura 6 muestra la representación de este fenómeno.

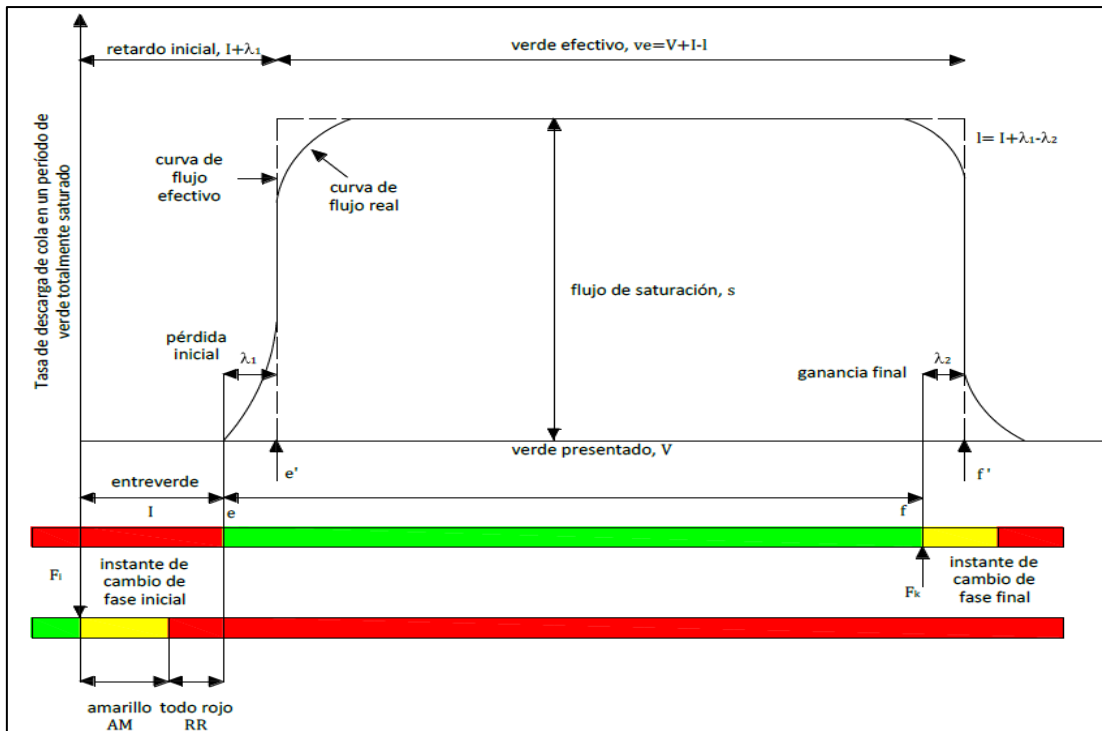


Figura 6: Modelo binario de descarga

2.2.2.3. Características geométricas

Son las que están directamente relacionadas con la capacidad de la vía, con el tipo de vehículos que circularán por ella y con la velocidad de circulación. El ancho de los carriles, así como otras características geométricas de la misma, limitan las dimensiones de los vehículos. De la misma manera, estas dimensiones imponen unas características geométricas mínimas a la vía. (Montoya, 2005, p. 7)

2.2.2.3.1. Ancho de Calzada

El ancho de calzada es el factor decisivo para considerar la provisión de una zona de protección peatonal en ella. Si dicha provisión es posible, las condiciones de seguridad en el área pueden mejorar sin necesidad de instalar un Paso Cebra o un Paso Peatonal Regulado por Semáforo, por lo que se debe predeterminedinar la facilidad peatonal requerida, esta vez considerando la existencia de aquella. (Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones, 2020, p. 332)

2.2.2.3.2. Carril

La parte del camino asignada para una sola línea de vehículos se conoce como carril. El camino se divide en varios carriles dependiendo de la dimensión de la carretera disponible y requisito. (Savithamma & Sumathi, 2020, p. 105)

La capacidad de un carril es el máximo número de vehículos que puede pasar por él, suponiendo una velocidad uniforme. (Montoya, 2005, p. 13)

2.2.2.3.3. Pendientes

En carreteras de dos carriles, el efecto de la pendiente suele ir acompañado por el también desfavorable de una reducción de la visibilidad de adelantamiento. Por ello muchas veces es conveniente el establecimiento de carriles lentos. (Montoya, 2005, p. 18)

2.2.2.4. Características de tránsito

Conjuntamente con la selección del vehículo de proyecto, se debe tomar en cuenta la composición del tráfico que utiliza o utilizará la vía, obtenida sobre la base de estudio de tráfico y sus proyecciones que consideren el desarrollo futuro de la zona tributaria de la carretera y la utilización que tendrá cada tramo del proyecto vial. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2018, p. 92)

2.2.2.4.1. Intervalos de tiempo para demanda de tráfico

Se menciona que consideran la variación de intensidad durante las horas pico y aplicaron el factor de hora pico (PHF) para el análisis de retraso cambiando la curva de llegada acumulada a una línea de pliegue. El HCM utilizó una tasa de llegada constante, pero recomendó a los usuarios estimar el retraso en múltiples intervalos, especialmente cuando se producía un traspaso de colas. Una duración razonable de cada intervalo fue de 15 minutos, y se puede estimar una alta demanda de tráfico durante intervalos de 15 minutos basándose en el PHF. También se sugirieron intervalos de estimación de 15 m y 1 h con base en la estimación de la demanda. (Cheng et al., 2016, p. 10)

2.2.2.4.2. Equivalencia vehicular – Coeficientes de equivalencia

Sikar & Aslan (2022), consideran que debido a la diferencia en los tipos de vehículos que utilizarán el sistema de señalización y sus efectos sobre la capacidad, los vehículos deben expresarse en unidades equivalentes de automóvil en los cálculos. Para el ámbito de análisis de solo su estudio utilizan diferentes coeficientes.

Valero (2024), acata que la demanda está dada por el flujo, que representa el número efectivo de vehículos que usan la entrada. Entonces se utilizan coeficiente de equivalencia para expresar los flujos en una misma unidad, como ucp/h (unidad coche patrón en movimiento directo); el objetivo es homogenizar la influencia en el flujo del tráfico. Existen

varios coeficientes, según cada país y dentro de este último distintas cantidades otorgadas según cada autor.

Ante ello, se tuvo en cuenta lo siguiente:

paitConsultores (2003), indica que para homologar las diferentes tipologías vehiculares se utilizó la unidad llamada UCP, que es la unidad equivalente a los automóviles; las equivalencias son las siguientes: Auto = 1.00; Bus = 3.00, Micro = 2.00; Cam. Rural = 1.25; Camión = 2.50; Mototaxis = 0.33.

Chu (2003), utilizó valores de 0.25 para convertir las motocicletas a vehículos equivalentes. Por tanto, para este estudio se ha estimado que el auto, camioneta y minivan serán la misma equivalencia “1.00”, así también el camión y maquinaria pesada tendrán “2.50”, y además el ómnibus y tráiler valdrán “3.00”; todo ello por las similitudes en sus características que tienen, correspondiente a su longitud. Quedando entonces las siguientes equivalencias vehiculares a usar:

Cuadro 1: Equivalencias vehiculares usadas

Mototaxi	0.33
Moto Lineal	0.25
Auto	1.00
Camión	2.50
Camioneta	1.00
Minivan	1.00
Ómnibus	3.00
Trailer	3.00
Maquinaria Pesada	2.50

FUENTE: Elaboración propia, basado en investigaciones

2.2.2.4.3. Dirección del movimiento del tráfico

Se define como la dirección en la que los vehículos giran al acercarse a una intersección. Pueden estar activas varias direcciones de movimiento del tráfico. Una fase de tráfico es una combinación de muchos movimientos direccionales que son operativo al mismo tiempo. Sólo una fase de tráfico puede estar activa a la vez. (Fuad et al., 2022, p. 4)

2.2.2.4.4. Volumen en horas pico (PHF)

Sikar & Aslan (2022), lo define que los volúmenes de tráfico pueden mostrar cambios significativos dentro de una hora. En otras palabras, puede haber valores máximos en algunos intervalos de tiempo cortos en comparación con otros intervalos dentro de ese período específico de conteo de una hora. Un sistema de transporte debe atender el valor en la hora pico cuando el volumen es más alto, así como en la zona horaria más baja con el volumen máximo de tráfico, donde el tráfico es generalmente homogéneo. Esto lleva a los ingenieros a desarrollar el concepto de volumen en horas pico (PHF) que se explica a continuación.

$$PHF = \frac{V}{4 * V_{15}} \quad (2)$$

Donde: PHF = Factor de hora pico; V = Volumen horario, vehículo/hora; V_{15} = volumen máximo en 15 minutos durante la hora pico, vehículos/hora.

2.2.2.5. Características de semaforización

2.2.2.5.1. Semáforos

Los semáforos son dispositivos auxiliares con luces montadas en el carril con el fin de instalar un flujo de tráfico. El sistema de semáforo utiliza los siguientes tipos de luces: a. Luces verdes (verde); un vehículo que recibe la señal, debe avanzar. b. Luces amarillas (amarillas); un vehículo que recibe una compensación por tomar la decisión de aplicar el siguiente semáforo (luz verde o roja). c. Luz roja (roja); un vehículo que llega a detenerse antes de la línea de parada. (Prihantini et al., 2020, p. 348)

2.2.2.5.2. Fase

Es una combinación de señales de movimiento. Suponiendo que el flujo de tráfico se permita sólo en dirección opuesta (es decir, este-oeste juntos o norte-sur juntos) con izquierda libre, son posibles dos fases en la intersección. (Savithamma & Sumathi, 2020, p. 105)

Singh (2022), describe que preferiblemente no habrá más de un máximo de 4 fases en un ciclo determinado. Además, no existe una metodología precisa para el diseño de fases, esto suele estar guiado por la geometría de la intersección, el patrón de flujo, especialmente los movimientos de giro, y las magnitudes relativas del flujo.

2.2.2.5.3. Construcción de fases

Valero (2024), menciona tener en cuenta: a. Conflictos primarios separados (cruce en ángulo recto); b. Agrupar los movimientos sin conflictos o con conflictos secundarios; c. Limitar el número de fases, normalmente 2, si no 3, muy raramente más.

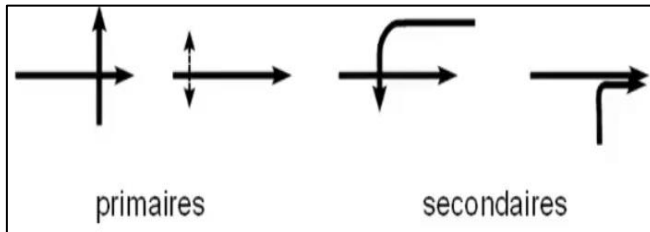


Figura 7: Conflictos primarios y secundarios

2.2.2.5.4. Duración del ciclo

Es el intervalo de tiempo durante el cual toda la secuencia de fases se sirve una vez con tiempo verde en orden cíclico. (Savithramma & Sumathi, 2020, p. 105). También es la cantidad de tiempo que le toma a una señal completar el ciclo de esta. (Majstorović et al., 2023, p. 6)

2.2.2.5.5. Tiempo de ciclo mínimo y máximo

Mendoza (2017), menciona que la práctica indica que ciclos menores de 35 segundos o mayores de 120 se acomodan difícilmente a la mentalidad del usuario de la vía pública.

Lema et al. (2011), alude que el ciclo de los semáforos se debe estudiar desde puntos de vista distintos; teniendo en cuenta que la práctica indica que ciclos menores de 35 segundos o mayores de 120 se acomodan difícilmente a la mentalidad del usuario de la vía pública.

2.2.2.5.6. Tiempo verde

La duración del tiempo en segundos, durante el cual un movimiento de tráfico determinado en una intersección señalizada avanza a un índice de flujo de saturación. (Majstorović et al., 2023 p. 6)

2.2.2.5.7. Verde mínimo

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (2020), dice que el período de verde de un movimiento debe acotarse inferiormente para que exista un lapso mínimo razonable para el cruce de vehículos y/o peatones. Para los vehículos el tiempo mínimo de verde es 8 segundos. El valor anterior es válido también cuando se tienen fases vehiculares exclusivas, según corresponda.

Singh (2022), precisa que el tiempo mínimo en verde requerido para el flujo del tráfico en cualquier vía de acceso se limita a 16 segundos.

2.2.2.5.8. Tiempo amarillo

Valero (2024), precisa que este tiempo dura 3 segundos en zonas urbanizadas, 5 segundos fuera de zonas urbanizadas.

Zong-Ming et al. (2021), estipula un tiempo de 4 segundos de amarillo, a lo largo de su ciclo único para el control de señal.

2.2.2.5.9. Tiempo todo rojo

Valero (2024), indica que es un periodo de seguridad en el que las luces de las 2 fases sucesivas están en rojo.

Noval et al. (2018), considera según su propuesta diseñada de su ciclo óptimo y distribución de luces de semáforo optimizado; que el tiempo todo rojo o rojo-rojo es de 12 segundos.

2.2.2.5.10. Entreverde y rojo-rojo

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (2020), indica que el tiempo de entreverde es el período que va desde que termina el tiempo de verde para el movimiento que pierde el derecho de paso hasta el inicio del verde para el movimiento que gana derecho de paso. Está compuesto por un tiempo de amarillo y un período de rojo simultáneo o rojo-rojo que puede existir o no. La existencia de un período de rojo-rojo depende de la necesidad de un tiempo adicional para que los vehículos que crucen la línea de detención al final del amarillo puedan desalojar con seguridad la intersección. Para determinar su duración se deben establecer las distancias de conflicto en su caso más desfavorable, como lo muestra la Figura 8.

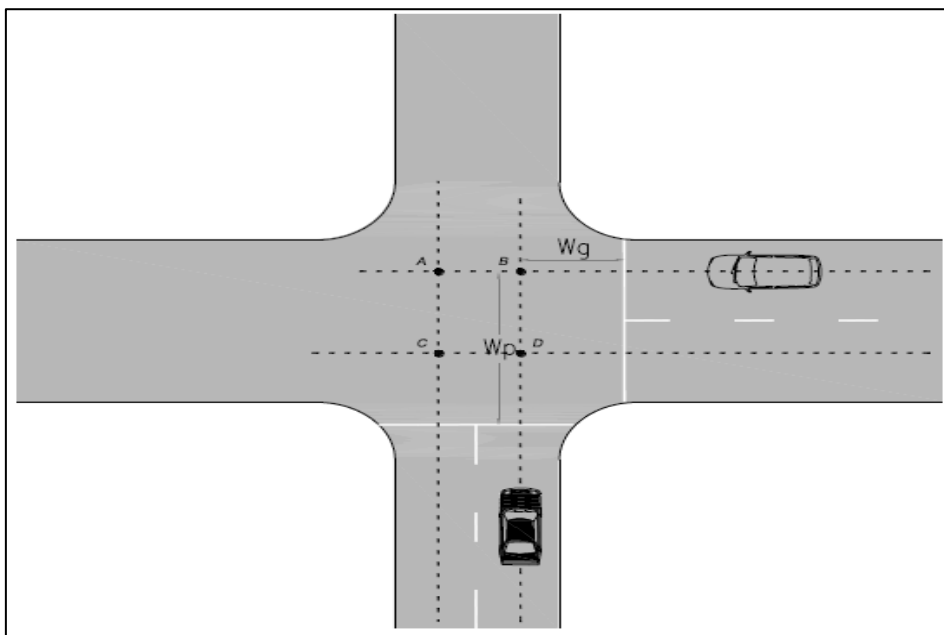


Figura 8: Definición de la distancia de conflicto

Se trata entonces de que el vehículo que pierde derecho de paso esté, al terminar el período de entreverde, más allá del punto de conflicto más crítico. En general siempre existen varios puntos de conflicto al considerar las trayectorias de los distintos movimientos permitidos en cada pista de la intersección. En la Figura 4 se muestran cuatro, denominados A, B, C y D. El punto más crítico (en el ejemplo, el punto B) es aquel en que se maximiza la diferencia entre el tiempo que le toma llegar a él a un vehículo del movimiento “i” que pierde derecho de paso y a uno que gana derecho de paso. Esa diferencia corresponde al tiempo de rojo-rojo para el movimiento “i”. Luego:

$$RR_i = T_{p,i} - T_{g,i} \quad (3)$$

con

$$T_{p,i} = \frac{W_{p,i} + L_{v,i}}{u_{p,i}} \quad (4)$$

$$T_{g,i} = \frac{W_{g,i}}{u_{g,i}} \quad (5)$$

donde

RR_i : período de rojo-rojo para el movimiento “i”, redondeado al entero superior (s).

$W_{p,i}$: distancia entre la línea de detención y el punto de conflicto más crítico para los vehículos del movimiento “i” que pierde derecho a paso (m).

$u_{p,i}$: velocidad promedio de los vehículos del movimiento que pierden derecho a paso (m/s).

$W_{g,i}$: distancia entre la línea de detención y el punto de conflicto más crítico para los vehículos que ganan derecho a paso (m) una vez que lo pierde el movimiento “i”.

$u_{g,i}$: velocidad promedio de los vehículos que ganan derecho a paso (m/s) una vez que lo pierde el movimiento “i”. Se puede considerar como aproximación la mitad de la velocidad en el arco correspondiente.

$L_{v,i}$: longitud promedio de los vehículos en el movimiento “i” (s).

En la expresión anterior es necesario considerar que, para fines de programación del semáforo, el valor del tiempo de rojo-rojo debe ser único para la intersección y, por lo mismo, se debe utilizar el valor de “RR” más alto entre todos los movimientos existentes.

2.2.2.5.11. Tiempo rojo

La fase roja puede durar más o menos que la fase verde. Más a menudo y para frustración del conductor, las fases rojas de los semáforos interrumpirán el flujo fluido del tráfico y crearán colas. Si no hay congestión, estas colas se disipan durante el intervalo verde. Sin embargo, en situaciones de congestión, las fases rojas sólo provocan retrasos adicionales. (Shaikh et al., 2022, p. 3)

2.2.2.6. Método de Webster

Este método se basa en la estimación de Webster del retraso de los vehículos en las intersecciones, y determina una serie de parámetros de temporización correspondientes mediante la optimización de la longitud del ciclo. (Li et al., 2021, p. 2)

2.2.2.6.1. Demora

Sıkar & Aslan (2022), plantea que el retraso es el tiempo perdido por causas ajenas al conductor, se utiliza para determinar la capacidad y medir el desempeño operativo en las intersecciones señalizadas. Además, el cálculo del retraso con el método Webster debe calcularse con el valor del flujo saturado; y se puede deducir que se hace de acuerdo a cada dirección o sentido.

Shamlitskiy et al. (2023), plantea:

$$d = \frac{C(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2q(1-x)} - 0.65\left(\frac{C}{q^2}\right)^{\frac{1}{3}}x^{(2+5\lambda)} \quad (6)$$

Donde: d = demora, s; C = es la duración o tiempo del ciclo, s; λ = es la duración efectiva relativa de la señal verde o coeficiente de verde; x = es el factor o grado de saturación; q = intensidad de tráfico o flujo del carril.

Además,

$$\lambda = \frac{g}{C} \quad (7)$$

$$x = \frac{Q}{\lambda M} \quad (8)$$

Donde: g = es la duración efectiva de la señal verde, s; Q = intensidad del tráfico; M = es el flujo de saturación o saturación.

2.2.2.6.2. Flujo de Saturación o saturación (s o ST)

Noval et al. (2018), muestra que el flujo de saturación (s), es el número de salidas de vehículos en la cola cuando el vehículo está a una velocidad constante, es decir, después de acelerar, hasta que el vehículo desacelera durante los períodos verde y amarillo. El caudal de saturación suele expresarse en vehículos por hora de tiempo verde. El flujo de saturación se puede estimar en función del ancho de la carretera como se muestra en la Figura 9 a continuación.

w (m)	3.05	3.35	3.65	3.95	4.25	4.5	5	5.5
s (smp/jam)	1850	1875	1900	1950	2075	2175	2550	2900

Figura 9: Flujos saturados

Además, la siguiente fórmula se puede utilizar para anchos de vía de más de 5.5 metros.

$$s = 525w \quad (9)$$

Sıkar & Aslan (2022), menciona que los valores de este flujo, depende del ancho del carril que ingresa a la intersección.

Prihantini et al. (2020), indica y por tanto se puede definir que el ancho de la calle o carretera o ancho de la vía también tomada en esta investigación corresponde al ancho de carril.

2.2.2.6.3. Grado de saturación (X)

Los grados de saturación son magnitudes mediante las cuales es posible determinar en qué condiciones se produce el tráfico en la intersección. Por otro lado, si el índice de saturación de uno o más carriles de acceso es igual o superior a uno, se producirá una sobresaturación del tráfico, es decir, no se atenderá a todos los vehículos, lo que provocará múltiples paradas en la intersección, aumentando las pérdidas de tiempo, la creación de filas etc. (Radivojević et al., 2021, p. 5)

El grado de saturación de cualquier movimiento debe ser menor a uno. (Wu et al., 2019, p. 1488)

2.2.2.6.4. Tiempo de ciclo óptimo

Con el fin de obtener el mejor tiempo de ciclo para minimizar el retraso total de la intersección, puede obtenerse tomando la derivada parcial del retardo total al tiempo de ciclo y haciendo que la derivada parcial sea igual a cero. (Li et al., 2021, p. 2)

La técnica Webster se puede utilizar en aplicaciones en tiempo real primero recopilar una pequeña cantidad de datos y asumir que no habrá cambios inesperados en las condiciones.

En otras palabras, calcula el tráfico asumiendo un estado estable. El algoritmo de control de Webster gestiona las intersecciones mediante el desarrollo de un sistema basado en ciclos. Calcula la duración óptima del ciclo (C) utilizando datos de flujo críticos (Y_i) y tiempo perdido en un ciclo (L_t) con “N” como el número de fases en la intersección. (Fuad et al., 2022, p. 6)

$$C = \frac{1.5L_t + 5}{1 - \sum_{i=1}^N Y_i} \quad (10)$$

2.2.2.6.5. Flujo por movimiento

Zong-Ming et al. (2021), lo define como flujo de tráfico en tiempo real, y significa cuántos vehículos pasan en un período. Esta sección consta de dos partes, la primera parte es el conteo de vehículos y la segunda parte es decidir el tiempo necesario para calcular un resultado.

2.2.2.6.6. Flujo vehicular directo (q)

En una intersección se pueden representar flujos de giro recto, a la derecha y a la izquierda del acceso; y apoyan en determinar el flujo de saturación parcial y máximo. (ALI et al., 2021, p. 102988)

Se plantea y por tanto podemos inferir que el flujo vehicular directo (q) es: El volumen de tráfico en la dirección de aproximación - salida en la intersección (flujo por movimiento), optimizado (multiplicado) por el factor de ponderación (factor de equivalencia = FE), y dividido entre el número de carriles (NC); es decir: (Wu et al., 2019, p. 1483, 1487, 1491)

$$q = (\text{Flujo por movimiento} * FE) / NC \quad (11)$$

Donde, los FE se plantean con las siguientes nociones y cantidades:

Movimientos rectos = 1

Movimientos derecha o izquierda = 1.2

2.2.2.6.7. Caudal de saturación

Wolput et al. (2016), dice que es la restricción de salida, que se supone es de aproximadamente 1800 vehículos por hora por carril en el entorno urbano, siempre que no haya flujos conflictivos.

2.2.2.6.8. Flujo saturación

Zhang et al. (2021), plantea y por ende podemos definir que es el valor del flujo vehicular directo, dividido por 1800 (caudal de saturación = máximo flujo o tráfico).

2.2.2.6.9. Suma del flujo de saturación

Zong-Ming et al. (2021), toma en cuenta como la suma de la relación del flujo de saturación máximo que corresponde a cada ruta.

Radivojević et al. (2021), precisa que es el tamaño “Y” que representa el coeficiente de utilización de la capacidad de la intersección y es determinado por:

$$Y = \sum_{i=1}^n Y_i \quad (12)$$

Donde: n - es el número de la fase de un plan de señal.

Pudiendo definir los valores de “Y_i” como aquellos flujos de saturación correspondientes al máximo de cada fase.

Basado en la fórmula, Valero (2024) menciona que “Y” es la carga de la intersección, e implica: $Y < 1$, intersección no saturada. Por tanto, plantear que si este valor es igual o mayor a 1 ($1 \leq Y$), se coloca intercambio BYPASS o paso a desnivel.

2.2.2.6.10. Tiempo perdido por fase

Siempre es igual al total de los intervalos amarillo y rojo. (Doçi et al., 2022, p. 132)

2.2.2.6.11. Tiempo total perdido por ciclo (L o P)

Doçi et al. (2022), indica que el tiempo perdido por ciclo “L” (medida en segundo/ciclo), es el número de fases del ciclo “N” (medido en fases/ciclo) multiplicado por el tiempo total perdido por fase “t_L” (suma de fase1 + fase2), medido en s/fase.

$$L = N * t_L \quad (13)$$

Zong-Ming et al. (2021), describen como tiempo perdido a “L” y es equivalente:

$$L = \text{Número de fase} * (\text{Tiempo ámbar} + \text{Tiempo toda roja}) \quad (14)$$

2.2.2.6.12. Tiempo total del ciclo de luces verdes (TV)

Prihantini et al. (2020), lo plantea como:

$$TV = C_o - L_t \quad (15)$$

Donde: C_o = tiempo de ciclo óptimo; L_t = tiempo perdido.

2.2.2.6.13. Tiempo de verde de fase (g_i o TVF)

Radivojević et al. (2021), menciona que la duración de la i -ésima fase ("tiempo verde") " g_i " puede calcularse mediante la relación.

$$g_i = Y_i(C - L)/Y \quad (16)$$

Donde: C = ciclo óptimo; L = tiempo total perdido.

Pudiéndose definir a " Y_i " - flujo de saturación máximo por fase; " Y " = suma del flujo de saturación; " $C - L = TV =$ tiempo total de verde"

2.2.2.6.14. Tiempo de luces rojas (TR)

Prihantini et al. (2020) indica que es igual a:

$$TR = C_o - \text{Tiempo de luces verdes} - \text{Tiempo de luces amarillas} \quad (17)$$

Donde: C_o = tiempo de ciclo óptimo.

2.2.2.6.15. Consecuencias de la fórmula de Webster

- Webster proporcionó una estimación del ciclo óptimo que minimice el retraso total del vehículo. Una consecuencia principal del modelo de retrasos de Webster es que los retrasos estimados tienden a infinito a medida que el grado de saturación se acerca a uno (el caudal de llegada se acerca a la capacidad) lo cual no es cierto en la situación práctica. Por lo tanto, la fórmula de Webster sobreestima la duración óptima del ciclo para intersecciones altamente saturadas. (Zakariya & Rabia, 2016, p. 2509)
- El ciclo óptimo aumenta a medida que incrementa el tiempo perdido. (Zakariya & Rabia, 2016, p. 2514)
- La fórmula de F. Webster mostrará un error, explicado por el hecho de que esta no es adecuada para calcular el retraso del transporte en condiciones de congestión del tráfico (con coeficiente de grado de saturación de la dirección mayor que 1). (Komarov et al., 2021, p. 78)

2.2.2.7. Métodos del Highway Capacity Manual (HCM)

El Manual de Capacidad de Carreteras (HCM) del Transportation Research Board o Consejo de Investigación del Transporte (TRB) ofrece una colección de técnicas de vanguardia para estimar la capacidad y determinar el nivel de servicio de las instalaciones de transporte,

incluidas las intersecciones y las carreteras, así como las instalaciones para el tránsito, las bicicletas y los peatones.

La capacidad de una calle urbana está relacionada principalmente con la sincronización de las señales y las características geométricas de la instalación, así como con la composición del tráfico en la misma. (Consejo de Investigación del Transporte - TRB, 2000, p. 5, 15, 157)

El método HCM utiliza la fórmula de Webster para estimar el ciclo óptimo. (Bashiri, 2020, p. 64)

2.2.2.8. Nivel de servicio

Se caracteriza por ser "una característica cualitativa que refleja factores como la velocidad, el tiempo de viaje, las maniobras, la seguridad y la comodidad de conducción". Esta formulación ejemplar tiene la siguiente explicación: "La finalidad de las medidas de transporte es proporcionar a un determinado número de necesidades la calidad de servicio adecuada. Esta calidad se presenta en forma de libertad de elección de la velocidad y el sentido de la circulación. Todos estos indicadores cambian en función de la relación entre la intensidad del tráfico y el rendimiento de la estructura de transporte". (Shamlitskiy et al., 2023, p 418, 419)

Para el Nivel de servicio (LOS) detallar:

Que en las intersecciones señalizadas se define en términos de retraso de control, que es una medida de la incomodidad del conductor, la frustración, el consumo de combustible y el aumento del tiempo de viaje. Los niveles de servicio se definen para representar rangos razonables en la demora de control:

LOS "A" describe las operaciones con bajo retardo de control, hasta 10 s/veh. Este LOS se produce cuando la progresión es extremadamente favorable y la mayoría de los vehículos llegan durante la fase verde. Muchos vehículos no se detienen en absoluto. Las longitudes de ciclo cortas pueden tender a contribuir a los valores bajos de demora.

LOS "B" describe las operaciones con un retraso de control superior a 10 y hasta 20 s/veh. Este nivel se produce generalmente con buena progresión, longitudes de ciclo reducidas, o ambas. Se detienen más vehículos que en LOS A, lo que provoca mayores niveles de retraso.

LOS "C" describe las operaciones con un retraso de control superior a 20 y hasta 35 s/veh. Estos mayores retrasos pueden ser el resultado de una progresión sólo justa, longitudes de

ciclo más largas, o ambas cosas. En este nivel pueden empezar a aparecer fallos de ciclo individuales. El fallo de ciclo se produce cuando una determinada fase verde no da servicio a los vehículos en cola y se producen desbordamientos. El número de vehículos que se detienen es significativo en este nivel, aunque muchos siguen pasando por la intersección sin detenerse.

LOS "D" describe las operaciones con un retraso de control superior a 35 y hasta 55 s/veh. En LOS D, la influencia de la congestión se hace más notable. Los retrasos más largos pueden ser el resultado de alguna combinación de progresión desfavorable, longitudes de ciclo largas y relaciones volumen - capacidad elevadas. Muchos vehículos se detienen, y la proporción de vehículos que no se detienen disminuye. Los fallos de ciclo individuales son notables.

LOS "E" describe las operaciones con retraso de control superior a 55 y hasta 80 s/veh. Estos valores de retardo elevados indican generalmente una progresión deficiente, longitudes de ciclo largas y relaciones volumen - capacidad elevadas. Los fallos de ciclo individuales son frecuentes.

LOS "F" describe las operaciones con retraso de control superior a 80 s/veh. Este nivel, considerado inaceptable para la mayoría de los conductores, suele producirse con la sobresaturación, es decir, cuando los flujos de llegada superan la capacidad de los grupos de carriles. También puede darse en relaciones v/c elevadas con muchos fallos de ciclo individuales. La mala progresión y las largas longitudes de ciclo también pueden contribuir significativamente a los altos niveles de retraso.

Por lo tanto, la designación LOS F no implica automáticamente que la intersección, la aproximación o el grupo de carriles estén por encima de su capacidad, ni una LOS mejor que E implica automáticamente que se disponga de capacidad no utilizada.

(Consejo de Investigación del Transporte - TRB, 2000, p. 163, 164)

III. METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Métodos de la investigación

Método Inductivo: Porque va a ser necesaria la observación directa de la situación problemática, permitiendo relacionar los factores y efectos de la misma. Este método también nos permitirá plantear la hipótesis.

Método Deductivo: Se partirá de una problemática existente, proponiendo la solución, y que puede servir como referencia en otras zonas de problema en otras ciudades.

Método Analítico: Este método nos permitirá revisar en forma separada todo el acopio del material necesario para la investigación. Por ende, analizar las condiciones y parámetros, con el objetivo de llegar a proponer un sistema adaptativo.

3.1.2. Diseño o esquema de la investigación

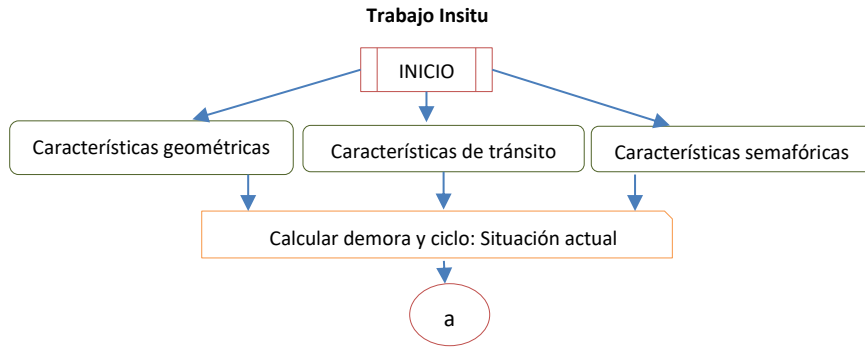
Por la finalidad que sigue se considera **Investigación Aplicada**: Se centra en la resolución de problemas en un contexto determinado, es decir, busca la aplicación o utilización de conocimientos, desde una o varias áreas especializadas, con el propósito de implementarlos de forma práctica para satisfacer necesidades concretas.

En función a la naturaleza de la información, sería una **Investigación Cuantitativa**: Porque utiliza predominantemente los símbolos numéricos que se utilizan para la exposición de datos que provienen de un cálculo o medición.

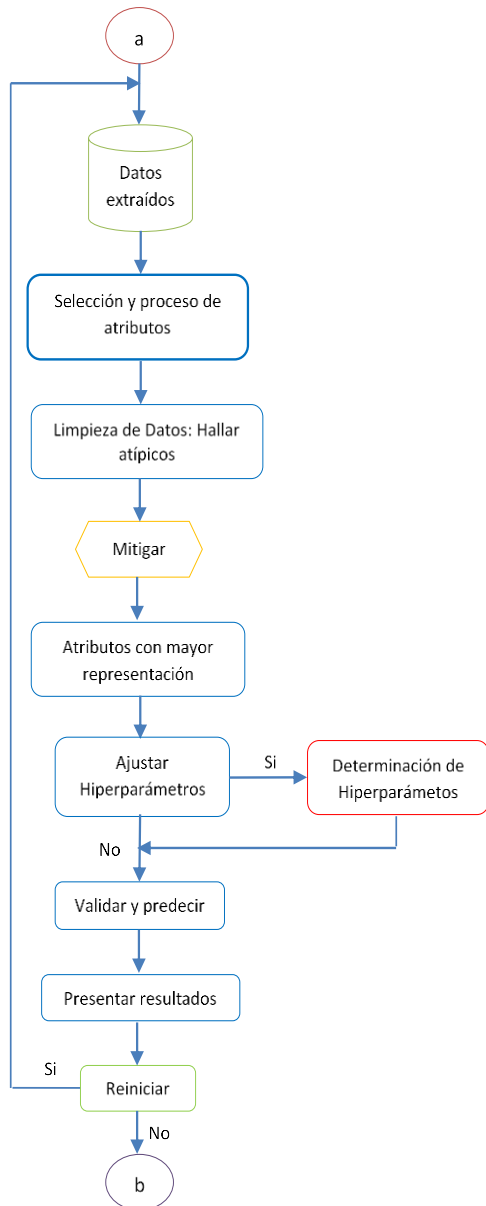
De acuerdo a su metodología, tendría una **Investigación Experimental**: Debido a que se realiza con un enfoque científico, donde un conjunto de variables se mantiene constantes, mientras que el otro conjunto de variables se mide como sujeto del experimento.

Por el nivel de conocimiento que se adquieren, presenta una **Investigación Descriptiva**: Pues se utiliza para describir las características de una población o fenómeno en estudio.

A continuación, se detalla el esquema de flujo para el presente estudio:



**Metodología Knowledge Discovery
Databases (KDD) - Algoritmo**



Sistema

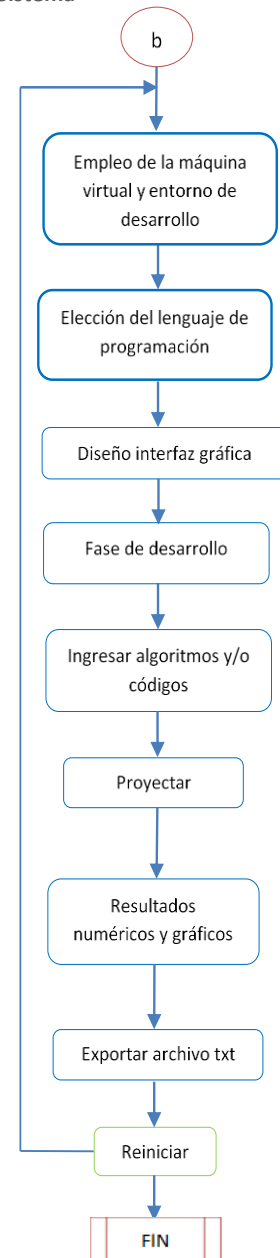


Figura 10: Diagrama de flujo de la investigación

3.2. VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN

Variable Independiente (V.I.): Sistema adaptativo.

Variable Dependiente (V.D.): Intersecciones semaforizadas.

3.2.1. Definición conceptual

Variable Independiente (V.I.): Conjunto de elementos que interactúan entre sí y tiene al menos un proceso que controla la adaptación del sistema, es decir, la correlación entre estructura, función o comportamiento y su entorno, con el fin de aumentar su eficacia para alcanzar sus objetivos. (Martín et al., 2009, p. 760)

Variable Dependiente (V.D.): Son las que están reguladas permanente o mayoritariamente mediante sistemas de luces que establecen las prioridades de paso por la intersección. (Ayuntamiento de Madrid, 2000, p. 1)

3.2.2. Definición operacional

Variable Independiente (V.I.): Componentes ordenados y relacionados que en conjunto es capaz de atender a comportamientos adaptables a ciertas características con la finalidad de solventar un problema.

Variable Dependiente (V.D.): Áreas o puntos representativos claves en el tránsito urbano, reglamentadas por dispositivos de control que dirigen y controlan la transitabilidad.

3.2.3. Indicadores

Variable Independiente (V.I.): Tenemos:

- Demora y ciclo óptimo (nivel de servicio).

Variable Dependiente (V.D.): Tenemos:

- Ancho de la vía (o carril).
- Número de carriles.
- Saturación.
- Tiempo del ciclo.
- Tiempo de semáforo en verde.
- Coeficiente de verde.
- Grado de saturación.
- Flujo del carril.

- Número de fases.
- Factor de equivalencia.
- Flujo vehicular directo.
- Flujo de saturación de la intersección.
- Tiempo total perdido por ciclo.

Sistema adaptativo.	<p>Conjunto de elementos que interactúan entre sí y tiene al menos un proceso que controla la adaptación del sistema, es decir, la correlación entre estructura, función o comportamiento y su entorno, con el fin de aumentar su eficacia para alcanzar sus objetivos. (Martín et al., 2009, p. 760)</p>	<p>Componentes ordenados y relacionados que en conjunto es capaz de atender a comportamientos adaptables a ciertas características con la finalidad de solventar un problema.</p>	Sistema	Demora y ciclo óptimo (nivel de servicio).	Ficha y/o indicadores con rangos (HCM).
---------------------	---	---	---------	--	---

FUENTE: Elaboración propia, basado en la metodología del proyecto

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

Según Baena (2017), la población en un estudio de investigación se define como un conjunto completo y representativo de elementos necesarios para un estudio detallado que es de interés para el o los investigadores. Esta definición subraya la importancia de que la población sea exhaustiva y relevante para los objetivos del estudio, asegurando que los resultados obtenidos sean aplicables y significativos dentro del contexto investigativo. Para la investigación la población fue todas las intersecciones semaforizadas del casco urbano de Jaén.

3.3.2. Muestra y muestreo

Según Baena (2017), la muestra se define como el subconjunto de elementos comunes y representativos que se pueden utilizar para hacer inferencias sobre la población.

Ante ello, Hernández & Carpio (2019), definen el muestreo intencional o de conveniencia como el método que se caracteriza por buscar con mucha dedicación el conseguir muestras representativas cualitativamente, mediante la inclusión de grupos aparentemente típicos. Es decir, cumplen con características de interés del investigador.

Por tanto, para la investigación la muestra fue dos intersecciones semaforizadas del casco urbano en la ciudad de Jaén, las cuales han sido seleccionadas por tener, rendir y/o cumplir las mismas características evaluadas, diferenciándose de las demás.

3.4. ACTIVIDADES DEL PROCESO INVESTIGATIVO

En primera instancia se verificó el problema de la congestión vehicular en intersecciones semaforizadas, producto de la alta demanda de vehículos, viéndose reflejado en cantidades no óptimas de tiempos de demora (e inclusive desconocidas) y ciclo semafórico. Ante ello se propone como medida un sistema adaptativo basado en el desarrollo de un algoritmo y sistema (calculan y optimizan demoras y ciclo). Posteriormente se plasmaron los objetivos del estudio, se pasó por la indagación de información científica mediante base de datos nacional e internacional, para pasar a concretar la metodología a usar en el diseño del sistema. Se siguieron diferentes etapas desde la recolección de datos (características de intersecciones y datos científicos), pasando por una selección hasta validación (algoritmo), y finalmente a la generación del sistema con sus fases de diseño y desarrollo, hechos en

entorno y lenguaje de programación adaptable. Luego de ello se hizo la secuencia de resultados reflejados en Cuadros y figuras, para así discutir con los autores de investigaciones científicas; y en última instancia se procedió a elaborar las conclusiones y recomendaciones que emanaron la presente investigación; para mejor ilustración se presenta la Figura 11.

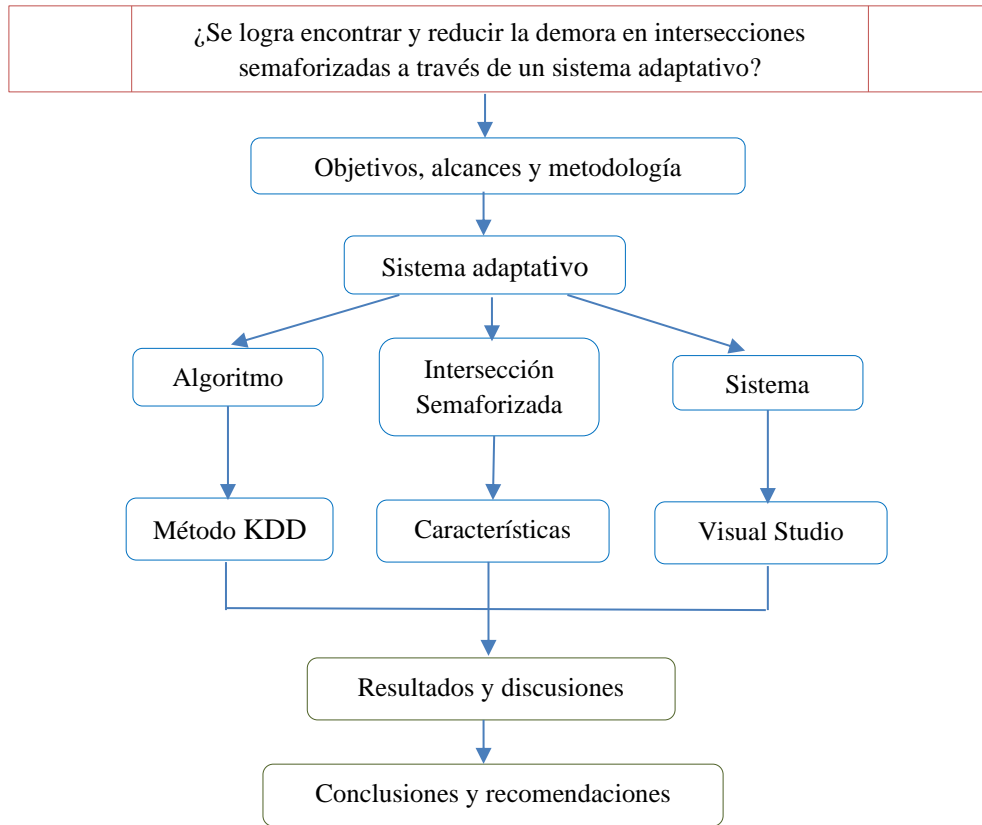


Figura 11: Proceso de actividades de la investigación

3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Cuadro 3: Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Objetivos	Técnica	Material
Diagnosticar el accionar que presenta cada intersección semaforizada dentro del casco urbano.	Técnica de Campo.	de Equipo topográfico, cámaras videograbadoras, cronómetro, fichas.

		Metodología Knowledge Discovery Databases (KDD)
Elaborar y ejecutar un sistema basado en los datos de representación del algoritmo.	Análisis de información.	Visual Studio Community 2022. Microsoft Visual Basic .NET (VB.NET). Método de Webster. Método del Highway Capacity Manual (HCM).

FUENTE: Elaboración propia, basado en los objetivos de la investigación

3.6. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

- Se procedió a realizar la toma de datos con video grabación, situados en puntos estratégicos de las zonas de estudio.
- Se realizó una exhaustiva revisión de trabajos de investigación que involucren los parámetros relacionados a algoritmo y sistema (sistema adaptativo).
- Se recogió información respecto a características geométricas, de tránsito y semaforicas de cada intersección, con el objetivo de obtener parámetros de entrada.
- Se elaboró paso a paso los algoritmos para demora y tiempo de ciclo óptimo, teniendo presente las etapas de la metodología KDD, y a su vez los métodos de Webster y HCM, lo que permitió su representación.
- A través de los algoritmos desarrollados, se procedió a elaborar y ejecutar un sistema a través del entorno de Visual Studio y el lenguaje de programación Visual Basic .NET (VB.NET), que logre calcular y reducir tiempos de demora y ciclo óptimo; y por ende intentar mejorar el nivel de servicio en cada intersección.
- Finalmente, se realizará la evaluación de resultados y contrastación de la hipótesis.

La Figura 12, enfoca lo procedido para mejor entendimiento.

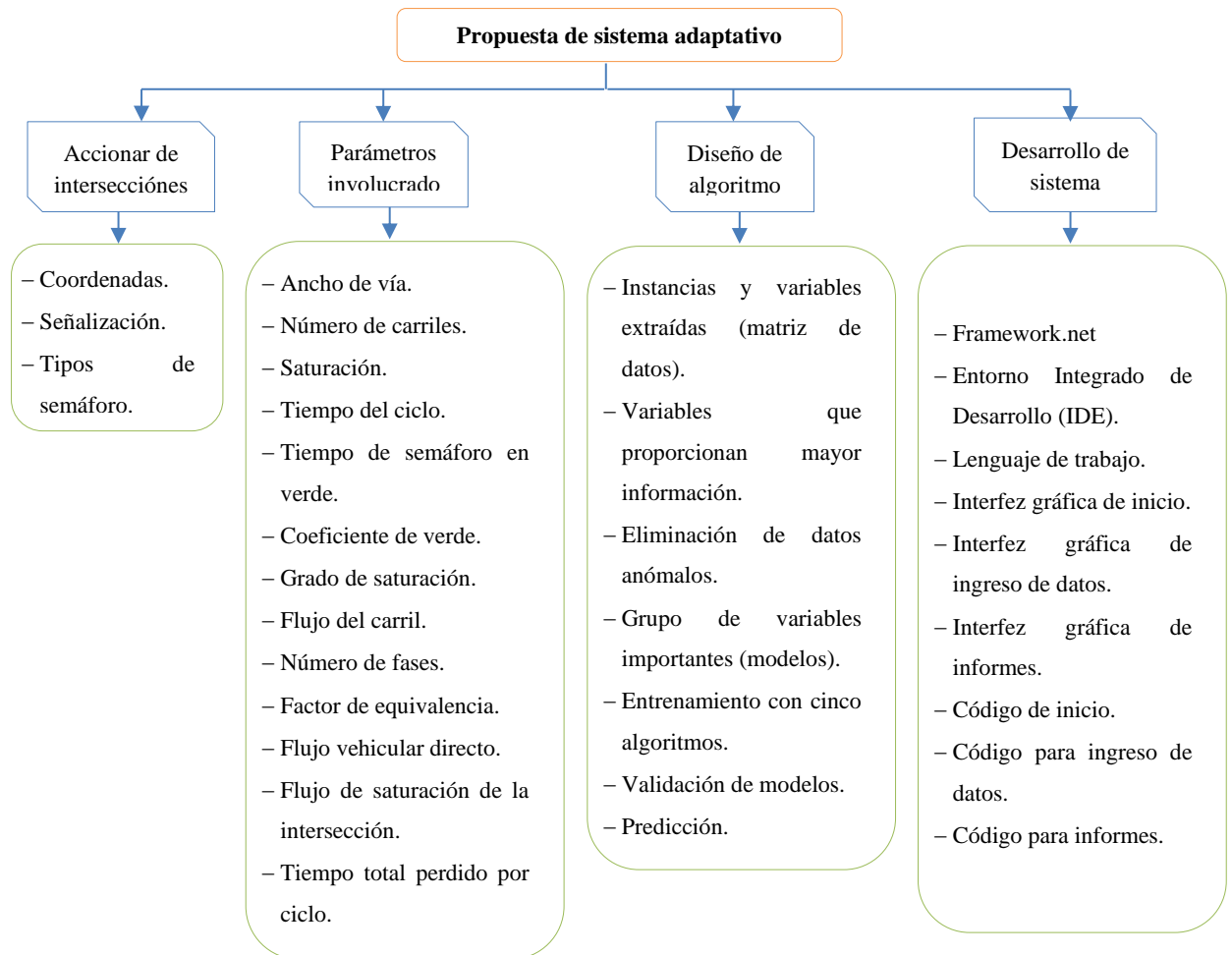


Figura 12: Esquema de flujo del procedimiento de recolección de datos

3.7. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

3.7.1. Zona de estudio

Se empezó por seleccionar dos intersecciones semaforizadas básicas en la ciudad, localizadas en un área comercial, en el Noroeste de la localidad de Jaén, con volúmenes vehicular variantes. Por tanto, bajo el diagnóstico que se realizó en esta área de estudio, se está constituido por una primera intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel y una segunda dada por la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar; y que en cierta parte pertenecen a una de las vías colectoras principales y de otra parte a la vía local, en Jaén. Ante ello, dichas intersecciones están controladas por semáforos presincronizados o de tiempos predeterminados, y contemplan poca señalización como: Vertical reguladora o reglamentaria (estacionamiento prohibido); regular y/o tenue señalización horizontal (líneas de pasos peatonales, líneas de “Pare”, flechas direccionales y de giro). A

continuación, se presenta en las Figuras 13 y 14 una toma satelital de la constitución de las intersecciones seleccionadas.

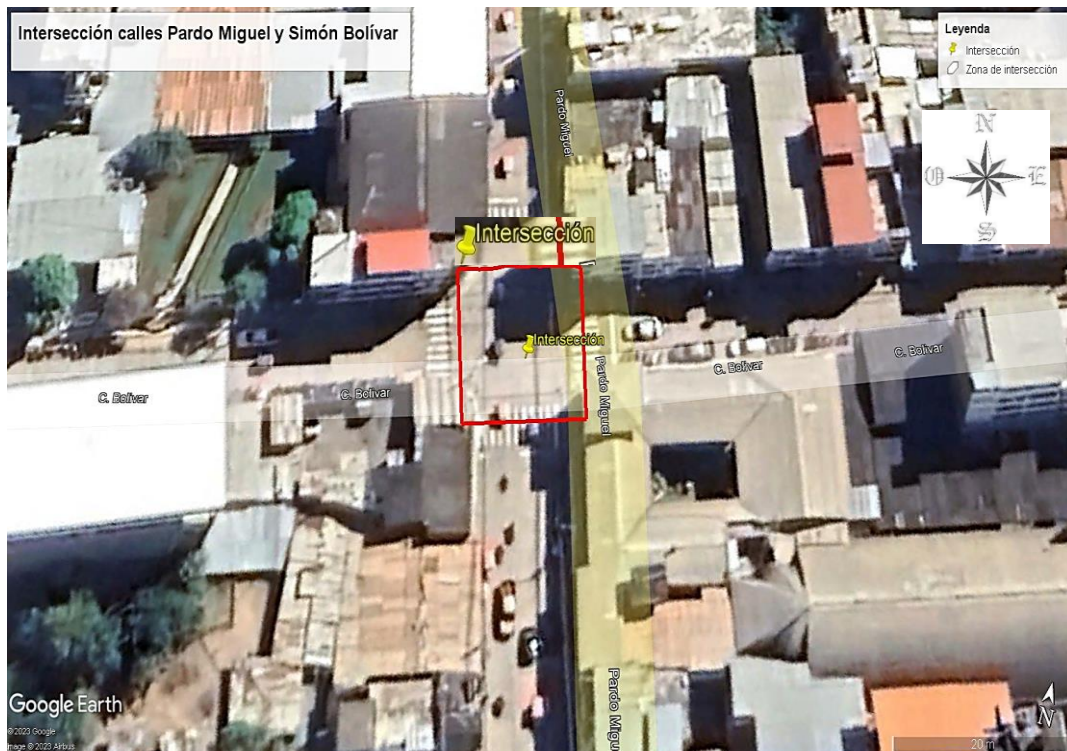


Figura 13: Imagen satelital de intersección de calles Pardo Miguel y Simón Bolívar

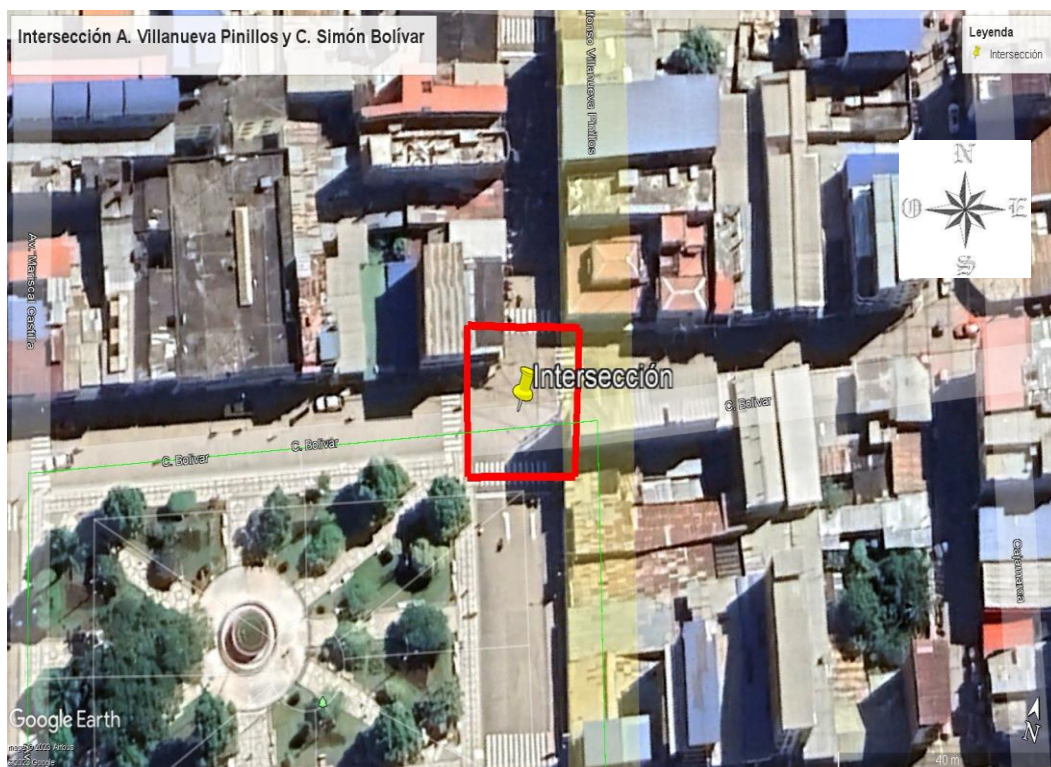


Figura 14: Imagen satelital centralizada de intersección de avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar

3.7.2. Condiciones de la geometría en intersecciones

Con lo trabajado en campo, se procedió a identificar y registrar datos respecto a la medición de la geometría que interviene en la intersección, como sigue: Número de carriles, ancho de carriles, pendiente, existencia de carriles exclusivos para giros a la izquierda y derecha, ancho de veredas, estacionamientos permitidos, entre otros. Así mismo, se llegó a utilizar los siguientes instrumentos: Cintas métricas, nivel de ingeniero, plano catastral de la ciudad de Jaén, cámara fotográfica, fichas y/o formatos.

Ante ello, a continuación, se precisan los datos de las características geométricas resultantes.

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

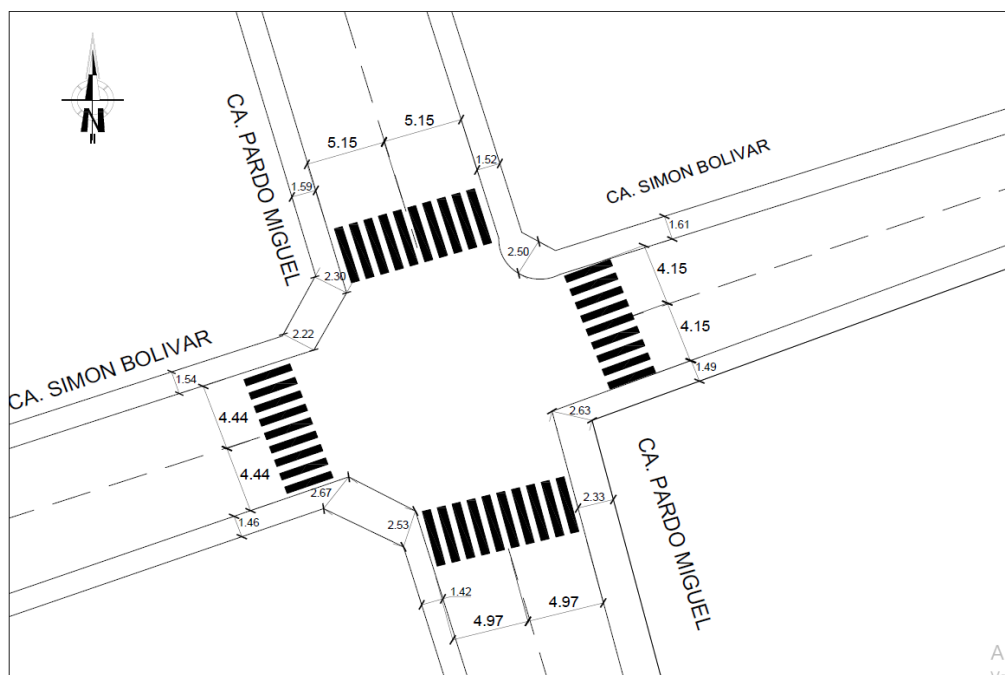


Figura 15: Características de la intersección (calles) en estudio

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

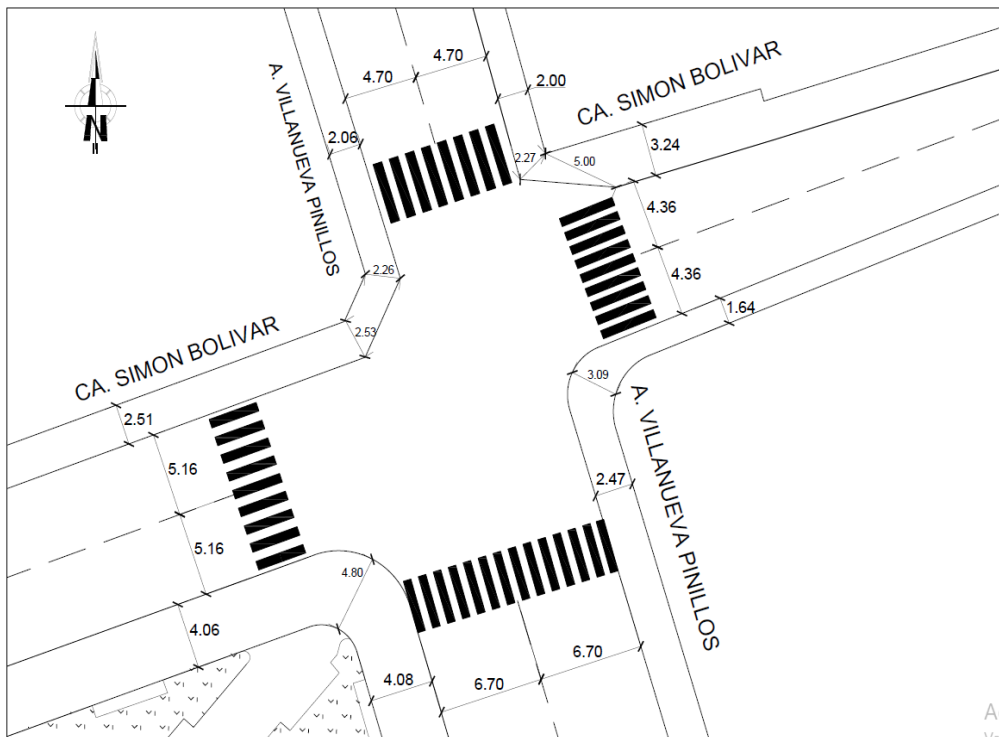


Figura 16: Características de la intersección (avenida y calle) en estudio

En los Anexos B 1 y B 2, se detallan las tomas fotográficas mostrando el trabajo in situ; además, en el Anexo A 1 y A 2 se detalla los planos de ubicación y localización (de acuerdo al plano catastral de Jaén) respectivo.

3.7.3. Condiciones del tránsito en intersecciones

Para las características del tránsito en el escenario actual que se analizó las intersecciones básicas, ha sido trascendente conocer sus condiciones, tales como: Tipología vehicular, número de vehículos, volumen de giros a la izquierda y derecha realizados, entre otros.

Por tanto, el fin fue obtener dichos datos, y se pasó a calcular el aforo vehicular y peatonal en las intersecciones.

3.7.3.1. Aforo Vehicular

Se procedió a ejecutar a través del método de conteo mecánico, haciendo uso de cámaras de videograbación; ante ello no se tuvo el objeto físico sino más bien fueron solicitados las grabaciones de las intersecciones involucradas, a la Municipalidad Provincial de Jaén específicamente a la Gerencia de Participación y Seguridad Ciudadana, lo cual fue brindado, revisado y almacenado por el investigador sin problemas; el proceder se detalla en el Anexo C 1. Luego para la obtención de datos el autor procede a realizar la visualización de

grabación teniendo en cuenta las zonas estratégicas por cada acercamiento (Norte, Este, Oeste y Sur); logrando un buen registro de datos. Lo bueno del método es que se logra en gabinete un llano y pausado conteo, para así llenar los formatos correspondientes con detalle y cuidado, evitando errores; además pudiendo o volviendo a supervisar el desarrollo de los conteos, con la finalidad de que se asegure la recopilación de información clave.

Las Figuras 17, 18, corresponden a la ubicación y lentes de enfoque de cámaras de donde fue usada su grabación para la toma de datos; además, en los Anexos B 3, B 4 se especifica tomas fotográficas del estado actual en cuanto a flujo vehicular para los turnos mañana, tarde y noche; todo ello según cada intersección.

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

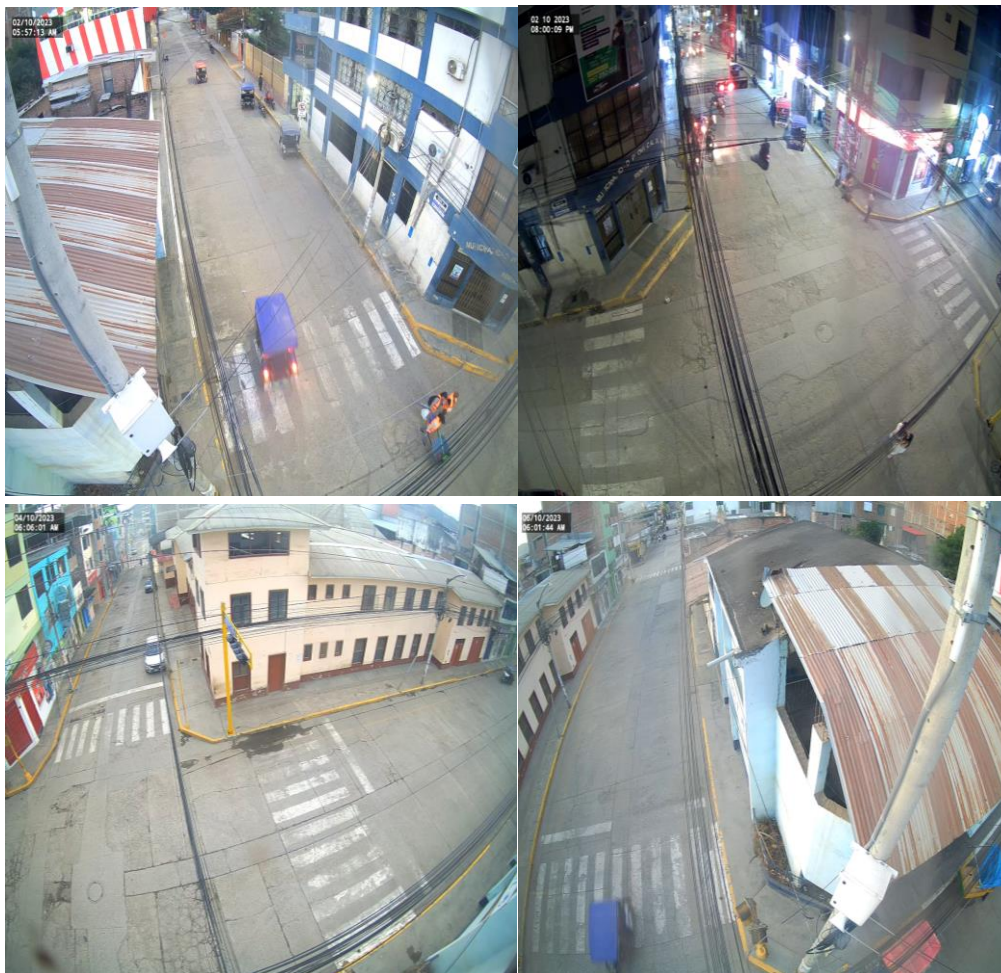


Figura 17: Cuatro enfoques de cámara - intersección de calles

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

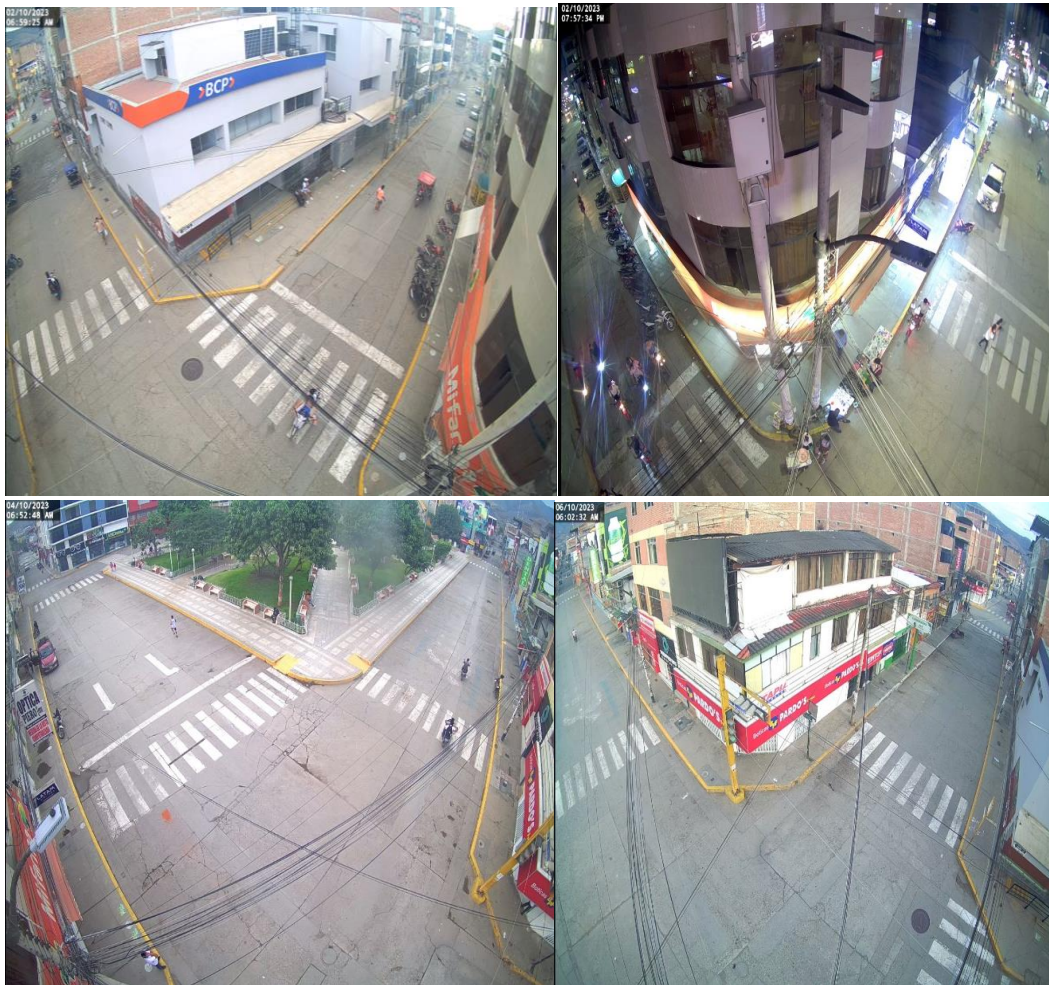


Figura 18: Enfoques de cámaras - intersección de avenida y calle

Con respecto, a como gobierna el tránsito verificado en las intersecciones básicas seleccionadas, se consiguió obtener sus horas pico y valle que varían de acuerdo al transcurrir del día y para cada uno de ellos a través de la semana; ante esto, ha sido definitivo realizar el conteo vehicular para tres días característicos de ésta.

Se efectuó el conteo: lunes 02, miércoles 04 y viernes 06 de octubre del 2023, mediante espacios de tiempos en cada día, desde las 07:00 – 09:00, 11:00 – 14:00, 17:00 – 20:00 horas, abarcando el total de tráfico de dichos días más distintivos en la ciudad de Jaén. Por tanto, para determinar la hora punta, se estableció el conteo en temporadas de 15 minutos según el horario elegido; recalcar que los datos fueron recopilados usando el formato de conteo de vehículos.

Aforo de vehículos

Aquí se abarcó diferentes tipologías vehiculares explorados según desplazamientos con dirección.

Con la totalidad del volumen y las horas punta calculadas, siguió determinar la composición vehicular en las intersecciones en estudio, especificándose en los Cuadros 4 y 5; además, en los Anexos C 22 al C 43, detallan gráficos complementos para el lunes, y valores porcentuales con gráficos complemento para miércoles y viernes, por intersección.

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

Cuadro 4: Valores de proporciones vehiculares en horas punta (Para calles – Día lunes)

Tipo de vehículo	Proporciones vehiculares - horas punta					
	Intersección calles Simón Bolívar con Pardo Miguel					
	7:15 - 8:15		12:30 - 13:30		18:00 - 19:00	
Mototaxi	985	48.00%	1995	43.31%	1542	40.11%
Motolineal	831	40.50%	2094	45.46%	1861	48.41%
Auto	62	3.02%	161	3.50%	134	3.49%
Camión	38	1.85%	89	1.93%	85	2.21%
Camioneta	96	4.68%	207	4.49%	171	4.45%
Minivan	40	1.95%	60	1.30%	51	1.33%
Ómnibus	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Trailer	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Maquinaria Pesada	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Total	2052	100.00%	4606	100.00%	3844	100.00%

FUENTE: Elaboración propia

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

Cuadro 5: Valores de proporciones vehiculares en horas punta (Para avenida y calle – Día lunes)

Tipo de vehículo	Proporciones vehiculares - horas punta					
	Intersección avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar					
	7:15 - 8:15		12:30 - 13:30		18:00 - 19:00	
Mototaxi	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Motolineal	814	75.93%	1943	79.96%	1470	75.46%
Auto	93	8.68%	202	8.31%	142	7.29%
Camión	62	5.78%	68	2.80%	101	5.18%
Camioneta	46	4.29%	128	5.27%	120	6.16%
Minivan	57	5.32%	89	3.66%	115	5.90%
Ómnibus	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Trailer	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Maquinaria Pesada	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
Total	1072	100.00%	2430	100.00%	1948	100.00%

FUENTE: Elaboración propia

Conjunto de buses que estacionan

En este caso, tanto para parada de este tipo de vehículos a descargo y carga de interesados, ya sea antes y pasado las zonas estudiadas; así mismo para la acción de maniobras para estacionar, en cuanto a ingreso o salida; estos no fueron evidenciados, así que, se definió que no hay forma de estacionar por algún acceso.

Los Cuadros 6 y 7, enfocan los valores específicos maniobras y estacionadas de estacionamiento obtenidos en las intersecciones que presenta sus accesos.

Cuadro 6: Valores que relaciona la forma de estacionar y maniobrar (calles)

Datos de estacionamiento y maniobras					
Nombre de zona	Acceso	Buses detienen/h ora	Estacionamientos	Respetado	Maniobras/h ora
Calle Pardo Miguel	Norte (N)	0	No permitido	Si	0
Calle Simón Bolívar	Sur (S)	0	No permitido	Si	0
	Este (E)	0	No permitido	Si	0
	Oeste (O)	0	No permitido	Si	0

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 7: Valores que relaciona la forma de estacionar y maniobrar (avenida y calle)

Datos de estacionamiento y maniobras					
Nombre de zona	Acceso	Buses detienen/h ora	Estacionamientos	Respetado	Maniobras/h ora
Avenida Villanueva Pinillos	Norte (N)	0	No permitido	Si	0
Calle Simón Bolívar	Sur (S)	0	No permitido	Si	0
	Este (E)	0	No permitido	Si	0
	Oeste (O)	0	No permitido	Si	0

FUENTE: Elaboración propia

3.7.3.2. Aforo Peatonal

En cuanto a este aforo se utilizó el método de conteo mecánico, haciendo uso de las grabaciones de las cámaras ubicadas en las intersecciones básicas, lo cual fue solicitado a la Municipalidad Provincial de Jaén tal como se especificó en el ítem 3.9.3.1. Aforo Vehicular y puntualizado en el Anexo C 1. Posteriormente, en la recolección de valores procedí a hacer la visualización de grabación teniendo en cuenta las zonas estratégicas por cada acercamiento (Norte, Este, Oeste y Sur).

El trabajo se consolidó para los días: lunes 02, miércoles 04 y viernes 06 de octubre del 2023, mediante 03 espacios por día, tomados de 07:00 – 09:00, 11:00– 14:00, 17:00 – 20:00 horas, abarcando el aforo de peatones en las temporadas características de la semana que propone la ciudad. Se procedió con el volumen de intervalos cada 15 minutos en los horarios establecidos; por ende, se tiende a mostrar el tiempo con gran resultado crítico del conjunto

vehicular con el propósito de captar el día y horario que se pudo trabajar del aforo de peatones; que como se estipuló ítems atrás se logró obtener para el lunes – tarde, considerando su hora punta; recalcar que el conteo se realizó para los demás días considerados (miércoles y viernes) y para ambas intersecciones básicas.

Aforo de peatones

Tuvo como fin evaluar el accionar del peatón al usar su señalización y si causa interrupciones con sus giros, así como teniendo en cuenta lados izquierdos y derechos que ejecutan los vehículos. Resaltar, que las intersecciones involucradas no presentan ciclo vías, por ende, el aforo es neutro.

Síntesis del aforo de peatones

Teniendo generado los aforos de peatones por cada día escogido y acceso, continuó colocar datos calculados al formato de síntesis por cada acceso, haciendo hincapié al periodo fijo más cargado que fue el día lunes (según lo vehicular).

Por consiguiente, los Cuadros 8 y 9 enfocan el resumen por acceso del aforo de peatones, considerando las horas pico (calculadas en mañana, tarde y noche); para cada intersección.

Cuadro 8: Sinopsis del aforo de peatones, en intersección con calles (Lunes)

Sinopsis por acceso en intersección con calles					
Intersección			Hora punta / Periodo		
			H.P Mañana	H.P Tarde	H.P Noche
			7:15 - 8:15	12:30 - 13:30	18:00 - 19:00
Calle Pardo	Total de peatones por hora/acceso	Norte	30	50	57
Miguel		Sur	49	41	65
Calle Simón		Este	53	48	78
Bolívar		Oeste	46	48	35

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 9: Sinopsis del aforo de peatones, en intersección con avenida y calle (Lunes)

Sinopsis por acceso en intersección con avenida y calle			Hora punta / Periodo		
			H.P Mañana	H.P Tarde	H.P Noche
Intersección	Total de peatones por hora/acceso		7:15 - 8:15	12:30 - 13:30	18:00 - 19:00
			Avenida Villanueva Pinillos	Norte	46
Calle Simón Bolívar	Sur	62	69	81	
	Este	67	73	94	
	Oeste	46	52	51	

FUENTE: Elaboración propia

3.7.4. Condiciones de semáforos en intersecciones

En cuanto a analizar la condición de operar de los semáforos, se hizo uso de equipamiento para medir como: Cronómetro y cámaras de videograbación, con ello se pudo obtener la verificación y grabación del ciclo semafórico (todos) a través de un espacio de 15 min. independientemente para las intersecciones básicas analizadas, posterior se examinó las fases en los semáforos y se determinó valores relacionados.

El estudio y valores generados fueron in situ, observándose que cada semáforo opera a través de tiempos fijos, así mismo muestran un estado prácticamente nuevo; además, se constató que ninguno de los evaluados tiene semáforo peatonal.

Entonces de la información obtenida, se pudo evidenciar 02 fases (Fase 1: Acceso Norte y Sur, fase 2: Acceso Este y Oeste), a la vez se identificó tiempos establecidos para cada luz del semáforo.

Por tanto, las Figuras 19 y 20, detallan una síntesis de valores alcanzados:

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

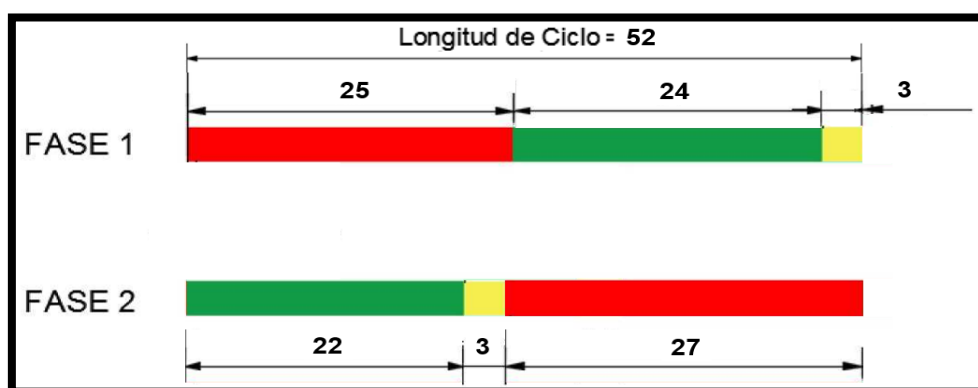


Figura 19: Esquema de tiempo por fase

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

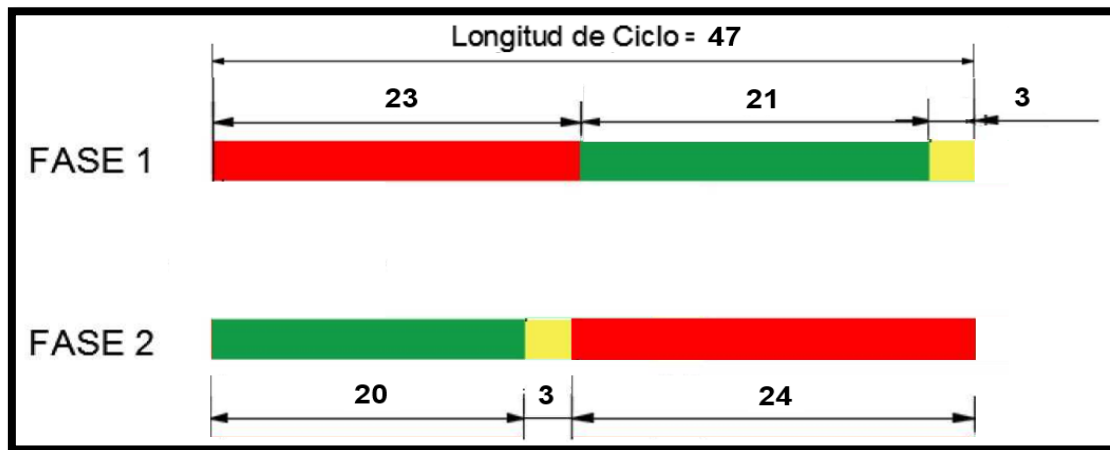


Figura 20: Esquema de tiempo por fase

3.7.5. Algoritmo

Para la construcción del algoritmo se empleó la metodología Knowledge Discovery Databases (KDD), adaptando cinco fases relacionadas, las cuales son: Etapa de selección, preprocesamiento, transformación, minería de datos e intervención y evaluación de datos.

3.7.5.1. Matriz de datos

Se creó una matriz de datos con 577 instancias y 16 variables extraídas de información científica; las variables fueron ancho de vía (ANV), tiempo de semáforo en verde (T), Flujo de saturación (ST), tiempo de ciclo (C), coeficiente de verde (Y), grado de saturación (X), flujo del carril (Q) y tiempo de demora (DM), Número de Fases (NF), Número de carriles (NC), Factor de equivalencia (FE), Flujo vehicular directo (q), Flujo de saturación de la intersección (Yi), Tiempo total perdido por ciclo (P), Flujo peatonal (FP), Tiempo de ciclo óptimo (Tco) (ver Cuadro 10).

Cuadro 10: Descripción de las variables recolectadas

Variable	Descripción	Unidad	Tipo
Ancho de la vía	Es la medida horizontal de la superficie de la carretera, desde un lado al otro. Este ancho incluye todos los elementos que conforman la vía.	m	Continua
Tiempo de semáforo en verde	Es el intervalo temporal durante el cual el semáforo permite el flujo ininterrumpido de vehículos en una dirección particular de la intersección regulada	s	Continua

Saturación		Es el volumen máximo por hora que puede pasar por una intersección con un carril o grupo de carriles determinado si ese carril está en verde fijo durante una hora.	veh/h/carril	Continua
Tiempo del ciclo		Es la duración completa de un ciclo de operación de un conjunto de semáforos en una intersección. Este ciclo comprende todos los estados de señalización posibles, incluyendo el tiempo dedicado a cada fase, como verde, ámbar y rojo.	s	Discreta
Coefficiente de tiempo de verde		Representa la proporción del tiempo total de un ciclo de semáforo que se asigna al intervalo de tiempo en el cual un semáforo específico está en fase verde.	-	Continua
Grado de saturación		Representa la proporción del flujo vehicular actual en comparación con la capacidad máxima de la carretera o intersección.	-	Continua
Flujo del carril		Es la cantidad de vehículos que pasan por un carril de una carretera o una vía en un período de tiempo específico	Veh/h	Continua
Tiempo de demora		Es el período de tiempo adicional que un vehículo experimenta al pasar por un punto específico en la red de transporte.	s	Discreta
Número de Fases		Es la cantidad de secuencias distintas de movimientos vehiculares y peatonales que son controladas por el ciclo completo del semáforo. Cada fase representa un conjunto específico de movimientos permitidos.	-	Discreta
Número de carriles		Es la cantidad de pistas disponibles para el flujo de vehículos en una carretera. Cada carril puede ser utilizado para el movimiento de vehículos en una dirección específica, y el número total de carriles en una vía determina su capacidad para adecuar el tráfico.	-	Discreta
Factor de equivalencia		Es el valor que se asigna al flujo para movimientos rectos (1) y derecha o izquierda (1.2).	-	Continua

Flujo vehicular directo	Es el flujo de automóviles directos, que no dan vuelta, equivalentes por hora	Veh/h	Continua
Flujo de saturación de la intersección	Es la máxima tasa de vehículos que puede pasar a través de una intersección regulada por semáforos.	Veh/h	Continua
Tiempo total perdido por ciclo	Es la multiplicación del número de fases por el tiempo de ámbar (3 a 4 s)	s	Discreta
Flujo Peatonal	Es la cantidad de personas que pasan durante un periodo determinado de tiempo	-	Discreta
Tiempo de ciclo optimo	Es el intervalo de tiempo más eficiente y equitativo que maximiza la capacidad y minimiza las demoras en una intersección regulada por semáforos.	s	Discreta

FUENTE: Elaboración propia

La Figura 21, muestra los diagramas de caja de las diferentes variables recolectadas, siendo una forma estandarizada de visualizar la distribución de datos: Mínimo, primer cuartil (Q1), mediana, tercer cuartil (Q3) y máximo. Cada diagrama de caja muestra la distribución de los datos de las variables ANV, T, ST, C, Y, X, Q, DM, NF, NC, FE, q, Yi, P, AP, y Tco mediante un rectángulo (la caja) y bigotes. La parte inferior y superior de la caja representan el primer y tercer cuartil, respectivamente, y la banda dentro de la caja muestra la mediana de los datos. Los bigotes se extienden desde la caja hasta los valores más pequeños y más grandes dentro de 1.5 veces el rango intercuartílico (IQR) desde los cuartiles inferior y superior, respectivamente. Los puntos fuera de este rango se consideran valores atípicos y se representan como puntos individuales lejos de los bigotes. Se observó que algunas variables tienen una distribución simétrica con líneas medianas cerca del centro de las cajas (ANV, Y, DM, NF, NC y AP), mientras que otras tienen distribuciones sesgadas con medianas más cerca del borde inferior o superior de las cajas (T, C, X, q, Yi y P). Además, las variables que muestran mayor dispersión de datos, se muestran en las cajas altas y los

bigotes largos (FE y Q), lo que implica una mayor variabilidad en esas mediciones y los valores atípicos presentes en ST y Tco.

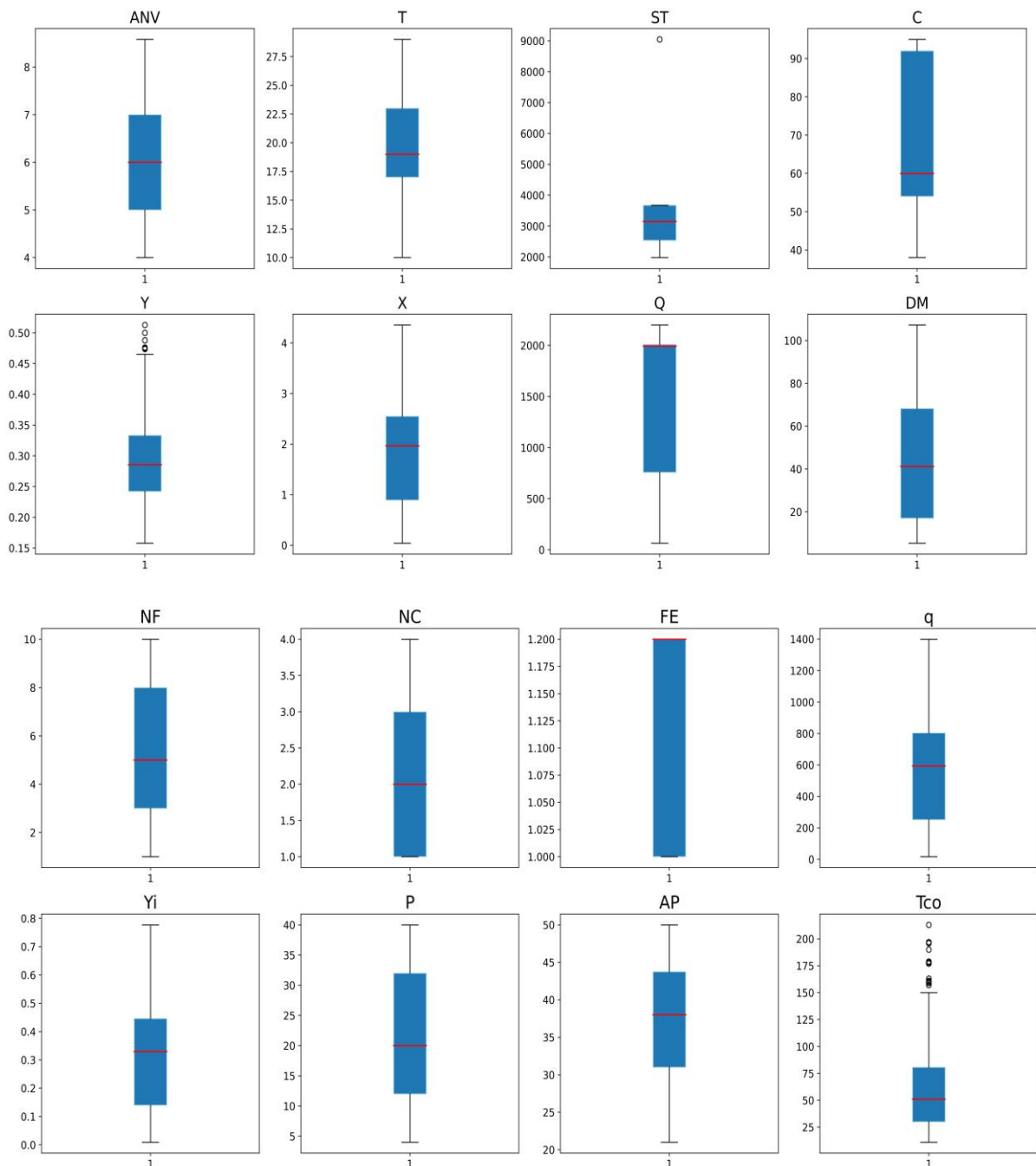


Figura 21: Descripción estadística de las variables

El Cuadro 11, muestra la estadística descriptiva de todas las variables de la base de datos, la variable "ANV" tiene un promedio de 5.73 con una desviación estándar de 1.05, y sus valores oscilan entre 4 y 7. La variable "T" tiene un promedio de 19.84 con una desviación estándar de 4.33, y sus valores van desde 10 hasta 29. La "ST" muestra un promedio de 2968.29 con una desviación estándar de 602.02, y sus valores se encuentran entre 1978.35

y 3675, además presenta un valor atípico mayor a 9000 el cual se debe a una heterogeneidad de los datos siendo el valor único de una situación de caso donde diferentes eventos extraordinarios afectaron el resultado, el cual posteriormente se eliminó en el procesamiento de datos. La variable "C" tiene un promedio de 73.72 con una desviación estándar de 19.92, y sus valores van desde 38 hasta 95. La variable "Y" tiene un promedio de 0.282, con una desviación estándar de 0.07 y valores se encuentran entre 0.158 y 0.441. La variable "X" tiene un promedio de 1.94, con una desviación estándar de 1.01 y valores se encuentran entre 0.072 y 4.36. La variable "Q" tiene un promedio de 1519.23, con una desviación estándar de 722.67 y valores se encuentran entre 64.51 y 2200. La variable "DM" tiene un promedio de 46.92 con una desviación estándar de 27.27, y sus valores oscilan entre 8.03 y 107.29. La variable NF tiene un promedio de 5.13 con una desviación estándar de 2.92, y sus valores oscilan entre 1 y 10. Mientras tanto, la variable NC muestra un promedio de 2.49 con una desviación estándar de 1.12, y sus valores van desde 1 hasta 4. La variable FE tiene un promedio de 1.14 con una desviación estándar de 0.091, y sus valores oscilan entre 1 y 1.2. La variable "q" tiene un promedio de 584.99 con una desviación estándar de 366.17, y sus valores oscilan entre 16.8 y 1399.20. La variable Yi tiene un promedio de 0.325 con una desviación estándar de 0.203, y sus valores oscilan entre 0.009 y 0.777. La variable "P" muestra un promedio de 20.52 con una desviación estándar de 11.66, y sus valores van desde 4 hasta 40. Por último, la variable "AP" tiene un promedio de 37.53 con una desviación estándar de 7.42, y sus valores oscilan entre 21 y 50. Por último, la variable "Tco" tiene un promedio de 60.47 con una desviación estándar de 39.99, y sus valores oscilan entre 11 y 213.

Cuadro 11: Estadística de las variables de la base de datos

Variable	Cantidad	Promedio	Desviación Estándar	Mínimo	25%	50%	75%	Máximo
ANV	577	5.73	1.05	4	5	6	7	7
T	577	19.84	4.33	10	16	19	23	29
ST	577	2968.29	602.02	1978.35	2536.95	3150	3675	3675
C	577	73.72	19.92	38	55	90	92	95
Y	577	0.282	0.07	0.158	0.237	0.283	0.32	0.441
X	577	1.94	1.01	0.072	1.18	2.05	2.61	4.36
Q	577	1519.23	722.67	64.51	902	2000	2010	2200

DM	577	46.92	27.27	8.03	19.67	49.78	69.3 ₃	107.29
NF	577	5.13	2.92	1	3	5	8	10
NC	577	2.49	1.12	1	1	2	3	4
FE	577	1.14	0.091	1	1	1.2	1.2	1.2
q	577	584.99	366.17	16.8	252.15	593.5	803.	1399.20
Yi	577	0.325	0.203	0.009	0.140	0.330	0.44 ₆	0.777
P	577	20.52	11.66	4	12	20	32 ₆	40
AP	577	37.53	7.42	21	31	38	43.7	50
Tco	577	60.47	39.99	11	30	51	80.7 ₅	213

FUENTE: Elaboración propia

Posteriormente se realizó el histograma de cada variable para el análisis de los datos. El primer histograma etiquetado 'NF' tiene un esquema de color azul y muestra una distribución que alcanza su punto máximo en el rango medio y disminuye hacia ambos extremos, el histograma etiquetado 'T' tiene un esquema de color marrón y muestra una distribución bimodal con dos picos (ver Figura 22). Estos histogramas se utilizan típicamente para visualizar la distribución de frecuencias subyacente de un conjunto de datos, para identificar patrones como el sesgo, la modalidad (unimodal, bimodal, etc.) y para detectar valores atípicos u observaciones inusuales dentro de los datos.

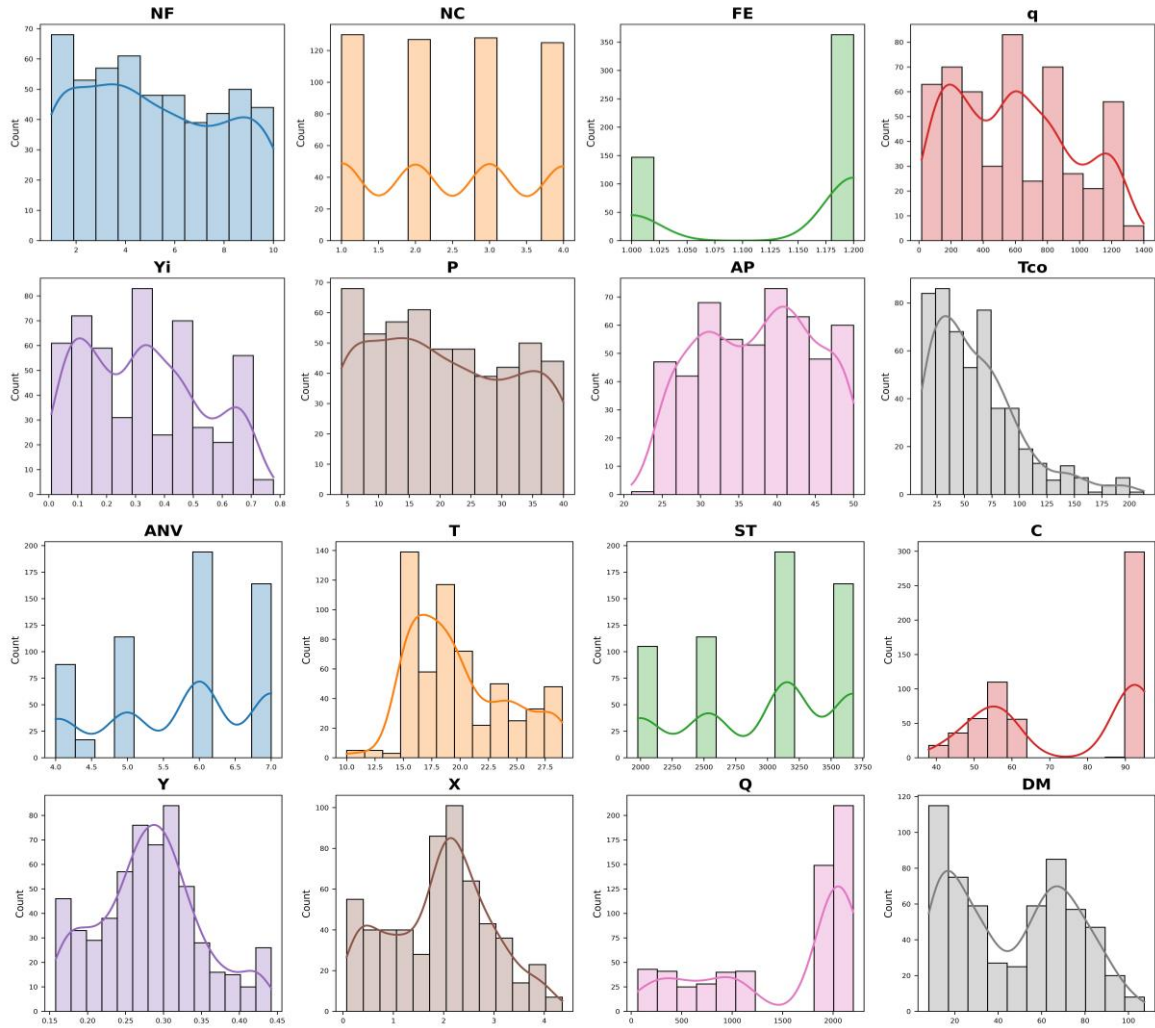


Figura 22: Tipos de distribución de cada variable

3.7.5.2. Metodología KDD para minería de datos

3.7.5.2.1. Etapa de selección

Identificada la problemática de reducir la demora y determinar el tiempo de ciclo optimo en intersecciones semaforizadas. Se creó una base de datos objetivo sobre la cual se realizó el proceso de descubrimiento. Para la selección de los atributos, se analizó la distribución de cada variable, ver Figura 22. A continuación, se utilizó la biblioteca Sklearn en la interfaz Jupyter Lab y se ejecutó el algoritmo "RandomForest", que evalúa el valor de las variables midiendo la ganancia relativa a la variable de salida utilizando el comando "model.feature_importances_". Después de realizar el proceso de clasificación de atributos, se procedió a la elección de las variables cuyo peso superó el umbral de 0.5. En consecuencia, se centró la atención en un conjunto de variables de entrada, las cuales se

caracterizan por proporcionar la cantidad significativa de información con respecto a la variable de salida.

Cuadro 12: Variables: Rankin de atributos (R) y selección por mayor información (Peso)

Variable	Símbolo	R	Peso
Ancho de la vía	ANV	0.63	0.63
Tiempo de semáforo en verde	T	0.52	0.52
Saturación	ST	0.65	0.65
Tiempo del ciclo	C	0.92	0.92
Coefficiente de verde	Y	-0.80	-0.80
Grado de saturación	X	0.93	0.93
Flujo del carril	Q	0.85	0.85
Número de Fases	NF	0.76	0.76
Número de carriles	NC	-0.25	
Factor de equivalencia	FE	0.27	
Flujo vehicular directo	q	0.62	0.62
Flujo Peatonal	FP	0.30	
Flujo de saturación de la intersección	Yi	0.63	0.63
Tiempo total perdido por ciclo	P	0.76	0.76

FUENTE: Elaboración propia

3.7.5.2.2. Preprocesamiento y limpieza

Durante la fase de recolección de datos, es habitual encontrar la matriz de datos con instancias nulas o que presentan anomalías, lo que introduce ruido en el proceso de extracción de conocimientos. Para resolver este problema, se aplicó un procedimiento de limpieza de datos con el fin de mejorar su calidad. Este proceso se realizó empleando el lenguaje de programación Python, mediante la interfaz Jupyter Lab junto con las bibliotecas Numpy, pandas y seaborn. Esta última empleó el análisis estadístico, empleando un enfoque de caja de bigotes para identificar y eliminar eficazmente los datos anómalos. El tratamiento de los datos perdidos se realizó mediante tres métodos distintos: media, mediana y

algoritmos de regresión. Además, para mitigar la redundancia, se eliminaron las entradas duplicadas mediante la aplicación del comando Set en Python. Las anomalías en los datos se abordaron mediante la utilización de la biblioteca Panda, en la que se empleó un diagrama de caja para visualizar la distribución de los datos e identificar los valores atípicos. Se eliminaron los datos que estaban fuera de los límites del boxplot de las variables seleccionadas, como se muestra en la Figura 23. Además de la detección de anomalías, la biblioteca de Panda fue fundamental para asignar atributos visuales a los datos, ejecutar transformaciones estadísticas y generar el gráfico.

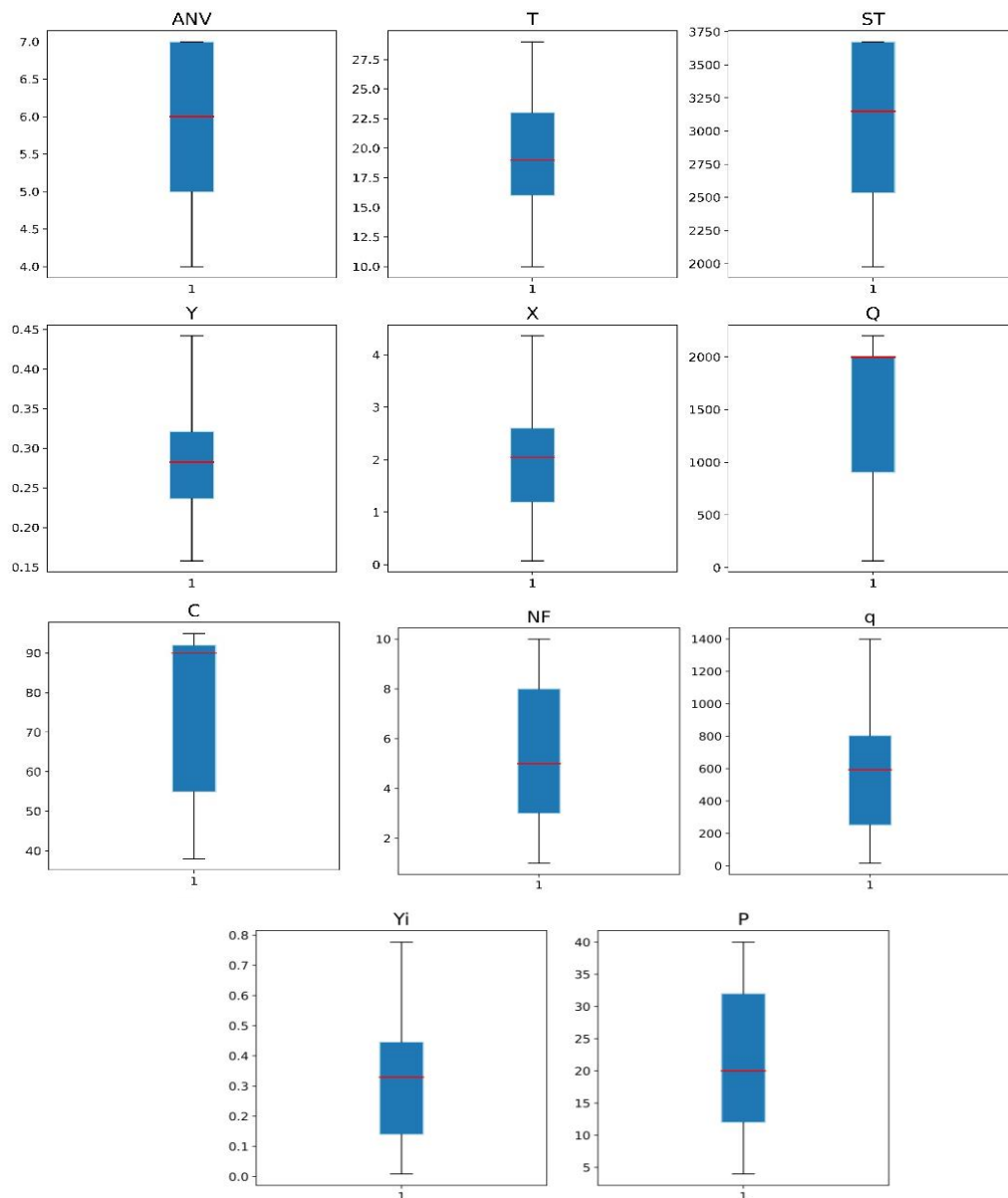


Figura 23: Variables seleccionadas sin outliers

3.7.5.2.3. Transformación y reducción

Se procedió a la identificación de atributos con mayor representación de datos asociados al tiempo de demora y ciclo óptimo, empleando métodos de transformación destinados a la disminución del número efectivo de variables. Asimismo, se llevaron a cabo estrategias para la obtención de representaciones invariables respecto a los datos mediante el empleo de técnicas específicas como se muestra en el Cuadro 13. La clasificación de estas representaciones se efectuó en función a la distribución observada en la Figura 23.

Cuadro 13: Grupo de variables de acuerdo a su importancia

Grupo	Variables
MP_1	Ancho de la vía Tiempo de semáforo en verde Saturación Tiempo del ciclo Coeficiente de verde Grado de saturación Flujo del carril
MP_2	Número de Fases Flujo vehicular directo Flujo de saturación de la intersección Tiempo total perdido por ciclo
MP_3	Ancho de la vía Tiempo del ciclo Coeficiente de verde Grado de saturación Flujo del carril
MP_4	Número de Fases Flujo de saturación de la intersección Tiempo total perdido por ciclo
MP_5	Tiempo del ciclo Coeficiente de verde Grado de saturación Flujo del carril

FUENTE: Elaboración propia

3.7.5.2.4. Minería de datos

Se empleó el lenguaje de programación Python, mediante la interfaz de JupyterLab junto con el paquete Scikit-learn 1.1.2, diseñado específicamente para aplicaciones de aprendizaje automático en Python. Este engloba una amplia gama de algoritmos de aprendizaje automático, que abarcan técnicas supervisadas y no supervisadas, presentadas de forma

cohesionada a través de una interfaz uniforme y centrada en las tareas. Esta elección deliberada de diseño agiliza el análisis comparativo de métodos adaptados a una aplicación concreta, garantizando no sólo una implementación fácil de usar, sino también flexibilidad a lo largo del flujo de trabajo de aprendizaje automático.

Los algoritmos de predicción empleados para el entrenamiento y la extracción de patrones fueron RandomForest, support vector machine (SVM), KNeighbors, Multi-Layer Perceptron (MLP) y Gradient Bossting. Estos algoritmos, caracterizados por sus tres componentes de representación del conocimiento, evaluación y búsqueda, mantienen un equilibrio, minimizando el sesgo sin afectar a la varianza, adaptándose a diversos tipos de datos.

En la construcción del modelo, se efectuó una división de los datos en conjuntos de entrenamiento (70%) y de prueba (30%). Posteriormente, se configuraron los hiperparámetros, como se indica en el Cuadro 14, para garantizar la optimización del rendimiento y la generalización del modelo.

Cuadro 14: Configuración de los hiperparámetros de los algoritmos

Algoritmo	Hiperparámetros
RandomForest	n_estimators=50 max_depth=None min_samples_split=3 min_samples_leaf=2 random_state=42
Support Vector Machine	Kernel = rbf C = 1.0 Epsilon = 0.1 Gamma = scale
KNeighbors	n_neighbors = 5 weights = uniform algorithm = auto leaf_size = 30
Multi-Layer Perceptron	hidden_layer_sizes = 100 activation = relu solver = adam alpha = 0.0001 learning_rate = constant max_iter = 100
Gradient Bossting	n_estimators = 10 learning_rate = 0.2 max_depth = 2

min_samples_split = 4
min_samples_leaf = 1
subsample = 1.0

FUENTE: Elaboración propia

3.7.5.2.5. Intervención y evaluación de datos

Tras el entrenamiento de los cinco grupos MP_1, MP_2, MP_3, MP_4 y MP_5 con la base de datos adquirida y los modelos de minería de datos implementados, se llevó a cabo un análisis comparativo de los resultados predichos frente a los valores reales utilizando métricas de rendimiento, error cuadrático medio (RMSE), cuadrados totales del error (SSE), coeficiente de determinación (R^2) y error relativo (RE).

$$RMSE = \sqrt{\sum_{t=1}^T \frac{(Y_t - P_t)^2}{T}} \quad (18)$$

$$SSE = \sum_{t=1}^T (P_t - \bar{P}_t)^2 \quad (19)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Y_t - P_t)^2}{\sum_{t=1}^T (Y_t - \bar{P}_t)^2} \quad (20)$$

$$RE = \left| \frac{R_{real} - R_{simul}}{R_{real}} \right| \times 100 \quad (21)$$

3.7.6. Sistema

Después de haber desarrollado el algoritmo adaptativo MP_1.onnx para el cálculo de las demoras y el algoritmo MP_2.onnx para el tiempo de ciclo óptimo, se desarrolló el sistema JJ22, empleando la máquina virtual Framework .net, el Entorno de desarrollo integrado o IDE (Integrated Development Environment) de Visual Studio Community 2022 y el lenguaje de programación Microsoft Visual Basic .NET (VB.NET).

3.7.6.1. Framework .net

Es un Software elaborado por Microsoft, una máquina virtual que facilita la compilación y ejecución de programas desarrollados en diversos lenguajes de programación, como C# y VB.Net. entre otros. Este Framework se utiliza en la creación de aplicaciones destinadas a

entornos de ventanas para el sistema operativo Windows, así como en el desarrollo de aplicaciones, móviles y servicios web, entre otros contextos.

Los elementos fundamentales de .NET abarcan el Entorno en Tiempo de Ejecución de Lenguaje Común o CLR (Common Language Runtime) y la Biblioteca de Clases del Framework o FCL (Framework Class Library). El CLR, es el componente esencial de la máquina virtual .NET, representando el entorno donde se lleva a cabo la ejecución del código. En este contexto, proporciona servicios cruciales como la administración de hilos, el manejo de memoria y la garantía de robustez. Asimismo, se encarga de supervisar la ejecución de programas desarrollados en .NET, independientemente del lenguaje de programación utilizado. El FCL, constituye una recopilación de librerías de clases y métodos orientados a objetos, los cuales son reutilizables y pueden integrarse en el CLR. Este componente ofrece una variedad de funcionalidades que facilitan el desarrollo eficiente de aplicaciones mediante la utilización de clases y métodos predefinidos.

3.7.6.2. Selección del IDE (Integrated Development Environment)

Se empleó Visual Studio Community 2022, una versión gratuita de Microsoft dada su robustez como entorno de desarrollo y su enfoque orientado a objetos. Este lenguaje de programación facilita la reutilización de código al permitir la creación de constructores, funciones y clases personalizadas. La elección de esta herramienta se fundamenta en su capacidad para integrar eficientemente la implementación de algoritmos desarrollados en otros entornos, respaldando la accesibilidad de fuentes, información y documentación, facilitando la construcción y desarrollo del sistema JJ22.

El entorno de Visual Studio, proporciona diferentes tipos de ventanas como el Explorador de Soluciones, destinado a la observación, navegación y gestión de los archivos de código que conforman el proyecto. La Ventana del Editor presenta el contenido específico de cada archivo de código, brindando la plataforma para la edición del código fuente o el diseño de la interfaz de usuario. Asimismo, cuenta con la Ventana Cloud Explorer dentro del entorno integrado de desarrollo (IDE), que facilita la visualización y gestión de recursos alojados en la nube. Estos recursos abarcan desde máquinas virtuales hasta Cuadros y bases de datos SQL, entre otros elementos (ver Figura 24).

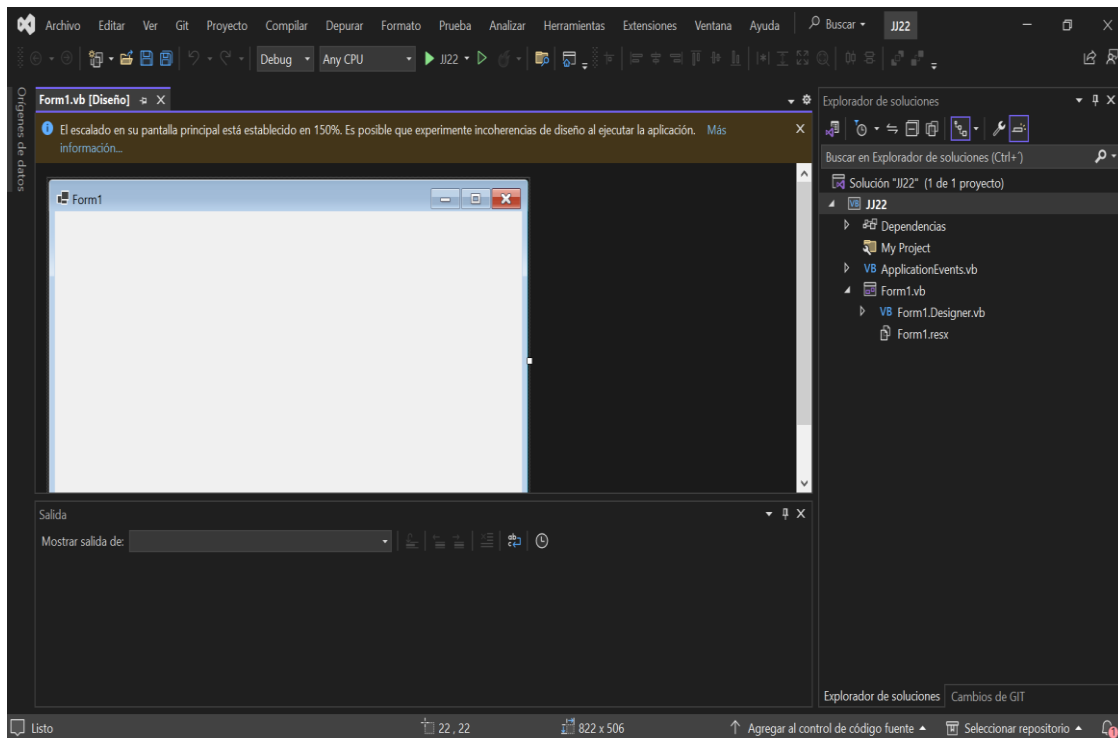


Figura 24: IDE visual Studio

3.7.6.3. Lenguaje de programación elegido

Fue Microsoft Visual Basic .NET (VB.NET), orientado a objetos donde se crearon las clases. Además, este puede integrarse con otros lenguajes .NET, lo que permite utilizar componentes escritos en diferentes idiomas dentro de una misma aplicación. Permite desarrollar aplicaciones complejas de escritorio, web y móviles. Soporta una amplia variedad de tecnologías y frameworks.

3.7.6.4. Fase de diseño

3.7.6.4.1. Interfaz gráfica de inicio

Para crear la ventana de carga inicial del sistema "JJ22" en Visual Studio se inició con la creación de un formulario Splashfrm.vb, el cual refleja información de la Versión 1.0, nombre del sistema JJSoft 2022" y creador "José Piedra". Este componente, enmarcado en el lenguaje de programación Visual Basic, se configuró para realizar la función de una pantalla de presentación splash screen. Con el propósito de proporcionar al usuario información del sistema mientras se lleva a cabo el proceso de carga y arranque de la aplicación (ver Figura 25)

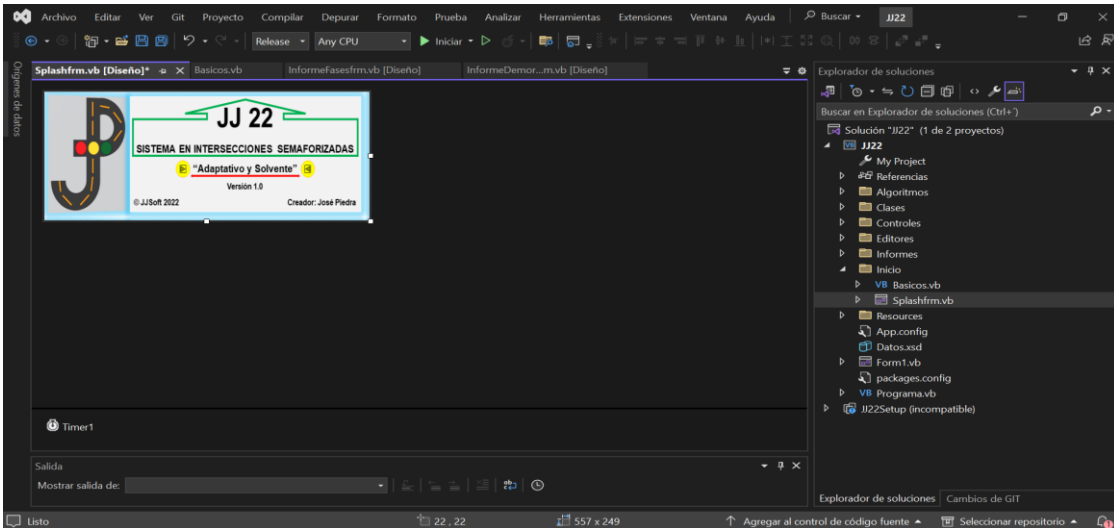


Figura 25: Diseño y configuración de la interfaz de carga inicial

Posteriormente se creó el interfaz denominado "JJ 22 - Sistema en Intersecciones Semaforizadas" con las herramientas de editor de iconos, y personalización de controles de Visual Studio, se agregaron los elementos "Archivo", "Configurar", "Registros", "Informes", "Vehículos", "Turno", "Procesar" y "Fases", ver Figura 26. Estos elementos tienen diferentes funcionalidades para la gestión y control de intersecciones semaforizadas, incluyendo la configuración de parámetros, el registro de datos, la generación de informes y la gestión de vehículos y turnos.

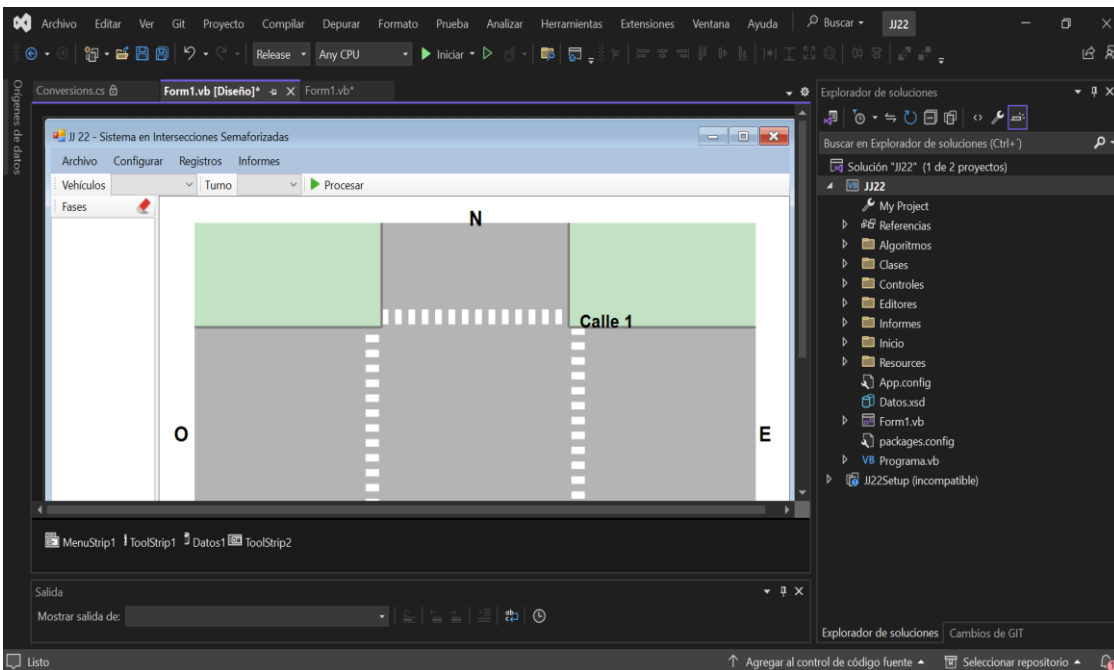


Figura 26: Diseño de la interfaz de inicio

Creadas las distintas pestañas dentro de la sección "Archivo", se procedió a la incorporación de funcionalidades “Abrir”, “Guardar”, “Guardar Como” y “Cerrar”, con el fin de enriquecer la interfaz y mejorar la usabilidad. En la pestaña de “Configurar”, se añadieron las secciones "Configura Intersección", "Clasificación", "Vehículos" y "Fases", proporcionando un conjunto integral de opciones para la configuración de los parámetros de análisis. En la sección de "Registros", se introdujeron las funcionalidades "Ingresar Registros" y "Tiempos de Fases", permitiendo un acceso eficiente a la gestión y seguimiento de datos. En la pestaña destinada a los "Informes", se integraron opciones como "Ciclo Actual", “Demora Actual”, “Optimizar Ciclo”, “Ciclo Optimizado”, “Informe Ciclos”, “Demora Optimizada” y el "Informe Demoras", brindando al usuario un conjunto diversificado de herramientas para la generación y visualización de informes detallados, lo cual constituye un elemento clave para la evaluación y análisis del rendimiento del sistema implementado. Estas adiciones estratégicas buscan optimizar la experiencia del usuario, proporcionando un acceso intuitivo y eficaz a las funcionalidades esenciales del sistema configuradas en Visual Studio (ver Figura 27).

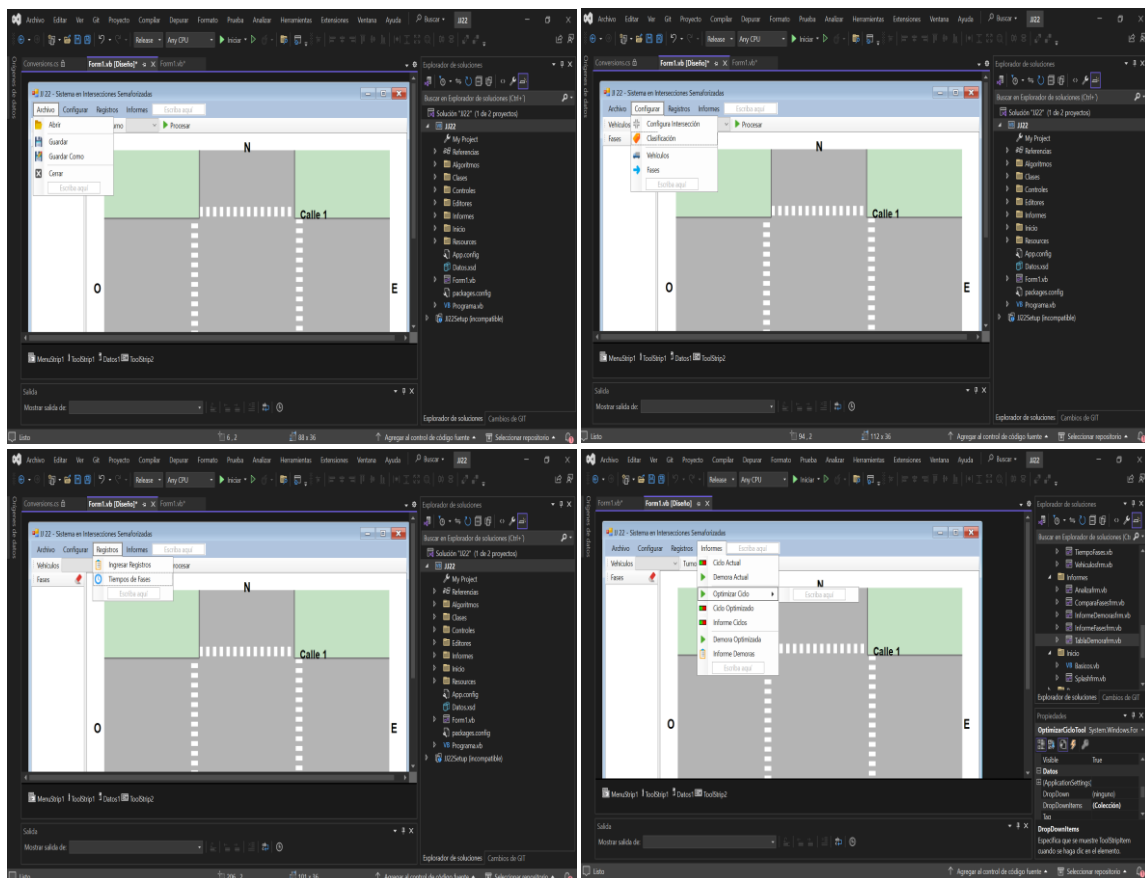


Figura 27: Creación de sub ventanas en cada pestaña

3.7.6.4.2. Interfaz gráfica para el ingreso de datos

Configuración de la intersección

Se creó el Form empleando las herramientas de Visual Studio, configurando el ingreso de las calles y el ancho promedio de calzada, almacenando estos datos en la memoria temporal para emplearlos en cálculos posteriores. Definido los valores de entrada estos se guardan mediante el botón ‘Aceptar’ el cual almacena los datos (ver Figura 28).

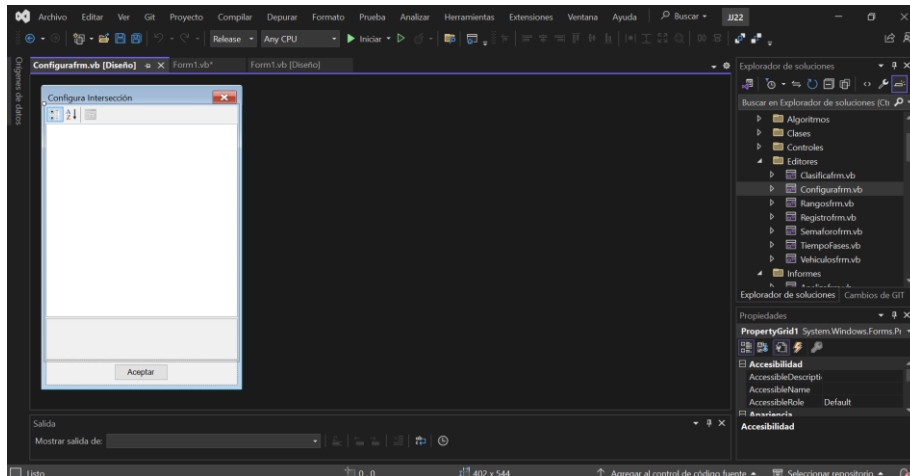


Figura 28: Interfaz de configuración del nombre y ancho promedio de calzada

Clasificación del nivel de servicio

Dentro de la pestaña de configurar se agregó la sección ‘Clasificación’ la cual contiene los parámetros de nivel de servicio A: Demora de control igual o inferior a 10 segundos, B: Demora de control mayor a 10 y menor o igual a 20 segundos, C: Demora de control mayor a 20 y menor o igual a 35 segundos, D: Demora de control mayor a 35 y menor o igual a 55 segundos, E: Demora de control mayor a 55 y menor o igual a 80 segundos y F: Demora de control mayor a 80 segundos (ver Figura 29).

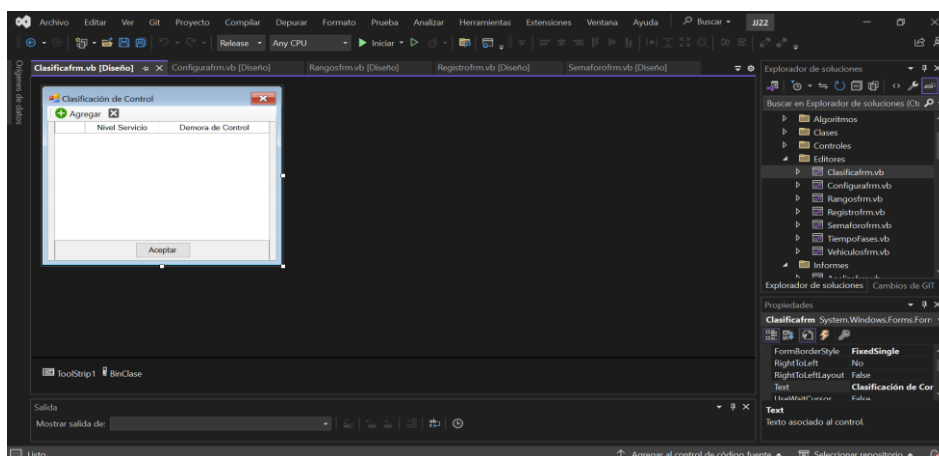


Figura 29: Interfaz gráfica del nivel de servicio

Ingreso del tipo de vehículos

Con las herramientas de Visual Studio se diseñó la interfaz gráfica para el ingreso de datos relativos a diversos tipos de vehículos. Este incluyó la implementación de una Cuadro que alberga una lista predefinida de categorías vehiculares: Moto Lineal, Moto Taxi, Auto, Camioneta, Minivan, Camión, Ómnibus, Tráiler y Maquinaria Pesada. La flexibilidad y adaptabilidad del sistema se potenciaron al incorporar la opción de agregar vehículos adicionales, permitiendo así una expansión personalizada del conjunto de categorías. Cada tipo de vehículo predefinido fue asociado con su correspondiente equivalencia vehicular, proporcionando una representación precisa de la influencia de cada categoría en el contexto del sistema (ver Figura 30). Esta estructura permite una gestión eficiente de los datos y una adaptación dinámica a las necesidades específicas del usuario. La inclusión de la opción de agregar vehículos adicionales aseguró la versatilidad del sistema, otorgando al usuario la capacidad de personalizar y extender la base de datos de vehículos según los requerimientos específicos.

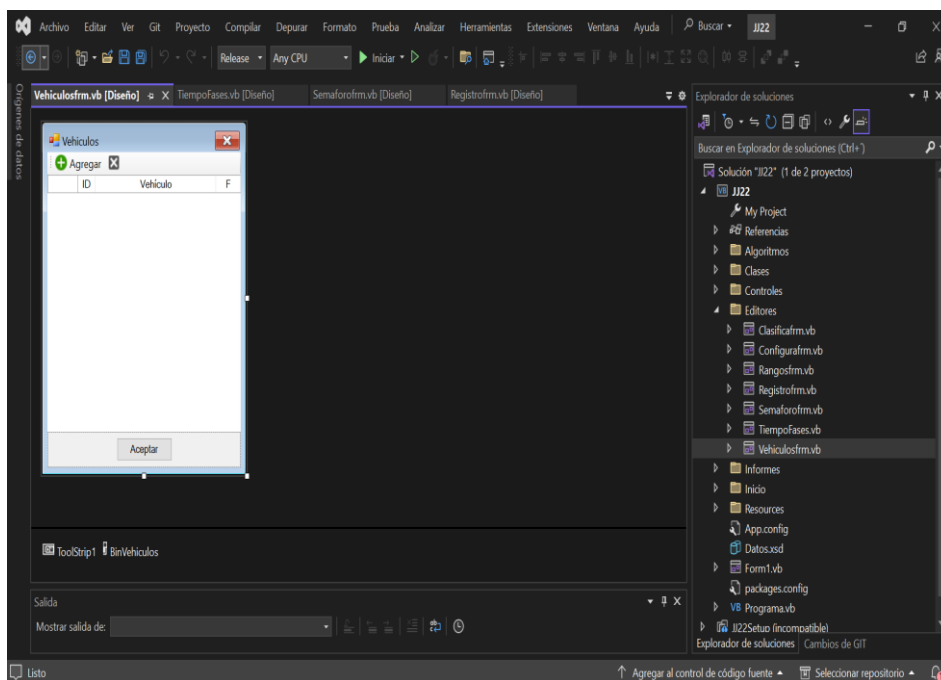


Figura 30: Ventana de ingreso del tipo de vehículos

Asignación de fases

La interfaz presentada, que exhibe una lista de fases asociadas con direcciones cardinales Norte, Sur, Este y Oeste, fue diseñada utilizando el control PropertyGrid1 en Visual Studio. Este enfoque de diseño permitió la organización estructurada y visualización clara de las fases identificadas con las respectivas orientaciones cardinales. El uso del control PropertyGrid1 facilitó la presentación ordenada de la información, lo que puede resultar

beneficioso para la interacción intuitiva con las propiedades asociadas a cada fase en el sistema desarrollado (ver Figura 31).

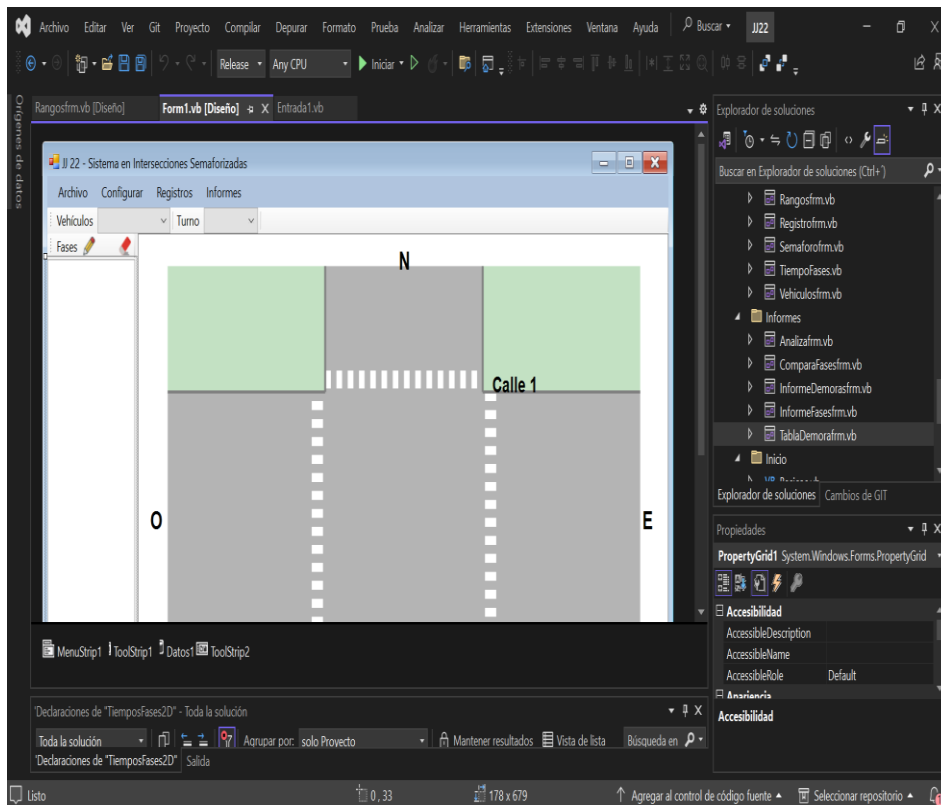


Figura 31: Interfaz de asignación de fases

Registro del flujo vehicular

La ventana de registro fue diseñada incorporando las etiquetas correspondientes a las opciones de "Flujo", las cuales se presentan en forma de lista desplegable con las orientaciones Norte-Sur, Sur-Norte, Este-Oeste y Oeste-Este (ver Figura 32). Asimismo, en la sección dedicada a "Vehículo" se incluyó una lista que enumera todos los tipos de vehículos registrados y según selección muestra su equivalencia vehicular, referenciando a una posterior transformación a "Auto EQ: Auto equivalente". Además, se implementó una lista desplegable para seleccionar el turno de ingreso del flujo vehicular, ofreciendo las opciones de mañana, tarde y noche. Como también el agregar tiempos en función a lo evaluado del aforo de vehículos, distribuyéndolo en inicio, número e intervalo de rangos de tiempo. Los ingresos del flujo de vehículos se almacenan en una Cuadro para que el usuario ingrese manualmente los valores recolectados de su estudio de tráfico.

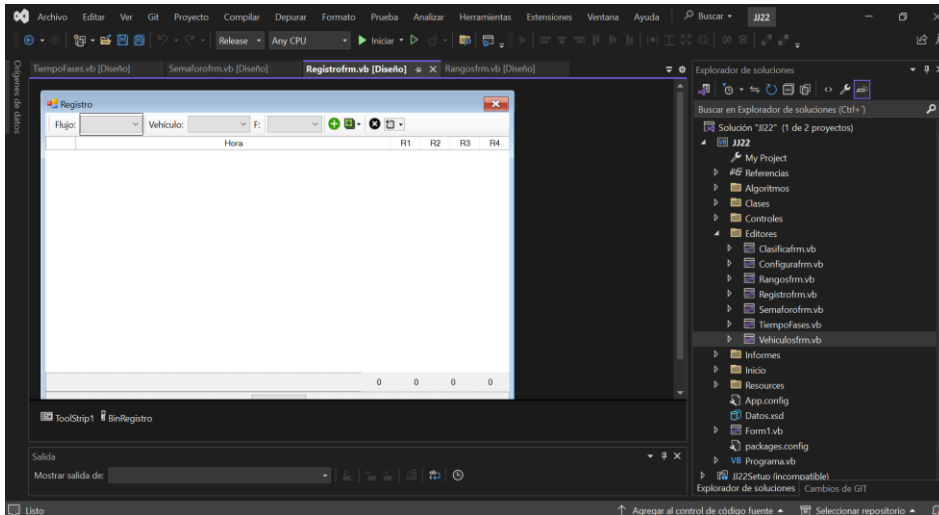


Figura 32: Ventana de ingreso del flujo vehicular

Tiempos de fase

La ventana de tiempo de las fases se diseñó con diferentes tipos (tiempos verdes F1, F2, F3 y F4), cada uno con un valor de tiempo asociado. Además, se incorporó un menú desplegable para la duración del ámbar (amarillo), la cual puede variar entre 3 y 4 segundos, y una lista desplegable para generar todo rojo los semáforos. Esta función fue creada para la configuración y ajuste de los tiempos de las fases del semáforo o del sistema de control de tráfico, con el propósito de calcular las demoras en la intersección y regular el flujo vehicular de forma eficiente. Los campos correspondientes se generaron mediante un TextBox, asegurando la usabilidad y eficacia del sistema (ver Figura 33). Esto facilita la interacción del usuario con la interfaz, permitiéndole establecer los parámetros necesarios para la regulación del flujo vehicular.

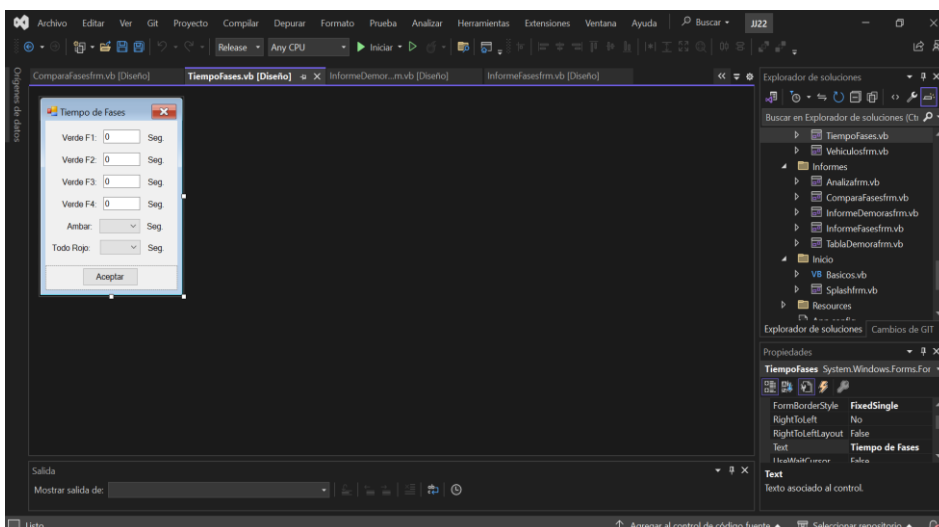


Figura 33: Interfaz gráfica del tiempo de fases

3.7.6.4.3. Interfaz gráfica de cálculo e/o informes

Ciclo actual

Posteriormente el diagrama del ciclo actual se ubicó en la pestaña informes, dentro de la sección denominada 'Ciclo actual'. Se creó mediante un form empleando las herramientas de Visual Studio, el cual exhibe el tiempo correspondiente de verde, ámbar y rojo para cada fase asignada, tomando como base los datos introducidos por el usuario en cuanto a los tiempos de las fases semafóricas actuales (ver Figura 34).

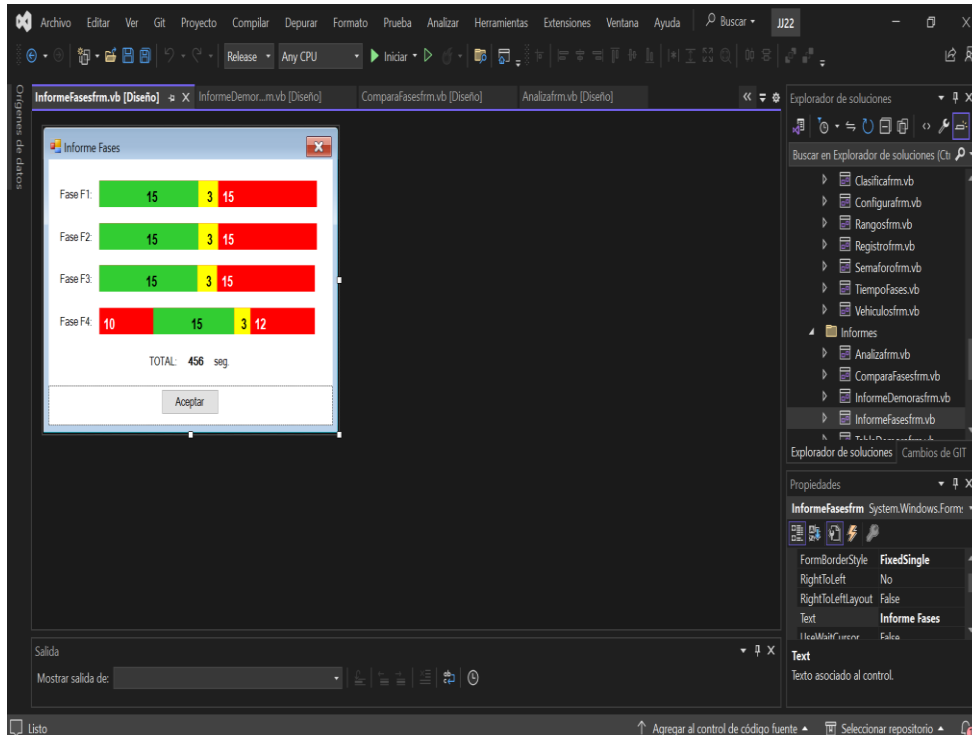


Figura 34: Diagrama del tiempo de ciclo actual

Demora actual

La interfaz fue desarrollada utilizando las herramientas proporcionadas por Visual Studio, donde se implementaron etiquetas en un DataGridView. En este componente, se incluyeron las secciones “Turno”, “Vía”, “Sentido”, “Carriles”, “Ancho”, “Saturación”, “C: Tiempo del ciclo”, “Y: Coeficiente de verde”, “X: Grado de saturación”, “Q: Flujo del carril”, “Demora” y “Nivel de servicio”, mediante una Cuadro la cual muestra a los usuarios los resultados generados por el algoritmo correspondientes a cada sentido asignado; aquí se procesa para cualquier caso de vehículo y turno asignado, pero se sugiere que se haga para la opción “Auto EQ: Auto equivalente” (ver Figura 35).

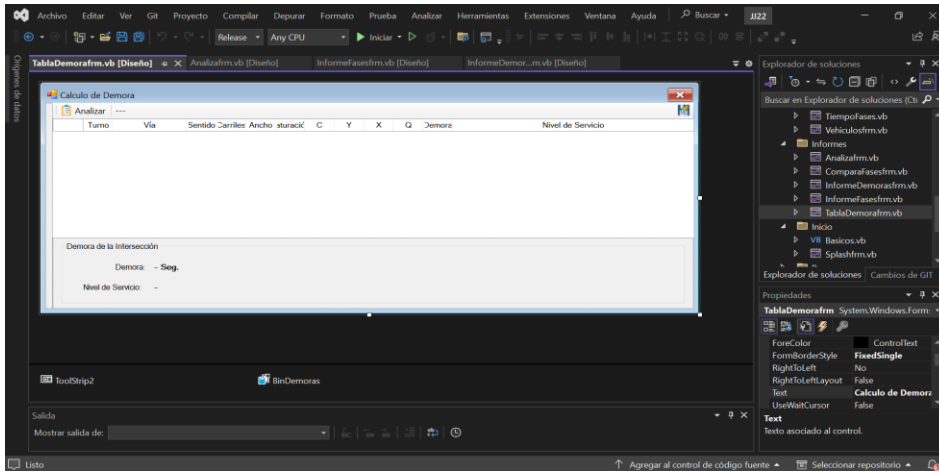


Figura 35: Diseño de la interfaz de cálculo de la demora actual

Tiempo de ciclo óptimo

La interfaz se desarrolló utilizando un ToolStrip de Forms como encabezado, donde se incluyeron los iconos de guardar, optimizar y procesar. En el DataGridView, se agregaron las secciones "Fase", "Sentido", "Flujo", "Carriles", "FE: Factor de equivalencia", "q: Flujo vehicular directo", "Y: Flujo de saturación", "Ymax: Flujo de saturación máxima", "Ysum: Sumatoria flujo de saturación", "P: Tiempo total perdido por ciclo", "Tco: Tiempo de ciclo óptimo", "TV: Tiempo de total de verde", "TVF: Tiempo de verde de fase", "TA: Tiempo de ambar de fase" y "TR: Tiempo de rojo de fase". A través de una tabla, se muestran a los usuarios los resultados generados por el algoritmo correspondientes a cada fase asignada; aquí se procesa para cualquier caso de vehículo y turno asignado, pero se sugiere que se haga para la opción "Auto EQ: Auto equivalente", facilitando la visualización y comprensión de la información procesada (ver Figura 36).

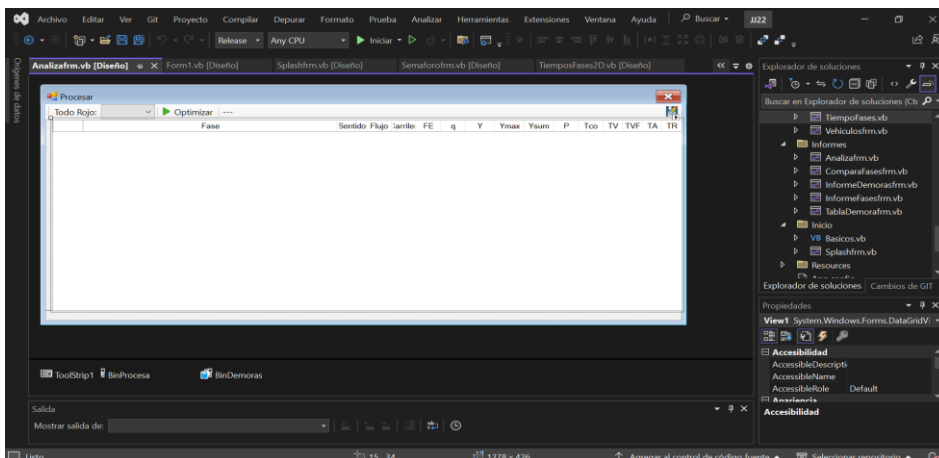


Figura 36: Diseño de la interfaz del tiempo de ciclo óptimo

Ciclo optimizado

Posteriormente el diagrama del ciclo se ubicó en la pestaña informes, dentro de la sección denominada 'Ciclo optimizado'. Se creó mediante un form empleando las herramientas de Visual Studio, el cual exhibe el tiempo correspondiente de verde, ámbar y rojo para cada fase, tomando como base los datos introducidos anteriormente por el usuario (ver Figura 37).

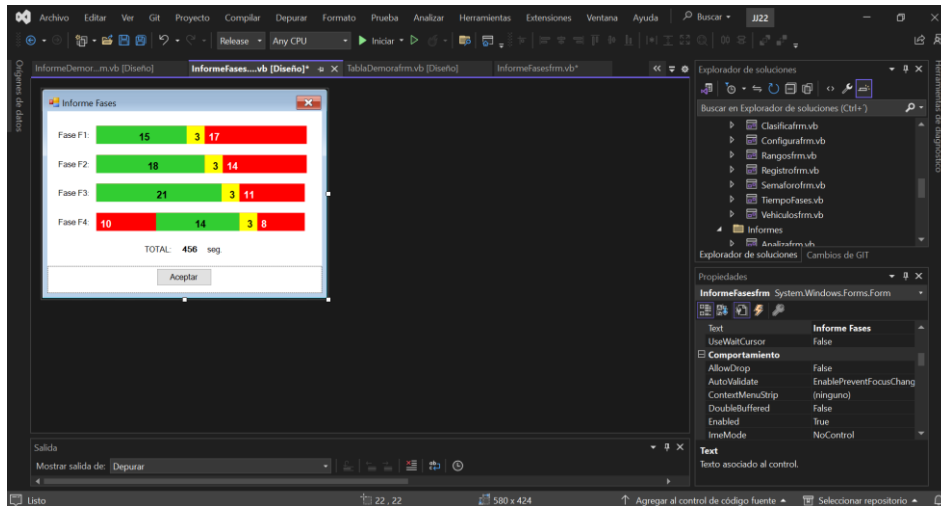


Figura 37: Interfaz del tiempo de ciclo optimizado

Informe de ciclos actual y óptimo

La interfaz se integró dentro de la sección 'Informes', la cual se desarrolló a través de un formulario (Form) el cual recopila los datos del tiempo correspondiente al ciclo actual y optimizado. Estos datos se presentan de manera simultánea y organizados por fase asignada, lo que facilita una visualización mejorada para el usuario al momento de tomar decisiones y evaluar los tiempos obtenidos en cada fase de la evaluación (ver Figura 38).

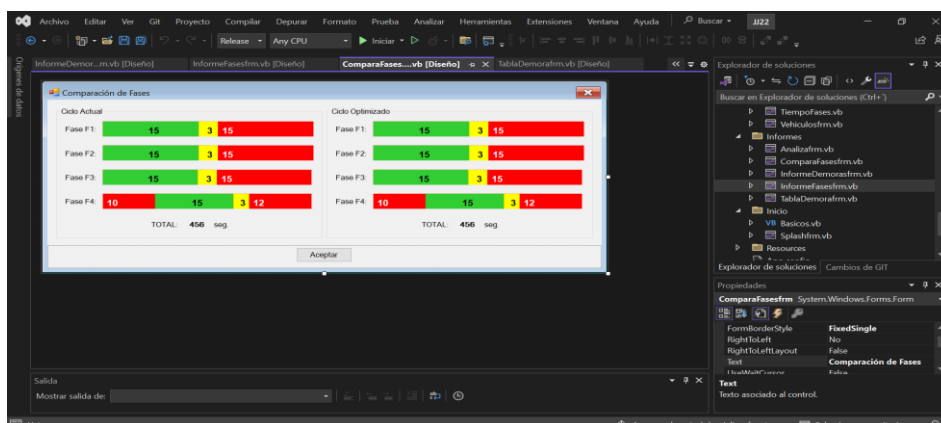


Figura 38: Informe de los tiempos de ciclo actual y optimizado

Demora optimizada

Para determinar la demora se tomó como dato de entrada el tiempo de ciclo optimizado, realizándose la interfaz mediante las herramientas proporcionadas por Visual Studio, donde se implementaron etiquetas en un DataGridView. En este componente, se incluyeron las secciones “Turno”, “Vía”, “Sentido”, “Carriles”, “Ancho”, “Saturación”, “C: Tiempo del ciclo”, “Y: Coeficiente de verde”, “X: Grado de saturación”, “Q: Flujo del carril”, “Demora” y “Nivel de servicio”, mediante una tabla la cual muestra los usuarios los resultados generados por el algoritmo correspondientes a cada sentido asignado; aquí también se procesa para cualquier caso de vehículo y turno asignado, pero se sugiere que se haga para la opción “Auto EQ: Auto equivalente” (ver Figura 39).

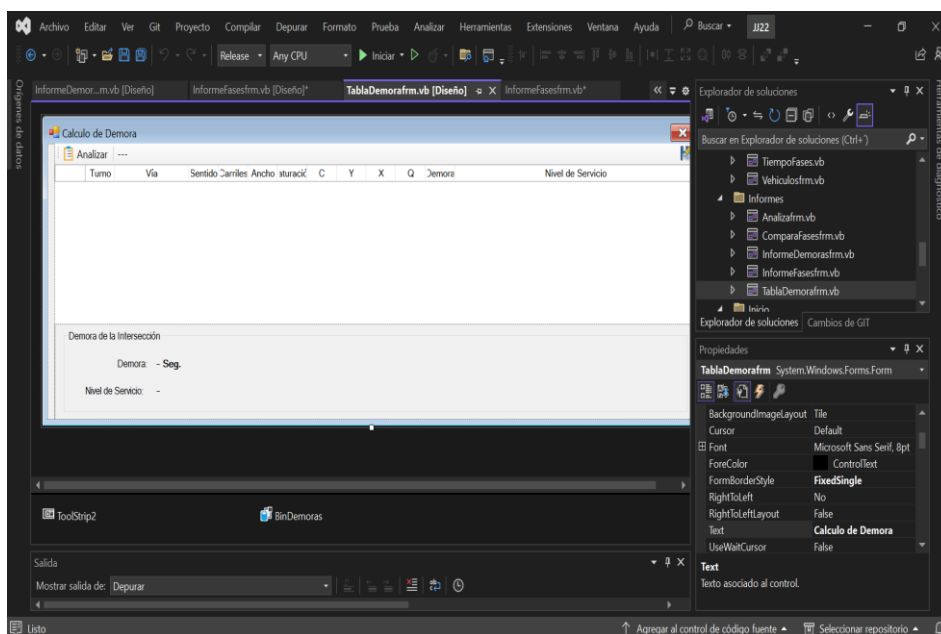


Figura 39: Interfaz del cálculo de la demora optimizada

Informe de las demoras actual y óptima

La interfaz se ha incorporado en la sección de 'Informes', siendo desarrollada a través de un formulario utilizando las herramientas proporcionadas por Visual Studio. En esta interfaz, se incluyen diversos textos estáticos que muestran la demora actual y optimizada en segundos. Esta presentación detallada permite que el usuario tome decisiones informadas de la demora de la intersección, al comparar y analizar los tiempos (ver Figura 40).

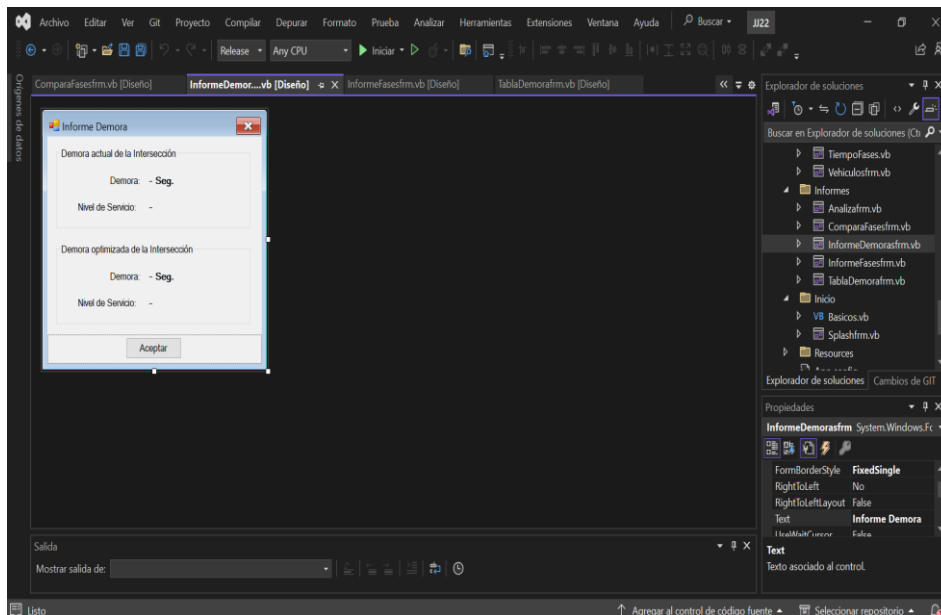


Figura 40: Interfaz de informe de tiempo de demora actual y optimizada

3.7.6.5. Fase de desarrollo

Durante esta etapa, se aplicaron los principios de ingeniería de software para diseñar, escribir y depurar el código fuente, empleando el lenguaje de programación Visual Basic. Se utilizaron las herramientas y funcionalidades proporcionadas por Visual Studio para la codificación eficiente y efectiva, asegurando la coherencia, legibilidad y mantenibilidad del código. Además, se realizaron pruebas y verificaciones para garantizar que el sistema cumpla con los requisitos funcionales y de calidad establecidos.

3.7.6.5.1. Código de inicio

Dentro de la clase "Form1", se desarrolló una secuencia de instrucciones en el evento "Form1_Load", el cual se activa al cargar el formulario. Este procedimiento engloba diversas acciones, como la carga de una imagen para el ícono del formulario, la configuración del panel, y la inicialización de los elementos visuales como "VehiculosCombo", "TurnosCombo" y "ComboFases" con datos provenientes de las estructuras de datos "Datos1.JVehiculos" y "Datos1.JTurnos". Además, se establecieron valores iniciales para la variable "Ruta1" y se activó un ciclo representado por "CicloActual". La clase "Form1" se creó en Visual Basic .NET, utilizando variables y controles como "DataView", "List(Of String)", y ComboBoxes. En el evento "Load" del formulario, se realizó la inicialización de diversos elementos, la asignación del icono, configuración del panel y creación de un DataView a partir de los datos proporcionados por el objeto "Datos1". Se agregaron los ComboBoxes con información de vehículos y turnos,

y se añadió la opción "Auto EQ" al ComboBox "VehiculosCombo". Finalmente, se inició la variable "Ruta1" y se activó el objeto "CicloActual". Este código constituye parte de la lógica de inicialización y configuración de la interfaz de usuario, empleando controles y datos provenientes del objeto "Datos1" (ver Cuadro 15).

Cuadro 15: Código fuente del Form1 del inicio del sistema

```
Public Class Form1

    Dim viewR As DataView

    Dim Ruta1 As String

    ReadOnly FasesUsadas As New List(Of String)

    Public Procesado As Boolean = False

    ReadOnly TablaFiltrada As New DataView

    Private Sub Form1_Load(sender As Object, e As EventArgs) Handles MyBase.Load

        Dim bmp1 As Bitmap = My.Resources.JJ22_64

        Icon = Icon.FromHandle(bmp1.GetHIcon)

        SplitContainer1.Panel1Collapsed = True

        ConfiguraNuevo()

        viewR = New DataView(Datos1.JRegistros, "", "",
DataViewRowState.CurrentRows)

        For Each carro As DataRow In Datos1.JVehiculos

            VehiculosCombo.Items.Add(carro.Item("Nombre"))

        Next

        VehiculosCombo.Items.Add("Auto EQ")

        VehiculosCombo.Text = VehiculosCombo.Items(0)

        For Each turno As DataRow In Datos1.JTurnos

            TurnosCombo.Items.Add(turno.Item("Nombre"))

        Next

        TurnosCombo.Text = TurnosCombo.Items(0)

        ComboFases.Items.Add("Todos")

        For i = 1 To 4

            ComboFases.Items.Add("F" & i)

        Next

    End Sub

End Class
```

Next

ComboFases.Text = ComboFases.Items(0)

Ruta1 = Nothing

CicloActual.Activo = True

FasesLista.Ambar = 3

TablaFiltrada.Table = Datos1.JRegistro

End Sub

FUENTE: Elaboración propia

3.7.6.5.2. Código para ingreso de datos

Configuración de la intersección

Se creó la clase denominada "Intersección" en el entorno de programación .NET, definiendo las propiedades y características de la intersección. Estas propiedades incluyeron el tipo de intersección, los nombres y anchos de las calles en direcciones este, oeste, norte y sur, así como el número de carriles en cada sentido. Además, se incluyó campos de solo lectura para almacenar puntos, colores y estilos de lápiz utilizados para representar gráficamente la intersección. Propiedades: La clase incluye propiedades como "Tipo", "NombreH", "AnchoE", "AnchoO", "NombreV", "AnchoN", "AnchoS" que representan información sobre las calles horizontales y verticales de la intersección, como nombres y anchos. También se incluyen propiedades para el número de carriles en cada dirección y un valor máximo.

La clase se estructura de la siguiente forma: Propiedades: La clase incluyó propiedades "Tipo", "NombreH", "AnchoE", "AnchoO", "NombreV", "AnchoN", "AnchoS" que representan información sobre las calles horizontales y verticales de la intersección, como nombres y anchos. También se incluyen propiedades para el número de carriles en cada dirección y un valor máximo. Listas y objetos: Se definieron como "puntos" de tipo List(Of PointF) para almacenar puntos, y objetos para colores, fuentes y lápices utilizados en la representación visual de la intersección. Atributos: Se utilizaron el "<Browsable(False)>" para indicar si las propiedades deben mostrarse en tiempo de diseño (ver Cuadro 16).

Cuadro 16: Código para la configuración de la intersección

```
Public Class Interseccion
```

```
<Browsable(False)>
```

```

Public Property Tipo As String = "Interseccion"

    <Category("Calle Horizontal"), DisplayName("Nombre"),
Description("Nombre")>

    Public Property NombreH As String = "Calle 1"

    <Category("Calle Horizontal"), DisplayName("Ancho E"),
Description("Ancho Este")>

    Public Property AnchoE As Single = 7

    <Category("Calle Horizontal"), DisplayName("Ancho O"),
Description("Ancho Oeste")>

    Public Property AnchoO As Single = 7

    <Category("Calle Vertical"), DisplayName("Nombre"),
Description("Nombre")>

    Public Property NombreV As String = "Calle 2"

    <Category("Calle Vertical"), DisplayName("Ancho N"), Description("Ancho
Norte")>

    Public Property AnchoN As Single = 7

    <Category("Calle Vertical"), DisplayName("Ancho S"), Description("Ancho
Sur")>

    Public Property AnchoS As Single = 7

    <Browsable(False)>

    Property CarrilesN As Integer = 1

    <Browsable(False)>

    Property CarrilesS As Integer = 1

    <Browsable(False)>

    Property CarrilesE As Integer = 1

    <Browsable(False)>

    Property CarrilesO As Integer = 1

    <Browsable(False)>

    Property Maximo As Single = 7

    ReadOnly puntos As New List(Of PointF)

    ReadOnly Color1 As Color = Color.Gray

```

```
ReadOnly Fuente As New Font("Arial", 14, FontStyle.Bold)
ReadOnly Fuente2 As New Font("Arial", 16, FontStyle.Bold)
ReadOnly Lapis As New Pen(Color.Gray)
ReadOnly LapisFlecha As New Pen(Color.White)
ReadOnly Peatonal As New Pen(Color.White)
```

FUENTE: Elaboración propia

Clasificación del nivel de servicio

Se creó la clase mediante una metodología iterativa, generando sucesivamente nuevas entradas de datos en un objeto DataTable denominado "JClasifica" alojado en el formulario principal "Form1.Datos1" para cada nivel de clasificación. En cada iteración, se procedió a asignar los valores pertinentes a las columnas "Nivel" y "Demora", correspondientes al nivel de clasificación y su respectivo tiempo de demora. Seguidamente, estas filas son integradas al conjunto de datos "JClasifica" mediante la utilización del método "Rows.Add". Utilizando Visual Basic .NET, se ha creado la clase y se ha incorporado un DataTable denominado JClasifica dentro del formulario identificado como Form1. En este proceso, se ha inicializado una variable denominada rw del tipo DataRow para representar cada fila en el DataTable. Posteriormente, se han asignado los valores respectivos a las columnas "Nivel" y "Demora" de la fila rw, las cuales han sido añadidas al DataTable JClasifica. Este procedimiento se ha repetido para cada clase de "Nivel" desde A hasta F, asignando los valores correspondientes de "Demora" conforme al rango establecido (ver Cuadro 17).

Cuadro 17: Código de la clase nivel de servicio

```
Private Sub CreaClases()
    Dim rw As DataRow
    rw = Form1.Datos1.JClasifica.NewRow
    rw.Item("Nivel") = "A"
    rw.Item("Demora") = "≤10"
    Form1.Datos1.JClasifica.Rows.Add(rw)
    rw = Form1.Datos1.JClasifica.NewRow
    rw.Item("Nivel") = "B"
    rw.Item("Demora") = ">10 - ≤20"
    Form1.Datos1.JClasifica.Rows.Add(rw)
```

```
rw = Form1.Datos1.JClasifica.NewRow  
  
rw.Item("Nivel") = "C"  
  
rw.Item("Demora") = ">20 - ≤35"  
  
Form1.Datos1.JClasifica.Rows.Add(rw)  
  
rw = Form1.Datos1.JClasifica.NewRow  
  
rw.Item("Nivel") = "D"  
  
rw.Item("Demora") = ">35 - ≤55"  
  
Form1.Datos1.JClasifica.Rows.Add(rw)  
  
rw = Form1.Datos1.JClasifica.NewRow  
  
rw.Item("Nivel") = "E"  
  
rw.Item("Demora") = ">55 - ≤80"  
  
Form1.Datos1.JClasifica.Rows.Add(rw)  
  
rw = Form1.Datos1.JClasifica.NewRow  
  
rw.Item("Nivel") = "F"  
  
rw.Item("Demora") = ">80"  
  
Form1.Datos1.JClasifica.Rows.Add(rw)
```

End Sub

FUENTE: Elaboración propia

Ingreso del tipo de vehículos

Este procedimiento se implementó agregando una nueva fila de datos a una tabla denominada "JVehiculos" en el formulario principal ("Form1"), desarrollado en Visual Basic .NET. Se declaró una nueva variable "nuevaFila" del tipo DataRow, la cual se utilizó para almacenar la nueva fila de datos agregándose a la tabla. A continuación, se calculó el valor máximo presente en la columna "ID" de la tabla "JVehiculos" mediante la función Compute proporcionada por el objeto "Datos1". Esta función devuelve el máximo valor presente en la columna especificada de la tabla. Posteriormente, se creó una nueva fila utilizando el método NewRow() del objeto "Datos1.JVehiculos", y se asignó a la variable "nuevaFila". Luego se asignaron valores a los campos de la nueva fila. El campo "ID" se estableció con el valor máximo calculado previamente, en el campo "Nombre" se estableció como "Vehículo", y en el campo "Factor" se inicializó en 1. Finalmente, la nueva fila se

agregó a la tabla "JVehiculos" utilizando el método Rows.Add(), completando así el proceso de inserción de datos (ver Cuadro 18).

Cuadro 18: Código de ingreso del tipo de vehículos

```
Private Sub Agregarbtn_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Agregarbtn.Click

    Dim rw As DataRow

    Dim max1 As Integer = Form1.Datos1.JVehiculos.Compute("MAX(ID)", "")

    rw = Form1.Datos1.JVehiculos.NewRow

    rw.Item("ID") = max1

    rw.Item("Nombre") = "Vehículo"

    rw.Item("Factor") = 1

    Form1.Datos1.JVehiculos.Rows.Add(rw)
```

FUENTE: Elaboración propia

Conversión de los diferentes vehículos a auto equivalente

En la función "CreaAutoEQ," se inicia activando los flujos y se declara las variables de tipo Single para almacenar los resultados. Se establece el filtro en una vista de datos denominada "viewR" basándose en la selección del turno en un control desplegable. A través de bucles de iteración, se acumularon los valores ponderados de diferentes direcciones (NORTE, SUR, ESTE, OESTE) considerando factores asociados a cada registro de datos. Los resultados acumulados son redondeados y asignados a propiedades correspondientes de un objeto llamado "Interseccion2D1," representando flujos vehiculares en distintas direcciones. Posteriormente, se verificó si la fase seleccionada en otro control desplegable se ejecutó, y se ocultan visualmente las propiedades correspondientes del objeto "Interseccion2D1" que no coinciden con la fase seleccionada. Se continúa con otras iteraciones y acumulaciones de valores ponderados para cada dirección cardinal, seguido de redondeos y actualizaciones de propiedades del objeto "Interseccion2D1". Finalmente, se calcularon las entradas y salidas en el sistema modelado, considerando las sumas de flujos correspondientes a las distintas direcciones. La función concluyó con la actualización de propiedades de entrada y salida del objeto "Interseccion2D1" en función de los flujos vehiculares calculados previamente (ver Cuadro 19).

Cuadro 19: Conversión a auto equivalente

```
Private Sub CreaAutoEQ()  
    ActivaFlujos()  
    Dim fase1 As String = ComboFases.Text  
    Dim r1 As Single = 0  
    Dim r21 As Single = 0  
    Dim r22 As Single = 0  
    Dim r3 As Single = 0  
    viewR.RowFilter = "Turno='" & TurnosCombo.Text & "'"  
    For Each regi As DataRowView In viewR  
        If Not IsDBNull(regi.Item("NO")) Then  
            r1 += regi.Item("NO") * regi.Item("Factor")  
        End If  
        If Not IsDBNull(regi.Item("NS1")) Then  
            r21 += regi.Item("NS1") * regi.Item("Factor")  
        End If  
        If Not IsDBNull(regi.Item("NS2")) Then  
            r22 += regi.Item("NS2") * regi.Item("Factor")  
        End If  
        If Not IsDBNull(regi.Item("NE")) Then  
            r3 += regi.Item("NE") * regi.Item("Factor")  
        End If  
    Next  
    Interseccion2D1.FlujoNS.R1.Valor = Math.Round(r1, 2)  
    Interseccion2D1.FlujoNS.R21.Valor = Math.Round(r21, 2)  
    Interseccion2D1.FlujoNS.R22.Valor = Math.Round(r22, 2)  
    Interseccion2D1.FlujoNS.R3.Valor = Math.Round(r3, 2)  
    If fase1 <> "Todos" Then  
        If Interseccion2D1.FlujoNS.R1.Fase <> fase1 Then  
            Interseccion2D1.FlujoNS.R1.Ver = False  
        End If  
    End If  
End Sub
```

```
End If

If Interseccion2D1.FlujoNS.R21.Fase <> fase1 Then
    Interseccion2D1.FlujoNS.R21.Ver = False
End If

If Interseccion2D1.FlujoNS.R22.Fase <> fase1 Then
    Interseccion2D1.FlujoNS.R22.Ver = False
End If

If Interseccion2D1.FlujoNS.R3.Fase <> fase1 Then
    Interseccion2D1.FlujoNS.R3.Ver = False
End If

End If

r1 = 0
r21 = 0
r22 = 0
r3 = 0

For Each regi As DataRowView In viewR
    If Not IsDBNull(regi.Item("EN")) Then
        r1 += regi.Item("EN") * regi.Item("Factor")
    End If

    If Not IsDBNull(regi.Item("E01")) Then
        r21 += regi.Item("E01") * regi.Item("Factor")
    End If

    If Not IsDBNull(regi.Item("E02")) Then
        r22 += regi.Item("E02") * regi.Item("Factor")
    End If

    If Not IsDBNull(regi.Item("ES")) Then
        r3 += regi.Item("ES") * regi.Item("Factor")
    End If

Next

Interseccion2D1.FlujoE0.R1.Valor = Math.Round(r1, 2)
```

```
Interseccion2D1.FlujoE0.R21.Valor = Math.Round(r21, 2)
Interseccion2D1.FlujoE0.R22.Valor = Math.Round(r22, 2)
Interseccion2D1.FlujoE0.R3.Valor = Math.Round(r3, 2)
If fase1 <> "Todos" Then
    If Interseccion2D1.FlujoE0.R1.Fase <> fase1 Then
        Interseccion2D1.FlujoE0.R1.Ver = False
    End If
    If Interseccion2D1.FlujoE0.R21.Fase <> fase1 Then
        Interseccion2D1.FlujoE0.R21.Ver = False
    End If
    If Interseccion2D1.FlujoE0.R22.Fase <> fase1 Then
        Interseccion2D1.FlujoE0.R22.Ver = False
    End If
    If Interseccion2D1.FlujoE0.R3.Fase <> fase1 Then
        Interseccion2D1.FlujoE0.R3.Ver = False
    End If
End If
r1 = 0
r21 = 0
r22 = 0
r3 = 0
For Each regi As DataRowView In viewR
    If Not IsDBNull(regi.Item("SE")) Then
        r1 += regi.Item("SE") * regi.Item("Factor")
    End If
    If Not IsDBNull(regi.Item("SN1")) Then
        r21 += regi.Item("SN1") * regi.Item("Factor")
    End If
    If Not IsDBNull(regi.Item("SN2")) Then
        r22 += regi.Item("SN2") * regi.Item("Factor")
    End If
End For
```

```

End If

If Not IsDBNull(regi.Item("S0")) Then
    r3 += regi.Item("S0") * regi.Item("Factor")
End If

Next

Interseccion2D1.FlujoSN.R1.Valor = Math.Round(r1, 2)
Interseccion2D1.FlujoSN.R21.Valor = Math.Round(r21, 2)
Interseccion2D1.FlujoSN.R22.Valor = Math.Round(r22, 2)
Interseccion2D1.FlujoSN.R3.Valor = Math.Round(r3, 2)

If fase1 <> "Todos" Then

    If Interseccion2D1.FlujoSN.R1.Fase <> fase1 Then
        Interseccion2D1.FlujoSN.R1.Ver = False
    End If

    If Interseccion2D1.FlujoSN.R21.Fase <> fase1 Then
        Interseccion2D1.FlujoSN.R21.Ver = False
    End If

    If Interseccion2D1.FlujoSN.R22.Fase <> fase1 Then
        Interseccion2D1.FlujoSN.R22.Ver = False
    End If

    If Interseccion2D1.FlujoSN.R3.Fase <> fase1 Then
        Interseccion2D1.FlujoSN.R3.Ver = False
    End If

End If

r1 = 0
r21 = 0
r22 = 0
r3 = 0

For Each regi As DataRowView In viewR

    If Not IsDBNull(regi.Item("OS")) Then

        r1 += regi.Item("OS") * regi.Item("Factor")

```

```
End If

If Not IsDBNull(regi.Item("OE1")) Then
    r21 += regi.Item("OE1") * regi.Item("Factor")
End If

If Not IsDBNull(regi.Item("OE2")) Then
    r22 += regi.Item("OE2") * regi.Item("Factor")
End If

If Not IsDBNull(regi.Item("ON")) Then
    r3 += regi.Item("ON") * regi.Item("Factor")
End If

Next

Interseccion2D1.Flujo0E.R1.Valor = Math.Round(r1, 2)
Interseccion2D1.Flujo0E.R21.Valor = Math.Round(r21, 2)
Interseccion2D1.Flujo0E.R22.Valor = Math.Round(r22, 2)
Interseccion2D1.Flujo0E.R3.Valor = Math.Round(r3, 2)

If fase1 <> "Todos" Then
    If Interseccion2D1.Flujo0E.R1.Fase <> fase1 Then
        Interseccion2D1.Flujo0E.R1.Ver = False
    End If

    If Interseccion2D1.Flujo0E.R21.Fase <> fase1 Then
        Interseccion2D1.Flujo0E.R21.Ver = False
    End If

    If Interseccion2D1.Flujo0E.R22.Fase <> fase1 Then
        Interseccion2D1.Flujo0E.R22.Ver = False
    End If

    If Interseccion2D1.Flujo0E.R3.Fase <> fase1 Then
        Interseccion2D1.Flujo0E.R3.Ver = False
    End If
End If
```

```
Interseccion2D1.FlujoNS.Entrada.Valor = Interseccion2D1.FlujoOE.R3.Valor
+ Interseccion2D1.FlujoSN.R21.Valor + Interseccion2D1.FlujoSN.R22.Valor +
Interseccion2D1.FlujoEO.R1.Valor
```

```
Interseccion2D1.FlujoNS.Salida.Valor = Interseccion2D1.FlujoNS.GetTotal
```

```
Interseccion2D1.FlujoEO.Entrada.Valor = Interseccion2D1.FlujoNS.R3.Valor
+ Interseccion2D1.FlujoOE.R21.Valor + Interseccion2D1.FlujoOE.R22.Valor +
Interseccion2D1.FlujoSN.R1.Valor
```

```
Interseccion2D1.FlujoEO.Salida.Valor = Interseccion2D1.FlujoEO.GetTotal
```

```
Interseccion2D1.FlujoSN.Entrada.Valor = Interseccion2D1.FlujoEO.R3.Valor
+ Interseccion2D1.FlujoNS.R21.Valor + Interseccion2D1.FlujoNS.R22.Valor +
Interseccion2D1.FlujoOE.R1.Valor
```

```
Interseccion2D1.FlujoSN.Salida.Valor = Interseccion2D1.FlujoSN.GetTotal
```

```
Interseccion2D1.FlujoOE.Entrada.Valor = Interseccion2D1.FlujoSN.R3.Valor
+ Interseccion2D1.FlujoEO.R21.Valor + Interseccion2D1.FlujoEO.R22.Valor +
Interseccion2D1.FlujoNS.R1.Valor
```

```
Interseccion2D1.FlujoOE.Salida.Valor = Interseccion2D1.FlujoOE.GetTotal
```

End Sub

FUENTE: Elaboración propia

Asignación de fases

En la clase "Fases" se han declarado múltiples propiedades, cada una con atributos de Category, DisplayName, Description y TypeConverter que proporcionan información adicional sobre la propiedad y su comportamiento. Cada propiedad representa una dirección cardinal (Norte, Sur, Este, Oeste) con sus respectivas subdirecciones y se ha asignado un valor inicial de "F0" a cada una de ellas. Además, se incluyeron propiedades numéricas de Ambar, Rojo1 y Rojo2 con la etiquetaBrowsable(False) para indicar que no serán visibles en interfaces de usuario. Finalmente, se definió un constructor por defecto en la clase. Este código refleja un diseño orientado a objetos que modela fases y direcciones en un sistema, con atributos detallados para cada propiedad que facilitan su utilización y comprensión en el contexto del desarrollo (ver Cuadro 20).

Cuadro 20: Código de la clase fases

```
Public Class Fases
```

```
<Category("Norte"), DisplayName("NE"), Description("de Norte a Este"),
TypeConverter(GetType(FormatStringConverter))>
```

```
Property JNE As String = "F0"
```

```
<Category("Norte"), DisplayName("NS1"), Description("de Norte a Sur1"),
TypeConverter(GetType(FormatStringConverter))>
```

```
Property JNS1 As String = "F0"
```

```
<Category("Norte"), DisplayName("NS2"), Description("de Norte a Sur2"),
TypeConverter(GetType(FormatStringConverter))>
```

```
Property JNS2 As String = "F0"
```

```
<Category("Norte"), DisplayName("NO"), Description("de Norte a Oeste"),
TypeConverter(GetType(FormatStringConverter))>
```

```
Property JNO As String = "F0"
```

```
<Category("Sur"), DisplayName("SO"), Description("de Sur a Oeste"),
TypeConverter(GetType(FormatStringConverter))>
```

```
Property JSO As String = "F0"
```

```
<Category("Sur"), DisplayName("SN1"), Description("de Sur a Norte1"),
TypeConverter(GetType(FormatStringConverter))>
```

```
Property JSN1 As String = "F0"
```

```
<Category("Sur"), DisplayName("SN2"), Description("de Sur a Norte2"),
TypeConverter(GetType(FormatStringConverter))>
```

```
Property JSN2 As String = "F0"
```

```
<Category("Sur"), DisplayName("SE"), Description("de Sur a Este"),
TypeConverter(GetType(FormatStringConverter))>
```

```
Property JSE As String = "F0"
```

```
<Category("Este"), DisplayName("ES"), Description("de Este a Sur"),
TypeConverter(GetType(FormatStringConverter))>
```

```
Property JES As String = "F0"
```

```
<Category("Este"), DisplayName("E01"), Description("de Este a Oeste1"),
TypeConverter(GetType(FormatStringConverter))>
```

```
Property JE01 As String = "F0"
```

```
<Category("Este"), DisplayName("E02"), Description("de Este a Oeste2"),
TypeConverter(GetType(FormatStringConverter))>
```

```
Property JE02 As String = "F0"
```

```
<Category("Este"), DisplayName("EN"), Description("de Este a Norte"),
TypeConverter(GetType(FormatStringConverter))>
```

```
Property JEN As String = "F0"
```

```
<Category("Oeste"), DisplayName("ON"), Description("de Oeste a Norte"),
TypeConverter(GetType(FormatStringConverter))>
```

```

Property JON As String = "F0"

<Category("Oeste"), DisplayName("OE1"), Description("de Oeste a Este1"),
TypeConverter(GetType(FormatStringConverter))>

Property JOE1 As String = "F0"

<Category("Oeste"), DisplayName("OE2"), Description("de Oeste a Este2"),
TypeConverter(GetType(FormatStringConverter))>

Property JOE2 As String = "F0"

<Category("Oeste"), DisplayName("OS"), Description("de Oeste a Sur"),
TypeConverter(GetType(FormatStringConverter))>

Property JOS As String = "F0"

<Browsable(False)>

Property Ambar As Single = 3

<Browsable(False)>

Property Rojo1 As Single = 0

<Browsable(False)>

Property Rojo2 As Single = 0

Public Sub New()

End Sub

```

FUENTE: Elaboración propia

Registro del flujo vehicular

En la función "AgregaResultado", se declararon las variables de tipo Single: r1, r21, r22 y r3, las cuales se utilizaron para acumular valores del bucle For Each. Este bucle itera sobre el conjunto de datos representados por la vista "viewR", filtrando los registros según las selecciones realizadas en los ComboBox "VehiculosCombo" y "TurnosCombo". Además, se realizaron operaciones condicionales para acumular valores en las variables, dependiendo de la existencia de datos no nulos en las columnas de cada registro. La acumulación de estos valores se lleva a cabo para cuatro direcciones: NORTE, ESTE, SUR y OESTE. Posteriormente, se asignaron los valores acumulados a las propiedades del objeto denominado "Interseccion2D1", correspondientes a los flujos en las direcciones mencionadas. Luego, se resetearon las variables de acumulación para realizar los cálculos para las demás direcciones (ver Cuadro 21).

Cuadro 21: Código del ingreso del flujo vehicular

```
Private Sub AgregaResultado()
    ActivaFlujos()
    Dim r1 As Single = 0
    Dim r21 As Single = 0
    Dim r22 As Single = 0
    Dim r3 As Single = 0

    viewR.RowFilter = "Vehiculo='" & VehiculosCombo.Text & "' AND Turno='"
& TurnosCombo.Text & "'"

    'NORTE

    For Each regi As DataRowView In viewR
        If Not IsDBNull(regi.Item("NO")) Then
            r1 += regi.Item("NO")
        End If
        If Not IsDBNull(regi.Item("NS1")) Then
            r21 += regi.Item("NS1")
        End If
        If Not IsDBNull(regi.Item("NS2")) Then
            r22 += regi.Item("NS2")
        End If
        If Not IsDBNull(regi.Item("NE")) Then
            r3 += regi.Item("NE")
        End If
    Next

    Interseccion2D1.FlujoNS.R1.Valor = r1
    Interseccion2D1.FlujoNS.R21.Valor = r21
    Interseccion2D1.FlujoNS.R22.Valor = r22
    Interseccion2D1.FlujoNS.R3.Valor = r3

    r1 = 0
    r21 = 0
```

```
r22 = 0

r3 = 0

'ESTE

For Each regi As DataRowView In viewR
    If Not IsDBNull(regi.Item("EN")) Then
        r1 += regi.Item("EN")
    End If
    If Not IsDBNull(regi.Item("E01")) Then
        r21 += regi.Item("E01")
    End If
    If Not IsDBNull(regi.Item("E02")) Then
        r22 += regi.Item("E02")
    End If
    If Not IsDBNull(regi.Item("ES")) Then
        r3 += regi.Item("ES")
    End If
Next

Interseccion2D1.FlujoE0.R1.Valor = r1
Interseccion2D1.FlujoE0.R21.Valor = r21
Interseccion2D1.FlujoE0.R22.Valor = r22
Interseccion2D1.FlujoE0.R3.Valor = r3

r1 = 0
r21 = 0
r22 = 0
r3 = 0

'SUR

For Each regi As DataRowView In viewR
    If Not IsDBNull(regi.Item("SE")) Then
        r1 += regi.Item("SE")
    End If
```

```

If Not IsDBNull(regi.Item("SN1")) Then
    r21 += regi.Item("SN1")
End If
If Not IsDBNull(regi.Item("SN2")) Then
    r22 += regi.Item("SN2")
End If
If Not IsDBNull(regi.Item("SO")) Then
    r3 += regi.Item("SO")
End If
Next
Interseccion2D1.FlujoSN.R1.Valor = r1
Interseccion2D1.FlujoSN.R21.Valor = r21
Interseccion2D1.FlujoSN.R22.Valor = r22
Interseccion2D1.FlujoSN.R3.Valor = r3
r1 = 0
r21 = 0
r22 = 0
r3 = 0
'OESTE
For Each regi As DataRowView In viewR
    If Not IsDBNull(regi.Item("OS")) Then
        r1 += regi.Item("OS")
    End If
    If Not IsDBNull(regi.Item("OE1")) Then
        r21 += regi.Item("OE1")
    End If
    If Not IsDBNull(regi.Item("OE2")) Then
        r22 += regi.Item("OE2")
    End If
    If Not IsDBNull(regi.Item("ON")) Then

```

```

r3 += regi.Item("ON")

End If

Next

Interseccion2D1.FlujoOE.R1.Valor = r1

Interseccion2D1.FlujoOE.R21.Valor = r21

Interseccion2D1.FlujoOE.R22.Valor = r22

Interseccion2D1.FlujoOE.R3.Valor = r3

Interseccion2D1.FlujoNS.Entrada.Valor = Interseccion2D1.FlujoOE.R3.Valor +
Interseccion2D1.FlujoSN.R21.Valor + Interseccion2D1.FlujoSN.R22.Valor +
Interseccion2D1.FlujoEO.R1.Valor

Interseccion2D1.FlujoNS.Salida.Valor = Interseccion2D1.FlujoNS.GetTotal

Interseccion2D1.FlujoEO.Entrada.Valor = Interseccion2D1.FlujoNS.R3.Valor +
Interseccion2D1.FlujoOE.R21.Valor + Interseccion2D1.FlujoOE.R22.Valor +
Interseccion2D1.FlujoSN.R1.Valor

Interseccion2D1.FlujoEO.Salida.Valor = Interseccion2D1.FlujoEO.GetTotal

Interseccion2D1.FlujoSN.Entrada.Valor = Interseccion2D1.FlujoEO.R3.Valor +
Interseccion2D1.FlujoNS.R21.Valor + Interseccion2D1.FlujoNS.R22.Valor +
Interseccion2D1.FlujoOE.R1.Valor

Interseccion2D1.FlujoSN.Salida.Valor = Interseccion2D1.FlujoSN.GetTotal

Interseccion2D1.FlujoOE.Entrada.Valor = Interseccion2D1.FlujoSN.R3.Valor +
Interseccion2D1.FlujoEO.R21.Valor + Interseccion2D1.FlujoEO.R22.Valor +
Interseccion2D1.FlujoNS.R1.Valor

Interseccion2D1.FlujoOE.Salida.Valor = Interseccion2D1.FlujoOE.GetTotal

End Sub

```

FUENTE: Elaboración propia

Tiempos de fase

Se realizó un bucle que itera sobre cada fase utilizada. Dentro de este bucle, se seleccionó un procedimiento que depende del valor de la fase. Para cada fase, se realizó una serie de operaciones que incluyen la adición de valores a una variable "total" y la configuración de propiedades visuales en el formulario "frm". Posteriormente, se realizaron las operaciones para calcular y asignar valores a las propiedades de los distintos objetos del formulario "frm" basándose en el valor acumulado en la variable "total" y en los tiempos de las fases. Finalmente, se muestra el formulario "frm" como un cuadro de diálogo modal y se llama a la función "ActualizaSemaforos" (ver Cuadro 22).

Cuadro 22: Código de la clase tiempos de fase

```
Private Sub InformeDeFasesToolStripMenuItem_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles InformeDeFases.Click

    Dim frm As New InformeFasesfrm

    frm.Apaga()

    Dim total As Single = 0

    For Each fs In FasesUsadas
        Select Case fs

            Case "F1"

                total += CicloActual.T1

                frm.F1.Visible = True

                frm.F1txt.Visible = True

                frm.F1.Ambar = FasesLista.Ambar

            Case "F2"

                total += CicloActual.T2

                frm.F2.Visible = True

                frm.F2txt.Visible = True

                frm.F2.Ambar = FasesLista.Ambar

            Case "F3"

                total += CicloActual.T3

                frm.F3.Visible = True

                frm.F3txt.Visible = True

                frm.F3.Ambar = FasesLista.Ambar

            Case "F4"

                total += CicloActual.T4

                frm.F4.Visible = True

                frm.F4txt.Visible = True

                frm.F4.Ambar = FasesLista.Ambar

        End Select

    Next
```

```
total += FasesUsadas.Count * (frm.F1.Ambar + FasesLista.Rojol)

frm.F1.Verde = CicloActual.T1

frm.F1.Total = total

frm.F1.Inicio = 0

frm.F2.Verde = CicloActual.T2

frm.F2.Total = total

frm.F2.Inicio = CicloActual.T1 + frm.F1.Ambar + FasesLista.Rojol

frm.F3.Verde = CicloActual.T3

frm.F3.Total = total

frm.F3.Inicio = CicloActual.T1 + CicloActual.T2 + 2 * (frm.F1.Ambar
+ FasesLista.Rojol)

frm.F4.Verde = CicloActual.T4

frm.F4.Total = total

frm.F4.Inicio = CicloActual.T1 + CicloActual.T2 + CicloActual.T3 + 3
* (frm.F1.Ambar + FasesLista.Rojol)

frm.Total.Text = total

CicloActual.Total = total

frm.ShowDialog()

ActualizaSemaforos()
```

FUENTE: Elaboración propia

3.7.6.5.3. Código para cálculo e/o informes

Ciclo actual

La clase "InformeFasesfrm", se diseñó para gestionar los eventos de carga y la interacción del usuario a través de dos botones, mientras que el método "InformeFasesfrm_Load", cargó una imagen desde los recursos del proyecto y establece un ícono del formulario. Los métodos "Button1_Click" y "Button2_Click" controlan los eventos de clic de los botones en la interfaz y cierran el formulario cuando se activan. Además, se definió un método público llamado "Apaga", que se encarga de ocultar una serie de elementos visuales dentro del formulario. Este código representa una implementación básica de funcionalidades de interfaz de usuario y control de eventos en un entorno de desarrollo (ver Cuadro 23).

Cuadro 23: Código de la clase ciclo actual

```
Private Sub InformeFasesfrm_Load(sender As Object, e As EventArgs)
Handles MyBase.Load

    Dim bmp1 As Bitmap = My.Resources.Recursos16

    Icon = Icon.FromHandle(bmp1.GetHIcon)

End Sub

Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button1.Click

    Close()

End Sub

Private Sub Button2_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
Button2.Click

    Close()

End Sub

Public Sub Apaga()

    F1.Visible = False

    F1txt.Visible = False

    F2.Visible = False

    F2txt.Visible = False

    F3.Visible = False

    F3txt.Visible = False

    F4.Visible = False

    F4txt.Visible = False

End Sub

End Class
```

FUENTE: Elaboración propia

Demora mediante el algoritmo

Se establece la selección del primer elemento en un combo box "ComboFases" y se actualizaron las fases utilizadas. Posteriormente, se borraron los datos de la colección "JDemoras1" en el objeto "Datos1". Se definieron las variables "filereader" la cual contiene la ruta de un archivo de algoritmo en formato ONNX. Luego, se realizaron los cálculos para determinar la demora con los diferentes parámetros del flujo de vehículos en las direcciones

Norte, Sur, Este y Oeste de la intersección. Estas variables fueron la saturación, el ciclo semafórico, el factor “X: Grado de saturación”, y demás. Posteriormente, se prepararon los datos de entrada en tensores y se utilizaron en el modelo de inferencia contenido en el archivo ONNX, obteniendo la predicción de la demora para cada sentido de flujo. Finalmente, se creó una fila con los resultados obtenidos y se realizó una verificación de los valores del X con los datos, mostrando un mensaje de advertencia si el valor supera 1 (ver Cuadro 24).

Cuadro 24: Cálculo de la demora

```

Public Sub AnalizaDemoras()

    ComboFases.Text = ComboFases.Items(0)

    ActualizaFasesUsadas()

    Datos1.JDemoras1.Clear()

    Dim filereader As String = Application.StartupPath &
"\Algoritmos\Algoritmo1.onnx"

    Dim Entra As New Entrada1

    'Flujo NORTE

    If Interseccion2D1.FlujoSN.Entrada.Valor > 0 Then

        Entra.Via = 0.5 * (Interseccion2D1.Inter1.AnchoN +
Interseccion2D1.Inter1.AnchoS) / Interseccion2D1.Inter1.CarrilesN

        Entra.Verde = Interseccion2D1.FlujoNS.Semaforo.Verde

        If Entra.Via < 5.5 Then

            Entra.Saturacion = (10.238 * (Entra.Via) ^ 3) + (95.16 *
(Entra.Via) ^ 2) - (922.36 * Entra.Via) + 3490

        Else

            Entra.Saturacion = Entra.Via * 525

        End If

        Entra.Ciclo = Interseccion2D1.FlujoNS.Semaforo.GetTimeFull

        Entra.LandaVerde = Entra.GetLanda

        Entra.Flujo = Interseccion2D1.FlujoSN.Entrada.Valor

        Entra.XFactor = Entra.GetXFactor

        Dim varios1 = New DenseTensor(Of Single)(New Integer() {1, 7})

        Entra.GetLista.CopyTo(varios1.Buffer.Span)

```

```

    Using session = New InferenceSession(filereader)

        Dim inputs = New NamedOnnxValue()
{NamedOnnxValue.CreateFromTensor("float_input", varios1)}

        Dim results = session.Run(inputs)

        Dim outputTensor = results.First().AsTensor(Of Single)()

        Dim outputValues = outputTensor.ToArray()

        Interseccion2D1.FlujoNS.Demora = Math.Round(outputValues(0),
3)

    End Using

    CreaFilaDemora(Interseccion2D1.Inter1.NombreV, "NS",
Interseccion2D1.Inter1.CarrilesN, Entra, Interseccion2D1.FlujoNS.Demora,
GetClase(Interseccion2D1.FlujoNS.Demora))

    End If

    'FLUJO SUR

    If Interseccion2D1.FlujoNS.Entrada.Valor > 0 Then

        Entra.Via = 0.5 * (Interseccion2D1.Inter1.AnchoS +
Interseccion2D1.Inter1.AnchoN) / Interseccion2D1.Inter1.CarrilesS

        Entra.Verde = Interseccion2D1.FlujoSN.Semaforo.Verde

        If Entra.Via < 5.5 Then

            Entra.Saturacion = (10.238 * (Entra.Via) ^ 3) + (95.16 *
(Entra.Via) ^ 2) - (922.36 * Entra.Via) + 3490

        Else

            Entra.Saturacion = Entra.Via * 525

        End If

        Entra.Ciclo = Interseccion2D1.FlujoSN.Semaforo.GetTimeFull

        Entra.LandaVerde = Entra.GetLanda

        Entra.Flujo = Interseccion2D1.FlujoNS.Entrada.Valor

        Entra.XFactor = Entra.GetXFactor

        Dim varios2 = New DenseTensor(Of Single)(New Integer() {1, 7})

        Entra.GetLista.CopyTo(varios2.Buffer.Span)

        Using session = New InferenceSession(filereader)

            Dim inputs = New NamedOnnxValue()
{NamedOnnxValue.CreateFromTensor("float_input", varios2)}

```

```

        Dim results = session.Run(inputs)

        Dim outputTensor = results.First().AsTensor(Of Single)()

        Dim outputValues = outputTensor.ToArray()

        Interseccion2D1.FlujoSN.Demora = Math.Round(outputValues(0),
3)

        End Using

        CreaFilaDemora(Interseccion2D1.Inter1.NombreV, "SN",
Interseccion2D1.Inter1.CarrilesS, Entra, Interseccion2D1.FlujoSN.Demora,
GetClase(Interseccion2D1.FlujoSN.Demora))

        End If

        'FLUJO ESTE

        If Interseccion2D1.Flujo0E.Entrada.Valor > 0 Then

            Entra.Via = 0.5 * (Interseccion2D1.Inter1.AnchoE +
Interseccion2D1.Inter1.Ancho0) / Interseccion2D1.Inter1.CarrilesE

            Entra.Verde = Interseccion2D1.FlujoE0.Semaforo.Verde

            If Entra.Via < 5.5 Then

                Entra.Saturacion = (10.238 * (Entra.Via) ^ 3) + (95.16 *
(Entra.Via) ^ 2) - (922.36 * Entra.Via) + 3490

            Else

                Entra.Saturacion = Entra.Via * 525

            End If

            Entra.Ciclo = Interseccion2D1.FlujoE0.Semaforo.GetTimeFull

            Entra.LandaVerde = Entra.GetLanda

            Entra.Flujo = Interseccion2D1.Flujo0E.Entrada.Valor

            Entra.XFactor = Entra.GetXFactor

            Dim varios3 = New DenseTensor(Of Single)(New Integer() {1, 7})

            Entra.GetLista.CopyTo(varios3.Buffer.Span)

            Using session = New InferenceSession(filereader)

                Dim inputs = New NamedOnnxValue()
{NamedOnnxValue.CreateFromTensor("float_input", varios3)}

                Dim results = session.Run(inputs)

                Dim outputTensor = results.First().AsTensor(Of Single)()

```

```

        Dim outputValues = outputTensor.ToArray()

        Interseccion2D1.FlujoE0.Demora = Math.Round(outputValues(0),
3)

    End Using

    CreaFilaDemora(Interseccion2D1.Inter1.NombreH, "E0",
Interseccion2D1.Inter1.CarrilesE, Entra, Interseccion2D1.FlujoE0.Demora,
GetClase(Interseccion2D1.FlujoE0.Demora))

    End If

    'FLUJO OESTE

    If Interseccion2D1.FlujoE0.Entrada.Valor > 0 Then

        Entra.Via = 0.5 * (Interseccion2D1.Inter1.AnchoO +
Interseccion2D1.Inter1.AnchoE) / Interseccion2D1.Inter1.CarrilesO

        Entra.Verde = Interseccion2D1.FlujoOE.Semaforo.Verde

        If Entra.Via < 5.5 Then

            Entra.Saturacion = (10.238 * (Entra.Via) ^ 3) + (95.16 *
(Entra.Via) ^ 2) - (922.36 * Entra.Via) + 3490

        Else

            Entra.Saturacion = Entra.Via * 525

        End If

        Entra.Ciclo = Interseccion2D1.FlujoOE.Semaforo.GetTimeFull

        Entra.LandaVerde = Entra.GetLanda

        Entra.Flujo = Interseccion2D1.FlujoE0.Entrada.Valor

        Entra.XFactor = Entra.GetXFactor

        Dim varios4 = New DenseTensor(Of Single)(New Integer() {1, 7})

        Entra.GetLista.CopyTo(varios4.Buffer.Span)

        Using session = New InferenceSession(filereader)

            Dim inputs = New NamedOnnxValue()
{NamedOnnxValue.CreateFromTensor("float_input", varios4)}

            Dim results = session.Run(inputs)

            Dim outputTensor = results.First().AsTensor(Of Single)()

            Dim outputValues = outputTensor.ToArray()

            Interseccion2D1.FlujoOE.Demora = Math.Round(outputValues(0),
3)

```

```

End Using

    CreaFilaDemora(Interseccion2D1.Inter1.NombreH, "OE",
Interseccion2D1.Inter1.Carriles0, Entra, Interseccion2D1.Flujo0E.Demora,
GetClase(Interseccion2D1.Flujo0E.Demora))

End If

For Each fila As DataRow In Datos1.JDemoras1.Rows

    If fila.Item("X") > 1 Then

        MsgBox("Valores de X mayor a 1, evaluar con otro método",
MsgBoxStyle.Exclamation)

        Exit For

    End If

Next

End Sub

```

FUENTE: Elaboración propia

Tiempo de ciclo óptimo

Se creó la función "OptimizarCicloTool_Click," donde se implementó la lógica para determinar el tiempo de ciclo óptimo utilizando Visual Basic .NET. La funcionalidad de la rutina se inició con la condición que filtra la tabla llamada "TablaFiltrada" basándose en la selección de elementos en un ComboBox "VehiculosCombo." Dependiendo de la selección, se ajustó el filtro de la tabla para considerar el turno, utilizando la información de otro ComboBox llamado "TurnosCombo." La rutina continúa evaluando la cantidad de registros filtrados. Si no hay registros, se muestra un mensaje informativo mediante un cuadro de diálogo. Además, se verifica que haya al menos dos fases asignadas en una colección denominada "FasesUsadas." Si no se cumple esta condición, se muestra otro mensaje informativo. Posteriormente, se llama a la función "ActualizaCarriles," y se crea un nuevo formulario de tipo "Analizafrm" y se le asigna un texto descriptivo. Este formulario se muestra de manera modal mediante el método "ShowDialog." Después de cerrarlo, se libera la memoria utilizando el método "Dispose." Si el proceso fue exitoso (variable "Procesado" es verdadera), se actualiza la información del objeto "CicloOptimo" según las fases y tiempos obtenidos de la tabla llamada "Datos1.JCalculo." Además, se habilitaron tres herramientas de informes si el proceso es exitoso (ver Cuadro 25).

Cuadro 25: Cálculo del tiempo de ciclo óptimo con el algoritmo

```
Private Sub OptimizarCicloTool_Click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles OptimizarCicloTool.Click

    If VehiculosCombo.Text = "Auto EQ" Then

        TablaFiltrada.RowFilter = "Turno='" & TurnosCombo.Text & "'"

    Else

        TablaFiltrada.RowFilter = "Vehiculo='" & VehiculosCombo.Text &
"' AND Turno='" & TurnosCombo.Text & "'"

    End If

    If TablaFiltrada.Count = 0 Then

        MsgBox("No existen registros para procesar",
MsgBoxStyle.Information)

        Exit Sub

    End If

    If FasesUsadas.Count < 2 Then

        MsgBox("Debe asignar almenos 2 fases para procesar flujos",
MsgBoxStyle.Information)

        Exit Sub

    End If

    ActualizaCarriles()

    Dim frm As New Analizafrm

    frm.Rojo2.Text = FasesLista.Rojo2

    frm.Casotxt.Text = "Caso: " & VehiculosCombo.Text & " - Turno: " &
TurnosCombo.Text

    frm.ShowDialog()

    frm.Dispose()

    If Procesado Then

        CicloOptimo.LimpiaT()

        For Each fila As DataRow In Datos1.JCalculo.Rows

            Select Case fila.Item("Fase")

                Case "F1"

                    CicloOptimo.T1 = fila.Item("Verde")

            End Select

        Next fila

    End If

End Sub
```

```
Case "F2"  
    CicloOptimo.T2 = fila.Item("Verde")  
Case "F3"  
    CicloOptimo.T3 = fila.Item("Verde")  
Case "F4"  
    CicloOptimo.T4 = fila.Item("Verde")  
End Select  
Next  
InformeOptimizadoTool.Enabled = True  
InformeCiclosTool.Enabled = True  
InformeDemorasTool.Enabled = True  
End If  
End Sub
```

FUENTE: Elaboración propia

Ciclo optimizado

El "InformeDeFasesToolStripMenuItem" se inició con la verificación de la condición, la cual comprueba si el número de fases usadas es menor que dos. En caso afirmativo, se muestra un mensaje de advertencia y la función se detiene. De lo contrario, se crea una instancia del formulario "InformeFasesfrm" y se inicializa. A continuación, se realizó un bucle que itera sobre cada fase utilizada. Dentro de este bucle, se seleccionó un procedimiento dependiendo del valor de la fase. Para cada fase, se realizó una serie de operaciones que incluyen la adición de valores a una variable "total" y la configuración de propiedades visuales en el formulario "frm". Posteriormente, se realizaron las operaciones para calcular y asignar valores a las propiedades de los distintos objetos del formulario "frm" basándose en el valor acumulado en la variable "total" y en los tiempos de las fases. Finalmente, se muestra el formulario "frm" como un cuadro de diálogo modal y se llama a la función "ActualizaSemaforos" (ver Cuadro 26).

Cuadro 26: Código de la clase tiempos de fases optimizadas

```
Private Sub InformeDeFasesToolStripMenuItem_Click(sender As Object, e As
EventArgs) Handles InformeDeFases.Click

    If FasesUsadas.Count < 2 Then

        MsgBox("Debe asignar almenos 2 fases para para mostrar
resultados")

        Exit Sub

    End If

    Dim frm As New InformeFasesfrm

    frm.Apaga()

    Dim total As Single = 0

    For Each fs In FasesUsadas

        Select Case fs

            Case "F1"

                total += CicloActual.T1

                frm.F1.Visible = True

                frm.F1txt.Visible = True

                frm.F1.Ambar = FasesLista.Ambar

            Case "F2"

                total += CicloActual.T2

                frm.F2.Visible = True

                frm.F2txt.Visible = True

                frm.F2.Ambar = FasesLista.Ambar

            Case "F3"

                total += CicloActual.T3

                frm.F3.Visible = True

                frm.F3txt.Visible = True

                frm.F3.Ambar = FasesLista.Ambar

            Case "F4"

                total += CicloActual.T4

                frm.F4.Visible = True
```

```

frm.F4txt.Visible = True

frm.F4.Ambar = FasesLista.Ambar

    End Select

Next

total += FasesUsadas.Count * (frm.F1.Ambar + FasesLista.Rojol)

frm.F1.Verde = CicloActual.T1

frm.F1.Total = total

frm.F1.Inicio = 0

frm.F2.Verde = CicloActual.T2

frm.F2.Total = total

frm.F2.Inicio = CicloActual.T1 + frm.F1.Ambar + FasesLista.Rojol

frm.F3.Verde = CicloActual.T3

frm.F3.Total = total

frm.F3.Inicio = CicloActual.T1 + CicloActual.T2 + 2 * (frm.F1.Ambar
+ FasesLista.Rojol)

frm.F4.Verde = CicloActual.T4

frm.F4.Total = total

frm.F4.Inicio = CicloActual.T1 + CicloActual.T2 + CicloActual.T3 + 3
* (frm.F1.Ambar + FasesLista.Rojol)

frm.Total.Text = total

CicloActual.Total = total

frm.ShowDialog()

ActualizaSemaforos()

```

FUENTE: Elaboración propia

Tiempos de ciclos actual y óptimo

El código "InformeCiclosTool_Click", se activa al hacer clic en el elemento llamado "InformeCiclosTool". Este procedimiento se programó en Visual Basic .NET y se encarga de la generación de informes de ciclos. El procedimiento se inició con una serie de condicionales que verifican si se cumplen las condiciones antes de proceder con la generación del informe. Si alguna de estas condiciones no se cumple, se muestra un mensaje de advertencia y el procedimiento se interrumpe. Luego, se inicia un nuevo formulario llamado "ComparaFasesfrm" y se realiza un ciclo a través de una colección de fases llamada

"FasesUsadas". Dentro de este ciclo, se lleva a cabo un proceso de selección donde se acumulan los valores de las distintas fases en variables "total1" y "total2", y se realizan configuraciones visuales en el formulario "frm" según la fase actual. Después del ciclo, se realizan cálculos adicionales sobre "total1" y "total2" y se actualizan los valores en el formulario "frm" para distintas fases. Finalmente, se muestran los resultados en el formulario mediante el método "ShowDialog". Si el resultado del diálogo es "OK", se habilita otra herramienta llamada "InformeDemorasTool". Además, se llamaron a dos funciones llamadas "ActualizaSemaforos" y "ActualizaSemaforos2" (ver Cuadro 27).

Cuadro 27: Código del informe de ciclos

```
Private Sub InformeCiclosTool_Click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles InformeCiclosTool.Click

    If FasesUsadas.Count < 2 Then

        MsgBox("Debe asignar almenos 2 fases para para mostrar resultados")

        Exit Sub

    End If

    If CicloOptimo.Activo = False Then

        MsgBox("Debe procesar para mostrar resultado")

        Exit Sub

    End If

    If Procesado = False Then

        MsgBox("No se ha completado el procesado de la información",
MsgBoxStyle.Exclamation)

        Exit Sub

    End If

    Dim frm As New ComparaFasesfrm

    frm.Apaga()

    Dim total1 As Single = 0

    Dim total2 As Single = 0

    For Each fs In FasesUsadas

        Select Case fs

            Case "F1"
```

```
total1 += CicloOptimo.T1
total2 += CicloActual.T1
frm.F1.Visible = True
frm.F1txt.Visible = True
frm.F1.Ambar = FasesLista.Ambar
frm.FF1.Visible = True
frm.FF1txt.Visible = True
frm.FF1.Ambar = FasesLista.Ambar
```

Case "F2"

```
total1 += CicloOptimo.T2
total2 += CicloActual.T2
frm.F2.Visible = True
frm.F2txt.Visible = True
frm.F2.Ambar = FasesLista.Ambar
frm.FF2.Visible = True
frm.FF2txt.Visible = True
frm.FF2.Ambar = FasesLista.Ambar
```

Case "F3"

```
total1 += CicloOptimo.T3
total2 += CicloActual.T3
frm.F3.Visible = True
frm.F3txt.Visible = True
frm.F3.Ambar = FasesLista.Ambar
frm.FF3.Visible = True
frm.FF3txt.Visible = True
frm.FF3.Ambar = FasesLista.Ambar
```

Case "F4"

```
total1 += CicloOptimo.T4
total2 += CicloActual.T4
frm.F4.Visible = True
```

```
frm.F4txt.Visible = True

frm.F4.Ambar = FasesLista.Ambar

frm.FF4.Visible = True

frm.FF4txt.Visible = True

frm.FF4.Ambar = FasesLista.Ambar

    End Select

Next

total1 += FasesUsadas.Count * (frm.F1.Ambar + FasesLista.Rojo2)
total2 += FasesUsadas.Count * (frm.FF1.Ambar + FasesLista.Rojo1)

frm.F1.Verde = CicloOptimo.T1
frm.F1.Total = total1
frm.F1.Inicio = 0

frm.FF1.Verde = CicloActual.T1
frm.FF1.Total = total2
frm.FF1.Inicio = 0

frm.F2.Verde = CicloOptimo.T2
frm.F2.Total = total1
frm.F2.Inicio = CicloOptimo.T1 + frm.F1.Ambar + FasesLista.Rojo2

frm.FF2.Verde = CicloActual.T2
frm.FF2.Total = total2
frm.FF2.Inicio = CicloActual.T1 + frm.FF1.Ambar + FasesLista.Rojo1

frm.F3.Verde = CicloOptimo.T3
frm.F3.Total = total1
frm.F3.Inicio = CicloOptimo.T1 + CicloOptimo.T2 + 2 * (frm.F1.Ambar +
FasesLista.Rojo2)

frm.FF3.Verde = CicloActual.T3
frm.FF3.Total = total2
frm.FF3.Inicio = CicloActual.T1 + CicloActual.T2 + 2 * (frm.FF1.Ambar +
+FasesLista.Rojo1)

frm.F4.Verde = CicloOptimo.T4
```

```

frm.F4.Total = total1

frm.F4.Inicio = CicloOptimo.T1 + CicloOptimo.T2 + CicloOptimo.T3 + 3 *
(frm.FF1.Ambar + FasesLista.Rojo2)

frm.Total1.Text = total1

frm.FF4.Verde = CicloActual.T4

frm.FF4.Total = total2

frm.FF4.Inicio = CicloActual.T1 + CicloActual.T2 + CicloActual.T3 + 3 *
(frm.FF1.Ambar + FasesLista.Rojo1)

frm.Total2.Text = total2

CicloActual.Total = total2

CicloOptimo.Total = total1

frm.ShowDialog()

If frm.DialogResult = DialogResult.OK Then

    InformeDemorasTool.Enabled = True

End If

ActualizaSemaforos()

ActualizaSemaforos2()

End Sub

```

FUENTE: Elaboración propia

Demora optimizada

En el código se definió el procedimiento DemoraOptimizadaTool_Click que se activa al hacer clic en el control llamado DemoraOptimizadaTool. Este procedimiento inició verificando si una variable booleana llamada Procesado es falsa; en caso afirmativo, muestra un mensaje de advertencia indicando que el procesado de la información no se ha completado y finaliza la ejecución del procedimiento. Luego, se comprueba si la cantidad de elementos en una lista llamada TablaFiltrada es igual a cero, en cuyo caso se muestra un mensaje informando que no hay registros para procesar y se sale del procedimiento. Posteriormente, se evalúa si la cantidad de elementos en una lista llamada FasesUsadas es menor a 2, en tal caso se muestra un mensaje indicando que se deben asignar al menos 2 fases para procesar flujos y se termina la ejecución del procedimiento. Posteriormente se creó una nueva instancia del formulario TablaDemorafm con el argumento "JDemoras2" y se asignó un texto al control Casotxt de este formulario. Luego, se generó el formulario de

manera modal para que el usuario interactúe con él. Finalmente, se verificó si el resultado de la interacción con el formulario es igual a DialogResult.OK y se libera los recursos asociados al formulario creado (ver Cuadro 28).

Cuadro 28: Código de la demora optimizada

```
Private Sub DemoraOptimizadaTool_Click(sender As Object, e As EventArgs)
Handles DemoraOptimizadaTool.Click

    If Procesado = False Then

        MsgBox("No se ha completado el procesado de la información",
MsgBoxStyle.Exclamation)

        Exit Sub

    End If

    If TablaFiltrada.Count = 0 Then

        MsgBox("No existen registros para procesar",
MsgBoxStyle.Information)

        Exit Sub

    End If

    If FasesUsadas.Count < 2 Then

        MsgBox("Debe asignar almenos 2 fases para procesar flujos",
MsgBoxStyle.Information)

        Exit Sub

    End If

    Dim frm As New TablaDemorafrm("JDemoras2")

    frm.Casotxt.Text = "Caso: " & VehiculosCombo.Text & " - Turno: " &
TurnosCombo.Text

    frm.ShowDialog()

    If frm.DialogResult = DialogResult.OK Then

        End If

        frm.Dispose()

    End Sub
```

FUENTE: Elaboración propia

Demoras actual y óptima

En la clase InformeDemorasfrm, se definieron tres procedimientos. El primero, InformeDemorasfrm_Load, el cual se ejecuta al cargar el formulario y realiza la siguiente acción: crea un objeto Bitmap a partir de un recurso llamado Recursos16, luego obtiene el icono asociado a este bitmap y lo asigna como icono del formulario. Los otros dos procedimientos, Button1_Click y Button2_Click, se activan al hacer clic en los botones Button1 y Button2 respectivamente, y ambos realizan la misma acción que es cerrar el formulario actual. Por último, se encuentra el procedimiento DemoraTotal1_Click, el cual extrae los datos de los formularios de demora actual y optimizada mostrándolos en el campo de texto (ver Cuadro 29).

Cuadro 29: Código de la generación de informes de demora

```
Public Class InformeDemorasfrm

    Private Sub InformeDemorasfrm_Load(sender As Object, e As EventArgs)
        Handles MyBase.Load

            Dim bmp1 As Bitmap = My.Resources.Recursos16

            Icon = Icon.FromHandle(bmp1.GetHIcon)

        End Sub

    Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
        Button1.Click

        Close()

    End Sub

    Private Sub Button2_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles
        Button2.Click

        Close()

    End Sub

    Private Sub DemoraTotal1_Click(sender As Object, e As EventArgs)
        Handles DemoraTotal1.Click

    End Sub

End Class
```

FUENTE: Elaboración propia

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1. Diagnóstico del accionar que presenta cada intersección semaforizada dentro del casco urbano.

4.1.1.1. Caracterización y análisis del accionar de las intersecciones

Habiendo caracterizado las dos intersecciones semaforizadas como base en la ciudad, y que van hacer parte o uso para la validación del algoritmo de tránsito; es necesario iniciar con el análisis de la presencia de señalización en éstas, como situación actual, los cuales, se constituyen como medios de control del tránsito; pero, en expresiones generales, siendo por ahora en ocasiones no respetadas por vehículos y peatones, tal vez por falta de visualización, importancia, relevancia y/o educación vial. Teniendo en cuenta ello, lo que se contempla como ubicación y señalización para cada intersección es:

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

Sus coordenadas UTM son:

Norte (N): 9368514

Este (E): 742668

Lo que contempla en cuanto a control y señalización se detalla en la Figura 41 y está basada en: Controlado por semáforo presincronizados o de tiempo predeterminado (Longitud de ciclo = 52 segundos), señalización vertical reguladora o reglamentaria (estacionamiento prohibido); señalización horizontal (líneas de pasos peatonales y de “Pare”).



Figura 41: Control y señalización en intersección de calles

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

Sus coordenadas UTM son:

Norte (N): 9368578

Este (E): 742834

Lo que contempla en cuanto a control y señalización se detalla en la Figura 42 y está basada en: Controlado por semáforo presincronizados o de tiempo predeterminado (Longitud de ciclo = 47 segundos), señalización vertical reguladora o reglamentaria (estacionamiento prohibido); señalización horizontal (líneas de pasos peatonales, líneas de “Pare”, flechas direccionales y de giro).

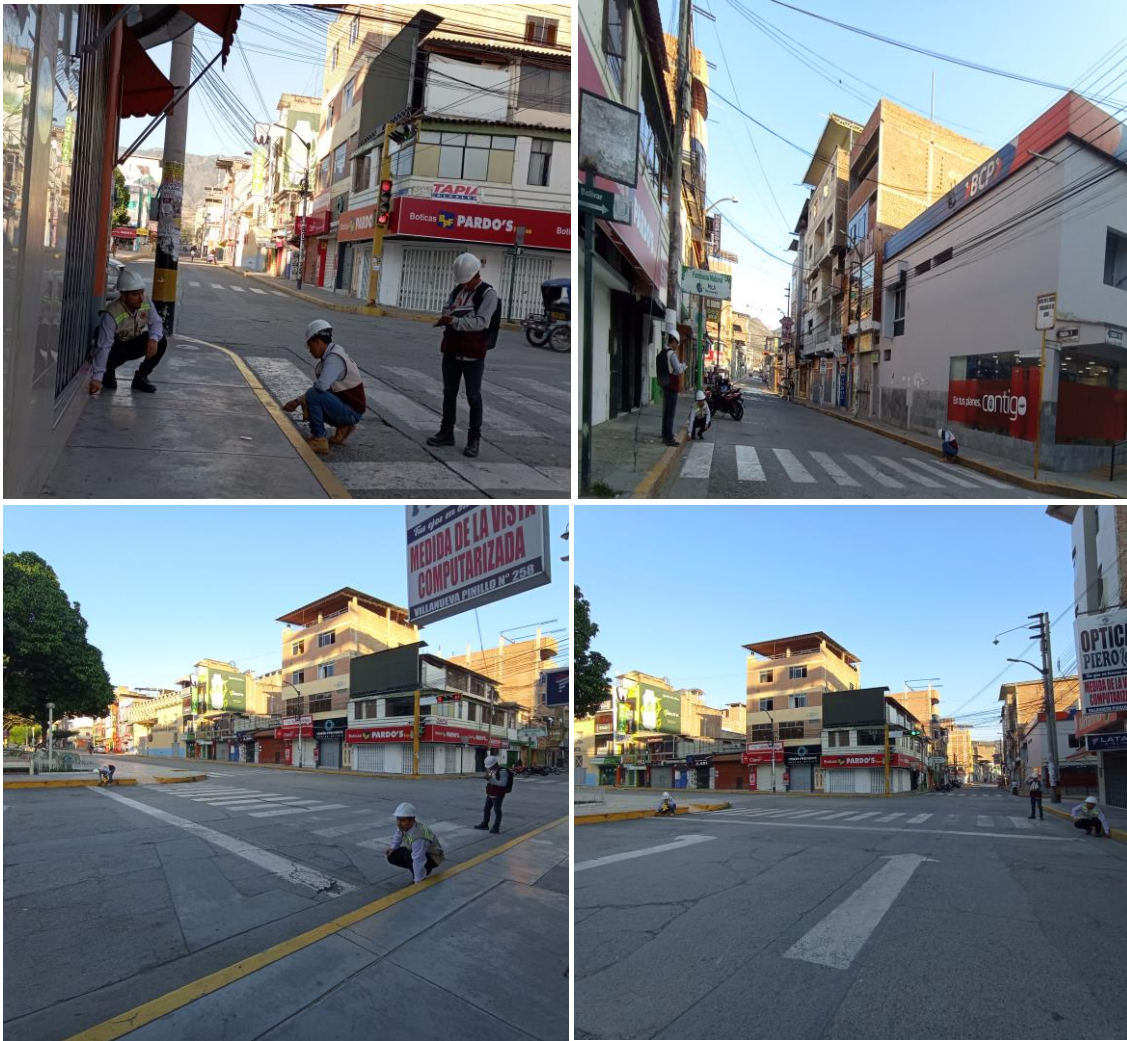


Figura 42: Control y señalización en intersección de avenida y calle

4.1.1.2. Determinación de parámetros sustanciales

4.1.1.2.1. Características geométricas

De acuerdo al trabajo insitu, a continuación, se precisan los datos geométricos específicos.

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

Cuadro 30: Datos complementarios de particularidades geométricas de la intersección (calles)

Características geométricas						
Acceso	Número de carriles	Ancho promedio de carriles	Ancho promedio calzada	Pendiente (S%)	Carriles exclusivos	Estacionamientos
Oeste (O)	2	4.44	8.88	-1.5	No	No
Este (E)	2	4.15	8.30	1.5	No	No

Sur (S)	2	4.97	9.94	-2.7	No	No
Norte (N)	2	5.15	10.30	2.7	No	No

FUENTE: Elaboración propia

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

Cuadro 31: Datos complementarios de particularidades geométricas de la intersección (avenida y calle)

Características geométricas						
Acceso	Número de carriles	Ancho promedio de carriles	Ancho promedio calzada	Pendiente (S%)	Carriles exclusivos	Estacionamientos
Oeste (O)	2	5.16	10.32	0.2	No	No
Este (E)	2	4.36	8.72	-0.2	No	No
Sur (S)	2	6.70	13.40	-2.2	No	No
Norte (N)	2	4.70	9.40	2.2	No	No

FUENTE: Elaboración propia

4.1.1.2.2. Características de tránsito

Volumen Vehicular

Total, por Día - Volumen vehicular

Con la metodología de recojo de información y conteo vehicular realizado en este estudio, que coincide con Qiao et al. (2002) que extrajeron sus datos de cámaras instaladas cuyo alcance de visión podía cubrir los cuatro accesos a la intersección; de igual manera a Saha et al. (2017) que utilizó la técnica de videografía, para fines de recopilación de datos; del mismo modo con ALI et al. (2021) que sus datos de tráfico real recopilados en campo se obtienen mediante procesamiento de imágenes digitales a través de la cámara sheye.

Se pasa a ejecutar, de acuerdo a equivalencias de vehículos especificados en la Cuadro 1, cada volumen vehicular por día. Similar a Radivojević et al. (2021) que para su estudio del caso de tráfico mixto, sus valores de flujos se obtienen tras convertirlos en valores PCU equivalentes; del mismo modo con Noval et al. (2018) que su dato tomado es el número de vehículos livianos con un valor equivalente de turismo de 1 y tiene un valor unitario de pcu/hora, para vehículos pesados el volumen se calcula como un volumen para vehículos livianos.

Posteriormente de realizar los datos mediante hojas de cálculo de Excel en su totalidad del aforo según el sentido y día, se logró tener que el día lunes ha sido el que demandó mayoría de volumen de vehículos, por tanto, para ejecutar el: Aforo peatonal, aforo vehicular, composición de vehículos, entre otros, se procedió con la data del día lunes; de manera similar con Zhang et al. (2021) que para evaluar el enfoque se utilizaron datos de video de 10:00 a 11:00 a. m. de un lunes 22 de abril de 2019, en su intersección de ejemplo; así también con Wijaya et al. (2019) donde sus datos recopilados consistieron en 3 sesiones el lunes 20 de noviembre de 2017, es decir, mañana (07.00 a 08.00 a. m.), mediodía (12.00 a. m. a 01.00 p. m.) y tarde (04.00 a 05.00 p. m.), estos se miden 3 veces en cada sesión por lo que fortalece dichos valores; además Saha et al. (2017) recogieron datos tanto en horario de mañana como de tarde (de 10:00 a 13:00 horas y de 14:00 a 21:00 horas).

Luego, los Cuadros 32 y 33, especifican la totalidad de vehículos transcurridos en un día, para cada intersección.

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

Cuadro 32: Vehículos por día - Total

Día	Vehículos por día - Total				
	Sentidos				Total
	N - S	S - N	E - O	O - E	
Lunes 02/10/2023	4192	4552	1655	0	10399
Miércoles 04/10/2023	3679	4056	1345	0	9079
Viernes 06/10/2023	3877	4106	1387	0	9370

FUENTE: Elaboración propia

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

Cuadro 33: Vehículos por día - Total

Día	Vehículos por día - Total				
	Sentidos				Total
	N - S	S - N	E - O	O - E	
Lunes 02/10/2023	0	4290	1560	0	5850
Miércoles 04/10/2023	0	3695	1346	0	5041
Viernes 06/10/2023	0	3910	1378	0	5288

FUENTE: Elaboración propia

Además, resaltar que los Cuadros 32 y 33 detallan los volúmenes de vehículos totales por sentido que abarco para los tres días de análisis realizado, para con ello pasa a seleccionar el día y hora más cargado; de modo similar con Cao (2019) donde sus volúmenes de tráfico son resumido en dos días, mostrando, que la dirección este-oeste es la principal, mientras que la dirección norte-sur es relativamente menor; además Prihantini et al. (2020) que toma datos sobre el flujo de tráfico que realiza durante un día, concretamente el miércoles 15 de marzo de 2017.

Cálculo de la hora pico

Para la determinación de la hora pico en cada intersección utilizada, se utilizó información de aforos de vehículos que llevó a un producto estadístico en barras, involucrando intervalos de 15 minutos con el volumen vehicular. Precisar que se colorean de rojo las barras, que detallan las mayores cantidades en volumen vehicular; por tanto, las horas picos determinadas han sido: 07:15 – 08:15, 12:30 – 13:30 y 18:00 – 19:00; tal como detallan las Figuras 43 y 44.

Además, los Anexos C 2 al C 11, especifican en barras el volumen vehicular para temporadas de 15 minutos y 1 hora (lunes, miércoles y viernes); éstas para cada intersección estudiada.

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

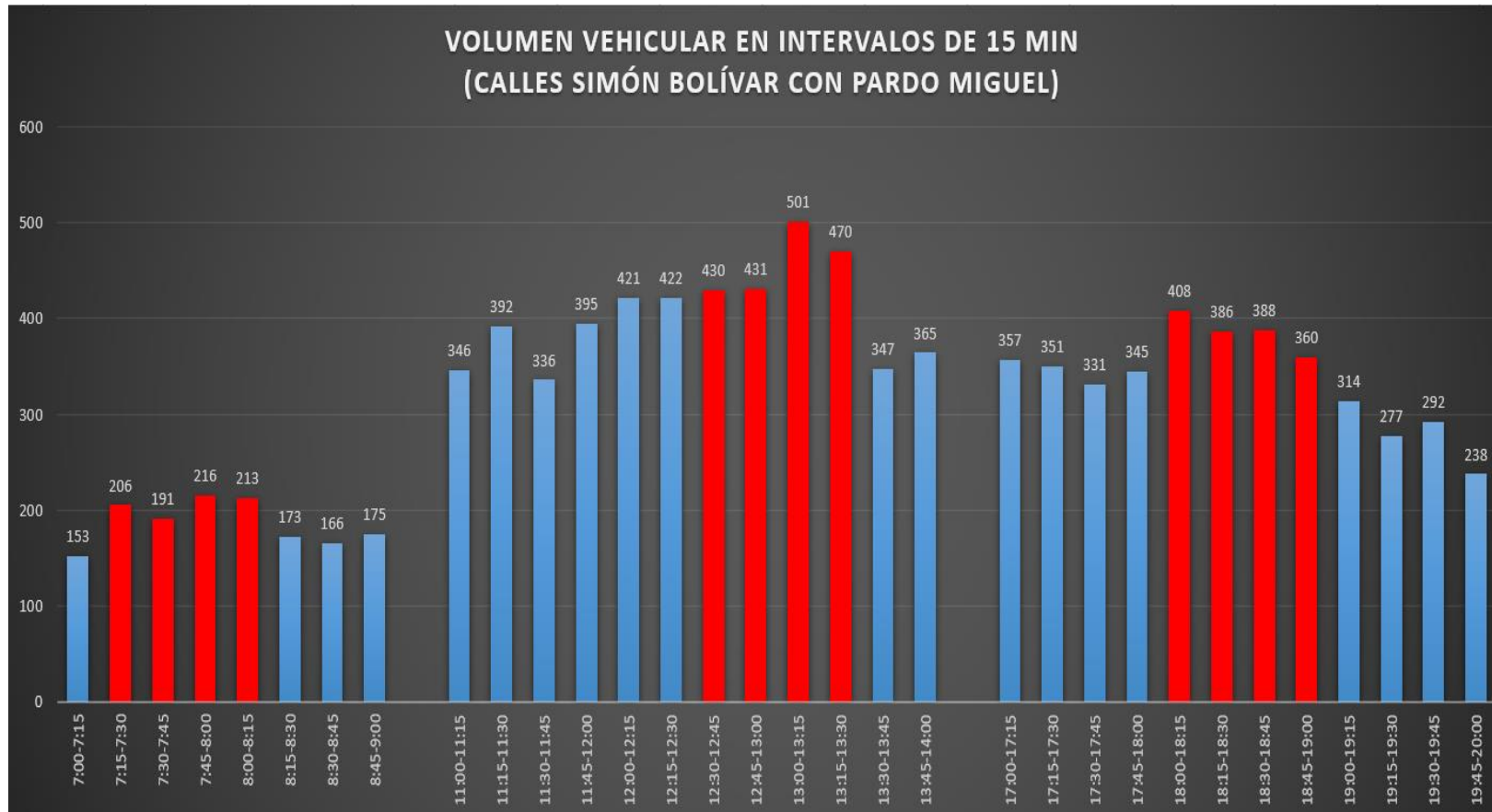


Figura 43: Intervalos de 15 minutos para el volumen vehicular, en calles (Lunes)

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

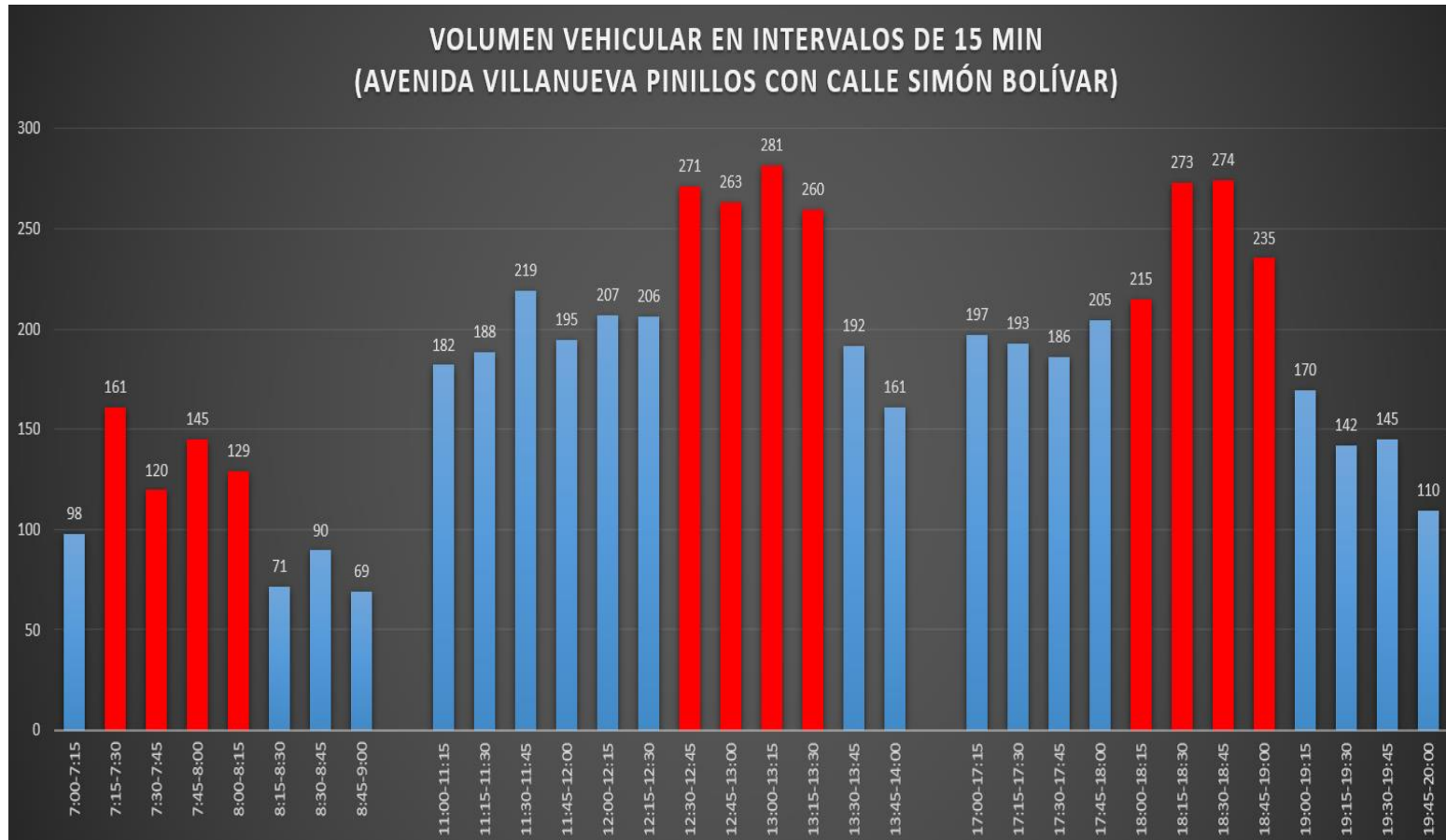


Figura 44: Intervalos de 15 minutos para el volumen vehicular, en avenida con calle (Lunes)

Resaltar que las Figuras 43 y 44 especifican mayores volúmenes vehiculares en intervalos de 15 minutos, y por ende la selección de las horas pico en las intersecciones seleccionadas; tal es el caso de An et al. (2022) donde, su volumen de tráfico lo obtuvieron durante las horas pico de 7:30 a.m. a 8:30 a.m. del 15 Abril de 2018; además, recalcar lo de Li et al. (2021) que su selección de la hora pico fue de la mañana; así mismo Leprêtre et al. (2019) menciona que sus horarios de salida se establecen aleatoriamente entre las 7 a.m. y las 9 a.m., correspondiente a las horas punta típicas de la mañana; así también Qiao et al. (2002) detalla su período pico de 7:00 a.m. a 10:00 a. m., y luego de 5:00 p. m. a 7:30 p. m., tomado entre semana; de manera similar Prihantini et al. (2020) da su volumen de tráfico por hora en intervalos de 15 minutos, y en base a ellos puede observar que el volumen de hora pico es de 07:00-08:00.

Síntesis de volumen vehicular por acceso para intersecciones

Una vez consumado por sentido cada hoja que concierne el volumen de vehículos, prosiguió colocar los datos calculados en la tabla resumen de la totalidad de flujo vehicular que posee cada uno de los accesos, para temporadas de 15 minutos mediante la etapa establecida que corresponde al día lunes (miércoles y viernes también se determinaron), para con esto tener su factor de hora pico. A mejor detalle se da el cabal de los aforos vehiculares, clasificados por acceso, tramo y desplazamiento, en los Anexos C 12 al C 17.

Entendido esto, los Cuadros 34 y 35 se sintetizaron por acceso los volúmenes, formando para la mañana, tarde y noche, las horas punta, información que antes fueron desenvueltas; así mismo, los Anexos C 18 al C 21, muestran para los días miércoles y viernes, por intersección.

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

Cuadro 34: Volumen vehicular teniendo en cuenta el acceso – Hoja resumida (Para calles – Día lunes)

Resumen						
Intersección		Calle Pardo Miguel		Calle Simón Bolívar		Total (15 min.)
Horas Punta	Hora	N - S	S - N	E - O	O - E	
	7:15-7:30	77	84	45	0	206
	7:30-7:45	69	86	36	0	191

H.P. Mañana	7:45-8:00	74	88	54	0	216
	8:00-8:15	86	90	38	0	213
	12:30-12:45	183	177	70	0	430
H.P. Tarde	12:45-13:00	191	168	73	0	431
	13:00-13:15	194	222	84	0	501
	13:15-13:30	180	219	72	0	470
H.P. Noche	18:00-18:15	170	157	82	0	408
	18:15-18:30	178	159	50	0	386
	18:30-18:45	149	154	85	0	388
	18:45-19:00	134	155	71	0	360
H.P. Mañana		306	347	173	0	
Total	H.P. Tarde	748	786	299	0	
	H.P. Noche	631	624	287	0	

FUENTE: Elaboración propia

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

Cuadro 35: Volumen vehicular teniendo en cuenta el acceso – Hoja resumida (Para avenida y calle – Día lunes)

Resumen						
Intersección		Avenida Villanueva Pinillos		Calle Simón Bolívar		Total (15 min.)
Horas Punta	Hora	N - S	S - N	E - O	O - E	
	7:15-7:30	0	95	66	0	161
H.P. Mañana	7:30-7:45	0	76	44	0	120
	7:45-8:00	0	107	38	0	145
	8:00-8:15	0	83	46	0	129
	12:30-12:45	0	181	90	0	271
	12:45-13:00	0	196	67	0	263

H.P. Tarde	13:00-13:15	0	201	81	0	281
	13:15-13:30	0	200	60	0	260
	18:00-18:15	0	151	64	0	215
H.P. Noche	18:15-18:30	0	198	75	0	273
	18:30-18:45	0	206	68	0	274
	18:45-19:00	0	166	70	0	235
H.P. Mañana		0	360	195	0	
Total	H.P. Tarde	0	777	298	0	
	H.P. Noche	0	721	276	0	

FUENTE: Elaboración propia

Recalcar que las Cuadros 34 y 35 definen el volumen vehicular por acceso del día más cargado en sus horas punta; así también An et al. (2022) muestra, el volumen de tráfico direccional de 1 h en cada intersección y un total de 5533 vehículos (A) y 4467 vehículos (B) que pasaron por cada intersección durante el pico de 1 hora. Al igual Radivojević et al. (2021) que sus flujos normales en las vías de aproximación, durante la hora punta de tráfico de diseño también se han obtenido a partir de observaciones sobre el terreno.

Posteriormente para las intersecciones estudiadas, se desarrolló un cotejo de flujos de vehículos para turnos mañana, tarde y noche tomando presente sus horas punta, con el efecto de especificar el comportamiento y determinar en los turnos evaluados (tres) la hora más cargada, tal como se detalla en las Figuras 45 y 46; así mismo, en los Anexos C 44 al C 47, puntualizan para los días miércoles y viernes, por intersección.

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

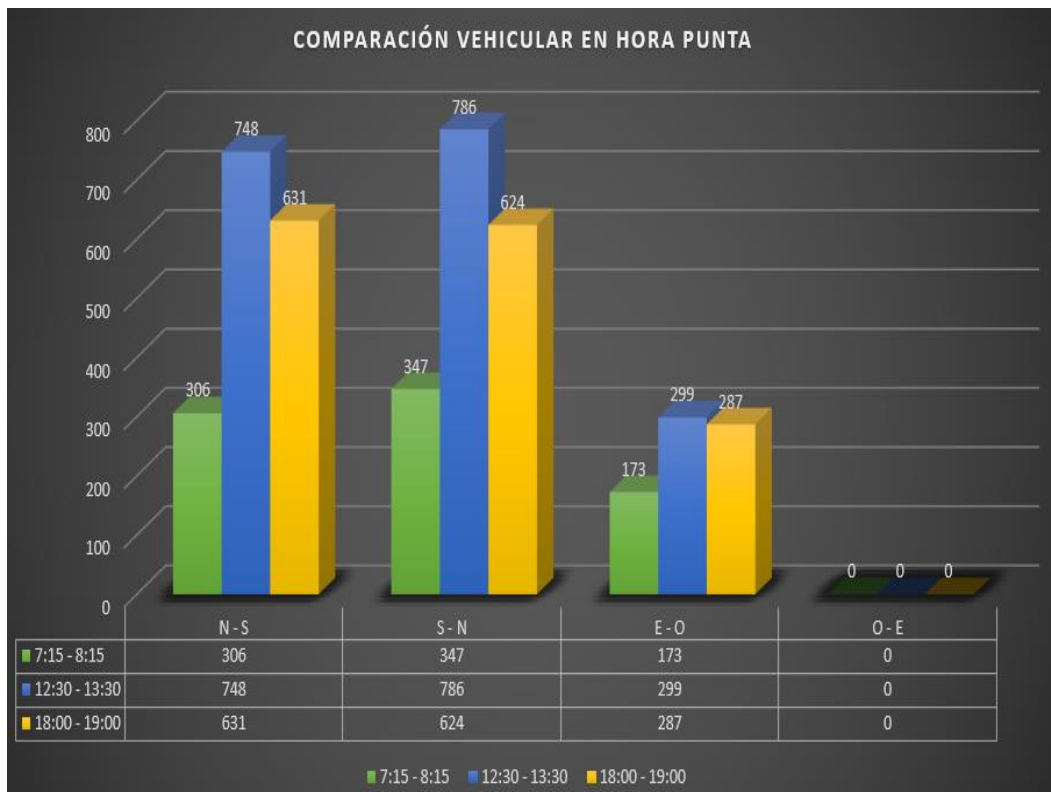


Figura 45: Conteo vehicular en horas pico (Para calles – Día lunes)

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

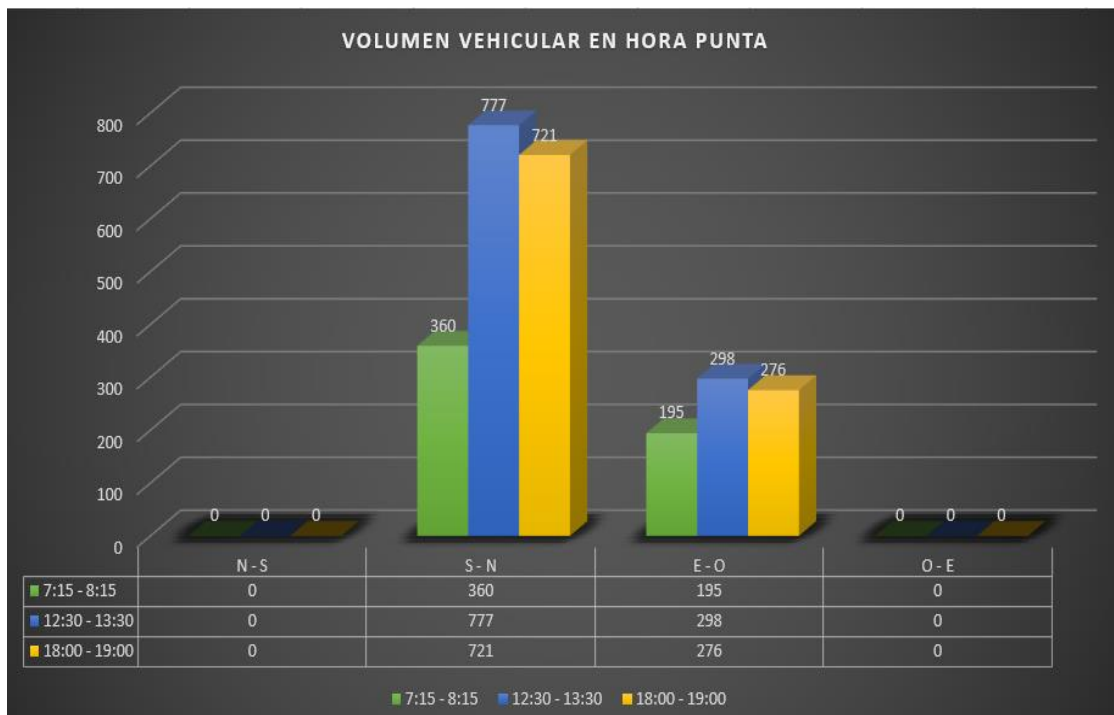


Figura 46: Cotejo vehicular en horas pico (Para avenida y calle – Día lunes)

Hacer hincapié que las Figuras 45 y 46 analizan los volúmenes vehiculares por acceso en horas punta, para dar lugar al turno u hora más cargado; así pues como ALI et al. (2021) que muestran gráfico de la demanda de tráfico medida para su período establecido; de igual manera con Li et al. (2021) que el flujo de tráfico de cada entrada se obtiene analizando y clasificando los datos del estudio de tráfico de la intersección. Como se pudo apreciar en las Figuras 45 y 46, se constató que con variados sentidos y horas punta, fueron cambiando tenuemente el conjunto vehicular, especificando como más crítico la tarde. De similitud media con Li et al. (2021) que ha tomado el flujo de tráfico en la hora pico de la mañana de la intersección como el volumen de tráfico representativo. Por tanto, para brindar conocimiento del actuar del flujo en las horas trabajadas, composición de vehículos y flujogramas de mañana, tarde y noche haciendo uso de la hora punta, se ostentan los Anexos C 48 al C 63, para cada intersección.

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

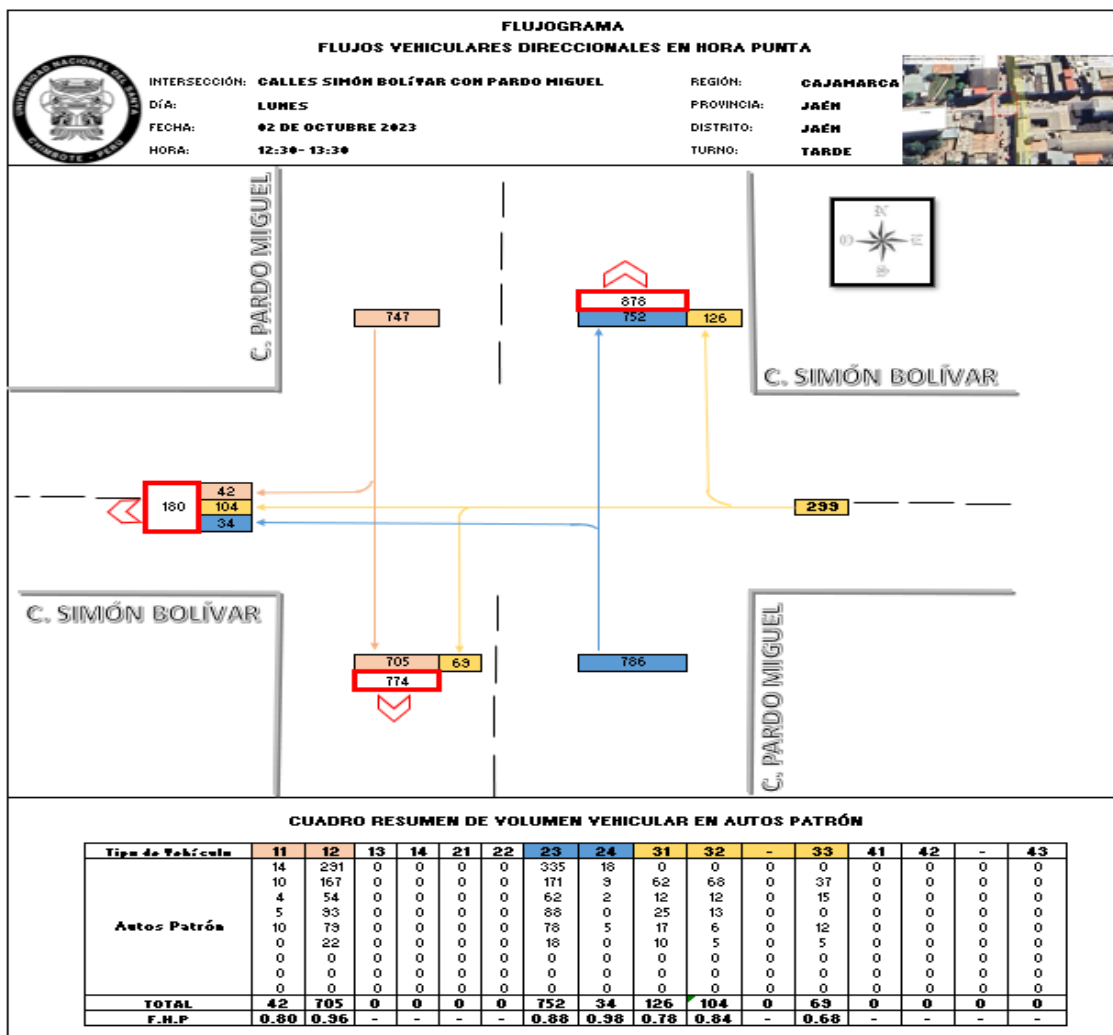


Figura 47: Horario punta (Lunes tarde) – Flujograma para calles

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

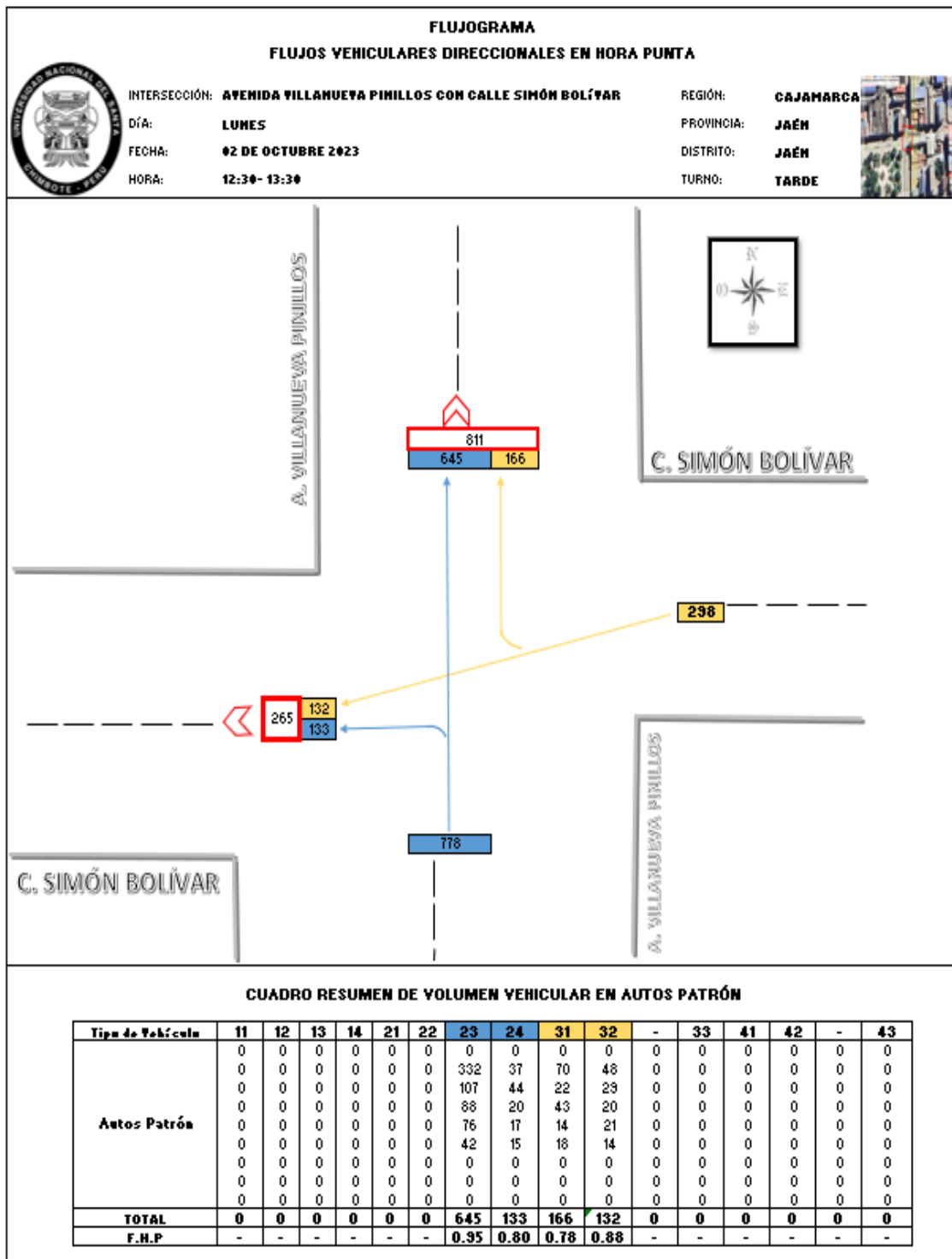


Figura 48: Horario punta (Lunes tarde) – Flujograma para avenida y calle

Además, las Figuras 47 y 48 muestran resultados del sentido y cantidad parcial y total del flujo a la izquierda, derecha y de frente, para posterior uso en demoras y ciclo óptimo; así pues Wijaya et al. (2019) constata para su intersección que hay 3 calles que tienen flujo

vehicular de doble sentido, la calle C. Simanjuntak es una calle de sentido único que va hacia el sur, por lo que no hay vehículos que se detengan a esperar el semáforo en rojo; así también Noval et al. (2018) muestra el diagrama de flujo para diseñar el método Webster. Donde, los datos del nivel de flujo de tráfico utilizados para cada fase son los datos del nivel de flujo de tráfico más alto para determinar el intervalo de ciclo óptimo y la duración efectiva de la luz verde; similarmente a Jiajia & Xingquan (2020) donde en su intersección hay giro a la izquierda, línea recta y giro a la derecha, el flujo de tráfico es en 3 direcciones; corroborando con Arjmand et al. (2021) que muestra las direcciones de su intersección y describe que las rutas 3 y 4 son de doble sentido, y las rutas 1 y 2 son unidireccionales, su ruta 1 tiene seis líneas; también tal como Hussain et al. (2020) que define las configuraciones de señales en las que los vehículos pueden seguir derecho, girar a la derecha o ambas; de igual modo Zhang et al. (2021) define cuatro direcciones, este, sur, oeste, y al norte, en las vías alrededor del actual cruce, en cada dirección, hay tres opciones: izquierda, recta y a la derecha, entonces hay 12 direcciones en su intersección; de manera similar para la intersección analizada por Savithramma et al. (2022) donde, su flujo de tráfico es permitido en todas las direcciones desde una carretera de aproximación en una fase. Así mismo, Li et al. (2021) calculó y analizó parámetros como dirección del camino de entrada, carriles rectos a la derecha, girar carril izquierdo; del mismo modo Chen & Chen (2022) plantea que con las proporciones del flujo de tráfico en diferentes direcciones, se puede realizar la conversión mutua entre el carril para girar a la izquierda y el carril para seguir recto. Por otro lado, Radivojević et al. (2021) considera para el caso de tráfico mixto, que todos los valores de flujos se obtendrán tras convertirlos en valores PCU equivalentes, corroborando con este estudio con denominaciones de auto patrón (usando equivalencias vehiculares). Ante ello, recalcar que también es usual lo que supone Wijaya et al. (2019) que los tipos de vehículos que pasan y analiza son sólo vehículos ligeros (automóviles) y motocicletas (MC), porque el número de vehículos pesados (HV) es muy pequeño en comparación con los vehículos livianos.

4.1.1.2.3. Características de semaforización

Después de un trabajo y análisis insitu, se presenta los Cuadros 36 al 39, especificando los datos corroborados, para ambas intersecciones:

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

Cuadro 36: Tiempo de las fases

Fase N°	Nombre de la vía	Acceso	Duración de fases			Longitud de ciclo
			Verde	Amarillo	Rojo	
1	C. Pardo Miguel	Norte (N)	24	3	25	52
		Sur (S)				
2	C. Simón Bolívar	Este (E)	22	3	27	52
		Oeste (O)				

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 37: Valores complemento de las fases

Síntesis complementaria de fases						
Fase N°	Nombre de la vía	Acceso	Tipo de operación	Botón peatonal	Verde peatonal	Plan de fases
1	C. Pardo Miguel	N - S	Constante	No	No	No
		S - N				
2	C. Simón Bolívar	E - O	Constante	No	No	No
		O - E				

FUENTE: Elaboración propia

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

Cuadro 38: Tiempo de las fases

Fase N°	Nombre de la vía	Acceso	Duración de fases			Longitud de ciclo
			Verde	Amarillo	Rojo	
1	A. Villanueva Pinillos	Norte (N)	21	3	23	47
		Sur (S)				
2	C. Simón Bolívar	Este (E)	20	3	24	47
		Oeste (O)				

FUENTE: Elaboración propia

Cuadro 39: Valores complemento de las fases

Síntesis complementaria de fases						
Fase N°	Nombre de la vía	Acceso	Tipo de operación	Botón peatonal	Verde peatonal	Plan de fases
1	A.	N - S				
	Villanueva Pinillos	S - N	Constante	No	No	No
2	C. Simón Bolívar	E - O				
		O - E	Constante	No	No	No

FUENTE: Elaboración propia

Los Cuadros 36 y 38 expresan datos del accionar actual de las fases en cuanto a sus tiempos de cada semáforo; al igual que An et al. (2022) para sus dos intersecciones analizadas, recopila la duración de las fases; similar con Li et al. (2021) que su tiempo real de la señal en la intersección tiene un período de 84 segundos, en cada fase, el tiempo de visualización de la luz verde es de 18 s, el tiempo de visualización de la luz amarilla es de 3 s; del mismo modo con Arjmand et al. (2021) que detalla su programación de semáforo (luz roja=21seg.; 30seg., luz verde=24seg.; 10seg.); corroborando con Zhang et al. (2021) donde su ciclo de la señal de intersección tiene un período de 141 s, una duración de luz intermitente amarilla de 2 s y una duración de luz roja completa de 3 s; de manera igual que Bashiri (2020) que contempla 4 fases y en todas, con tiempo verde de 10 seg., 2 seg. de ámbar y 36 seg. de rojo; así también con Prihantini et al. (2020) que su intersección utilizan 2 fases, donde para Bantul Street (sur) y Bantul Street (norte) la duración del rojo es 106 segundos, el amarillo de 3 segundos y el verde 32 segundos, para las calles Nacional III (este) y Nacional III (oeste), la duración del rojo es 103 segundos, el amarillo es 3 segundos y el verde de 28 segundos; así mismo Celis-Peñaranda et al. (2016) que realizaron las mediciones de los tiempos de encendido fijos de cada una de las luces, verde, roja y amarilla (Semáforo 1y2: Verde=37seg., Amarillo=1seg., Rojo=61seg.; Semáforo 3: Verde=54seg., Amarillo=1seg., Rojo=44seg.; semáforo 4: Verde=17seg., Amarillo=1seg., Rojo=81seg.). Además Yang et al. (2020) plantea espacios donde los vehículos pueden pasar el cruce en dirección norte-sur y deben detenerse en dirección este-oeste, y viceversa.

4.1.1.3. Determinación de demora y nivel de servicio - situación actual

Lo que se pretende en la situación actual es obtener como resultado final con valor cuantitativo-cualitativo, la demora y el nivel de operación que presenta una intersección mediante fórmula preestablecida y fuentes primarias.

Para esto se tuvo en cuenta inicialmente las condiciones geométricas, de tránsito y semaforización, ya calculadas en ítems anteriores; para pasar al análisis tradicional de la fórmula de Webster, cuyo objetivo es estimar el tiempo de demora, y por medio de este valor numérico clasificar su nivel de servicio mediante la metodología del HCM.

Recaltar que se ha tomado en cuenta las intersecciones básicas estudiadas para la generación de una base de datos, y que se ha determinado cantidades para cada turno (mañana, tarde, noche) y sentido o acceso, en los días lunes, miércoles y viernes; para posteriormente obtener una única demora (la máxima) y nivel de servicio que le pertenecería por intersección. Para mayor detalle y por haber sido el día más cargado, a continuación, en las Figuras 49 y 50 se enfocan los resultados del día lunes, en sus tres turnos, por sentido o acceso y para ambas intersecciones, así mismo los Cuadros 40 y 41 especifican el resumen y por ende la clasificación de cada intersección; los demás resultados se precisan en los Anexos D 1 al D 4.

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:



DEMORA POR ACCESO O SENTIDO Y NIVEL DE SERVICIO WEBSTER Y HCM												
	INTERSECCIÓN:		CALLES SIMÓN BOLÍVAR CON PARDO MIGUEL				REGIÓN:		CAJAMARCA			
	DÍA:		LUNES				PROVINCIA:		JAÉN			
	FECHA:		02 DE OCTUBRE 2023				DISTRITO:		JAÉN			
	TURNOS:		MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)									
Ítem	Turno	Nombre de la vía	Sentido	Número de carriles (NC)	Ancho de la vía (ANV)	Saturación (ST)	Variables				Demora (DM)	Nivel de servicio
							C	$Y=\lambda$	X	Q		
1	Mañana	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.30	358	8.75	A
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.33	396	8.90	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	52	0.42	0.04	72	8.79	A
2	Tarde	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.65	774	10.76	B
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.74	878	11.41	B
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	52	0.42	0.09	180	9.01	A
3	Noche	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.58	696	10.31	B
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.57	683	10.24	B
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	52	0.42	0.09	164	8.98	A

Figura 49: Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio (Lunes); adaptado del MTC y HCM

Cuadro 40: Resumen y clasificación de la intersección (calles)

Demora y nivel de servicio de intersección					
Día	Turno	Nombre de la vía	Sentido	Demora (s)	Nivel de servicio
Lunes	Mañana	C. Pardo Miguel	SN	11.41	B
		C. Simón Bolívar	NS		
		C. Simón Bolívar	EO		
		C. Pardo Miguel	SN		
	Tarde	C. Pardo Miguel	NS		
		C. Simón Bolívar	EO		
		C. Pardo Miguel	SN		
		C. Simón Bolívar	NS		
Miércoles	Mañana	C. Pardo Miguel	SN		
		C. Simón Bolívar	EO		
		C. Pardo Miguel	SN		
		C. Simón Bolívar	NS		
	Tarde	C. Simón Bolívar	EO		
		C. Pardo Miguel	SN		
		C. Simón Bolívar	NS		
		C. Pardo Miguel	EO		
Viernes	Mañana	C. Simón Bolívar	SN		
		C. Pardo Miguel	NS		
		C. Simón Bolívar	EO		
		C. Pardo Miguel	SN		
	Tarde	C. Simón Bolívar	NS		
		C. Pardo Miguel	EO		
		C. Simón Bolívar	SN		
		C. Pardo Miguel	NS		
Noche	C. Pardo Miguel	NS			
	C. Simón Bolívar	EO			

FUENTE: Elaboración propia

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:



DEMORA POR ACCESO O SENTIDO Y NIVEL DE SERVICIO WEBSTER Y HCM												
	INTERSECCIÓN:	AVENIDA VILLANUEVA PINILLOS CON CALLE SIMÓN BOLÍVAR				REGIÓN:	CAJAMARCA					
	DÍA:	LUNES				PROVINCIA:	JAÉN					
	FECHA:	02 DE OCTUBRE 2023				DISTRITO:	JAÉN					
	TURNOS:	MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)										
												
Ítem	Turno	Nombre de la vía	Sentido	Número de carriles (NC)	Ancho de la vía (ANV)	Saturación (ST)	Variables				Demora (DM)	Nivel de servicio
							C	Y=A	X	Q		
1	Mañana	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	47	0.45	0.14	375	7.67	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	47	0.43	0.09	181	8.05	A
2	Tarde	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	47	0.45	0.30	811	8.32	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	47	0.43	0.12	265	8.19	A
3	Noche	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	47	0.45	0.30	790	8.29	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	47	0.43	0.10	207	8.09	A

Figura 50: Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio (Lunes); adaptado del MTC y HCM

Cuadro 41: Resumen y clasificación de la intersección (avenida y calle)

Demora y nivel de servicio de intersección							
Día	Turno	Nombre de la vía	Sentido	Demora (s)	Nivel de servicio		
Lunes	Mañana	A. Villanueva Pinillos	SN				
		C. Simón Bolívar	EO				
	Tarde	A. Villanueva Pinillos	SN				
		C. Simón Bolívar	EO				
	Noche	A. Villanueva Pinillos	SN				
		C. Simón Bolívar	EO				
	Miércoles	Mañana	A. Villanueva Pinillos	SN			
			C. Simón Bolívar	EO			
Tarde		A. Villanueva Pinillos	SN	8.32		A	
		C. Simón Bolívar	EO				
Noche	A. Villanueva Pinillos	SN					
	C. Simón Bolívar	EO					

	Mañana	A. Villanueva Pinillos	SN
		C. Simón Bolívar	EO
	Tarde	A. Villanueva Pinillos	SN
Viernes		C. Simón Bolívar	EO
	Noche	A. Villanueva Pinillos	SN
		C. Simón Bolívar	EO

FUENTE: Elaboración propia

4.1.1.4. Determinación del tiempo de ciclo óptimo, demora y nivel de servicio - optimizado

Obtenida la demora y nivel de servicio de la situación actual, tocó predecir los valores del tiempo de ciclo óptimo a través de la fórmula clásica de Webster, para posteriormente volver a estimar demoras y niveles de servicio, pero ya optimizados; resaltar que se han hecho uso de datos pertenecientes a las características geométricas, de tránsito y semaforización, vistas en ítems atrás.

Recalcar que se ha tomado en cuenta las intersecciones básicas estudiadas para la generación de una base de datos, y que se ha determinado cantidades para cada turno (mañana, tarde, noche) y fases, en los días lunes, miércoles y viernes; para posteriormente obtener un único (máxima) tiempo de ciclo óptimo (por ende, tiempos semafóricos) y luego la optimización de una única demora (la máxima) y nivel de servicio que le pertenecería por intersección. Para mayor detalle y por haber sido el día más cargado, a continuación, en las Figuras 51 al 54 se enfocan los resultados del día lunes, en sus tres turnos, por fases y para ambas intersecciones, así mismo los Cuadros 42 al 45 especifican el resumen y por ende la clasificación de cada intersección; los demás resultados se precisan en los Anexos D 5 al D 12.

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

TIEMPO DE CICLO ÓPTIMO WEBSTER													
		INTERSECCIÓN: CALLES SIMÓN BOLÍVAR CON PARDO MIGUEL				REGIÓN: CAJAMARCA							
DÍA: LUNES		FECHA: 02 DE OCTUBRE 2023				PROVINCIA: JAÉN			DISTRITO: JAÉN				
TURNOS: MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)													
Turno: Mañana													
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámbar de fase(TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)
1	14	1	1.2	16.82	0.009	0.185	0.229	6	18	12	10	3	5
1	232	1	1	232.13	0.162								
1	334	1	1	333.80	0.185								
1	13	1	1.2	15.72	0.009	0.044					2	3	13
2	62	1	1.2	74.70	0.042								
2	45	1	1	45.00	0.025								
2	66	1	1.2	78.60	0.044								
Turno: Tarde													
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámbar de fase(TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)
1	42	1	1.2	50.83	0.028	0.418	0.502	6	28	22	18	3	7
1	705	1	1	705.39	0.352								
1	752	1	1	752.03	0.418								
1	34	1	1.2	40.28	0.022	0.084					4	3	21
2	126	1	1.2	151.20	0.084								
2	104	1	1	103.75	0.058								
2	69	1	1.2	83.10	0.048								
Turno: Noche													
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámbar de fase(TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)
1	29	1	1.2	35.06	0.019	0.335	0.397	6	23	17	14	3	6
1	602	1	1	602.15	0.335								
1	536	1	1	537.51	0.332								
1	26	1	1.2	31.78	0.018	0.063					3	3	17
2	85	1	1.2	101.40	0.056								
2	109	1	1	108.50	0.060								
2	94	1	1.2	113.10	0.063								

Figura 51: Tiempo de ciclo óptimo y tiempos semafóricos por fases (Lunes); adaptado del HCM

Cuadro 42: Resumen y selección del tiempo de ciclo óptimo y semafóricos (calles)

Demora y nivel de servicio de intersección						
Día	Turno	Fase	Tco	TVF	TA	TR
	Mañana					
	Tarde					
Lunes						
	Noche					
	Mañana					
	Tarde	1		18	3	7
Miércoles		2	28	4	3	21

Noche

Mañana

Tarde

Viernes

Noche

FUENTE: Elaboración propia



DEMORA POR ACCESO O SENTIDO Y NIVEL DE SERVICIO - OPTIMIZADOS WEBSTER Y HCM												
	INTERSECCIÓN: CALLES SIMÓN BOLÍVAR CON PARDO MIGUEL				REGIÓN: CAJAMARCA							
	DÍA: LUNES				PROVINCIA: JAÉN							
	FECHA: 02 DE OCTUBRE 2023				DISTRITO: JAÉN							
	TURNOS: MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)											
Ítem	Turno	Nombre de la vía	Sentido	Número de carriles (NC)	Ancho de la vía (ANV)	Saturación (ST)	Variables				Demora (DM)	Nivel de servicio
							C	Y=λ	X	Q		
1	Mañana	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	18	0.56	0.25	358	2.06	A
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	18	0.56	0.28	396	2.10	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	18	0.11	0.14	72	7.23	A
2	Tarde	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	28	0.64	0.47	774	2.55	A
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	28	0.64	0.53	878	2.70	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	28	0.14	0.28	180	10.71	B
3	Noche	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	23	0.61	0.44	696	2.41	A
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	23	0.61	0.43	683	2.39	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	23	0.13	0.28	164	9.02	A

Figura 52: Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio - optimizados (Lunes); adaptado del MTC y HCM

Cuadro 43: Resumen y clasificación de la intersección en estado optimizado (calles)

Demora y nivel de servicio de intersección optimizados					
Día	Turno	Nombre de la vía	Sentido	Demora (s)	Nivel de servicio
Lunes	Mañana	C. Pardo Miguel	SN		
			NS		
			EO		
	Tarde	C. Pardo Miguel	SN		
			NS		
			EO		
	Noche	C. Pardo Miguel	SN		
			NS		
			EO		

	Mañana		NS		
		C. Simón Bolívar	EO		
		C. Pardo Miguel	SN		
	Tarde		NS	10.71	B
Miércoles		C. Simón Bolívar	EO		
		C. Pardo Miguel	SN		
	Noche		NS		
		C. Simón Bolívar	EO		
			SN		
		C. Pardo Miguel	NS		
	Mañana		EO		
		C. Simón Bolívar	EO		
			SN		
		C. Pardo Miguel	NS		
Viernes	Tarde		EO		
		C. Simón Bolívar	EO		
			SN		
		C. Pardo Miguel	NS		
	Noche		EO		
		C. Simón Bolívar	EO		

FUENTE: Elaboración propia

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

TIEMPO DE CICLO ÓPTIMO WEBSTER																
	INTERSECCIÓN:	AVENIDA VILLANUEVA PINILLOS CON CALLE SIMÓN BOLÍVAR				REGIÓN:	CAJAMARCA									
	DÍA:	LUNES				PROVINCIA:	JAÉN									
	FECHA:	02 DE OCTUBRE 2023				DISTRITO:	JAÉN									
	TORNOS:	MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)														
Turno: Mañana																
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámbar de fase (TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)			
1	273	1	1	272.50	0.151		0.219	6	18	12	8	3	7			
1	88	1	1.2	105.00	0.058											
2	93	1	1	92.50	0.051											
2	102	1	1.2	122.40	0.068										4	3
Turno: Tarde																
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámbar de fase (TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)			
1	645	1	1	644.50	0.358		0.469	6	26	20	15	3	8			
1	133	1	1.2	159.30	0.089											
2	132	1	1	131.50	0.073											
2	166	1	1.2	199.20	0.111										5	3
Turno: Noche																
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámbar de fase (TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)			
1	631	1	1	630.75	0.350		0.456	6	26	20	15	3	8			
1	90	1	1.2	108.30	0.060											
2	117	1	1	117.00	0.065											
2	159	1	1.2	190.80	0.106										5	3

Figura 53: Tiempo de ciclo óptimo y tiempos semafóricos por fases (Lunes); adaptado del HCM

Cuadro 44: Resumen y selección del tiempo de ciclo óptimo y semafóricos (avenida y calle)

Demora y nivel de servicio de intersección						
Día	Turno	Fase	Tco	TVF	TA	TR
	Mañana					
	Tarde					
Lunes	Noche					
	Mañana					
	Tarde	1		15	3	8
Miércoles	Noche		26			
	Mañana	2		5	3	18
	Tarde					
Viernes	Noche					

FUENTE: Elaboración propia



DEMORA POR ACCESO O SENTIDO Y NIVEL DE SERVICIO - OPTIMIZADOS WEBSTER Y HCM												
	INTERSECCIÓN:	AVENIDA VILLANUEVA PINILLOS CON CALLE SIMÓN BOLÍVAR				REGIÓN:	CAJAMARCA					
	DÍA:	LUNES				PROVINCIA:	JAÉN					
	FECHA:	02 DE OCTUBRE 2023				DISTRITO:	JAÉN					
	TURNOS:	MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)										
												
Ítem	Turno	Nombre de la vía	Sentido	Número de carriles (NC)	Ancho de la vía (ANV)	Saturación (ST)	Variables				Demora (DM)	Nivel de servicio
							C	Y=λ	X	Q		
1	Mañana	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	18	0.44	0.14	375	2.96	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	18	0.22	0.16	181	5.65	A
2	Tarde	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	26	0.58	0.23	811	2.69	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	26	0.19	0.28	265	8.95	A
3	Noche	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	26	0.58	0.23	790	2.68	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	26	0.19	0.22	207	8.85	A

Figura 54: Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio - optimizados (Lunes); adaptado del MTC y HCM

Cuadro 45: Resumen y clasificación de la intersección en estado optimizado (avenida y calle)

Demora y nivel de servicio de intersección optimizados					
Día	Turno	Nombre de la vía	Sentido	Demora (s)	Nivel de servicio
Lunes	Mañana	C. Pardo Miguel	SN	8.95	A
			NS		
			EO		
			SN		
			NS		
			EO		
	Tarde	C. Simón Bolívar	SN		
			NS		
			EO		
			SN		
			NS		
			EO		
Noche	C. Pardo Miguel	SN			
		NS			
		EO			
		SN			
		NS			
		EO			
Miércoles	Tarde	C. Simón Bolívar	SN		
			NS		
			EO		
			SN		
			NS		
			EO		
Miércoles	Tarde	C. Pardo Miguel	SN		
			NS		
			EO		
			SN		
			NS		
			EO		

	Noche		NS
		C. Simón Bolívar	EO
			SN
		C. Pardo Miguel	NS
	Mañana	C. Simón Bolívar	EO
			SN
		C. Pardo Miguel	NS
Viernes	Tarde	C. Simón Bolívar	EO
			SN
		C. Pardo Miguel	NS
	Noche	C. Simón Bolívar	EO

FUENTE: Elaboración propia

Recalcar que si bien bajo enfoques tradicionales (Webster), es cierto que los tiempos de ciclos óptimos y semafóricos se han optimizado logrando reducir éstos y a la vez sus demoras han disminuido y aumentado para una y otra intersección, clasificando así con sus niveles de servicio; es preciso mencionar que existiendo un rango para el ciclo óptimo que va de 35 a 120 segundos (según ítem 2.2.1.5.5.), éstos no han sido satisfechos para ninguna intersección; por lo que no se programa un tiempo de ciclo adicional o ameritaría evaluar las zonas de estudio (aumento y disminución de flujos, y/o si es necesario la operación o no con semáforos); además se corrobora con Doçi et al. (2022) que logra disminuir sus longitudes de ciclo de 42 s. a 32 s. pero concluyen que si la intersección está equipada con semáforos y cargada con un mayor flujo de tráfico, entonces aumenta la eficiencia de funcionamiento de los semáforos y que se darían resultados opuestos en la situación fuera de las horas punta, es decir, cuando tenemos pequeños flujos de tráfico en cada carril de la intersección; de igual modo con Li et al. (2021) que disminuye su ciclo de 84 a 69 segundos y su tiempo de verde de 18 a 12 segundos; así mismo Wijaya et al. (2019) obtiene que el tiempo de ciclo también se puede reducir en un 14,8%, lo que significa que puede disminuir la duración del tiempo de espera. Particularmente en este estudio para la optimización de la demora y nivel de servicio a través de su reducción y/o mejora; compatibiliza con Li et al. (2021) ya que su retraso real de las intersecciones se reduce de 21,9 segundos a 17,3 segundos, el nivel de servicio ha aumentado del nivel C al nivel B, y la eficiencia del tráfico de los vehículos ha mejorado significativamente; así también con Wijaya et al. (2019) que encontró que la larga duración del retraso del vehículo se puede reducir en un 13,0% en

comparación con la duración actual de la medición directa. Por otro lado, en lo que respecta al incremento de la demora optimizada para una intersección debiendo haber disminuido, amerita estudiar en los puntos de intersección sus variaciones en flujos y/o tiempos de semáforo (ciclo y tiempo de verde), ya que al parecer los actuales no corresponden y pudiendo tomar la decisión de aceptarlos o evaluarlos.

4.1.2. Elaboración y ejecución de un sistema basado en los datos de representación del algoritmo

4.1.2.1. Desarrollo del algoritmo

4.1.2.1.1. Matriz de datos

La matriz de datos con 577 instancias y 16 variables extraídas de información científica, proporciona una base sólida para la investigación. La primera base de datos se recolectó en función de las variables que influyen en el tiempo de demora (ver Figura 55) y la segunda en función de variables que influyen en el tiempo de ciclo óptimo (ver Figura 56). Estas incluyen medidas como ancho de vía, tiempo de semáforo en verde, flujo de saturación, tiempo de ciclo, coeficiente de verde, grado de saturación, flujo del carril, tiempo de demora, número de fases, número de carriles, factor de equivalencia, flujo vehicular directo, flujo de saturación de la intersección, tiempo total perdido por ciclo, flujo peatonal y tiempo de ciclo óptimo, abarcan un espectro integral de factores relevantes para estudio del tránsito en intersecciones (ver Figuras 55, 56). Estas variables son similares a las recolectadas por diferentes investigadores, Shaikh et al. (2022), recogió las siguientes variables flujo vehicular, tasa del tráfico, longitud de la cola de vehículos, tiempos de parada y espera, congestión y el retraso del vehículo para determinar el tiempo de ciclo mediante algoritmos genéticos.

La Figura 55, muestra la base de datos para determinar el tiempo de demora (DM): ancho de vía (ANV) presentando valores entre 4 a 7 metros, tiempo de semáforo en verde (T) entre 10 a 29 segundos, flujo de saturación (ST) entre 1978.35 a 3675 Veh/h, tiempo de ciclo (C) entre 38 a 95 segundos, coeficiente de verde (Y) entre 0.158 a 0.441, grado de saturación (X) entre 0.072 a 4.36 y flujo del carril (Q) entre 64.51 a 2200 veh/h.

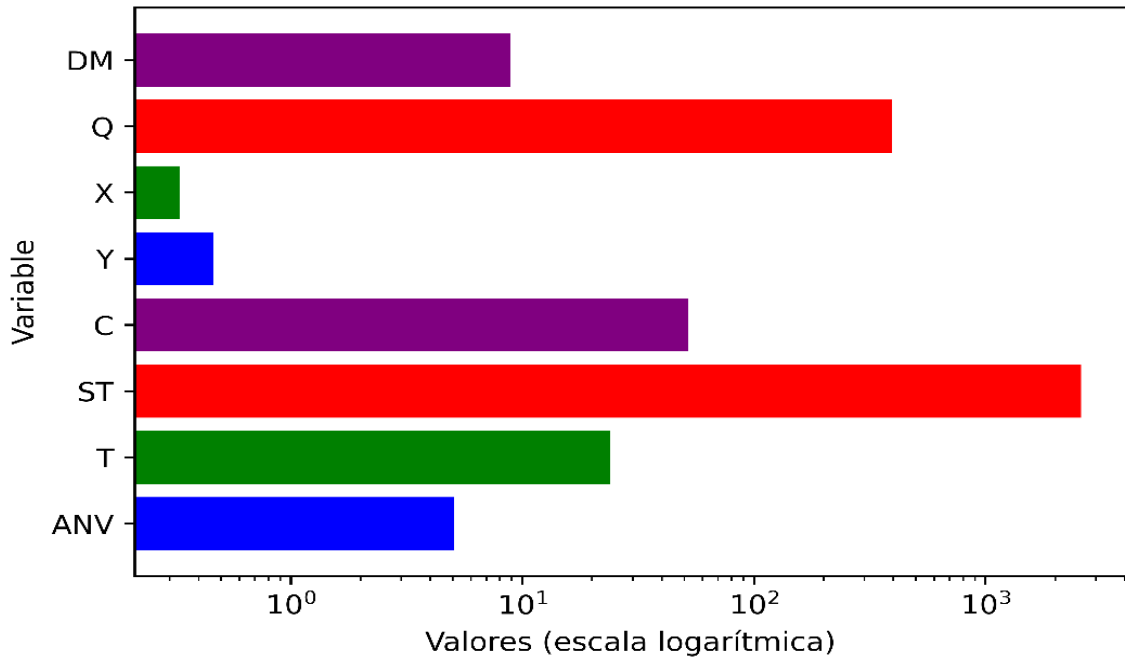


Figura 55: Base de datos de las variables que influyen en el tiempo de demora

La Figura 56, muestra la base de datos para determinar el tiempo de ciclo óptimo (T_{co}): número de fases (NF) presentando valores entre 1 a 10, número de carriles (NC) entre 1 a 4, factor de equivalencia (FE) entre 1 a 1.2, flujo vehicular directo (q) entre 16.8 y 1399.20 veh/h, flujo de saturación de la intersección (Y_i) entre 0.009 y 0.777, tiempo total perdido por ciclo (P) entre 4 a 40 segundos y flujo peatonal (AP) entre 21 a 50.

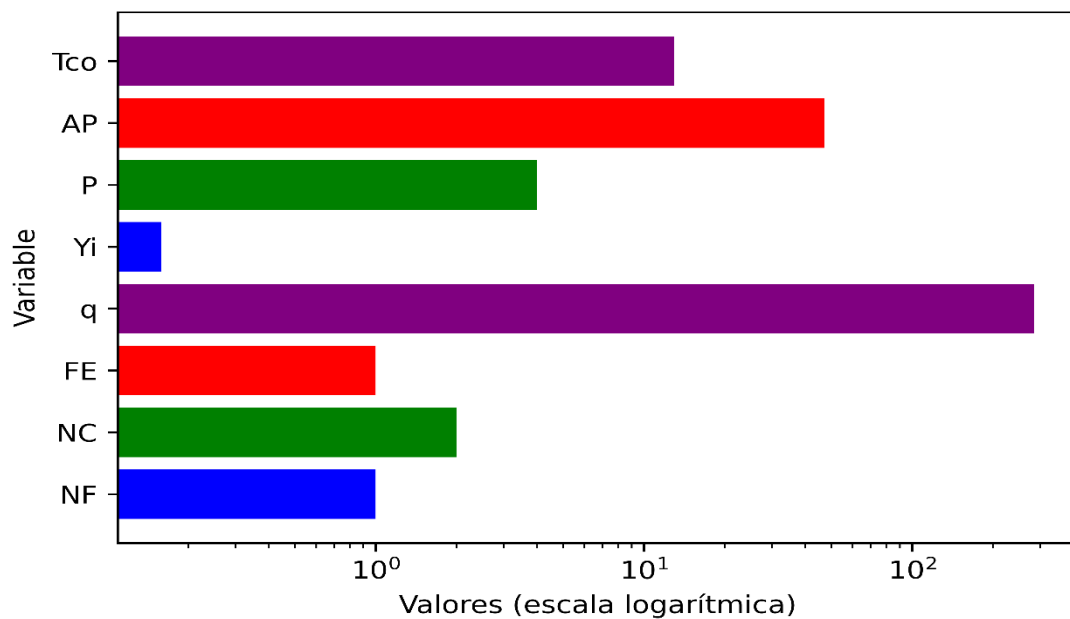


Figura 56: Base de datos de las variables que influyen en el tiempo de ciclo óptimo

4.1.2.1.2. Metodología KDD para minería de datos

Después de entrenar y validar los modelos MP_1, MP_2, MP_3, MP_4 y MP_5, distribuidos en dos grupos para determinar el tiempo de demora (MP_1, MP_3 y MP_5) y para el cálculo del tiempo de ciclo óptimo (MP_2 y MP_4) con los algoritmos RandomForest, Support, Vector Machine (SVM), KNeighbors, Multi-Layer Perceptron (MLP) y Gradient Bossting se obtuvo los siguientes estadísticos R y R². Estos indicadores desempeñan un papel fundamental en la evaluación del rendimiento de los modelos, proporcionando una medida cuantitativa de la calidad de las predicciones realizadas por cada algoritmo.

Modelo MP_1

El modelo estuvo conformado por las siguientes variables: Ancho de la vía, Tiempo de semáforo en verde, Saturación, Tiempo del ciclo, Coeficiente de verde, Grado de saturación y Flujo del carril para determinar el tiempo de demora. Se obtuvo un R² de 0.995, 0.689, 0.970, 0.788 y 0.964 para cada algoritmo respectivamente ver Cuadro 46.

Cuadro 46: Estadísticos de precisión de los algoritmos del modelo MP_1

Algoritmos	R	R ²
RandomForest	0.998	0.995
Support, Vector Machine	0.846	0.689
KNeighbors	0.985	0.970
Multi-Layer Perceptron	0.895	0.788
Gradient Bossting	0.991	0.964

FUENTE: Elaboración propia

Después del entrenamiento con el algoritmo Gradient Boosting se realizó la validación con la base de datos real, obteniéndose un R = 0.991 y R² = 0.964. Estos valores son similares a los obtenidos por Zakariya & Rabia (2016) de R² = 0.969 y mayor a Savithramma & Sumathi (2023) de R² = 0.900 mediante un algoritmo de regresión. Los valores destacan la capacidad del modelo para explicar y predecir de manera precisa las variaciones en el tiempo de demora.

El R toma valores de -1 y 1 mientras más cercano 1 o -1 la correlación entre las variables predictoras y la variable de interés será alta, y el R² indica la eficacia del modelo tomando valores de 0 y 1 para explicar la variabilidad observada en los datos reales, mientras este se acerca a 1 implica que el ajuste del modelo será mejor Cheng et al. (2016).

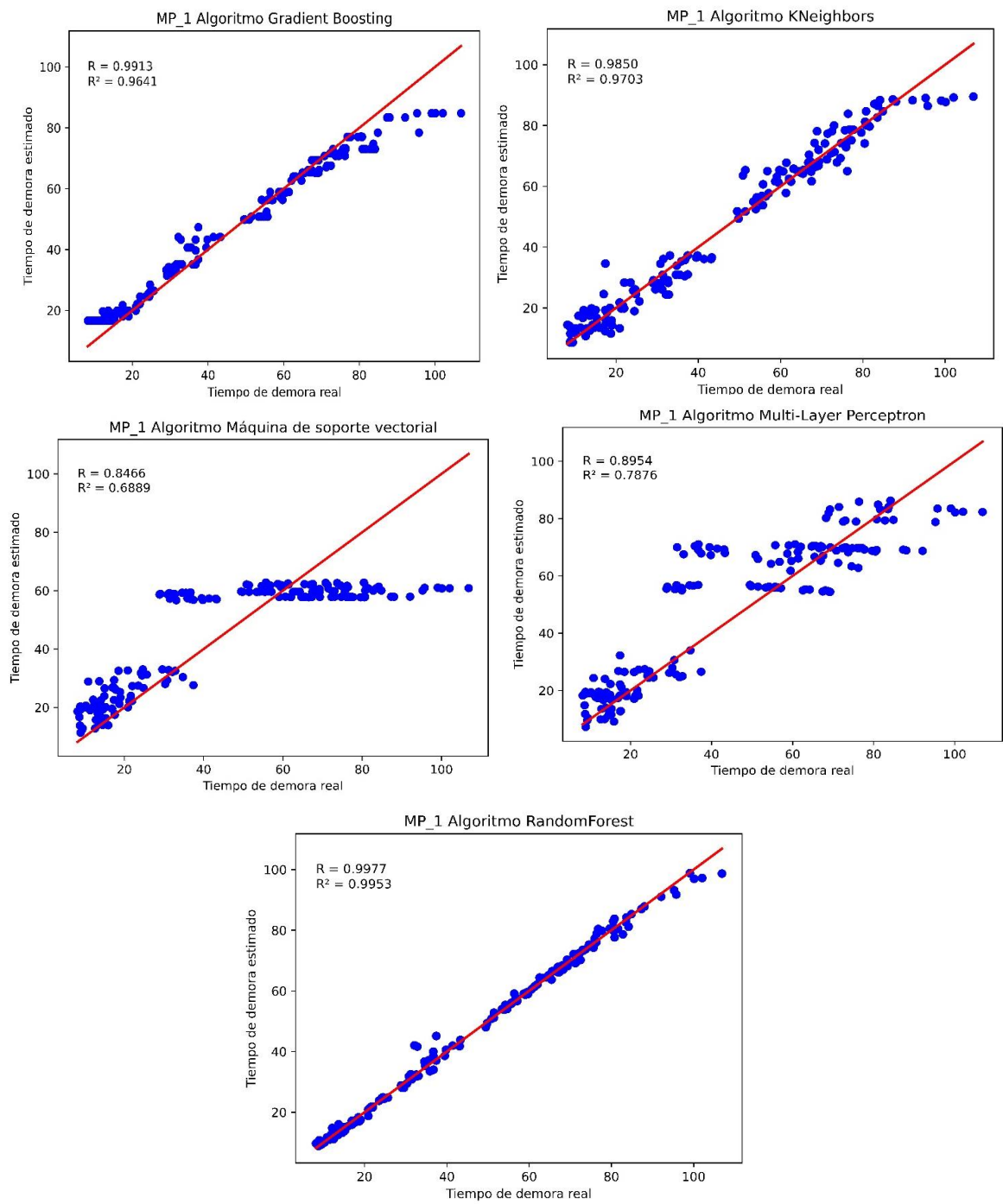


Figura 57: Precisión de los algoritmos del modelo MP_1

Modelo MP_2

El modelo estuvo conformado por las siguientes variables: Número de Fases, Flujo vehicular directo, Flujo de saturación de la intersección y el Tiempo total perdido por ciclo para determinar el tiempo de ciclo optimo.

Cuadro 47: Estadísticos de precisión de los algoritmos del modelo MP_2

Algoritmos	R	R ²
RandomForest	0.998	0.996
Support, Vector Machine	0.638	0.325
KNeighbors	0.943	0.884
Multi-Layer Perceptron	0.957	0.893
Gradient Bossting	0.983	0.910

FUENTE: Elaboración propia

La Cuadro 47 presenta los resultados de la aplicación de diferentes algoritmos de aprendizaje automático al conjunto de datos, evaluados mediante las métricas R y R². Se observa que el algoritmo RandomForest ha logrado un rendimiento alto, con valores de 0.998 y 0.996 para R y R², respectivamente, indicando una capacidad de predicción y ajuste del modelo a los datos, estos resultados son similares a Shelby (2004), quien optimizó el tiempo fijo de Webster, mediante los algoritmos COP-97 y ALLONS-D, con una precisión del 90% reduciendo la demora del tráfico en una intersección de los Estados Unidos, Zhang et al. (2021), mediante algoritmos genéticos mejorados reduce el retardo de intersección en un 15.64% con alta precisión. Por otro lado, Support Vector Machine muestra valores más bajos de 0.638 y 0.325, sugiriendo un rendimiento limitado en comparación con RandomForest.

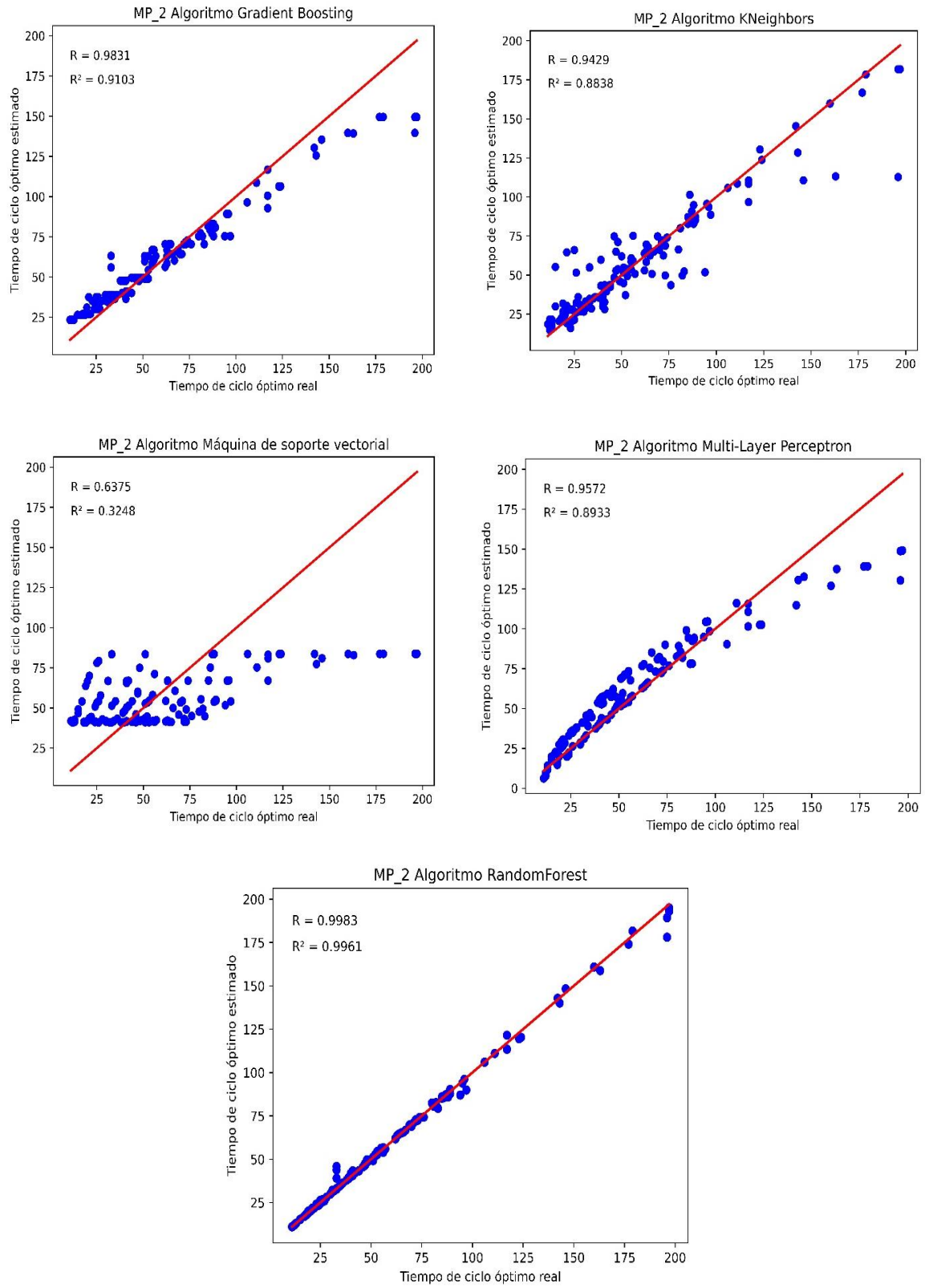


Figura 58: Precisión de los algoritmos del modelo MP_2

Modelo MP_3

El modelo estuvo conformado por las siguientes variables: Ancho de la vía, Tiempo del ciclo, Coeficiente de verde, Grado de saturación y Flujo del carril para determinar el tiempo de demora.

Cuadro 48: Estadísticos de precisión de los algoritmos del modelo MP_3

Algoritmos	R	R ²
RandomForest	0.998	0.995
Support, Vector Machine	0.861	0.734
KNeighbors	0.945	0.893
Multi-Layer Perceptron	0.885	0.746
Gradient Bossting	0.991	0.964

FUENTE: Elaboración propia

La Cuadro 48 presenta los resultados de la evaluación de distintos algoritmos de aprendizaje automático mediante las métricas R y R² en el conjunto de datos. Destaca el rendimiento extraordinario del algoritmo RandomForest, alcanzando valores de 0.998 para R y 0.995 para R², indicando una capacidad sobresaliente de predicción y ajuste del modelo a los datos, similar a Qin et al. (2020), quienes emplean aprendizaje automático para determinar los posibles puntos de congestión en toda la ciudad con una precisión del 85.5%. Support Vector Machine muestra un desempeño sólido con valores de 0.861 para R y 0.734 para R², evidenciando una buena capacidad predictiva, de igual modo a Majstorović et al. (2023), quienes emplean Maquinas de soporte vectorial para la predicción del tráfico a corto plazo con una precisión de R² = 96%. KNeighbors exhibe un rendimiento notable con R y R² de 0.945 y 0.893, respectivamente. Multi-Layer Perceptron y Gradient Boosting presentan valores intermedios, con R y R² de 0.885, 0.746 y 0.991, 0.964, respectivamente. Estos resultados proporcionan una visión detallada de la eficacia relativa de cada algoritmo en el contexto del conjunto de datos, informando así la toma de decisiones en la selección de los modelos.

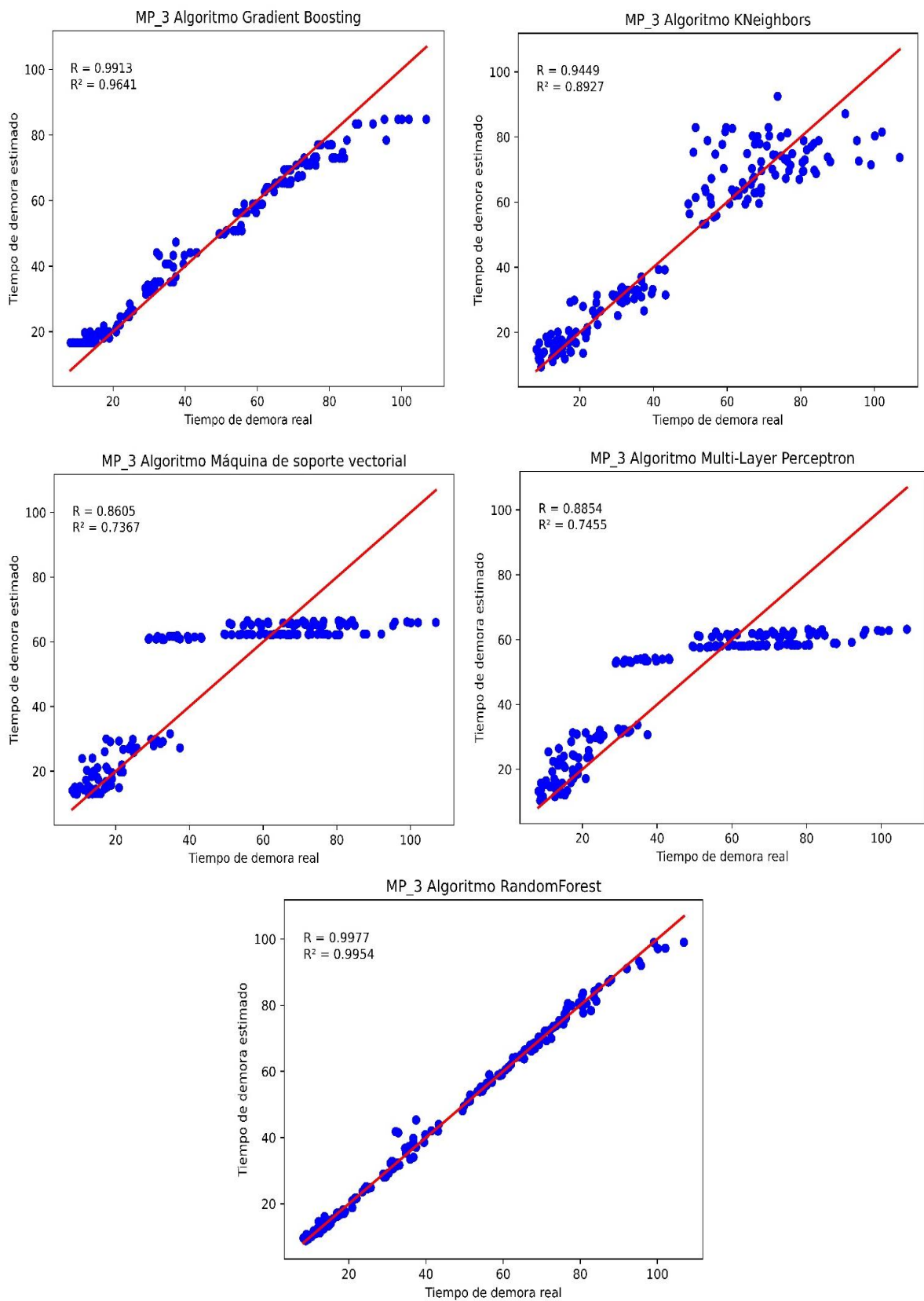


Figura 59: Precisión de los algoritmos del modelo MP_3

Modelo MP_4

El modelo estuvo conformado por las siguientes variables: Número de Fases, Flujo de saturación de la intersección y Tiempo total perdido por ciclo, para determinar el tiempo de ciclo optimo.

Cuadro 49: Estadísticos de precisión de los algoritmos del modelo MP_4

Algoritmos	R	R ²
RandomForest	0.998	0.996
Support, Vector Machine	0.753	0.447
KNeighbors	0.993	0.981
Multi-Layer Perceptron	0.918	0.814
Gradient Bossting	0.983	0.912

FUENTE: Elaboración propia

La Cuadro 49, presenta los resultados de la evaluación de varios algoritmos de aprendizaje automático en función de las métricas R y R², aplicadas al conjunto de datos. El algoritmo RandomForest tiene alto rendimiento con valores de 0.998 para R y 0.996 para R², indicando una capacidad significativa de predicción y ajuste preciso del modelo a los datos. A su vez, KNeighbors demuestra un desempeño notable con R y R² de 0.993 y 0.981, respectivamente, sugiriendo una excelente capacidad predictiva y ajuste al conjunto de datos. Por otro lado, Support Vector Machine presenta resultados inferiores con valores de 0.753 para R y 0.447 para R², señalando una capacidad predictiva y de ajuste relativamente menor en comparación con otros algoritmos evaluados. Multi-Layer Perceptron y Gradient Boosting muestran resultados intermedios, con R y R² de 0.918, 0.814 y 0.983, 0.912, respectivamente. Estos hallazgos proporcionan una comprensión detallada de la eficacia relativa de cada algoritmo en el contexto del conjunto de datos, facilitando la selección informada del modelo.

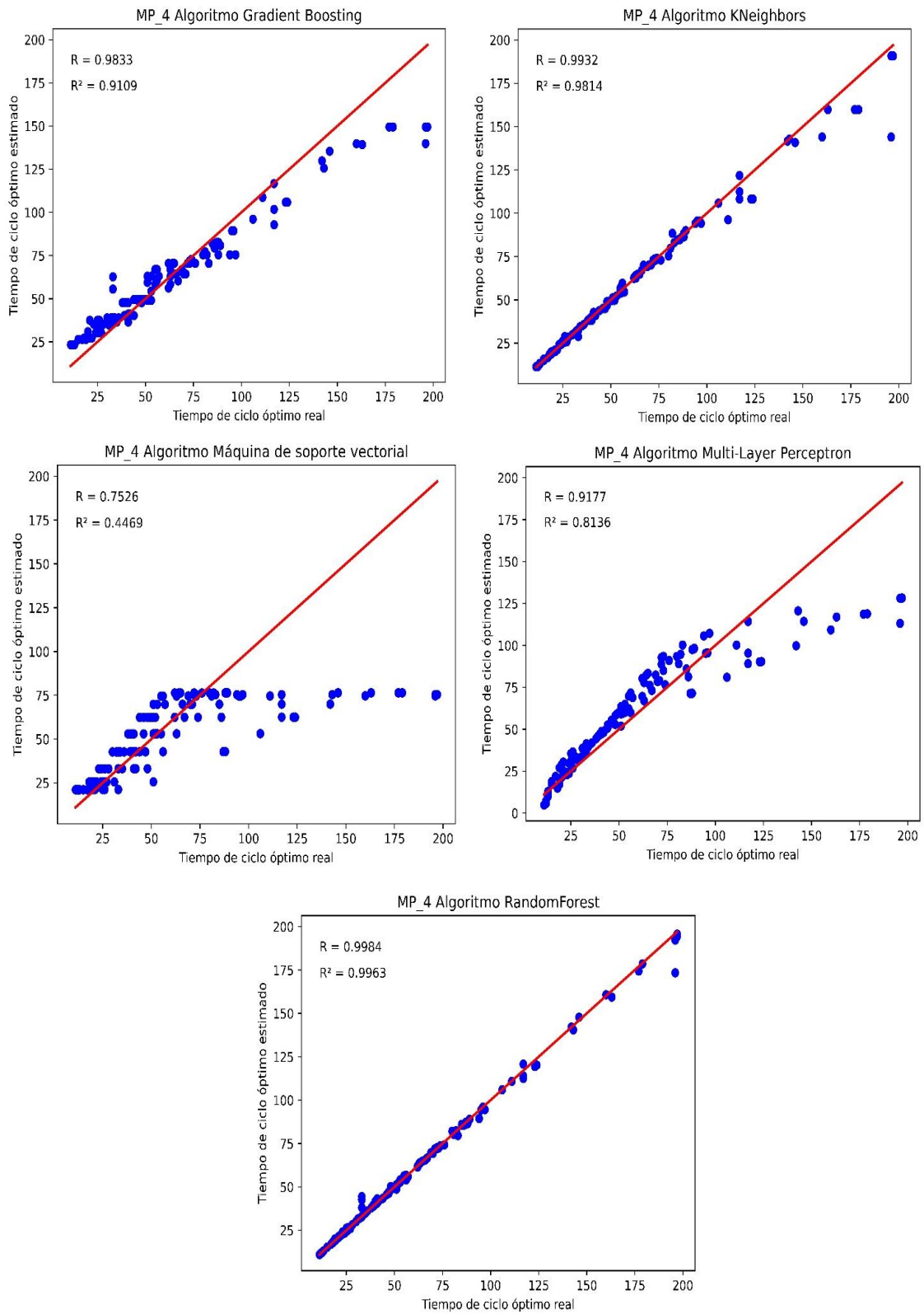


Figura 60: Precisión de los algoritmos del modelo MP_4

Modelo MP_5

El modelo estuvo conformado por las siguientes variables: Tiempo del ciclo, Coeficiente de verde, Grado de saturación y Flujo del carril para determinar el tiempo de demora.

Cuadro 50: Estadísticos de precisión de los algoritmos del modelo MP_5

Algoritmos	R	R ²
RandomForest	0.995	0.990
Support, Vector Machine	0.860	0.737
KNeighbors	0.943	0.888
Multi-Layer Perceptron	0.875	0.748
Gradient Bossting	0.985	0.954

FUENTE: Elaboración propia

La Cuadro 50, presenta los resultados de la evaluación de los algoritmos de aprendizaje automático utilizando las métricas R y R² en un conjunto de datos específico. El algoritmo RandomForest muestra un rendimiento destacado con valores de 0.995 para R y 0.990 para R², indicando una capacidad significativa de predicción y ajuste preciso del modelo a los datos. KNeighbors también exhibe un desempeño notable con R y R² de 0.943 y 0.888, respectivamente, sugiriendo una buena capacidad predictiva y ajuste al conjunto de datos. Por otro lado, Support Vector Machine y Multi-Layer Perceptron presentan resultados más modestos con valores de 0.860, 0.737 y 0.875, 0.748 para R y R², respectivamente. Estos valores indican una capacidad predictiva y de ajuste relativamente menor en comparación con los algoritmos mencionados anteriormente. Finalmente, Gradient Boosting muestra un rendimiento sólido con R y R² de 0.985 y 0.954, respectivamente, destacando su capacidad para realizar predicciones precisas y ajustarse bien a los datos. En resumen, estos resultados proporcionan información valiosa sobre la eficacia relativa de cada algoritmo en el contexto del conjunto de datos evaluado.

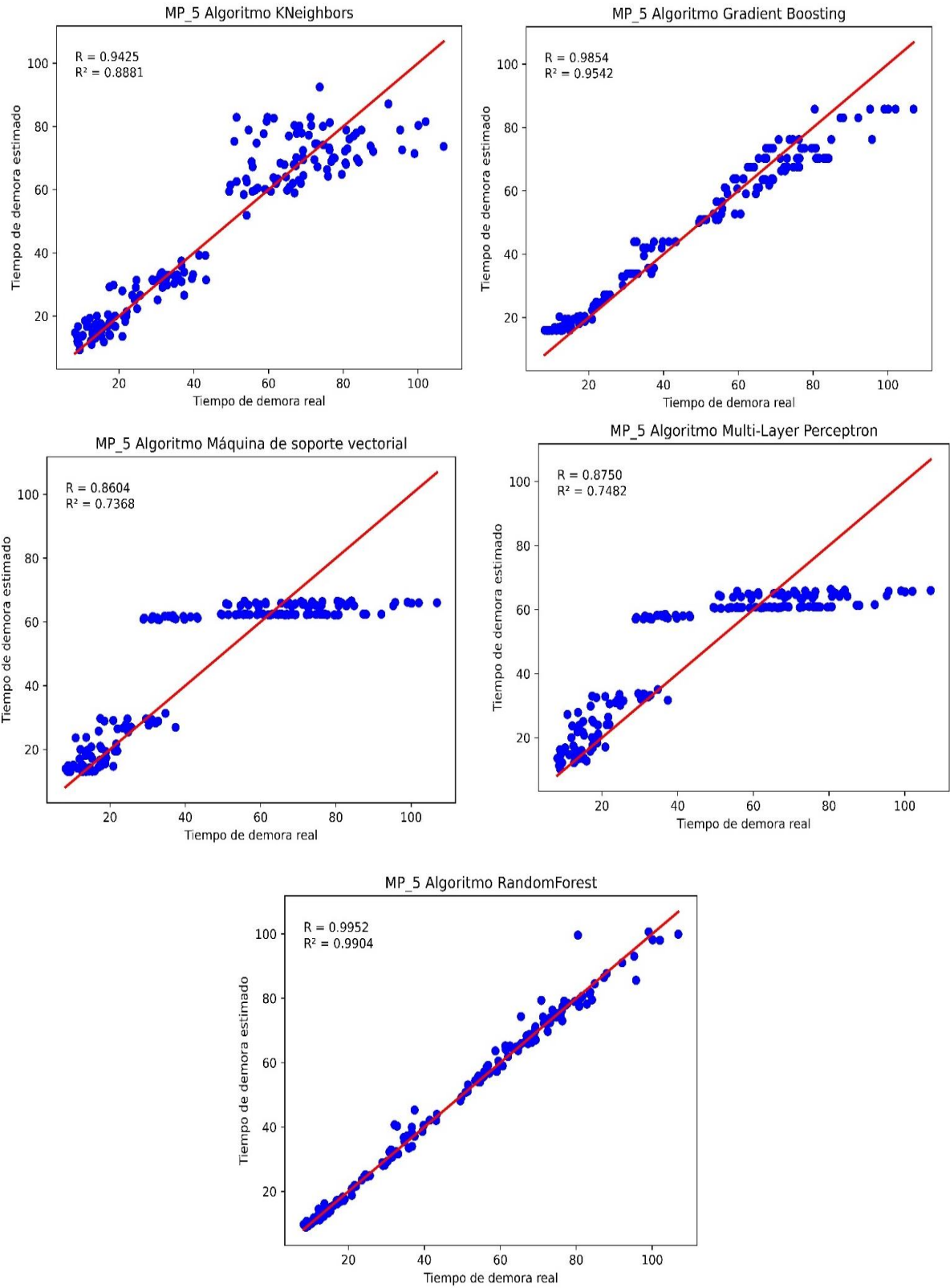


Figura 61: Precisión de los algoritmos del modelo MP_5

4.1.2.1.3. Validación de los algoritmos

Durante el proceso de entrenamiento, se observó que los modelos con alta precisión fueron el MP_1, empleando el algoritmo RandomForest, con un R^2 de 0.995 para la estimación del tiempo de demora (ver Figura 62), y el MP_2, con el algoritmo RandomForest, con un R^2 de 0.996 para la determinación del tiempo de ciclo óptimo (ver Figura 63). Estos algoritmos se utilizaron para el desarrollo del sistema, se guardaron en formato “joblib” y se exportaron a la extensión “ONNX”.

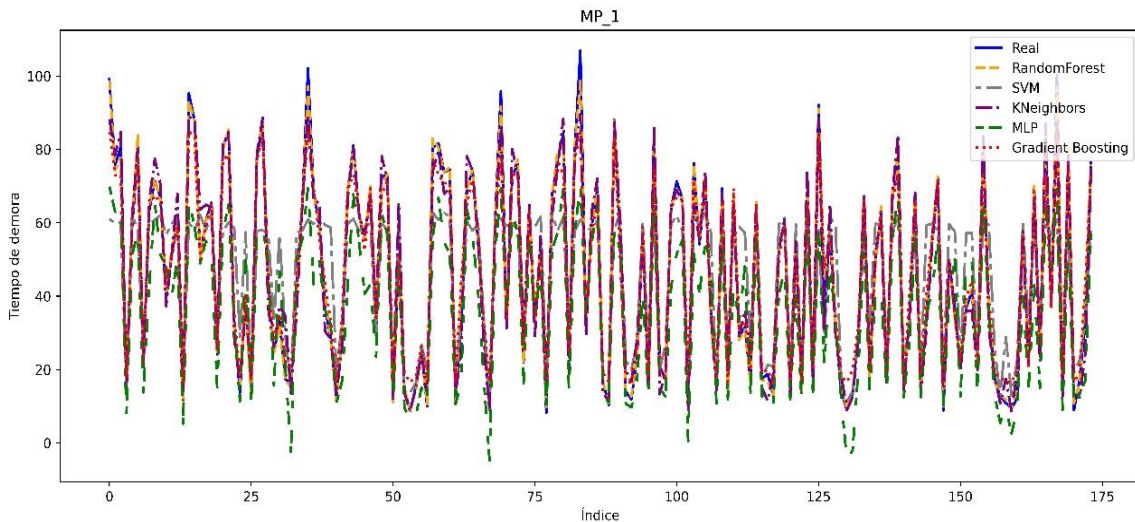


Figura 62: Validación de los cinco algoritmos del modelo MP_1

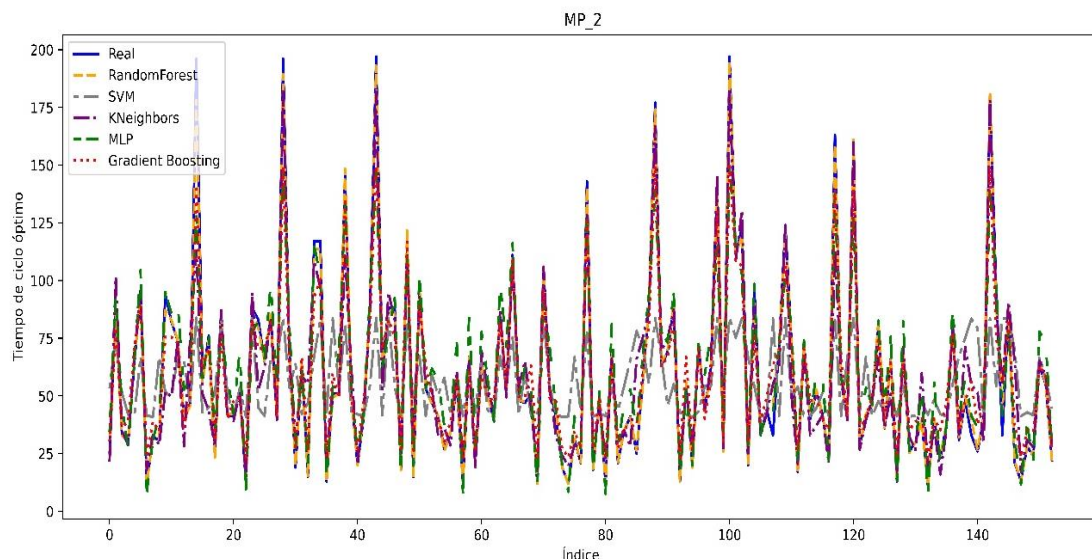


Figura 63: Validación de los cinco algoritmos del modelo MP_2

Resaltar que las Figuras 62 y 63 respecto a la validación, usando algoritmos de aprendizaje, caracterizan a RandomForest como el algoritmo que ha logrado alta precisión teniendo en cuenta su puntuación R^2 ; de manera similar con Savithramma et al. (2022) que lo sitúa con rango alto, en su análisis comparativo de algoritmos en el proceso de sistemas de control adaptativo de señales de tráfico para una intersección en la ciudad de Tumakuru – India; así mismo, An et al. (2022) recalca que en su proceso de establecer la validez del modelo, el algoritmo GRI optimizó el funcionamiento; además Arjmand et al. (2021) valida su modelo simulado comparando los datos durante 3 horas en diferentes días y en tiempos de congestión, luego resultando que el modelo es válido; con ello Hambli et al. (2021) menciona que todos los algoritmos, están validados mediante simuladores de tráfico que se han implementado en lenguaje java; también de la Cruz (2019), en su proceso de validación, ha implementado un sistema multiagente emulado programado en Python el cual se comunica con el simulador de tráfico SUMO.

4.1.2.1.4. Algoritmos: Códigos Python de desarrollo y validación - Tiempos de demora y ciclo óptimo

a) Tiempo de demora:

LIBRERIAS

Principales

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
from sklearn import tree
import numpy as np
from sklearn.model_selection import cross_val_score
from IPython.display import Image as PImage
from subprocess import check_call
from PIL import Image, ImageDraw, ImageFont
import graphviz
from sklearn import metrics
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.linear_model import LogisticRegression
from sklearn.decomposition import PCA
from pylab import rcParams
from imblearn.under_sampling import NearMiss
from imblearn.over_sampling import RandomOverSampler
from imblearn.combine import SMOTETomek
from imblearn.ensemble import BalancedBaggingClassifier
from collections import Counter
```

Complementarias

```
!pip install joblib
```

```
pip install scikit-learn joblib onnxmltools
```

```
pip install skl2onnx
```

IMPORTAR LA DATA

```
from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')
```

```
Mounted at /content/drive
```

```
df=pd.read_csv('/content/drive/MyDrive/MP_1.csv')
df.sample(15)
```

SELECCION DE VARIABLES

```
X=df.drop(columns='DM')
Y=df.DM
```

```
from sklearn.model_selection import train_test_split
X_train, X_test, Y_train, Y_test=train_test_split(X,Y,train_size=0.70, shuffle=True ,random_state=100)
```

```
#ALGORITMOS
```

RandomForest

```
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
from sklearn.metrics import r2_score
import numpy as np
```

```
# Crear y entrenar el modelo
```

```
rf_model = RandomForestRegressor(
    n_estimators=50, # Número de árboles en el bosque
    max_depth=None, # Profundidad máxima de cada árbol (None significa sin límite)
    min_samples_split=3, # Número mínimo de muestras requeridas para dividir un nodo interno
    min_samples_leaf=2, # Número mínimo de muestras requeridas para estar en un nodo hoja
    random_state=42
)
rf_model.fit(X_train, Y_train)
```

```
# Realizar predicciones en el conjunto de prueba
```

```
y_pred = rf_model.predict(X_test)
```

```
# Calcular el coeficiente de correlación (r)
```

```
correlation_coefficient = np.corrcoef(Y_test, y_pred)[0, 1]
print(f'Coeficiente de correlación (r): {correlation_coefficient}')
```

```
# Calcular el coeficiente de determinación (r^2)
```

```

r2 = r2_score(Y_test, y_pred)
print(f'Coeficiente de determinación (r^2): {r2}')

Coeficiente de correlación (r): 0.9976827071607397
Coeficiente de determinación (r^2): 0.9953276819945163

# Agregar r y R^2 en la gráfica
plt.text(min(Y_test), max(y_pred), f'R = {correlation_coefficient:.4f}', fontsize=10, color='black')
plt.text(min(Y_test), max(y_pred) - 5, f'R^2 = {r2:.4f}', fontsize=10, color='black')

# Graficar los valores reales vs predichos
plt.scatter(Y_test, y_pred, color='blue')
plt.plot([min(Y_test), max(Y_test)], [min(Y_test), max(Y_test)], linestyle='-', color='red', linewidth=2)
plt.xlabel('Tiempo de demora real')
plt.ylabel('Tiempo de demora estimado')
plt.title('MP_5 Algoritmo RandomForest')
plt.savefig('MP_5 Algoritmo RandomForest.jpg', dpi=900)
plt.show()

png

```

Máquinas de soporte vectorial

```

from sklearn.svm import SVR
from sklearn.metrics import r2_score
import numpy as np

# Configurar los parámetros del modelo
svm_params = {
    'kernel': 'rbf', # Tipo de kernel ('linear', 'poly', 'rbf', 'sigmoid', etc.)
    'C': 1.0, # Parámetro de regularización
    'epsilon': 0.1, # Tolerancia de la función de pérdida
    'gamma': 'scale', # Coeficiente del kernel para 'rbf', 'poly', y 'sigmoid'
}

# Crear y entrenar el modelo SVM
svm_model = SVR(**svm_params)
svm_model.fit(X_train, Y_train)

# Realizar predicciones en el conjunto de prueba
y_pred_svm = svm_model.predict(X_test)

# Calcular el coeficiente de correlación (r)
correlation_coefficient_svm = np.corrcoef(Y_test, y_pred_svm)[0, 1]
print(f'Coeficiente de correlación (r) con SVM: {correlation_coefficient_svm}')

# Calcular el coeficiente de determinación (r^2) con SVM
r2_svm = r2_score(Y_test, y_pred_svm)
print(f'Coeficiente de determinación (r^2) con SVM: {r2_svm}')

```

Coefficiente de correlación (r) con SVM: 0.860533489574642
Coefficiente de determinación (r²) con SVM: 0.7366734999817575

```
# Agregar r y R^2 en la gráfica
plt.text(min(Y_test), max(y_pred), f'R = {correlation_coefficient_svm:.4f}', fontsize=10, color='black')
plt.text(min(Y_test), max(y_pred) - 5, f'R^2 = {r2_svm:.4f}', fontsize=10, color='black')

# Graficar los valores reales vs predichos
plt.scatter(Y_test, y_pred_svm, color='blue')
plt.plot([min(Y_test), max(Y_test)], [min(Y_test), max(Y_test)], linestyle='-', color='red', linewidth=2)
plt.xlabel('Tiempo de demora real')
plt.ylabel('Tiempo de demora estimado')
plt.title('MP_5 Algoritmo Máquina de soporte vectorial')
plt.savefig('MP_5 Algoritmo Máquina de soporte vectorial.jpg', dpi=900)
plt.show()
```

KNeighbors

```
from sklearn.neighbors import KNeighborsRegressor
from sklearn.metrics import r2_score
import numpy as np

# Configurar los parámetros del modelo
knn_params = {
    'n_neighbors': 5, # Número de vecinos (puedes ajustar este valor)
    'weights': 'uniform', # Peso asignado a los vecinos ('uniform' o 'distance')
    'algorithm': 'auto', # Algoritmo para calcular los vecinos más cercanos ('auto', 'ball_tree', 'kd_tree', 'brute')
    'leaf_size': 30, # Tamaño de hoja para algoritmos de árbol (solo para 'ball_tree' o 'kd_tree')
}

# Crear y entrenar el modelo KNN
knn_model = KNeighborsRegressor(**knn_params)
knn_model.fit(X_train, Y_train)

# Realizar predicciones en el conjunto de prueba
y_pred_knn = knn_model.predict(X_test)

# Calcular el coeficiente de correlación (r)
correlation_coefficient_knn = np.corrcoef(Y_test, y_pred_knn)[0, 1]
print(f'Coeficiente de correlación (r) con KNN: {correlation_coefficient_knn}')

# Calcular el coeficiente de determinación (r^2) con KNN
r2_knn = r2_score(Y_test, y_pred_knn)
print(f'Coeficiente de determinación (r^2) con KNN: {r2_knn}')
```


Coefficiente de correlación (r) con KNN: 0.9448625456610913
Coefficiente de determinación (r²) con KNN: 0.8926521764768104

```
# Agregar r y R^2 en la gráfica
plt.text(min(Y_test), max(y_pred), f'R = {correlation_coefficient_knn:.4f}', fontsize=10, color='black')
plt.text(min(Y_test), max(y_pred) - 5, f'R^2 = {r2_knn:.4f}', fontsize=10, color='black')

# Graficar los valores reales vs predichos
plt.scatter(Y_test, y_pred_knn, color='blue')
plt.plot([min(Y_test), max(Y_test)], [min(Y_test), max(Y_test)], linestyle='-', color='red', linewidth=2)
plt.xlabel('Tiempo de demora real')
plt.ylabel('Tiempo de demora estimado')
plt.title('MP_5 Algoritmo KNeighbors')
plt.savefig('MP_5 Algoritmo KNeighbors.jpg', dpi=900)
plt.show()
```

Multi-Layer Perceptron

```
from sklearn.neural_network import MLPRegressor
from sklearn.metrics import r2_score
import numpy as np

# Configurar los parámetros internos
mlp_params = {
    'hidden_layer_sizes': (100,), # Tamaño de la capa oculta
    'activation': 'relu', # Función de activación ('relu', 'tanh', 'logistic', etc.)
    'solver': 'adam', # Optimizador ('adam', 'sgd', 'lbfgs', etc.)
    'alpha': 0.0001, # Término de regularización para evitar el sobreajuste
    'learning_rate': 'constant', # Tasa de aprendizaje ('constant', 'adaptive', 'invscaling')
    'max_iter': 1000 # Número máximo de iteraciones
}

# Crear y entrenar el modelo de Red Neuronal MLP
mlp_model = MLPRegressor(**mlp_params)
mlp_model.fit(X_train, Y_train)

# Realizar predicciones en el conjunto de prueba
y_pred_mlp = mlp_model.predict(X_test)

# Calcular el coeficiente de correlación (r)
correlation_coefficient_mlp = np.corrcoef(Y_test, y_pred_mlp)[0, 1]
print(f'Coeficiente de correlación (r) con MLP: {correlation_coefficient_mlp}')

# Calcular el coeficiente de determinación (r^2) con MLP
r2_mlp = r2_score(Y_test, y_pred_mlp)
print(f'Coeficiente de determinación (r^2) con MLP: {r2_mlp}')

Coeficiente de correlación (r) con MLP: 0.8908065692790791
Coeficiente de determinación (r^2) con MLP: 0.7555954748160907
```

```

# Agregar r y R^2 en la gráfica
plt.text(min(Y_test), max(y_pred), f'R = {correlation_coefficient_mlp:.4f}', fontsize=10, color='black')
plt.text(min(Y_test), max(y_pred) - 5, f'R^2 = {r2_mlp:.4f}', fontsize=10, color='black')

# Graficar los valores reales vs predichos
plt.scatter(Y_test, y_pred_mlp, color='blue')
plt.plot([min(Y_test), max(Y_test)], [min(Y_test), max(Y_test)], linestyle='-', color='red', linewidth=2)
plt.xlabel('Tiempo de demora real')
plt.ylabel('Tiempo de demora estimado')
plt.title('MP_5 Algoritmo Multi-Layer Perceptron')
plt.savefig('MP_5 Algoritmo Multi-Layer Perceptron.jpg', dpi=900)
plt.show()

```

Gradient Boosting

```

from sklearn.ensemble import GradientBoostingRegressor
from sklearn.metrics import r2_score
import numpy as np

```

```

# Configurar los parámetros internos

```

```

params = {
    'n_estimators': 10, # Número de árboles en el bosque
    'learning_rate': 0.2, # Tasa de aprendizaje
    'max_depth': 2, # Profundidad máxima de los árboles
    'min_samples_split': 4, # Número mínimo de muestras requeridas para dividir un nodo interno
    'min_samples_leaf': 1, # Número mínimo de muestras requeridas para estar en un nodo hoja
    'subsample': 1.0 # Fracción de muestras utilizadas para ajustar los árboles
}

```

```

# Crear y entrenar el modelo Gradient Boosting con los parámetros configurados

```

```

gb_model = GradientBoostingRegressor(**params)
gb_model.fit(X_train, Y_train)

```

```

# Realizar predicciones en el conjunto de prueba

```

```

y_pred_gb = gb_model.predict(X_test)

```

```

# Calcular el coeficiente de correlación (r)

```

```

correlation_coefficient_gb = np.corrcoef(Y_test, y_pred_gb)[0, 1]
print(f'Coeficiente de correlación (r) con Gradient Boosting: {correlation_coefficient_gb}')

```

```

# Calcular el coeficiente de determinación (r^2) con Gradient Boosting

```

```

r2_gb = r2_score(Y_test, y_pred_gb)
print(f'Coeficiente de determinación (r^2) con Gradient Boosting: {r2_gb}')

```

Coefficiente de correlación (r) con Gradient Boosting: 0.9912572691750569
Coefficiente de determinación (r²) con Gradient Boosting: 0.9641262886839151

```
# Agregar r y R^2 en la gráfica
plt.text(min(Y_test), max(y_pred), f'R = {correlation_coefficient_gb:.4f}', fontsize=10, color='black')
plt.text(min(Y_test), max(y_pred) - 5, f'R^2 = {r2_gb:.4f}', fontsize=10, color='black')

# Graficar los valores reales vs predichos
plt.scatter(Y_test, y_pred_gb, color='blue')
plt.plot([min(Y_test), max(Y_test)], [min(Y_test), max(Y_test)], linestyle='-', color='red', linewidth=2)
plt.xlabel('Tiempo de demora real')
plt.ylabel('Tiempo de demora estimado')
plt.title('MP_5 Algoritmo Gradient Boosting')
plt.savefig('MP_5 Algoritmo Gradient Boosting.jpg', dpi=900)
plt.show()
```

png

```
import matplotlib.pyplot as plt
```

```
y=pd.read_csv('/content/drive/MyDrive/Data_real_DM.csv')
```

```
# Crear una figura con dimensiones personalizadas
plt.figure(figsize=(15, 6))
```

```
# Graficar los datos con diferentes estilos de línea
plt.plot(y, color='blue', linestyle='-', linewidth=2) # Línea continua
plt.plot(y_pred, color='orange', linestyle='--', linewidth=2) # Línea discontinua
plt.plot(y_pred_svm, color='gray', linestyle='-', linewidth=2, dashes=(2, 2, 10, 2)) # Línea discontinua
plt.plot(y_pred_knn, color='purple', linestyle='-.', linewidth=2) # Línea discontinua
plt.plot(y_pred_mlp, color='green', linestyle='-', linewidth=2, dashes=(3, 2, 5, 8)) # Línea con guiones y puntos
plt.plot(y_pred_gb, color='red', linestyle=':', linewidth=2) # Línea con puntos
```

```
# Configurar etiquetas y título
plt.xlabel('Índice')
plt.ylabel('Tiempo de demora')
plt.title('MP_3')
```

```
# Agregar leyenda
plt.legend(['Real', 'RandomForest', 'SVM', 'KNeighbors', 'MLP', 'Gradient Boosting'])
```

```
# Guardar la figura con una resolución de 900 ppp (dpi)
plt.savefig('MP_3 Comparación de algoritmos.jpg', dpi=900)
```

```
# Mostrar la figura
plt.show()
```

GUARDAR EL MODELO ENTRENADO

Guardar el modelo

```
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
import joblib
```

Crear y entrenar el modelo

```
rf_model = RandomForestRegressor()
rf_model.fit(X_train, Y_train)
```

Guardar el modelo en un archivo

```
joblib.dump(rf_model, '/content/drive/MyDrive/MP_1.joblib')
```

#REALIZAR PREDICCIONES

Importar Librerias

```
from sklearn import tree
import joblib
```

Se carga el modelo

```
loaded_rf_model = joblib.load('/content/drive/MyDrive/modelo_RandomForest1.joblib')
```

variables

```
X_test = np.array([5.06, 20, 2585.673, 52, 0.4615, 0.3319, 396.05])
```

Convertir el array unidimensional en uno bidimensional

```
X_test = X_test.reshape(1, -1)
```

Hacer predicciones en el conjunto de datos de prueba

```
predictions = loaded_rf_model.predict(X_test)
```

Imprimir las predicciones

```
print('Tiempo de demora=', predictions)
```

EXPORTAR EL MODELO A ONNX C#.

Exportar el modelo a ONNX

```
import joblib
```

```
from skl2onnx import convert_sklearn
```

```
from skl2onnx.common.data_types import FloatTensorType
```

```
import onnx
```

Cargar el modelo RandomForest desde joblib

```
modelo_rf = joblib.load('/content/drive/MyDrive/MP_1.joblib')
```

Convertir el modelo a formato ONNX con opset 15

```
initial_type = [('float_input', FloatTensorType([None, 7]))]
```

```
onnx_model = convert_sklearn(rf_model, initial_types=initial_type, target_opset=15)
```

Guardar el modelo ONNX en un archivo

```
onnx.save_model(onnx_model, 'MP_1.onnx')
```

b) Tiempo de ciclo óptimo:

LIBRERIAS

Principales

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
from sklearn import tree
import numpy as np
from sklearn.model_selection import cross_val_score
from IPython.display import Image as PImage
from subprocess import check_call
from PIL import Image, ImageDraw, ImageFont
import graphviz
from sklearn import metrics
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.linear_model import LogisticRegression
from sklearn.decomposition import PCA
from pylab import rcParams
from imblearn.under_sampling import NearMiss
from imblearn.over_sampling import RandomOverSampler
from imblearn.combine import SMOTETomek
from imblearn.ensemble import BalancedBaggingClassifier
from collections import Counter
```

Complementarias

```
!pip install joblib
```

```
!pip install skl2onnx
```

IMPORTAR LA DATA

```
from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')
```

Mounted at /content/drive

```
df=pd.read_csv('/content/drive/MyDrive/MP_2.csv')
df.sample(15)
```

DIVISIÓN DEL CONJUNTO DE DATOS

```
X=df.drop(columns='Tco')
Y=df.Tco
```

```
from sklearn.model_selection import train_test_split
X_train, X_test, Y_train, Y_test=train_test_split(X,Y,train_size=0.70, shuffle=True ,random_state=100)
```

```
train_data = pd.DataFrame(Y_test)
train_csv_path = 'train_data.csv'
train_data.to_csv(train_csv_path, index=False)
```

```
#ALGORITMOS
```

RandomForest

```
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
from sklearn.metrics import r2_score
import numpy as np
```

```
# Crear y entrenar el modelo
```

```
rf_model = RandomForestRegressor(
    n_estimators=100, # Número de árboles en el bosque
    max_depth=None, # Profundidad máxima de cada árbol (None significa sin límite)
    min_samples_split=2, # Número mínimo de muestras requeridas para dividir un nodo i
nterno
    min_samples_leaf=1, # Número mínimo de muestras requeridas para estar en un nodo
hoja
    random_state=42 # Semilla para reproducibilidad
)
```

```
rf_model.fit(X_train, Y_train)
```

```
# Realizar predicciones en el conjunto de prueba
```

```
y_pred = rf_model.predict(X_test)
```

```
# Calcular el coeficiente de correlación (r)
```

```
correlation_coefficient = np.corrcoef(Y_test, y_pred)[0, 1]
print(f'Coeficiente de correlación (r): {correlation_coefficient}')
```

```
# Calcular el coeficiente de determinación (r^2)
```

```
r2 = r2_score(Y_test, y_pred)
print(f'Coeficiente de determinación (r^2): {r2}')
```

```
Coeficiente de correlación (r): 0.9983166006621988
```

```
Coeficiente de determinación (r^2): 0.9960871072659009
```

```
# Agregar r y R^2 en la gráfica
```

```
plt.text(min(Y_test), max(y_pred) - 10, f'R = {correlation_coefficient:.4f}', fontsize=10, color='black')
```

```
plt.text(min(Y_test), max(y_pred) - 25, f'R^2 = {r2:.4f}', fontsize=10, color='black')
```

```
# Graficar los valores reales vs predichos
```

```
plt.scatter(Y_test, y_pred, color='blue')
```

```
plt.plot([min(Y_test), max(Y_test)], [min(Y_test), max(Y_test)], linestyle='-', color='red', linewidth=2)
```

```
plt.xlabel('Tiempo de ciclo óptimo real')
```

```
plt.ylabel('Tiempo de ciclo óptimo estimado')
```

```
plt.title('MP_2 Algoritmo RandomForest')
```

```
plt.savefig('MP_2 Algoritmo RandomForest.jpg', dpi=900)
```

```
plt.show()
```

Máquinas de soporte vectorial

```

from sklearn.svm import SVR
from sklearn.metrics import r2_score
import numpy as np

# Configurar los parámetros internos
svm_params = {
    'kernel': 'rbf', # Tipo de kernel ('linear', 'poly', 'rbf', 'sigmoid', etc.)
    'C': 1.0, # Parámetro de regularización
    'epsilon': 0.1, # Tolerancia de la función de pérdida
    'gamma': 'scale', # Coeficiente del kernel para 'rbf', 'poly', y 'sigmoid'
}

# Crear y entrenar el modelo SVM
svm_model = SVR(**svm_params)
svm_model.fit(X_train, Y_train)

# Realizar predicciones en el conjunto de prueba
y_pred_svm = svm_model.predict(X_test)

# Calcular el coeficiente de correlación (r)
correlation_coefficient_svm = np.corrcoef(Y_test, y_pred_svm)[0, 1]
print(f'Coeficiente de correlación (r) con SVM: {correlation_coefficient_svm}')

# Calcular el coeficiente de determinación (r^2) con SVM
r2_svm = r2_score(Y_test, y_pred_svm)
print(f'Coeficiente de determinación (r^2) con SVM: {r2_svm}')

Coeficiente de correlación (r) con SVM: 0.7526090989257571
Coeficiente de determinación (r^2) con SVM: 0.4468788457266606

# Agregar r y R^2 en la gráfica
plt.text(min(Y_test), max(y_pred) - 10, f'R = {correlation_coefficient_svm:.4f}', fontsize=
10, color='black')
plt.text(min(Y_test), max(y_pred) - 25, f'R^2 = {r2_svm:.4f}', fontsize=10, color='black')

# Graficar los valores reales vs predichos
plt.scatter(Y_test, y_pred_svm, color='blue')
plt.plot([min(Y_test), max(Y_test)], [min(Y_test), max(Y_test)], linestyle='-', color='red', l
inewidth=2)
plt.xlabel('Tiempo de ciclo óptimo real')
plt.ylabel('Tiempo de ciclo óptimo estimado')
plt.title('MP_2 Algoritmo Máquina de soporte vectorial')
plt.savefig('MP_2 Algoritmo Máquina de soporte vectorial.jpg', dpi=900)
plt.show()

```

KNeighbors

```

from sklearn.neighbors import KNeighborsRegressor
from sklearn.metrics import r2_score
import numpy as np

```

```

# Configurar los parámetros internos
knn_params = {
    'n_neighbors': 5, # Número de vecinos (puedes ajustar este valor)
    'weights': 'uniform', # Peso asignado a los vecinos ('uniform' o 'distance')
    'algorithm': 'auto', # Algoritmo para calcular los vecinos más cercanos ('auto', 'ball_tree', 'kd_tree', 'brute')
    'leaf_size': 30, # Tamaño de hoja para algoritmos de árbol (solo para 'ball_tree' o 'kd_tree')
}

```

```

# Crear y entrenar el modelo KNN con los parámetros configurados
knn_model = KNeighborsRegressor(**knn_params)
knn_model.fit(X_train, Y_train)

```

```

# Realizar predicciones en el conjunto de prueba
y_pred_knn = knn_model.predict(X_test)

```

```

# Calcular el coeficiente de correlación (r)
correlation_coefficient_knn = np.corrcoef(Y_test, y_pred_knn)[0, 1]
print(f'Coeficiente de correlación (r) con KNN: {correlation_coefficient_knn}')

```

```

# Calcular el coeficiente de determinación (r^2) con KNN
r2_knn = r2_score(Y_test, y_pred_knn)
print(f'Coeficiente de determinación (r^2) con KNN: {r2_knn}')

```

Coeficiente de correlación (r) con KNN: 0.9931524102283829
 Coeficiente de determinación (r²) con KNN: 0.9814127287131555

```

# Agregar r y R^2 en la gráfica
plt.text(min(Y_test), max(y_pred) - 10, f'R = {correlation_coefficient_knn:.4f}', fontsize=10, color='black')
plt.text(min(Y_test), max(y_pred) - 25, f'R^2 = {r2_knn:.4f}', fontsize=10, color='black')
# Graficar los valores reales vs predichos
plt.scatter(Y_test, y_pred_knn, color='blue')
plt.plot([min(Y_test), max(Y_test)], [min(Y_test), max(Y_test)], linestyle='-', color='red', linewidth=2)
plt.xlabel("Tiempo de ciclo óptimo real")
plt.ylabel("Tiempo de ciclo óptimo estimado")
plt.title("MP_2 Algoritmo KNeighbors")
plt.savefig('MP_2 Algoritmo KNeighbors.jpg', dpi=900)
plt.show()

```

Multi-Layer Perceptron

```

from sklearn.neural_network import MLPRegressor
from sklearn.metrics import r2_score
import numpy as np

```

```

# Configurar los parámetros internos
mlp_params = {

```



```

'hidden_layer_sizes': (100,), # Tamaño de la capa oculta
'activation': 'relu', # Función de activación ('relu', 'tanh', 'logistic', etc.)
'solver': 'adam', # Optimizador ('adam', 'sgd', 'lbfgs', etc.)
'alpha': 0.0001, # Término de regularización para evitar el sobreajuste
'learning_rate': 'constant', # Tasa de aprendizaje ('constant', 'adaptive', 'invscaling')
'max_iter': 1000 # Número máximo de iteraciones
}

```

```

# Crear y entrenar el modelo de Red Neuronal MLP

```

```

mlp_model = MLPRegressor(**mlp_params)
mlp_model.fit(X_train, Y_train)

```

```

# Realizar predicciones en el conjunto de prueba

```

```

y_pred_mlp = mlp_model.predict(X_test)

```

```

# Calcular el coeficiente de correlación (r)

```

```

correlation_coefficient_mlp = np.corrcoef(Y_test, y_pred_mlp)[0, 1]
print(f'Coeficiente de correlación (r) con MLP: {correlation_coefficient_mlp}')

```

```

# Calcular el coeficiente de determinación (r^2) con MLP

```

```

r2_mlp = r2_score(Y_test, y_pred_mlp)
print(f'Coeficiente de determinación (r^2) con MLP: {r2_mlp}')

```

Coeficiente de correlación (r) con MLP: 0.9342133827257203

Coeficiente de determinación (r^2) con MLP: 0.8569561891305955

```

# Agregar r y R^2 en la gráfica

```

```

plt.text(min(Y_test), max(y_pred)-10, f'R = {correlation_coefficient_mlp:.4f}', fontsize=10, color='black')

```

```

plt.text(min(Y_test), max(y_pred) - 25, f'R^2 = {r2_mlp:.4f}', fontsize=10, color='black')

```

```

# Graficar los valores reales vs predichos

```

```

plt.scatter(Y_test, y_pred_mlp, color='blue')

```

```

plt.plot([min(Y_test), max(Y_test)], [min(Y_test), max(Y_test)], linestyle='-', color='red', linewidth=2)

```

```

plt.xlabel("Tiempo de ciclo óptimo real")

```

```

plt.ylabel("Tiempo de ciclo óptimo estimado")

```

```

plt.title('MP_2 Algoritmo Multi-Layer Perceptron')

```

```

plt.savefig('MP_2 Algoritmo Multi-Layer Perceptron.jpg', dpi=900)

```

```

plt.show()

```

Gradient Boosting

```

from sklearn.ensemble import GradientBoostingRegressor

```

```

from sklearn.metrics import r2_score

```

```

import numpy as np

```

```

# Configurar los parámetros internos

```

```

params = {

```

```

'n_estimators': 10, # Número de árboles en el bosque
'learning_rate': 0.2, # Tasa de aprendizaje
'max_depth': 2, # Profundidad máxima de los árboles
'min_samples_split': 4, # Número mínimo de muestras requeridas para dividir un nodo
interno
'min_samples_leaf': 1, # Número mínimo de muestras requeridas para estar en un nodo
hoja
'subsample': 1.0 # Fracción de muestras utilizadas para ajustar los árboles
}

```

```

# Crear y entrenar el modelo Gradient Boosting con los parámetros configurados

```

```

gb_model = GradientBoostingRegressor(**params)

```

```

gb_model.fit(X_train, Y_train)

```

```

# Realizar predicciones en el conjunto de prueba

```

```

y_pred_gb = gb_model.predict(X_test)

```

```

# Calcular el coeficiente de correlación (r)

```

```

correlation_coefficient_gb = np.corrcoef(Y_test, y_pred_gb)[0, 1]

```

```

print(f'Coeficiente de correlación (r) con Gradient Boosting: {correlation_coefficient_gb}'
)

```

```

# Calcular el coeficiente de determinación (r^2) con Gradient Boosting

```

```

r2_gb = r2_score(Y_test, y_pred_gb)

```

```

print(f'Coeficiente de determinación (r^2) con Gradient Boosting: {r2_gb}')

```

Coeficiente de correlación (r) con Gradient Boosting: 0.9833137300019096

Coeficiente de determinación (r^2) con Gradient Boosting: 0.9109253649886012

```

# Agregar r y R^2 en la gráfica

```

```

plt.text(min(Y_test), max(y_pred)-10, f'R = {correlation_coefficient_gb:.4f}', fontsize=10,
color='black')

```

```

plt.text(min(Y_test), max(y_pred) - 25, f'R^2 = {r2_gb:.4f}', fontsize=10, color='black')

```

```

# Graficar los valores reales vs predichos

```

```

plt.scatter(Y_test, y_pred_gb, color='blue')

```

```

plt.plot([min(Y_test), max(Y_test)], [min(Y_test), max(Y_test)], linestyle='-', color='red', l
inewidth=2)

```

```

plt.xlabel('Tiempo de ciclo óptimo real')

```

```

plt.ylabel('Tiempo de ciclo óptimo estimado')

```

```

plt.title('MP_2 Algoritmo Gradient Boosting')

```

```

plt.savefig('MP_2 Algoritmo Gradient Boosting.jpg', dpi=900)

```

```

plt.show()

```

Gráfica total del modelo

```

import matplotlib.pyplot as plt

```

```

y=pd.read_csv('/content/drive/MyDrive/Data_real.csv')

```

```

# Crear una figura con dimensiones personalizadas
plt.figure(figsize=(15, 6))

# Graficar los datos con diferentes estilos de línea
plt.plot(y, color='blue', linestyle='-', linewidth=2) # Línea continua
plt.plot(y_pred, color='orange', linestyle='--', linewidth=2) # Línea discontinua
plt.plot(y_pred_svm, color='gray', linestyle='-', linewidth=2, dashes=(2, 2, 10, 2)) # Línea
discontinua
plt.plot(y_pred_knn, color='purple', linestyle='-.', linewidth=2) # Línea discontinua
plt.plot(y_pred_mlp, color='green', linestyle='-.', linewidth=2, dashes=(3, 2, 5, 8)) # Línea
con guiones y puntos
plt.plot(y_pred_gb, color='red', linestyle=':', linewidth=2) # Línea con puntos

# Configurar etiquetas y título
plt.xlabel('Índice')
plt.ylabel('Tiempo de ciclo óptimo')
plt.title('MP_4')

# Agregar leyenda
plt.legend(['Real', 'RandomForest', 'SVM', 'KNeighbors', 'MLP', 'Gradient Boosting'])

# Guardar la figura con una resolución de 900 ppp (dpi)
plt.savefig('MP_4 Comparación de algoritmos.jpg', dpi=900)

# Mostrar la figura
plt.show()

```

GUARDAR EL MODELO ENTRENADO

```

# Guardar el modelo
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
import joblib

# Supongamos que ya has dividido tus datos en X_train, Y_train

# Crear y entrenar el modelo
rf_model = RandomForestRegressor()
rf_model.fit(X_train, Y_train)

# Guardar el modelo en un archivo
joblib.dump(rf_model, '/content/drive/MyDrive/MP_2.joblib')

['/content/drive/MyDrive/modelo_RandomForest1.joblib']

#REALIZAR PREDICCIONES DEL MODELO

# Importar Librerías
import joblib
import numpy as np

```

```

# Supongamos que ya has cargado el modelo desde el archivo
loaded_rf_model = joblib.load('/content/drive/MyDrive/Algoritmo 2.joblib')

# Variables
Fase = 2
q = 333.8
Ysum = 0.22911
P = 6

X_test = np.array([Fase, q, Ysum, P])

# Convertir el array unidimensional en uno bidimensional con tamaño de lote 1
X_test = X_test.reshape(1, -1)

# Hacer predicciones en el conjunto de datos de prueba
predictions = loaded_rf_model.predict(X_test)

# Imprimir las predicciones
print('Tiempo de ciclo óptimo =', predictions)

Tiempo de ciclo óptimo = [17.61]

```

EXPORTAR EL MODELO A ONNX C#.

```
pip install onnxruntime
```

```
#Importar Librerías
```

```

import joblib
from skl2onnx import convert_skllearn
from skl2onnx.common.data_types import FloatTensorType
import onnx

```

```
# Cargar el modelo RandomForest desde joblib
```

```
modelo_rf = joblib.load('/content/drive/MyDrive/MP_2.joblib')
```

```
# Convertir el modelo a formato ONNX con opset 15
```

```

initial_type = [('float_input', FloatTensorType([None, 4]))]
onnx_model = convert_skllearn(rf_model, initial_types=initial_type, target_opset=15)

```

```
# Guardar el modelo ONNX en un archivo
```

```
onnx.save_model(onnx_model, 'MP_2.onnx')
```

4.1.2.1.5. Predicciones de los modelos

El Cuadro 51, muestra el código en Python del modelo MP_1 para realizar predicciones del tiempo de demora. Se inició importando las librerías de 'tree' de scikit-learn y 'joblib'. Posteriormente, se cargó el modelo previamente entrenado ('MP_1.joblib') utilizando la función 'load' de la librería joblib. A continuación, se definieron las variables, como ANV, T, ST, C, Y, X, y Q, las cuales se utilizaron para construir un array unidimensional

denominado X_test. Este array posteriormente fue convertido a una matriz bidimensional mediante el método 'reshape'. Finalmente, se empleó el modelo cargado para realizar predicciones sobre el conjunto de datos de prueba, representado por el array X_test, y se imprimieron los resultados.

Cuadro 51: Código del Modelo MP_1 para realizar predicciones

Código del modelo MP_1

```
# Importar Librerías
from sklearn import tree
import joblib

# Se carga el modelo
loaded_rf_model = joblib.load('MP_1.joblib')

# variables
ANV = 7
T = 30
ST = 3675
C = 63
Y = 0.4761905
X = 0.010857
Q = 280

X_test = np.array([ANV, T, ST, C, Y, X, Q])

# Convertir el array unidimensional en uno bidimensional
X_test = X_test.reshape(1, -1)

# Hacer predicciones en el conjunto de datos de prueba
predictions = loaded_rf_model.predict(X_test)

# Imprimir las predicciones
print('Tiempo de demora=', predictions)
```

FUENTE: Elaboración propia

El Cuadro 52 muestra el código en Python del modelo MP_2 para realizar predicciones del tiempo de ciclo óptimo. Se inició importando las librerías 'tree' de scikit-learn y 'joblib' y se cargó el modelo entrenado MP_2.joblib. Posteriormente se definieron las variables NF, q, Yi, y P, creándose un array unidimensional, X_test, los cuales se convirtieron en un array

bidimensional con un tamaño de lote 1 mediante la función reshape. Se utilizó el modelo cargado para realizar las predicciones del conjunto de datos de prueba representado por X_test. Finalmente, se imprimió la predicción.

Cuadro 52: Código del Modelo MP_2 para realizar predicciones

Código del modelo MP_2

```
Importar Librerías
from sklearn import tree
import joblib
# Supongamos que ya has cargado el modelo desde el archivo
loaded_rf_model = rt.InferenceSession('MP_2.joblib ')
# Variables
NF = 4
q= 70
Yi= 0.14044
P= 16
X_test = np.array([NF, q, Yi, P])

# Convertir el array unidimensional en uno bidimensional con tamaño de lote 1
X_test = X_test.reshape(1, -1)

# Hacer predicciones en el conjunto de datos de prueba
predictions = loaded_rf_model.predict(X_test)

# Imprimir las predicciones
print('Tiempo de ciclo óptimo=', predictions)

# Imprimir las predicciones
print(predictions)
```

FUENTE: Elaboración propia

Además, los Cuadros 51 y 52 manifiestan los modelos para el desarrollo de predicciones, usando sus códigos en Python; mientras que An et al. (2022) hace uso de sus predicciones para compararlos con sus resultados; así mismo, Navarro et al. (2022) proponen algoritmos para predecir el flujo de tráfico en una intersección, sentando así las bases para el control adaptativo del tráfico; similarmente Saeed & Elhadeb (2019) presenta su algoritmo que puede adaptarse a escenarios de intersecciones reales, y demostró que satisface las propiedades; del mismo modo Zhao et al. (2021) presenta a sus algoritmos 2 y 3 como

módulos de controlador central y de toma de decisiones, respectivamente; recalcar que ALI et al. (2021) han empleado el lenguaje de programación Python para implemento y desarrollo de sus algoritmos propuestos; así como Celis-Peñaranda et al. (2016) que han usado el lenguaje de programación Python, diseñando varias etapas ejecutadas y predicciones con su algoritmo de control adaptativo.

4.1.2.1.6. Exportaciones de los modelos de JOBLIB a ONNX

El Cuadro 53, proporcionado el código en Python de la exportación del modelo de aprendizaje automático entrenado "MP_1" el cual determina el tiempo de demora mediante un formato compatible con Open Neural Network Exchange (ONNX). Se utilizó la biblioteca joblib para cargar el modelo RandomForest previamente entrenado desde un archivo denominado 'MP_1.joblib'. Luego, se definió el modelo ONNX con 7 entradas y 1 salida, utilizando la biblioteca skl2onnx. Posteriormente, el modelo RandomForest se convirtió al formato ONNX mediante la función `convert_sklearn`, especificando las características iniciales del modelo. Finalmente, el modelo ONNX resultante se guardó en un archivo llamado 'MP_1.onnx'. Este proceso facilita la interoperabilidad del modelo con diferentes marcos de trabajo y entornos que admiten el estándar ONNX, permitiendo la utilización en diversas aplicaciones y plataformas.

Cuadro 53: Exportación del modelo MP_1 a onnx

Exportación del Modelo MP_1 joblib a onnx

```
import joblib
from skl2onnx import convert_sklearn
from skl2onnx.common.data_types import FloatTensorType

# Cargar el modelo RandomForest desde joblib
modelo_rf = joblib.load('MP_1.joblib')

# Definir el modelo
ONNX con 7 entradas y 1 salida
initial_type = [('input', FloatTensorType([None, 7]))]

# Convertir el modelo a ONNX
onnx_model = convert_sklearn(modelo_rf, initial_types=initial_type)

# Guardar el modelo ONNX
with open('MP_1.onnx', 'wb') as f:
    f.write(onnx_model.SerializeToString())
```

FUENTE: Elaboración propia

El Cuadro 54 muestra el código empleado para la exportación del modelo "MP_2" el cual determina el tiempo de ciclo óptimo a un formato compatible con Open Neural Network Exchange (ONNX). Primero, se utilizó la biblioteca joblib para cargar el modelo RandomForest desde el archivo 'MP_2.joblib'. A continuación, se definió la firma del modelo ONNX con 4 entradas y 1 salida, indicando las características iniciales mediante la lista 'initial_type' con un objeto FloatTensorType. Posteriormente, se llevó a cabo la conversión del modelo RandomForest al formato ONNX utilizando la función convert_sklearn, especificando las características iniciales del modelo. Finalmente, el modelo ONNX resultante se guardó en un archivo llamado 'MP_2.onnx'. Este proceso es esencial para asegurar la portabilidad y la interoperabilidad del modelo en entornos que admiten el estándar ONNX, permitiendo su implementación en diferentes plataformas y frameworks de aprendizaje automático. La adecuada definición de la firma del modelo contribuye a la correcta interpretación y uso del modelo ONNX en aplicaciones posteriores.

Cuadro 54: Exportación del modelo MP_2 a onnx

Exportación del Modelo MP_2 joblib a onnx

```
import joblib
from skl2onnx import convert_sklearn
from skl2onnx.common.data_types import FloatTensorType

# Cargar el modelo RandomForest desde joblib
modelo_rf = joblib.load('MP_2.joblib')

# Definir la firma del modelo
ONNX con 4 entradas y 1 salida
initial_type = [('input', FloatTensorType([None, 4]))]

# Convertir el modelo a ONNX
onnx_model = convert_sklearn(modelo_rf, initial_types=initial_type)

# Guardar el modelo ONNX
with open('MP_2.onnx', 'wb') as f:
    f.write(onnx_model.SerializeToString())
```

FUENTE: Elaboración propia

Recalcar que los Cuadros 53 y 54 muestran la forma de exportado de los modelos validados para que se haga uso en la generación del sistema y que sean compatibles según su formato y uso como el ONNX; así como Andronov & Leverents (2018) que su metodología basada en algoritmo adaptativo puede implementarse en cualquier lenguaje de programación, incluido Python.

4.1.2.2. Elaboración y ejecución del sistema

4.1.2.2.1. Interfaz de inicio

La interfaz contiene un conjunto de funcionalidades: la gestión de archivos, configuraciones personalizadas, registro de datos, generación de informes, configuración del tipo de vehículo, turnos y la gráfica de la intersección la cual muestra las condiciones asignadas para el análisis, mostrando los datos de flujo vehicular según el sentido, Norte (N), Sur (S), Este (E) y Oeste (O), y el nombre de las calles (ver Figura 64).

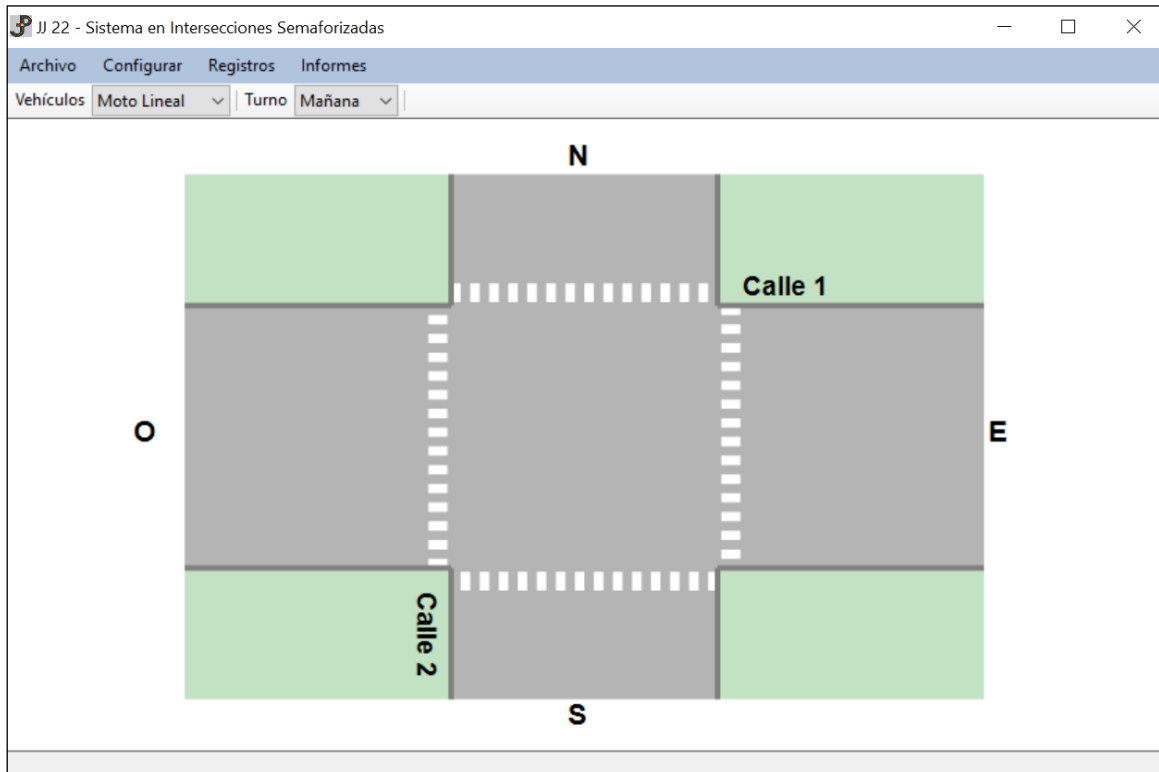


Figura 64: Interfaz de inicio del sistema JJ22

Además, la Figura 64 representa la parte interactiva de inicio a través de su interfaz trabajado en el software Framework .net, similarmente a Baquela (2019) que interactúa su software SUMO con sus algoritmos, y desarrolla la biblioteca RSUMO para el lenguaje de programación R; corroborando con Doçi et al. (2022) que desarrolla su programa en el software LabView, el cual cuenta con dos paneles para el desarrollo: Panel Frontal y Diagrama de Bloques; del mismo modo Radivojević et al. (2021) realiza su programa utilizando el paquete de software LabVIEW, que consta de un panel frontal y un diagrama de bloques, siendo el panel frontal una interfaz gráfica de usuario; de manera similar con Arjmand et al. (2021) que muestra una descripción general del estado de su modelo del

sistema en el software ED; además Jiajia & Xingquan (2020) que usa el paquete de software Sumo de código abierto y proporciona instrucciones de interfaz para el código Python.

La pestaña 'Archivo' contiene funciones fundamentales como abrir, guardar, guardar como y cerrar. En la sección 'Configurar', se encuentran diversas opciones, como 'Configurar intersección', donde se introducen los parámetros del ancho promedio de calzada y el nombre correspondiente. Asimismo, 'Clasificación' presenta un rango de valores que categorizan el nivel de servicio, clasificándolo de A a F según el Método de Capacidad de la Carretera (HCM). La opción 'Vehículos' contiene distintos tipos de vehículos, cada uno con su respectiva equivalencia vehicular. 'Fases' asigna una ventana a la izquierda de la intersección en análisis para la asignación de direcciones específicas del flujo vehicular.

La pestaña 'Registros' alberga dos ventanas: 'Ingreso de registros', destinada a la incorporación de datos sobre el flujo vehicular, incluyendo sentido, tipo de vehículo, turno y rangos de tiempo; y 'Tiempos de fase', donde se establecen los intervalos temporales del semáforo para cada fase correspondiente.

La pestaña 'Informes' engloba diversas secciones funcionales. La sección 'Ciclo actual', la cual despliega las mediciones temporales del semáforo correspondiente. En la sección 'Demora actual', se presenta un Cuadro que refleja la estimación del tiempo de demora mediante el algoritmo. La función 'Optimizar ciclo', se encarga de calcular el tiempo de ciclo óptimo para la intersección en estudio. Asimismo, la sección 'Ciclo optimizado' exhibe el diagrama de ciclos resultante de la evaluación de cada fase. El 'Informe de ciclos' constituye una herramienta comparativa entre el tiempo de ciclo actual y el tiempo de ciclo óptimo, la parte 'Demora optimizada' contiene una tabla de la estimación del nuevo tiempo de demora, mientras que el apartado 'Informe de demoras' realiza una evaluación contrastante entre la demora actual y la actualizada. Este diseño estructurado permite una fácil identificación y comprensión de las distintas funcionalidades contempladas en la pestaña 'Informes' (ver Figura 65).

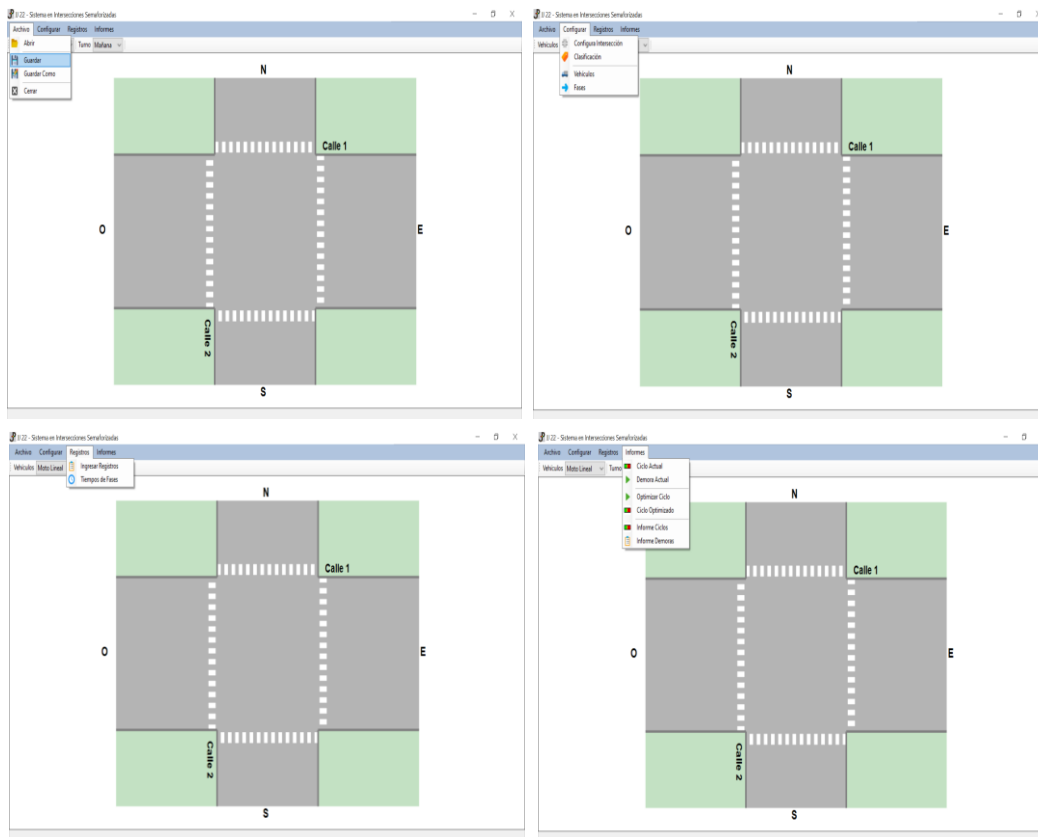


Figura 65: Pestañas multifuncionales del sistema JJ22

Así pues, la Figura 65 da a mostrar las funciones elementales que contiene el sistema para ingreso, cálculo e informes de desarrollo de la intersección semaforzada; de modo igual que Alkandari et al. (2014) que en su sistema de control inteligente que se ejecuta mediante software de simulación, permite opciones que el usuario puede controlar (opciones relacionadas con los semáforos, carros, carreteras); corrobora con Jiajia & Xingquan (2020) que para su interfaz gráfica en su intersección única, los vehículos podrán ingresar desde 4 direcciones: este, oeste, sur y norte; similarmente con Doçi et al. (2022) que en su panel frontal (para su programa), se encuentra diseñado el tablero de control de intersección con elementos y variables importantes, en este panel se crean las variables de entrada/salida necesarias y otros parámetros de control de semáforos. Así mismo Radivojević et al. (2021) dentro del desarrollo de su programa hace uso del software LabVIEW, donde su panel frontal contiene elementos para definir los parámetros del proceso; los usuarios también pueden participar en la secuencia de medición, control y seguimiento de los resultados obtenidos; además corrobora con Arjmand et al. (2021) quienes detallan una descripción general del estado de su modelo del sistema en el software ED; de igual manera Baquela (2019) con su software SUMO permite definir un archivo de configuración de semáforos

para regular sus estados de tiempos de cambio; así también Celik & Karadeniz (2018) pudieron proporcionar un método de optimización del semáforo mediante codificación; mediante la comunicación del programa de simulación de tráfico SUMO con el lenguaje del software Matlab, la aplicación y la prueba de lo deseado.

4.1.2.2.2. Determinación del tiempo de demora

Para determinar el tiempo de demora, se accede a la pestaña de informes y se elige la sección denominada 'Demora actual'. A continuación, se selecciona el ícono de procesamiento, que utiliza el algoritmo previamente entrenado considerando las variables más significativas. Los resultados obtenidos se presentan en una sub ventana para cada sentido y en la parte inferior se proporciona información detallada sobre la demora total de la intersección y el nivel de servicio (ver Figura 66).

The screenshot shows a window titled "Calculo de Demora" with a sub-header "Analizar | Caso: Moto Lineal - Turno: Tarde". It contains a table with the following data:

	Turno	Via	Sentido	Camiles	Ancho	Saturación	C	Y	X	Q	Demora	Nivel de Servicio
▶	Tarde	Calle Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.673	28	0.5357	0.5884	815	10.045	B
	Tarde	Calle Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.673	28	0.5357	0.6736	933	10.583	B
	Tarde	Calle Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	28	0.25	0.3069	346	14.616	B

Below the table, a summary box displays:

Demora de la Intersección
 Demora: **14.6 Seg.**
 Nivel de Servicio: **B**

Figura 66: Cálculo del tiempo de demora

Entonces, la Figura 66 detalla el procesamiento interno con uso del algoritmo para la demora, y pasa a dar visualización de las variables importantes para estimar y clasificar la intersección; así también con Alkandari et al. (2014) que en su sistema de control inteligente que se ejecuta mediante software de simulación, permite mostrar un informe generado por el simulador; al igual Doçi et al. (2022) que en su diagrama de bloques (para su programa), se dan los procedimientos de programación, códigos que se desarrollan en su panel frontal; en esta fase, el programa se prueba; corroborando con Cao (2019) quien probó su algoritmo en una intersección de la vida real, siendo los resultados de que éste fue capaz de reducir significativamente el retraso; de manera similar Saeed & Elhadeef (2019) presenta su algoritmo que puede adaptarse a escenarios de intersecciones reales, y demostró que

satisface las propiedades. Por otro lado, Savithramma & Sumathi (2020) se centra principalmente en técnicas de aprendizaje automático para reducir el tiempo de espera.

4.1.2.2.3. Determinación del tiempo de ciclo óptimo

Se ingresa en la pestaña ‘Informes’ y se selecciona la sección ‘Optimizar ciclo’. Posteriormente se cargan los datos de la "Fase", "Sentido", "Flujo", "Carriles", "FE: Factor de equivalencia", "q: Flujo vehicular directo", "Y: Flujo de saturación", "Ymax: Flujo de saturación máxima", "Ysum: Sumatoria del flujo de saturación", "P: Tiempo total perdido por ciclo", "Tco: Tiempo de ciclo óptimo", "TV: Tiempo de total de verde", "TVF: Tiempo de verde de fase", "TA: Tiempo de ambar de fase" y "TR: Tiempo de rojo de fase". Además, se puede habilitar un tiempo de todo rojo a las fases dentro de la intersección con diferentes valores según la literatura. La Figura 67, muestra la ventana con las diferentes variables empleadas con la asignación de un valor de todo rojo, permitiendo al usuario seleccionar un valor mínimo de 0 y máximo de 12 segundos, lo que genera un aumento del tiempo de ciclo óptimo al seleccionar cualquier valor de éste.

	0	Sentido	Flujo	Camiles	FE	q	Y	Ymax	Ysum	P	Tco	TV	TVF	TA	TR
1															
F1	2	EN	359	1	1.2	430.8	0.23933	0.36444	0.41777	8	28	20	17	4	7
F1	3	EO1	656	1	1	656	0.36444	0.36444	0.41777	8	28	20	17	4	7
F1	4	ES	223	1	1.2	267.6	0.14867	0.36444	0.41777	8	28	20	17	4	7
F1	5														
F1	6	OS	371	1	1.2	445.2	0.24733	0.36444	0.41777	8	28	20	17	4	7
F1	7														
F1	8	OE1	626	1	1	626	0.34778	0.36444	0.41777	8	28	20	17	4	7
F1	9	ON	162	1	1.2	194.4	0.108	0.36444	0.41777	8	28	20	17	4	7
F2	10														
F2	11	NO	39	1	1.2	46.8	0.026	0.05333	0.41777	8	28	20	3	4	21
F2	12	NS1	96	1	1	96	0.05333	0.05333	0.41777	8	28	20	3	4	21
F2		NE	26	1	1.2	31.2	0.01733	0.05333	0.41777	8	28	20	3	4	21
F2		SE	14	1	1.2	16.8	0.00933	0.05333	0.41777	8	28	20	3	4	21

Figura 67: Cálculo del tiempo de ciclo óptimo

Recaltar que la Figura 67 detalla el procesamiento interno con uso de otro algoritmo para el tiempo de ciclo óptimo, y pasa a dar visualización de las variables importantes para predecir valores semafóricos; al igual Doçi et al. (2022) que en su diagrama de bloques (para su programa), se dan los procedimientos de programación, códigos que se desarrollan en su panel frontal, aquí se agregan otros elementos necesarios para que el programa sea funcional; en esta fase, el programa se prueba; es similar con Radivojević et al. (2021) que en su programa el usuario puede ingresar datos y basado en ellos, la solución de software es que optimiza el plan de señal, es decir, el ciclo valor y la distribución de la duración de la

luz verde en fases durante cada ciclo; así mismo con Alkandari et al. (2014) donde su sistema de control inteligente ejecutado por software de simulación, da opción de detallar un informe generado por el simulador; del mismo modo Saeed & Elhadeif (2019) hace hincapié a su algoritmo el cual puede adaptarse a escenarios de intersecciones reales, y que demuestra satisfacer las propiedades.

4.1.2.2.4. Determinación de la demora optimizada

Después de determinar el tiempo de ciclo óptimo se calculó la demora optimizada de la intersección tomando como datos de entrada el tiempo de ciclo total y el tiempo de verde de cada fase. Por tanto, se accede a la pestaña de informes y se elige la sección denominada 'Demora optimizada'; a continuación, se selecciona el ícono de procesamiento y los resultados obtenidos se presentan en una sub ventana para cada sentido y en la parte inferior se brinda valores detallados sobre la nueva demora total de la intersección y el nivel de servicio (ver Figura 68).

Turno	Vía	Sentido	Camiónes	Ancho	Saturación	C	Y	X	Q	Demora	Nivel de Servicio
Tarde	B - T	NS	2	6	3150	54	0.2593	0.6256	511	18.594	B
Tarde	B - T	SN	2	6	3150	54	0.2593	0.5607	458	18.575	B
Tarde	S - U	EO	1	6	3150	54	0.5926	0.6241	1165	12.423	B

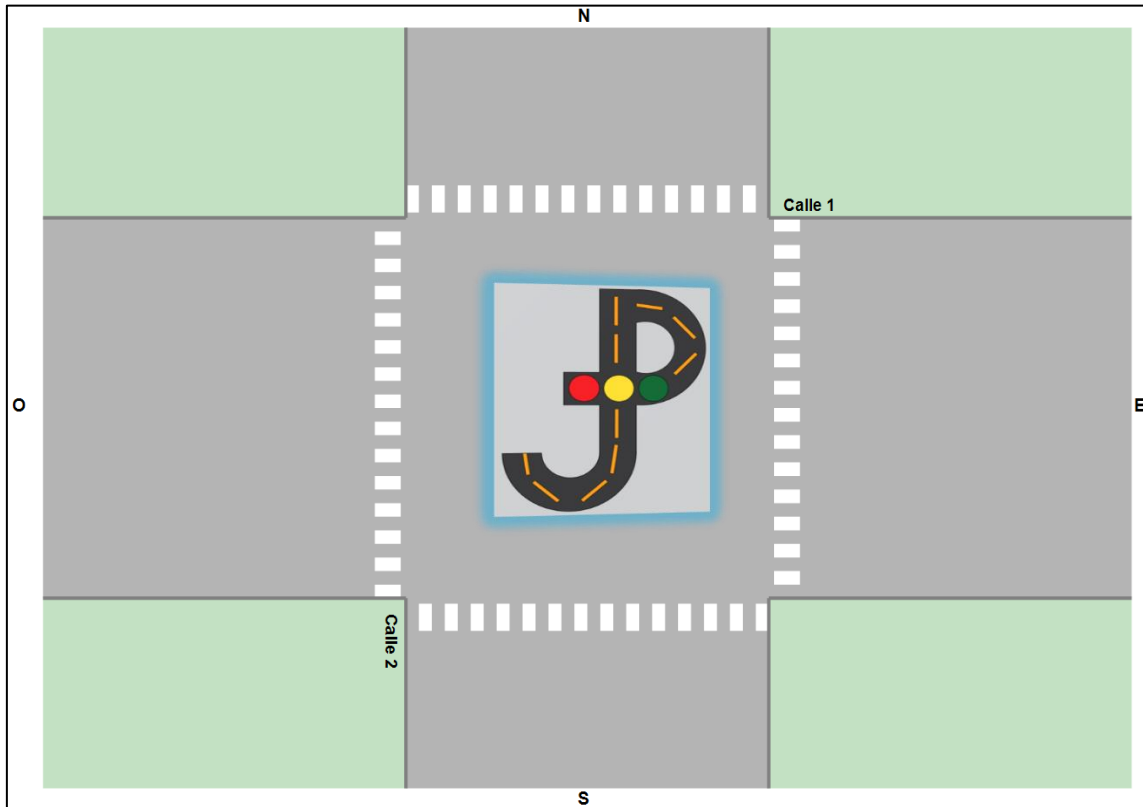
Demora de la Intersección	
Demora:	18.6 Seg.
Nivel de Servicio:	B

Figura 68: Cálculo de la demora optimizada

Resaltar que la Figura 68 detalla el procesamiento interno con el algoritmo para la demora optimizada, y pasa a dar una nueva visual de variables de recalculation; al igual Doçi et al. (2022) que en su diagrama de bloques (para su programa), se dan los procedimientos de programación, códigos que se desarrollan en su panel frontal; en esta fase, el programa se prueba; de manera similar Cao (2019) prueba su algoritmo (DORAS) en una intersección real, obteniendo resultados positivos, llegando a reducir significativamente el retraso; así también Zhang & Zhou (2018) a través de su algoritmo genético da resultados numéricos que demuestran la eficiencia de los procedimientos de optimización para aumentar la velocidad de cálculo y reducir los retrasos en el flujo de tráfico.

4.1.2.2.5. Manual básico del sistema “JJ 22”

Manual básico del sistema JJ 22



Sistema en Intersecciones Semaforizadas

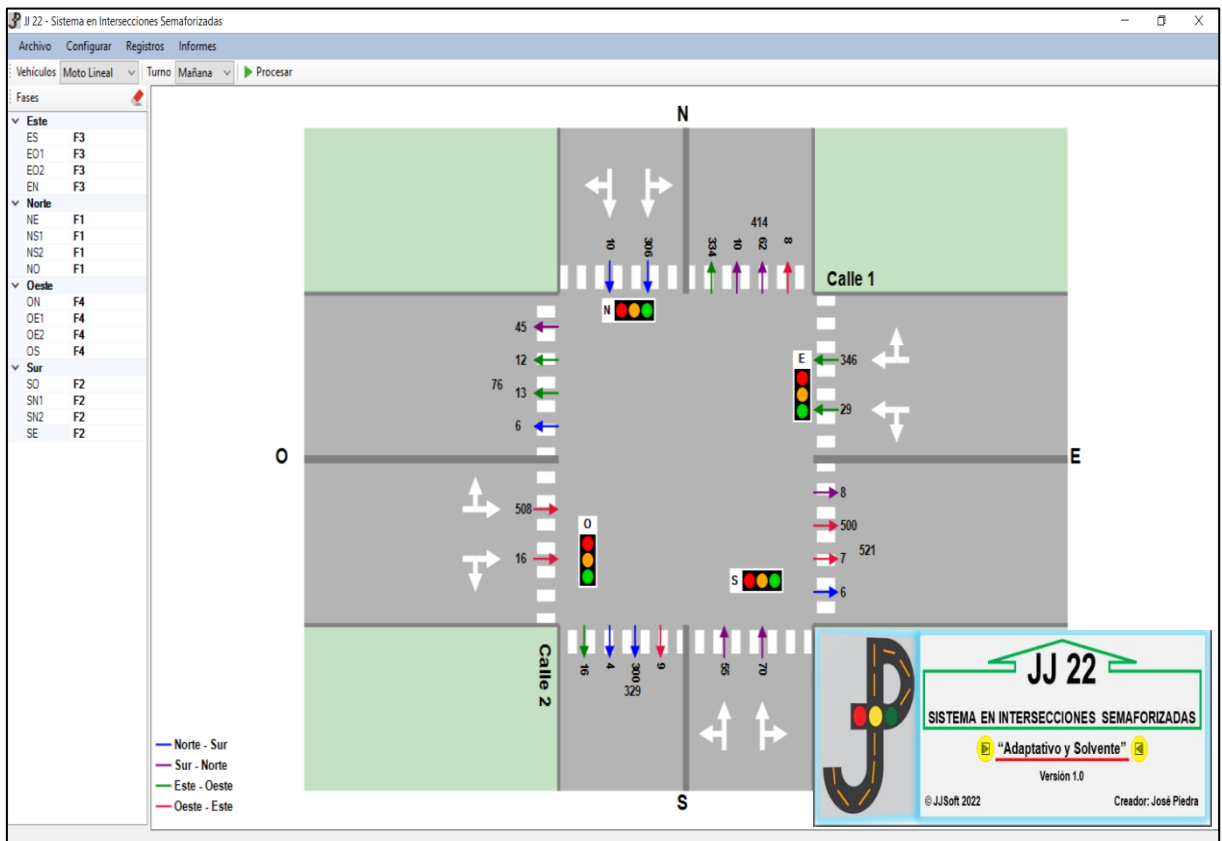
Índice

Sección I: Preliminar	203
Sección II: Menú	203
2.1. Área de trabajo	203
2.2. Principal.....	203
2.2.1. Archivo	204
2.2.2. Configurar	206
2.2.3. Registros	210
2.2.4. Informes.....	216
Sección III: Barra de herramientas	225
3.1. Vehículos.....	226
3.2. Turno	226

Sección I: Preliminar

Introducción

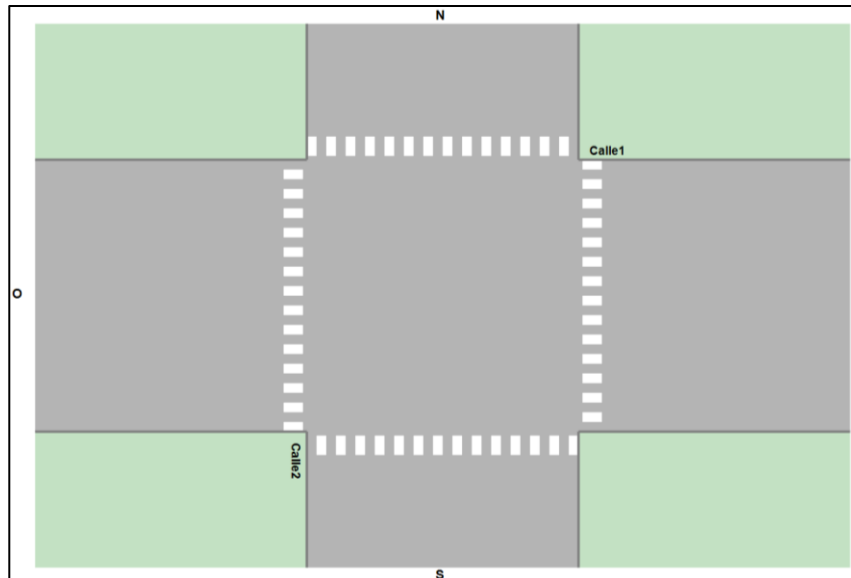
JJ 22 es un sistema interactivo capaz de modelar, gestionar y optimizar intersecciones semaforizadas. Presenta y/o contiene una manera sencilla de poder manipular y entender su entorno gráfico y de datos; permite una total adaptabilidad a partir del inicio de creación de un trabajo, abarcando condiciones geométricas, de tráfico y semaforicas, para posteriormente mostrar el alcance de los resultados de como opera la intersección en su estado actual y optimizada, con miras hacia la mejor toma de decisiones por parte del usuario.



Sección II: Menú

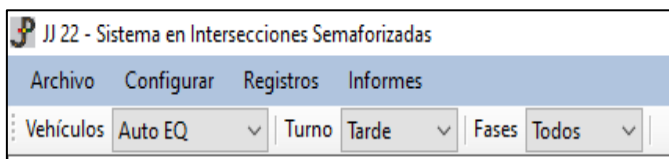
2.1. Área de trabajo

Expresa una única ubicación en la que se puede representar los registros, selecciones y cambios que puedan generarse por parte del usuario; y su acceso se obtiene simplemente abriendo el sistema.



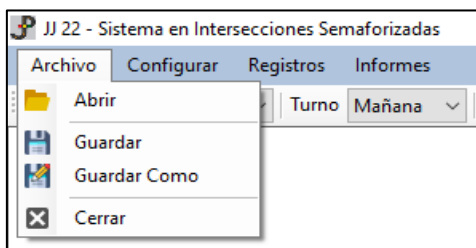
2.2. Principal

Se encuentra compuesto por: Archivo, Configurar, Registros, Informes.



2.2.1. Archivo

Compone los comandos:



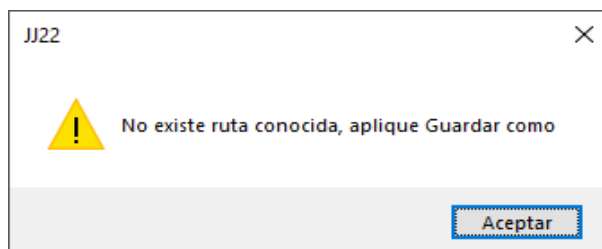
2.2.1.1. Abrir

Se encarga de abrir un trabajo que ya existe. Puede abrir otro documento el cual sustituirá al inicial, preferentemente cerrar y/o guardar el primero para empezar a interactuar con el último.

Su acceso → 

2.2.1.2. Guardar

Encargado de guardar un trabajo reciente con su denominación de archivo. Cuando el trabajo se guarde por primera vez, entonces se muestra un cuadro de diálogo diciendo “No existe ruta conocida, aplique Guardar Como”, y damos “Aceptar”.



Si se desea modificar la denominación o almacenamiento del trabajo que ya existe, se tiene que hacer uso del comando “Guardar Como”.

Su acceso → 

2.2.1.3. Guardar Como

Brinda el guardado de un trabajo reciente con una nueva denominación, se llegará a mostrar una ruta que permitirá la colocación de una denominación, elección de un disco y carpeta de trabajo. Si se quiere el guardado del trabajo con su denominación reciente, use el comando “Guardar”.

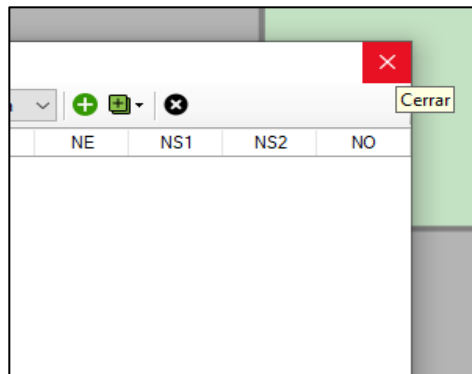
Su acceso → 

2.2.1.4. Cerrar

Lleva al cierre de un trabajo abierto. Si hace el cierre sin haber logrado guardar, generará que se pierda todas las variaciones hechas al guardado anterior, pero la interfaz sigue abierta para abrir o hacer otro trabajo.

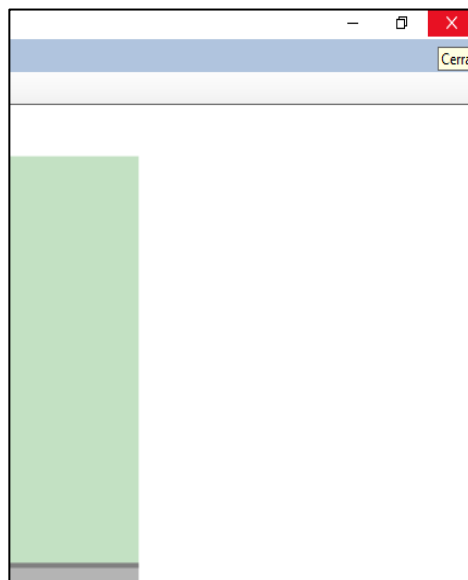
Su acceso → 

Una opción para el cierre de cuadros de diálogo, es usar la siguiente forma:



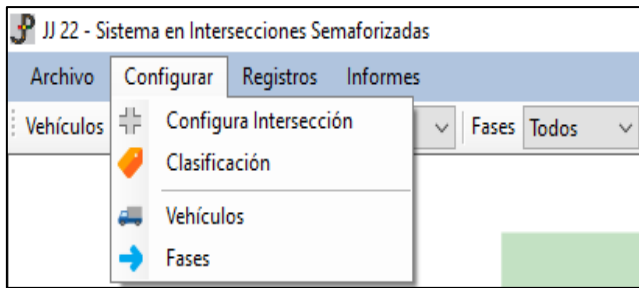
➤ Finalizar

Aplica al cierre total del sistema.






2.2.2. Configurar

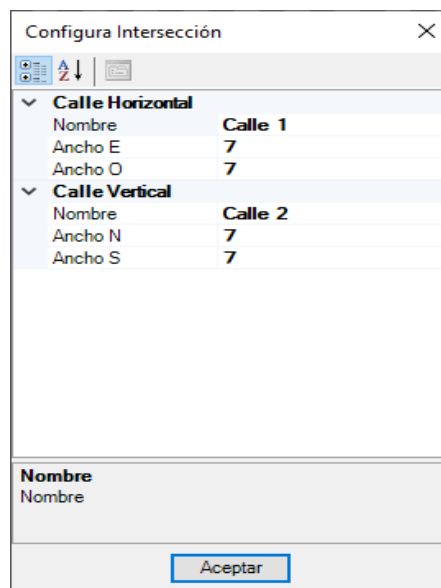
Alberga los siguientes comandos:



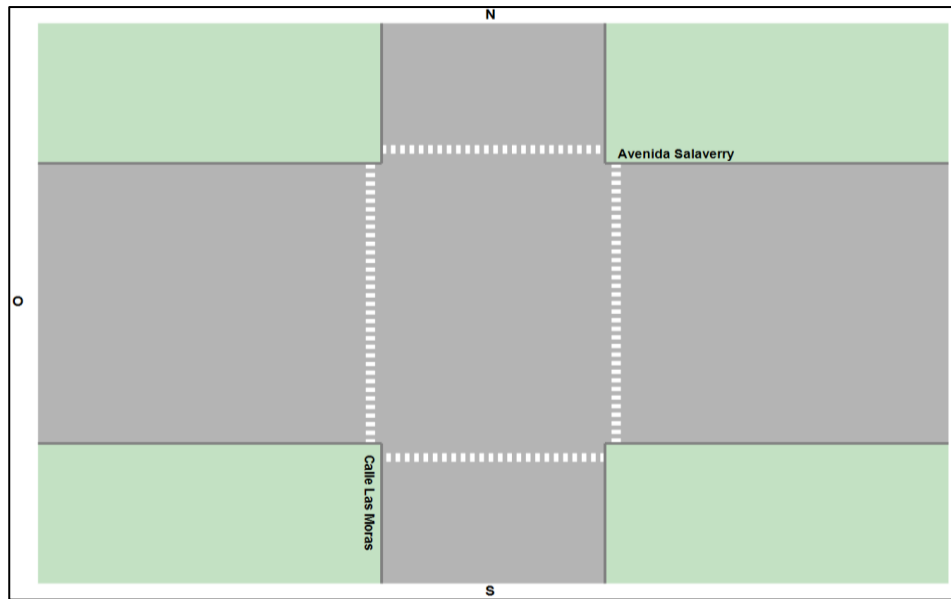
2.2.2.1. Configura Intersección

A través de su acceso  **Configura Intersección**, logra abrir un cuadro de diálogo que permite la configuración, ingresando los nombres de las calles y anchos promedio de calzada (que por defecto sale 7 pero es adaptable, y es según acceso N=Norte, S=Sur, E=Este, O=Oeste), que se posiciona horizontal y verticalmente en el área de trabajo; también se puede ordenar alfabéticamente  o reestablecer a su forma inicial .

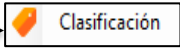
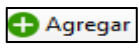

Una vez definido los valores de entrada estos se guardan mediante el botón “Aceptar”, almacenando la información.



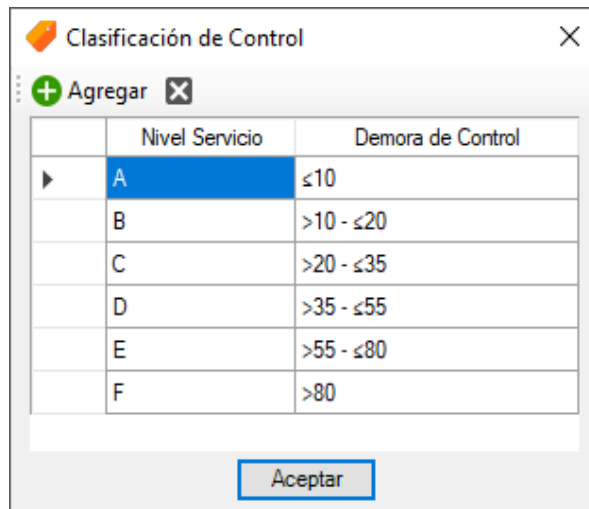
Todos los registros y/o cambios que hubiese, se van a ver reflejados en el área de trabajo.



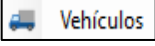
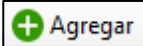

2.2.2.2. Clasificación

Mediante su acceso , permite dar a un cuadro de diálogo, que presenta en una primera columna los niveles de servicio de manera cualitativa y en otra columna sus demoras de control cuantitativo; siendo para A: Demora de control igual o inferior a 10 segundos, B: Demora de control mayor a 10 y menor o igual a 20 segundos, C: Demora de control mayor a 20 y menor o igual a 35 segundos, D: Demora de control mayor a 35 y menor o igual a 55 segundos, E: Demora de control mayor a 55 y menor o igual a 80 segundos y F: Demora de control mayor a 80 segundos. A la vez, por la propia adaptabilidad, se puede agregar  y eliminar este ; pero es preferente mantener esos rangos que por defecto muestra el sistema (normados).

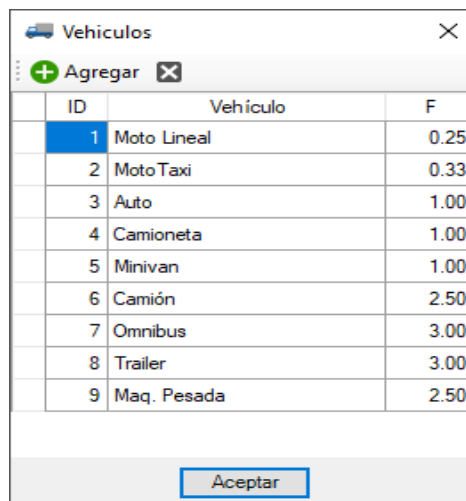
Una vez verificado los datos, estos se guardan mediante el botón “Aceptar”, almacenando la información.




2.2.2.3. Vehículos

Con su acceso , da la opción a una tabla que alberga en una columna la numeración de vehículos, en las siguientes por defecto sus categorías y su equivalente vehicular: Moto Lineal (0.25), Moto Taxi (0.33), Auto (1.00), Camioneta (1.00), Minivan (1.00), Camión (2.50), Ómnibus (3.00), Trailer (3.00) y Maquinaria Pesada (2.50). También por la flexibilidad del sistema se da opción de modificar, agregar  y eliminar  según sea el caso.

Una vez verificado y/o definido los datos, estos se guardan mediante el botón “Aceptar”, almacenando la información.




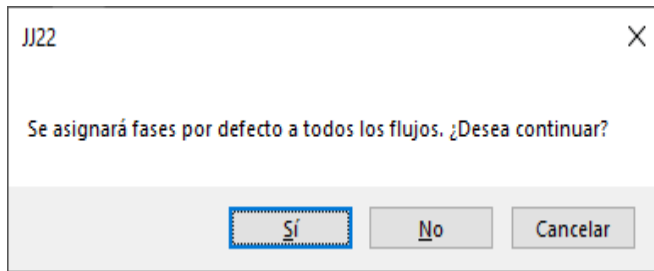
2.2.2.4. Fases

Por medio de su acceso  se consigue ir (parte superior izquierda de la pantalla) a una lista de fases asociadas con sus accesos cardinales y una combinación de estas según el sentido permitido del flujo vehicular a disponer N=Norte, S=Sur, E=Este, O=Oeste; permite la colocación de hasta cuatro fases bajo la denominación: F0=Fase cero o ausente, F1=Fase uno, F2=Fase dos, F3=Fase tres, F4=Fase cuatro, y el índice 1 y 2 que refleja el carril por dónde va el flujo; según lo amoldable del sistema los datos pueden agregarse manualmente.




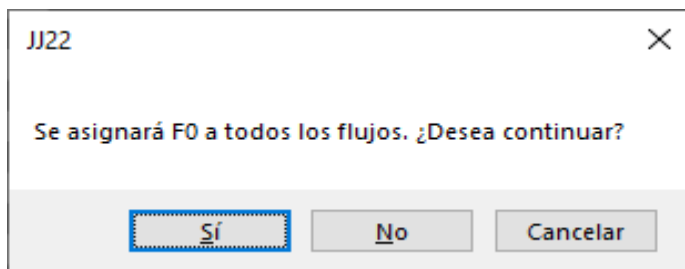
Cardinal	Phase
Este	ES F0
	EO1 F1
	EO2 F2
	EN F3
Norte	NE F4
	NS1 F0
	NS2 F1
	NO F2
Oeste	ON F3
	OE1 F4
	OE2 F0
	OS F1
Sur	SO F2
	SN1 F3
	SN2 F4
	SE F0

Así mismo, se puede asignar por defecto las fases a través de , la cual emitirá un cuadro de diálogo mencionando “Se asignará fases por defecto a todos los flujos. ¿Desea continuar?”, y dando “Sí” procede la operación, “No” y “Cancelar” queda como lo anterior.



Fases	
Este	
ES	F2
EO1	F2
EO2	F2
EN	F2
Norte	
NE	F1
NS1	F1
NS2	F1
NO	F1
Oeste	
ON	F4
OE1	F4
OE2	F4
OS	F4
Sur	
SO	F3
SN1	F3
SN2	F3
SE	F3

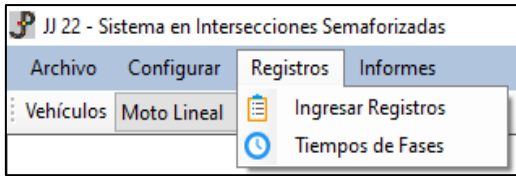
O también se puede borrar lo asignado con , el que emana otro cuadro que menciona "Se asignará F0 a todos los flujos. ¿Desea continuar?", al dar "Sí" ocurre los cambios, "No" y "Cancelar" queda como lo anterior.




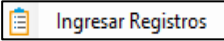
Fases	
Este	
ES	F0
EO1	F0
EO2	F0
EN	F0
Norte	
NE	F0
NS1	F0
NS2	F0
NO	F0
Oeste	
ON	F0
OE1	F0
OE2	F0
OS	F0
Sur	
SO	F0
SN1	F0
SN2	F0
SE	F0

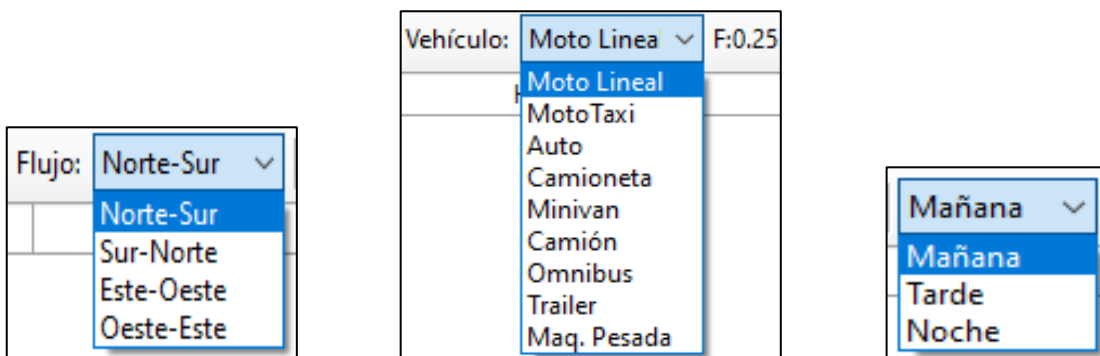
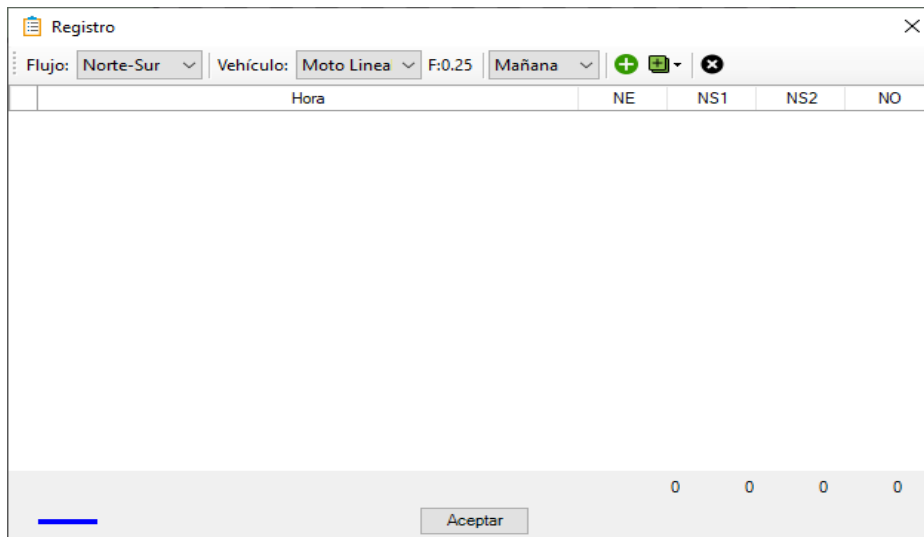
2.2.3. Registros



Se distribuye en los comandos siguientes:




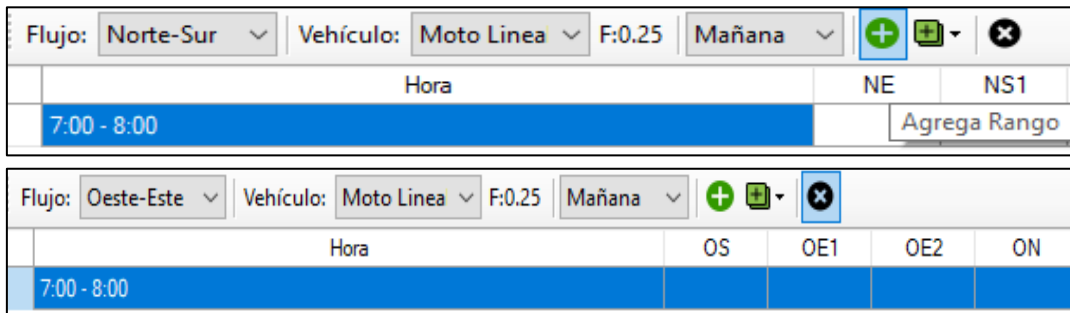
2.2.3.1. Ingresar Registros


A través de su acceso  , logra abrir un cuadro de diálogo que permite ir a la opción "Flujo", en la cual se presenta en forma de lista desplegable las orientaciones Norte-Sur, Sur-Norte, Este-Oeste y Oeste-Este. También, en la parte "Vehículo" se incluyó un directorio que enumera todos los tipos de vehículos registrados y según su selección enfocará su equivalente vehicular; así mismo se efectuó una lista desplegable para seleccionar el turno de ingreso del flujo vehicular, ofreciendo las opciones de mañana, tarde y noche.

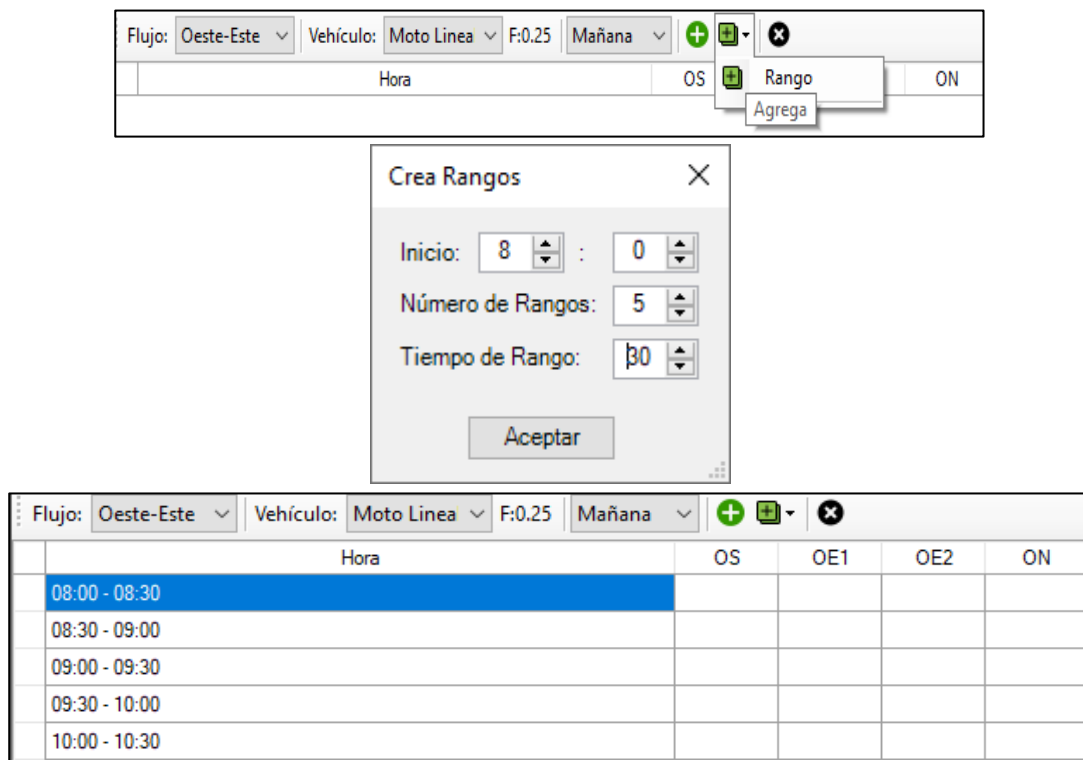


Además, se puede agregar manualmente tiempos   (que por defecto va colocando inicio de rango de 7:00 – 8:00, los cuales son editables en su totalidad y están en función a

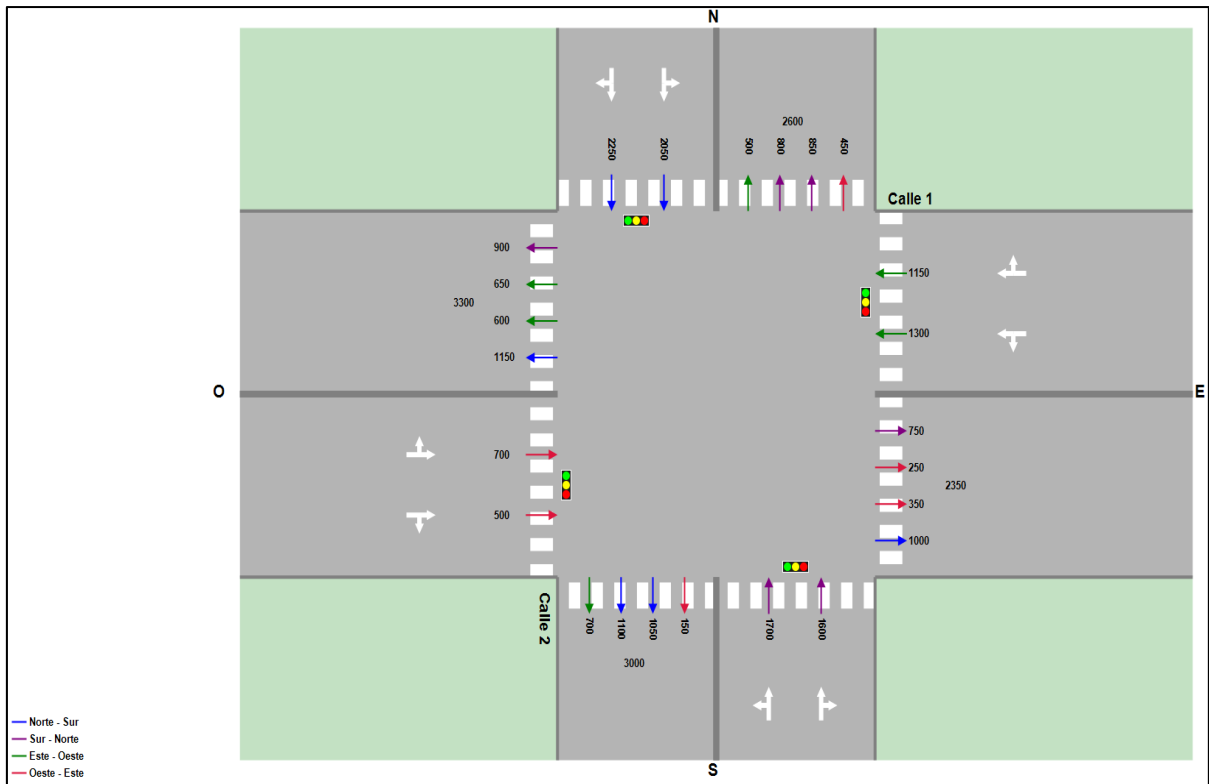
lo evaluado del aforo de vehículos), y también se da la opción eliminar  (se tiene que seleccionar toda la fila), por efectos de algún error o cambio que se desee hacer.




Así mismo, se da la forma de agregar rangos , dentro de esta se crean dando selecciones desplegables de inicio (desde 00:00 a 23:59), número (1 a 100) e intervalo de rangos (0 a 60) de tiempo, para luego con la opción “Aceptar” generar los cambios que se asignen.



Así también, se ingresan manualmente los flujos de vehículos recolectados de su estudio de tráfico, y se van almacenando y guardando automáticamente en una tabla de manera parcial o acumulada, esta última en la parte inferior; dicha tabla trae las opciones fijas de combinación de sentidos según los accesos N=Norte, S=Sur, E=Este, O=Oeste y como elija el flujo: Norte-Sur, Sur-Norte, Este-Oeste, Oeste-Este.



2.2.3.2. Tiempos de Fases

Mediante su acceso  **Tiempos de Fases**, permite dar a un cuadro de diálogo, donde es posible alojar manualmente los tiempos verdes por fase (F1, F2, F3, F4) recogidos de su estudio, todos los casilleros verdes se activarán siempre que se hayan asignado las cuatro fases, de lo contrario solo serán las que se seleccionó. Por defecto el sistema coloca el valor de 15 (modificable).

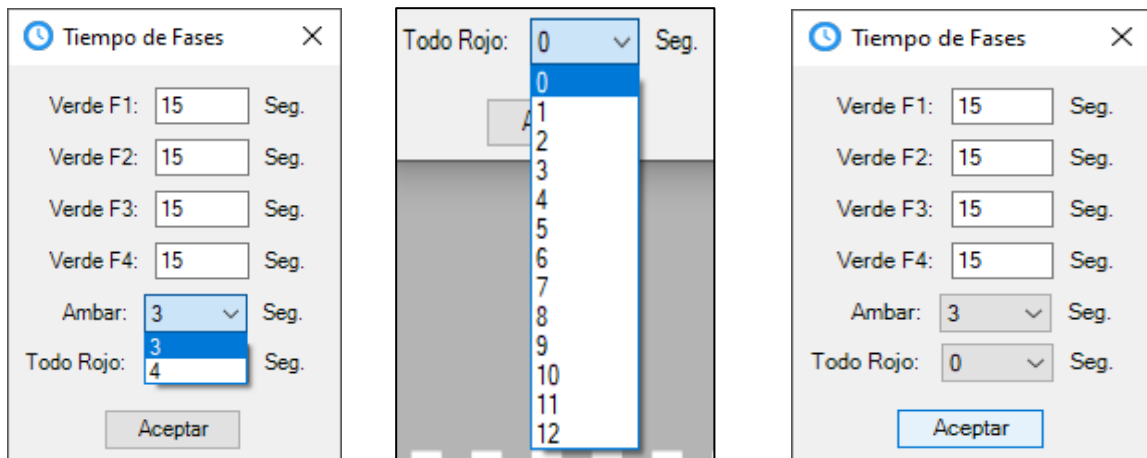
The dialog box titled "Tiempos de Fases" contains the following settings:

- Verde F1: Seg.
- Verde F2: Seg.
- Verde F3: Seg.
- Verde F4: Seg.
- Ambar: Seg.
- Todo Rojo: Seg.

An "Aceptar" button is located at the bottom of the dialog.

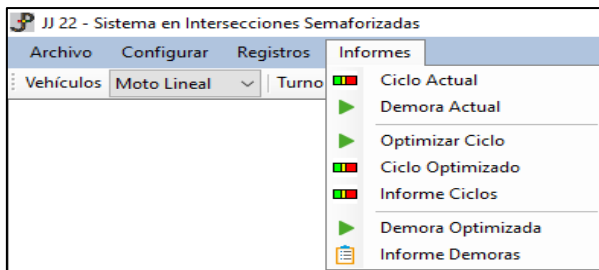
Así también, se incorporó un menú desplegable para la duración del ámbar (amarillo), la cual puede elegirse entre 3 y 4 segundos, y una lista de opciones (de 0 a 12 segundos) para generar todo rojo los semáforos; resaltar que el ingreso de valor para el rojo no es necesario,

ya que el sistema lo calcula y distribuye. Una vez colocado los datos, se pasa a dar en “Aceptar” para guardar los cambios.

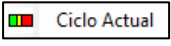



2.2.4. Informes

Esta compuesto por los comandos:



2.2.4.1. Ciclo Actual

Con su acceso  , da la opción a un diagrama de barras con su respectivo color de luces del semáforo, exhibiendo el tiempo correspondiente de verde, ámbar, todo rojo (si se programase) y rojo para cada fase asignada, tomando como base los datos introducidos por el usuario en cuanto a los tiempos de las fases semafóricas actuales. Una vez verificado la información, es importante colocar “Aceptar” o cerrar  , y poder dar pase secuencial al siguiente comando.

⌚ Tiempo de Fases [X]

Verde F1: Seg.

Verde F2: Seg.

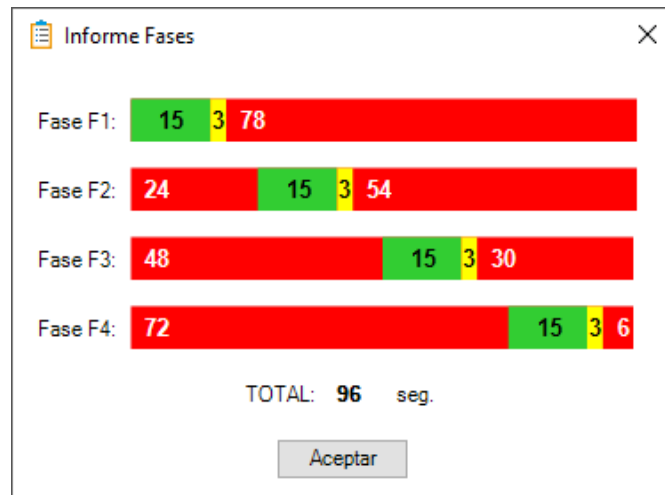
Verde F3: Seg.

Verde F4: Seg.

Ambar: Seg.

Todo Rojo: Seg.

Aceptar



2.2.4.2. Demora Actual

Por medio de su acceso , se consigue ir a un cuadro de diálogo que incluye las secciones “Turno”, “Vía: Nombre de la vía”, “Sentido”, “Carriles: Número de carriles”, “Ancho: Ancho de la vía o carril”, “Saturación”, “C: Tiempo del ciclo”, “Y: Coeficiente de verde”, “X: Grado de saturación”, “Q: Flujo del carril”, “Demora” y “Nivel de servicio”, mediante una tabla la cual al dar mostrará a los usuarios los resultados generados por el algoritmo correspondientes a cada sentido asignado; aquí se procesa para cualquier turno y caso de vehículo seleccionado, pero es importante que se haga para la opción “Auto EQ: Auto equivalente”.

▶ Calculo de Demora [X]

📄 Analizar | Caso: Auto EQ - Turno: Noche

	Turno	Vía	Sentido	Carriles	Ancho	Saturación	C	Y	X	Q	Demora	Nivel de Servicio
▶	Noche	Calle Cajamarca	NS	2	5	2536.95	77	0.4416	0.6159	690	49.328	D
	Noche	Calle Cajamarca	SN	2	5	2536.95	77	0.4416	0.5311	595	49.328	D
	Noche	Avenida Elvira G...	EO	2	6	3150	77	0.4545	0.5134	735	49.328	D
	Noche	Avenida Elvira G...	OE	2	6	3150	77	0.4545	0.4652	666	49.328	D

Demora de la Intersección

Demora: **49.3 Seg.**

Nivel de Servicio: **D**

Hacer notar que, al acercar el cursor a los títulos de la tabla, aparecerán sus denominaciones completas, según corresponda.

Carriles	Número de Carriles	Saturación
2	6	3150
2	6	3150
2	8.15	4278.75
2	8.15	4278.75


C	Y	X
54	0.2037	1.6847
54	0.2037	1.6847
54	0.6481	0.5781
54	0.6481	0.5781
54	0.6481	0.2979
54	0.6481	0.2979

Así también, en la parte inferior izquierda aparecerá la demora y nivel de servicio perteneciente o de operación actual de la intersección.


Demora de la Intersección

Demora: **49.3 Seg.**

Nivel de Servicio: **D**


Además, accediendo a , se dará opción de exportar un documento de texto (formato .txt) con la información de la tabla de demora actual, esto a través de un “Guardar como” que permite un cuadro de dialogo para elegir la ruta (disco y carpeta) y almacenar la información.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	Turno	Vía	Sentido	Carriles	Ancho	Saturación	C	Y	X	Q	Demora	Nivel de Servicio
					Noche	Calle Cajamarca NS		2	5	2536.95	77	0.4416	0.6159	690	49.328	D
					Noche	Calle Cajamarca SN		2	5	2536.95	77	0.4416	0.5311	595	49.328	D
					Noche	Avenida Elvira García y García	EO	2	6	3150	77	0.4545	0.5134	735	49.328	D
					Noche	Avenida Elvira García y García	OE	2	6	3150	77	0.4545	0.4652	666	49.328	D

Una vez procesado y exportado sus datos, cerrar  para poder dar pase secuencial al siguiente comando.

Importante: Si el valor de “X = Grado de saturación” es igual o mayor a 1 el sistema emitirá un aviso mencionando “Valores de X mayor a 1, evaluar con otro método”, para lo cual solo se dará resultados de demora y nivel de servicio para el caso que no ocurra, dando la opción al usuario de evaluar los efectos anteriores o posteriores en la intersección.

JJ22 ✕



Valores de X mayor a 1, evaluar con otro método

Aceptar

► Calculo de Demora

Analizar Caso: Auto EQ - Turno: Noche

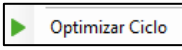
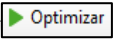

	Turno	Vía	Sentido	Carriles	Ancho	Saturación	C	Y	X	Q	Demora	Nivel de Servicio
►	Noche	Calle Las Moras	NS	2	6	3150	54	0.2037	1.0286	660		
	Noche	Calle Las Moras	SN	2	6	3150	54	0.2037	1.6847	1081		
	Noche	Avenida Salaverry	EO	2	8.15	4278.75	54	0.6481	0.5781	1603	11.979	B
	Noche	Avenida Salaverry	OE	2	8.15	4278.75	54	0.6481	0.2979	826	10.574	B

Demora de la Intersección

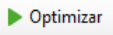
Demora: 12 Seg.

Nivel de Servicio: B

2.2.4.3. Optimizar Ciclo

A través de su acceso , logra abrir un cuadro de diálogo que abarca las secciones "Fase", "Sentido", "Flujo: Flujo por movimiento", "Carriles: Número de carriles", "FE: Factor de equivalencia", "q: Flujo vehicular directo", "Y: Flujo de saturación", "Ymax: Flujo de saturación máxima", "Ysum: Sumatoria flujo de saturación", "P: Tiempo total perdido por ciclo", "Tco: Tiempo de ciclo óptimo", "TV: Tiempo de total de verde", "TVF: Tiempo de verde de fase", "TA: Tiempo de ambar de fase" y "TR: Tiempo de rojo de fase", a través de una tabla la cual al ir  muestra a los usuarios los resultados generados por el algoritmo correspondiente a cada fase asignada; aquí se procesa para cualquier caso de turno y vehículo establecido, es importante que se haga para la opción "Auto EQ: Auto equivalente". Resaltar que antes de "Optimizar" o procesar se puede incluir o no un tiempo de todo rojo, según sea el caso de su estudio .

► Procesar

Todo Rojo: 0  Caso: Auto EQ - Turno: Noche


	Fase	Sentido	Flujo	Carriles	FE	q	Y	Ymax	Ysum	P	Tco	TV	TVF	TA	TR
►	F1	EN	592	1	1.2	710.4	0.39467	0.65722	0.85589...	8	54	46	35	4	15
	F1	EO1	1183	1	1	1183	0.65722	0.65722	0.85589...	8	54	46	35	4	15
	F1	ES	197	1	1.2	236.4	0.13133	0.65722	0.85589...	8	54	46	35	4	15
	F1	OS	220	1	1.2	264	0.14667	0.65722	0.85589...	8	54	46	35	4	15
	F1	OE1	597	1	1	597	0.33167	0.65722	0.85589...	8	54	46	35	4	15
	F1	ON	402	1	1.2	482.4	0.268	0.65722	0.85589...	8	54	46	35	4	15
	F2	NO	122	1	1.2	146.4	0.08133	0.19867	0.85589...	8	54	46	11	4	39
	F2	NS1	243	1	1	243	0.135	0.19867	0.85589...	8	54	46	11	4	39
	F2	NE	142	1	1.2	170.4	0.09467	0.19867	0.85589...	8	54	46	11	4	39
	F2	SE	87	1	1.2	104.4	0.058	0.19867	0.85589...	8	54	46	11	4	39
	F2	SN1	87	1	1	87	0.04833	0.19867	0.85589...	8	54	46	11	4	39

Hacer notar que, al acercar el cursor a los títulos de la tabla, aparecerán sus denominaciones completas, según corresponda.


FE	q	Y	Ymax	Ysum	P	Tco	TV	TVF	TA	TR
1.2	710.4	0.39467	0.65722	0.855890036	8	54	46	35	4	15
1	1183	0.65722	0.65722	0.855890036	8	54	46	35	4	15
1.2	236.4	0.13133	0.65722	0.855890036	8	54	46	35	4	15
1.2	264	0.14667	0.65722	0.855890036	8	54	46	35	4	15

Así también, en la parte derecha aparecerán un único tiempo de ciclo óptimo y semafóricos por fase (verde, ambar y rojo), perteneciente o de operación optimizada de la intersección.

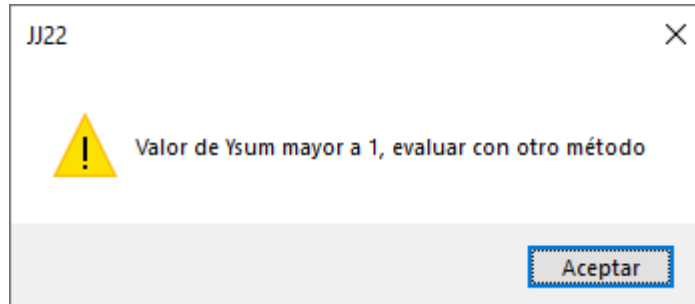
Tco	TV	TVF	TA	TR
54	46	35	4	15
54	46	35	4	15
54	46	35	4	15
54	46	35	4	15
54	46	35	4	15
54	46	35	4	15
54	46	11	4	39
54	46	11	4	39
54	46	11	4	39
54	46	11	4	39
54	46	11	4	39

Además, accediendo a , se dará opción de exportar un documento de texto (formato .txt) con la información de la tabla optimizada, esto a través de un “Guardar como” que permite un cuadro de dialogo para elegir la ruta (disco y carpeta) y almacenar la información.

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	Fase	Sentido	Flujo	Carriles	FE	q	Y	Ymax	Ysum	P	Tco	TV	TVF	TA	TR
					F1	EN	592	1	1.2	710.4	0.39467	0.65722	0.855890036	8	54	46	35	4	15
					F1	E01	1183	1	1	1183	0.65722	0.65722	0.855890036	8	54	46	35	4	15
					F1	ES	197	1	1.2	236.4	0.13133	0.65722	0.855890036	8	54	46	35	4	15
					F1	OS	220	1	1.2	264	0.14667	0.65722	0.855890036	8	54	46	35	4	15
					F1	OE1	597	1	1	597	0.33167	0.65722	0.855890036	8	54	46	35	4	15
					F1	ON	402	1	1.2	482.4	0.268	0.65722	0.855890036	8	54	46	35	4	15
					F2	NO	122	1	1.2	146.4	0.08133	0.19867	0.855890036	8	54	46	11	4	39
					F2	NS1	243	1	1	243	0.135	0.19867	0.855890036	8	54	46	11	4	39
					F2	NE	142	1	1.2	170.4	0.09467	0.19867	0.855890036	8	54	46	11	4	39
					F2	SE	87	1	1.2	104.4	0.058	0.19867	0.855890036	8	54	46	11	4	39
					F2	SN1	87	1	1	87	0.04833	0.19867	0.855890036	8	54	46	11	4	39
					F2	S0	298	1	1.2	357.6	0.19867	0.19867	0.855890036	8	54	46	11	4	39

Una vez procesado y exportado sus datos, cerrar  para poder dar pase secuencial al siguiente comando.

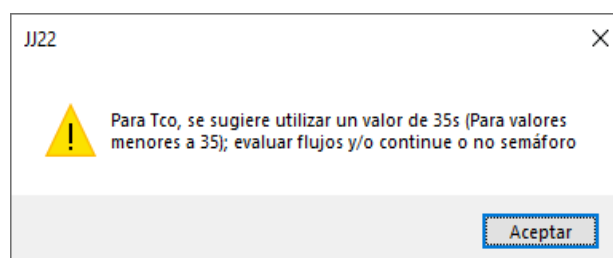
Importante 1: Si el valor de “Ysum: Sumatoria flujo de saturación” es igual o mayor a 1 el sistema emitirá un aviso mencionando “Valor de Ysum mayor a 1, evaluar con otro método”, y por ende ya no dará resultados de tiempos semafóricos por fase, dando la opción al usuario de evaluar los efectos anteriores o posteriores en la intersección.



Procesar															
Todo Rojo: 0 Optimizar Caso: Auto EQ - Turno: Noche															
	Fase	Sentido	Flujo	Camles	FE	q	Y	Ymax	Ysum	P	Tco	TV	TVF	TA	TR
▶	F1	EN	4359	1	1.2	5230.8	2.906	2.914	5.60733...	8	65				
	F1	EO1	4656	1	1	4656	2.58667	2.914	5.60733...	8	65				
	F1	ES	4223	1	1.2	5067.6	2.81533	2.914	5.60733...	8	65				
	F1	OS	4371	1	1.2	5245.2	2.914	2.914	5.60733...	8	65				
	F1	OE1	4626	1	1	4626	2.57	2.914	5.60733...	8	65				
	F1	ON	4162	1	1.2	4994.4	2.77467	2.914	5.60733...	8	65				
	F2	NO	4039	1	1.2	4846.8	2.69267	2.69333	5.60733...	8	65				
	F2	NS1	4096	1	1	4096	2.27556	2.69333	5.60733...	8	65				
	F2	NE	4026	1	1.2	4831.2	2.684	2.69333	5.60733...	8	65				
	F2	SE	4014	1	1.2	4816.8	2.676	2.69333	5.60733...	8	65				
	F2	SN1	4074	1	1	4074	2.26333	2.69333	5.60733...	8	65				
	F2	SO	4040	1	1.2	4848	2.69333	2.69333	5.60733...	8	65				

Importante 2:

Si el valor de “Tco: Tiempo de ciclo óptimo” es menor de 35 segundos, el sistema emitirá un aviso como sugerencia, mencionando “Para Tco, se sugiere utilizar un valor de 35s (Para valores menores a 35); evaluar flujos y/o continue o no semáforo”, pero de igual modo el sistema dará resultados, dando recomendación y la opción de que el usuario evalúe o tome la mejor decisión, teniendo en cuenta los efectos anteriores o posteriores en la intersección.

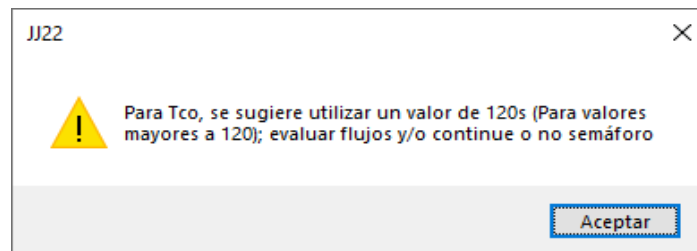


Procesar

Todo Rojo: 0 Optimizar Caso: Auto EQ - Turno: Noche

	Fase	Sentido	Flujo	Camiles	FE	q	Y	Ymax	Ysum	P	Tco	TV	TVF	TA	TR
▶	F1	EN	359	1	1.2	430.8	0.23933	0.36444	0.41777	8	28	20	17	4	7
	F1	EO1	656	1	1	656	0.36444	0.36444	0.41777	8	28	20	17	4	7
	F1	ES	223	1	1.2	267.6	0.14867	0.36444	0.41777	8	28	20	17	4	7
	F1	OS	371	1	1.2	445.2	0.24733	0.36444	0.41777	8	28	20	17	4	7
	F1	OE1	626	1	1	626	0.34778	0.36444	0.41777	8	28	20	17	4	7
	F1	ON	162	1	1.2	194.4	0.108	0.36444	0.41777	8	28	20	17	4	7
	F2	NO	39	1	1.2	46.8	0.026	0.05333	0.41777	8	28	20	3	4	21
	F2	NS1	96	1	1	96	0.05333	0.05333	0.41777	8	28	20	3	4	21
	F2	NE	26	1	1.2	31.2	0.01733	0.05333	0.41777	8	28	20	3	4	21
	F2	SE	14	1	1.2	16.8	0.00933	0.05333	0.41777	8	28	20	3	4	21
	F2	SN1	74	1	1	74	0.04111	0.05333	0.41777	8	28	20	3	4	21
	F2	SO	40	1	1.2	40	0.02667	0.05333	0.41777	8	28	20	3	4	21

Si el valor de “Tco: Tiempo de ciclo óptimo” es mayor a 120 segundos, el sistema emitirá un aviso como sugerencia, mencionando “Para Tco, se sugiere utilizar un valor de 120 s (Para valores mayores a 120); evaluar flujos y/o continue o no semáforo”, y por ende el sistema ya no dará resultados de tiempos semafóricos por fase, dando recomendación y la opción de que el usuario evalúe o tome la mejor decisión, teniendo en cuenta los efectos anteriores o posteriores en la intersección.

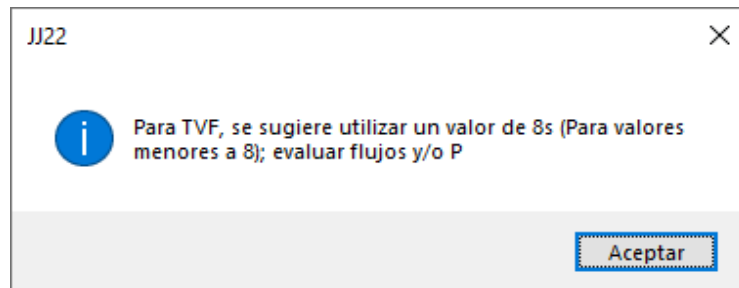


Procesar

Todo Rojo: 5 Optimizar Caso: Auto EQ - Turno: Noche



	Fase	Sentido	Flujo	Camiles	FE	q	Y	Ymax	Ysum	P	Tco	TV	TVF	TA	TR
▶	F1	EN	4859	1	1.2	5830.8	3.23933	3.24733	7.32843...	27	121				
	F1	EO1	4156	2	1	2078	1.15444	3.24733	7.32843...	27	121				
	F1	ES	4723	1	1.2	5667.6	3.14867	3.24733	7.32843...	27	121				
	F1	OS	4871	1	1.2	5845.2	3.24733	3.24733	7.32843...	27	121				
	F1	OE1	4123	2	1	2061.5	1.14528	3.24733	7.32843...	27	121				
	F1	ON	4662	1	1.2	5594.4	3.108	3.24733	7.32843...	27	121				
	F2	NO	4539	2	1.2	2723.4	1.513	2.55333	7.32843...	27	121				
	F2	NS1	4596	1	1	4596	2.55333	2.55333	7.32843...	27	121				
	F2	NE	4526	2	1.2	2715.6	1.50867	2.55333	7.32843...	27	121				
	F2	SE	4514	2	1.2	2708.4	1.50467	2.55333	7.32843...	27	121				
	F2	SN1	4574	1	1	4574	2.54111	2.55333	7.32843...	27	121				
	F2	SO	4540	2	1.2	2724	1.51333	2.55333	7.32843...	27	121				
	F3	EO2	5000	2	1	2500	1.38889	1.52778	7.32843...	27	121				
	F3	OE2	5500	2	1	2750	1.52778	1.52778	7.32843...	27	121				

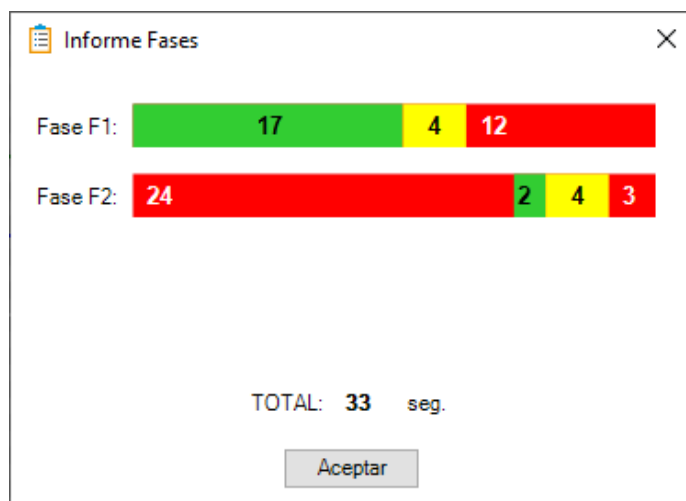
Importante 3: Si hay valores de “TVF: Tiempo de Verde de Fase” menores a 8 segundos, el sistema emitirá un aviso como sugerencia, mencionando “Para TVF, se sugiere utilizar un valor de 8 s (Para valores menores a 8); evaluar flujos y/o P”, pero de igual manera el sistema mostrará resultados, dando recomendación y la opción de que el usuario evalúe o tome la mejor decisión, teniendo en cuenta los efectos anteriores o posteriores en la intersección.



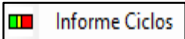

Procesar															
Todo Rojo: 3 Optimizar Caso: Auto EQ - Turno: Noche															
	Fase	Sentido	Flujo	Camiles	FE	q	Y	Ymax	Ysum	P	Tco	TV	TVF	TA	TR
▶	F1	EN	359	1	1.2	430.8	0.23933	0.36444	0.41777	14	33	19	17	4	12
	F1	EO1	656	1	1	656	0.36444	0.36444	0.41777	14	33	19	17	4	12
	F1	ES	223	1	1.2	267.6	0.14867	0.36444	0.41777	14	33	19	17	4	12
	F1	OS	371	1	1.2	445.2	0.24733	0.36444	0.41777	14	33	19	17	4	12
	F1	OE1	626	1	1	626	0.34778	0.36444	0.41777	14	33	19	17	4	12
	F1	ON	162	1	1.2	194.4	0.108	0.36444	0.41777	14	33	19	17	4	12
	F2	NO	39	1	1.2	46.8	0.026	0.05333	0.41777	14	33	19	2	4	27
	F2	NS1	96	1	1	96	0.05333	0.05333	0.41777	14	33	19	2	4	27
	F2	NE	26	1	1.2	31.2	0.01733	0.05333	0.41777	14	33	19	2	4	27
	F2	SE	14	1	1.2	16.8	0.00933	0.05333	0.41777	14	33	19	2	4	27
	F2	SN1	74	1	1	74	0.04111	0.05333	0.41777	14	33	19	2	4	27
	F2	SO	40	1	1.2	48	0.02667	0.05333	0.41777	14	33	19	2	4	27

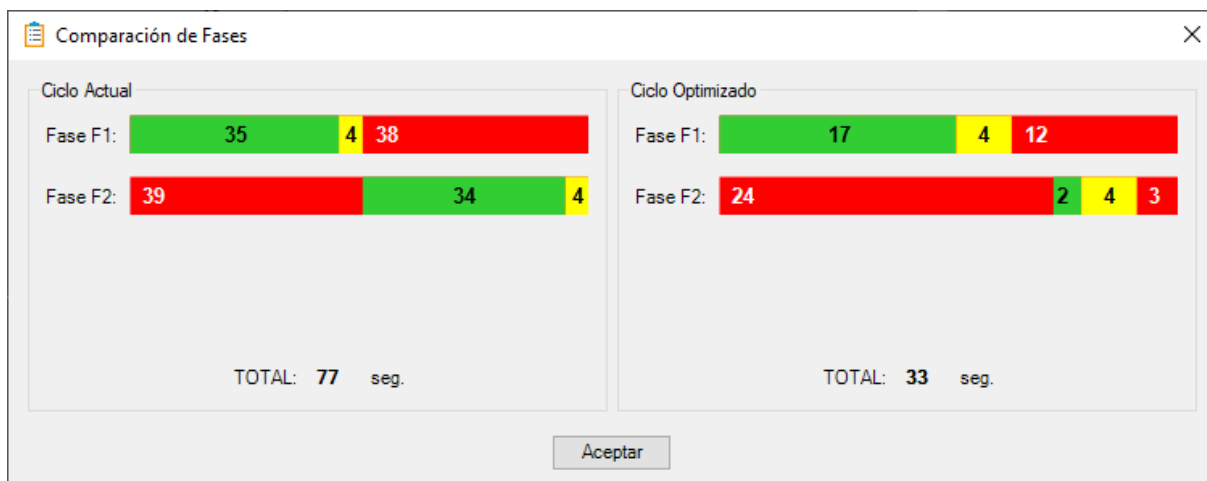
2.2.4.4. Ciclo Optimizado

Mediante su acceso  , permite dar a un diagrama de barras, que contiene sus respectivos colores de luces del semáforo, exhibiendo el tiempo correspondiente de verde, ámbar, todo rojo (si se programase) y rojo para cada fase ya optimizadas. Una vez verificado la información, es importante colocar “Aceptar” o cerrar  , y poder dar pase secuencial al siguiente comando.

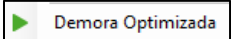


2.2.4.5. Informe Ciclos



Con su acceso  , da la opción a dos cuerpos de diagramas de barras, que contienen sus respectivos colores de luces del semáforo, exhibiendo el tiempo correspondiente de verde, ámbar, todo rojo (si se programase) y rojo para cada fase, comparando su estado actual (izquierda) y optimizado (derecha). Una vez verificado la información, es importante colocar “Aceptar” o cerrar  , y poder dar pase secuencial al siguiente comando.

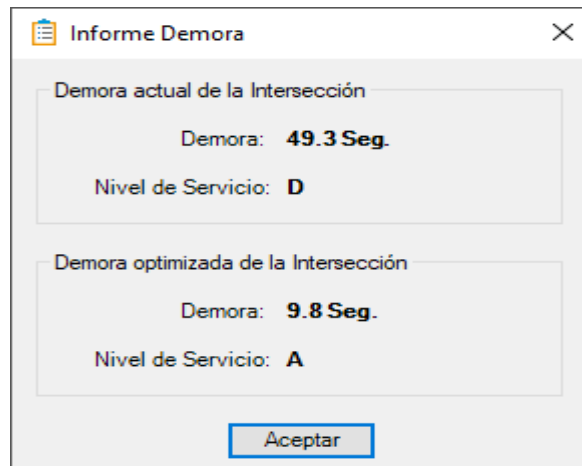


2.2.4.6. Demora Optimizada

Por medio de su acceso  , se consigue ir a un cuadro de diálogo, y se repite la misma secuencialidad que el ítem 2.1.4.2. (Demora actual), con la única diferencia que las variables “C: Tiempo del ciclo” y “Y: Coeficiente de verde” sufrirán variación por estar en su estado optimizado, brindando resultados según corresponda la afectación de estos valores.

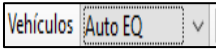
2.2.4.7. Informe Demoras

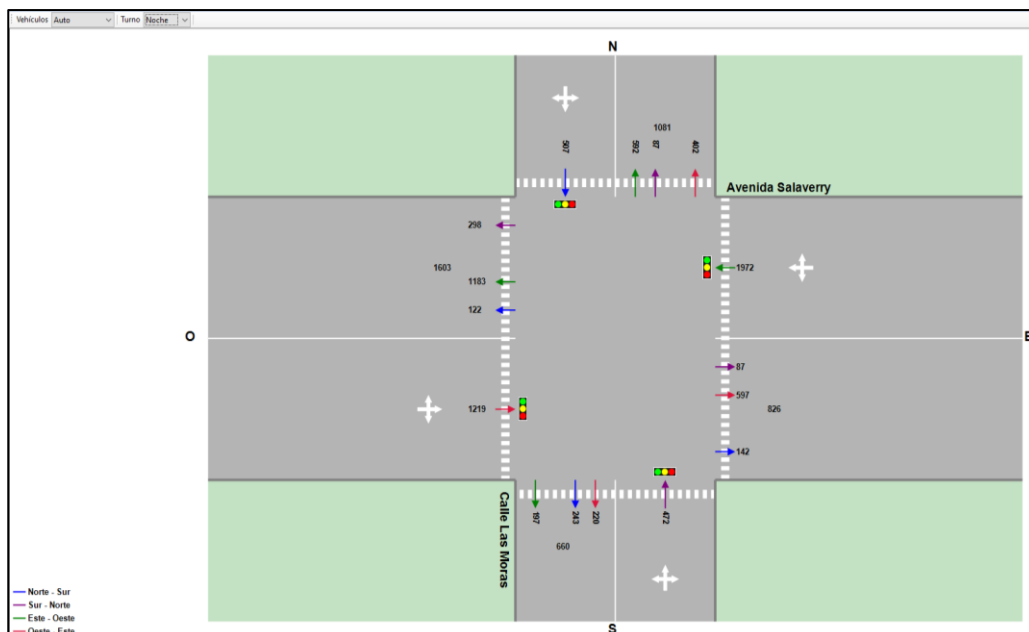
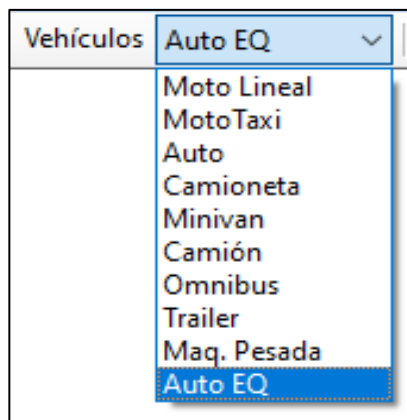
A través de su acceso  Informe Demoras, logra abrir un cuadro de diálogo que representa un comparativo del estado actual con el optimizado (demoras y niveles de servicio clasificados – ambos casos), respecto a la intersección analizada. Una vez verificado la información, es importante colocar “Aceptar” o cerrar , y poder finalizar los comandos.



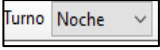
Sección III: Barra de herramientas

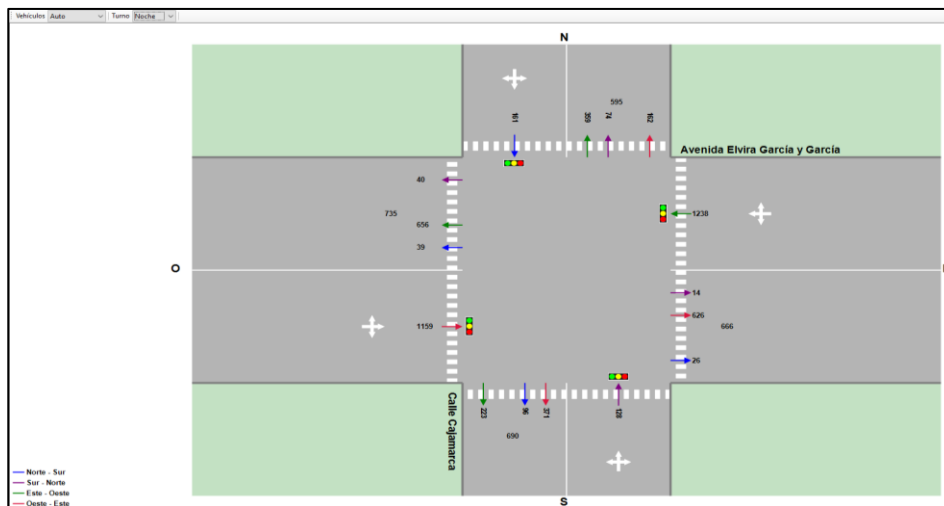
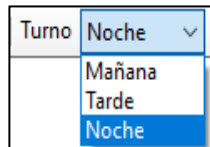
3.1. Vehículos

Mediante su acceso → , permite dar a un menú desplegable que contiene las categorías vehiculares: Moto Lineal, Moto Taxi, Auto, Camioneta, Minivan, Camión, Omnibus, Trailer, Maquinaria Pesada, y se crea el apartado “Auto EQ = Auto equivalente”, que al activarlo logra transformar todos los flujos ingresados según su categoría, a un solo tipo de vehículo justamente haciendo uso de sus equivalencias vehiculares; resaltar que al elegir cualquier tipo de vehículo incluido el “Auto EQ”, se pueden ver reflejados sus flujogramas en el área de trabajo a través de sus flechas con sentido del flujo.



3.2. Turno

Con su acceso → , da la opción a una lista elegible de tres turnos en las que se puede estudiar una intersección, teniendo presente el registro vehicular evaluado y registrado (ver ítem 2.1.3.1.); al seleccionar cualquier categoría vehicular y turno, se va a ver reflejado en el área de trabajo su flujograma respectivo.



4.1.3. Propuesta de sistema adaptativo para intersecciones semaforizadas en la ciudad de Jaén

4.1.3.1. Intersección de calles: Pardo Miguel - Simón Bolívar

El análisis se llevó a cabo mediante la recopilación de datos en campo (detallados en ítems anteriores según corresponde), y luego se utiliza el sistema JJ22, el cual emplea algoritmos adaptativos para determinar los tiempos de demora y ciclo óptimo. Se inició el sistema y se creó un nuevo proyecto (ver Figura 69).



Figura 69: Creación del proyecto intersección Pardo Miguel - Simón Bolívar

Luego se ingresó en la pestaña 'Configurar' y en la sección 'Configura intersección' se verificaron el nombre de la calle Simón Bolívar (horizontal) y Pardo Miguel (vertical) e ingresaron sus respectivos anchos promedio de calzada con 8.30m en Este y 8.88m en Oeste (horizontales), y, de 10.30m en Norte y 9.94m en Sur (verticales) respectivamente (ver Figura 70).

Configura Intersección

✓ **Calle Horizontal**
 Nombre **Calle Simón Bolívar**
 Ancho E **8.3**
 Ancho O **8.88**

✓ **Calle Vertical**
 Nombre **Calle Pardo Miguel**
 Ancho N **10.3**
 Ancho S **9.94**

Nombre
Nombre

Aceptar

Figura 70: Verificación del nombre e ingreso de ancho de calzada

Así también, en la sección ‘Clasificación’, se empieza por verificar que sean los que corresponden, ya que por defecto el sistema los presenta, y que servirán para saber en qué rango opera la intersección; la Figura 71 lo detalla.

Clasificación de Control

+ Agregar ✕

	Nivel Servicio	Demora de Control
▶	A	≤10
	B	>10 - ≤20
	C	>20 - ≤35
	D	>35 - ≤55
	E	>55 - ≤80
	F	>80

Aceptar

Figura 71: Verificación de niveles de servicio y demora

Posteriormente en la sección ‘Vehículos’, se verifica que para todos estos que por defecto el sistema presenta, con su respectivo equivalente vehicular con un valor de 0.25 para Moto Lineal hasta 3 para Tráiler y Ómnibus, sean los que corresponden para la intersección en estudio, como se muestra en la Figura 72.



ID	Vehículo	F
1	Moto Lineal	0.25
2	MotoTaxi	0.33
3	Auto	1.00
4	Camioneta	1.00
5	Minivan	1.00
6	Camión	2.50
7	Omnibus	3.00
8	Trailer	3.00
9	Maq. Pesada	2.50

Figura 72: Verificación de vehículos y sus equivalentes

Definido los parámetros geométricos y vehiculares, en la pestaña de ‘Registros’ se ingresaron los datos del flujo vehicular (para el día más cargado - lunes y en sus horas pico) en intervalos de 15 minutos registrando la cantidad de vehículos en ese tiempo, para Moto Lineal, Moto Taxi, Auto, Camioneta, Minivan y Camión en el sentido Norte-Sur, Sur-Norte y Este-Oeste, para el turno Mañana, Tarde y Noche (ver Figura 73).

Registro					
Flujo: Norte-Sur		Vehículo: Moto Linea		F:0.25	Mañana
Hora	NE	NS1	NS2	NO	
07:15 - 07:30		54			2
07:30 - 07:45		54			3
07:45 - 08:00		79			1
08:00 - 08:15		60			3

Registro					
Flujo: Norte-Sur		Vehículo: Moto Linea		F:0.25	Tarde
Hora	NE	NS1	NS2	NO	
12:30 - 12:45		143			9
12:45 - 13:00		163			8
13:00 - 13:15		217			12
13:15 - 13:30		143			9

Registro					
Flujo: Norte-Sur		Vehículo: Moto Linea		F:0.25	Noche
Hora	NE	NS1	NS2	NO	
18:00 - 18:15		159			11
18:15 - 18:30		180			15
18:30 - 18:45		153			15
18:45 - 19:00		142			7

Figura 73: Ingreso del flujo vehicular según cada sentido, tipo de vehículo y turno

Seguido se asignaron las fases correspondientes a cada flujo vehicular en las direcciones Este, Norte, Oeste y Sur, designando las fases como F1 (Norte y Sur) y F2 (Este) en función del flujo vehicular, y utilizando F0 para indicar la ausencia de asignación de fase en cada sentido respectivo. En la Figura 74 se representa el flujo de tráfico transformado a auto equivalente para el turno de la tarde (del día y hora pico más cargado – lunes de 12:30 a 13:30), con las flechas correspondientes que indican el sentido del desplazamiento de los vehículos.

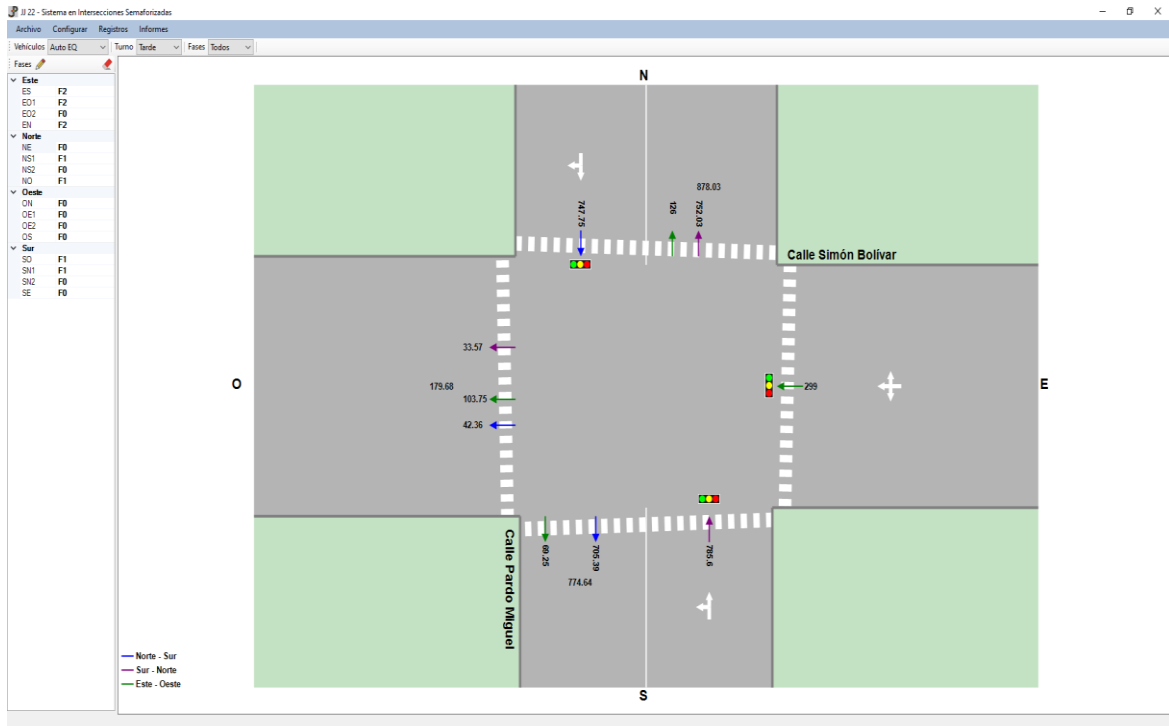


Figura 74: Asignación de las fases

Definida las fases se registraron los tiempos en el ciclo extraídos de los semáforos de la intersección en estudio, obteniendo en tiempo de verde, 24 segundos en la F1 y 22 segundos en la F2, con tiempos de ámbar y todo rojo, de 3 y 0 segundos respectivamente, en ambas fases, como se muestra en la Figura 75.

Figura 75: Asignación del tiempo de fases

Luego, para llevar a cabo el procesamiento de los datos, se accedió a la pestaña 'Informes'. En la sub ventana correspondiente al 'Ciclo actual', nos muestra el informe detallado de las fases actuales de la intersección, definiendo F1 con una duración de 24 segundos en verde,

seguido de 3 segundos en ámbar y finalizando con 25 segundos en rojo. Respecto a la fase F2, fue de 27 segundos en rojo, 22 segundos en verde y 3 segundos en ámbar (ver Figura 76).

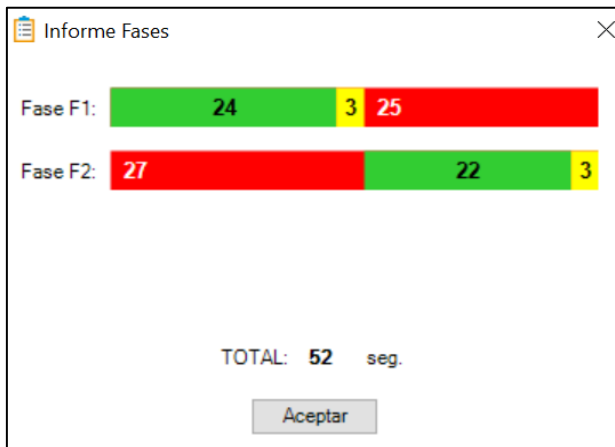


Figura 76: Informe de fases del tiempo de ciclo actual

Dentro del sistema, en la sección ‘Demora actual’ se calcularon las diferentes variables para determinar el tiempo de demora de la intersección empleando el algoritmo entrenado. La Figura 77 presenta el análisis detallado del cálculo de demora de la intersección vial en el turno tarde (del día y hora pico más cargado – lunes de 12:30 a 13:30). Se determinó que la demora en la intersección fue de 11.8 segundos, con un nivel de servicio clasificado como B, indicando un funcionamiento moderado. Además, se proporcionaron datos relevantes como el número de carriles, el ancho de las vías, la saturación del tráfico en vehículos por hora, así como coeficientes y parámetros del flujo vehicular y la capacidad de la intersección. Este análisis permitió evaluar el desempeño de la intersección vial en términos de demora y nivel de servicio, brindando información crucial para la planificación y optimización del tráfico.

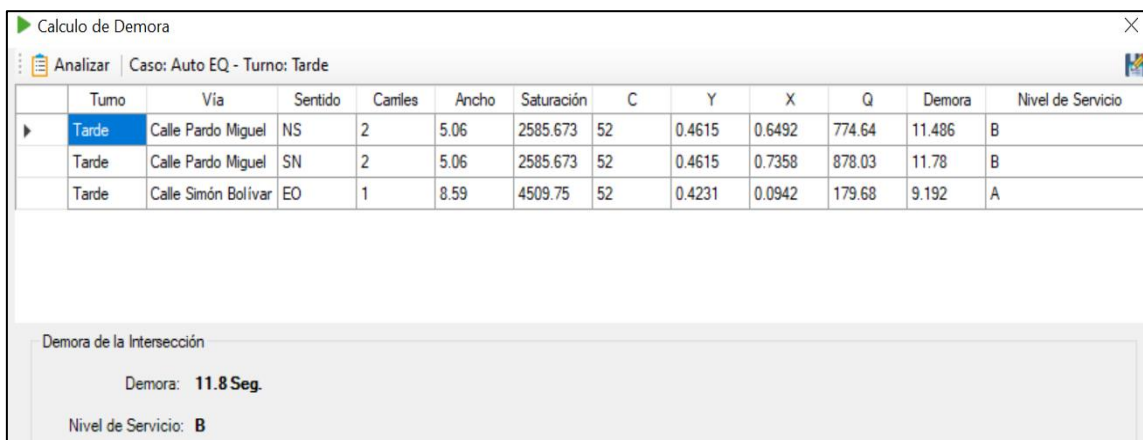


Figura 77: Cálculo de la demora actual de la intersección

Además, las Figura 77 detalla la demora y nivel de servicio de la intersección entre calles, teniendo como valores a 11.8 s y “B”, respectivamente, bajo un funcionamiento moderado; al respecto Radivojević et al. (2021) indica para la práctica, se suele considerar para intersecciones de zonas urbanas, el nivel aceptable de servicio C, donde los retrasos son de 20-35 s (D representa el nivel menos aceptable de retraso).

En la sección 'Optimizar ciclo', se calculó el tiempo de ciclo óptimo (Tco) utilizando el algoritmo adaptativo el cual considera las diferentes fases asignadas (F1, F2) y las variables más significativas como el flujo, número de carriles, q, Y, Ysum y P. El resultado obtenido para el Tco fue de 28 segundos, lo cual es menor que el límite de 35 segundos establecido, por lo tanto, no se programa un tiempo de ciclo adicional.

Además, se ha calculo el tiempo total de verde (TV) y se distribuyó de manera adecuada para cada fase, asignando los tiempos correspondientes de verde, ámbar y rojo. Esta distribución precisa del tiempo en cada fase del ciclo es fundamental para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del sistema de control de tráfico, permitiendo una gestión óptima de la circulación vehicular en la intersección (ver Figura 78).

	Fase	Sentido	Flujo	Camiles	FE	q	Y	Ymax	Ysum	P	Tco	TV	TVF	TA	TR
▶	F1	NO	42.36	1	1.2	50.832	0.02824	0.41779	0.50179	6	28	22	18	3	7
	F1	NS1	705.39	1	1	705.39	0.39188	0.41779	0.50179	6	28	22	18	3	7
	F1	SN1	752.03	1	1	752.03	0.41779	0.41779	0.50179	6	28	22	18	3	7
	F1	SO	33.57	1	1.2	40.284	0.02238	0.41779	0.50179	6	28	22	18	3	7
	F2	EN	126	1	1.2	151.2	0.084	0.084	0.50179	6	28	22	4	3	21
	F2	EO1	103.75	1	1	103.75	0.05764	0.084	0.50179	6	28	22	4	3	21
	F2	ES	69.25	1	1.2	83.1	0.04617	0.084	0.50179	6	28	22	4	3	21

Figura 78: Cálculo del tiempo de ciclo óptimo

En la sección de 'Ciclo optimizado', se detalla el tiempo asignado a cada fase del ciclo de semáforo. En la Fase 1, se estableció un tiempo de 18 segundos para la luz verde, 3 segundos para la luz ámbar y 7 segundos para la luz roja. En la Fase 2, se asignaron 21 segundos para la luz roja, 4 segundos para la luz verde y 3 segundos para la luz ámbar (ver Figura 79).

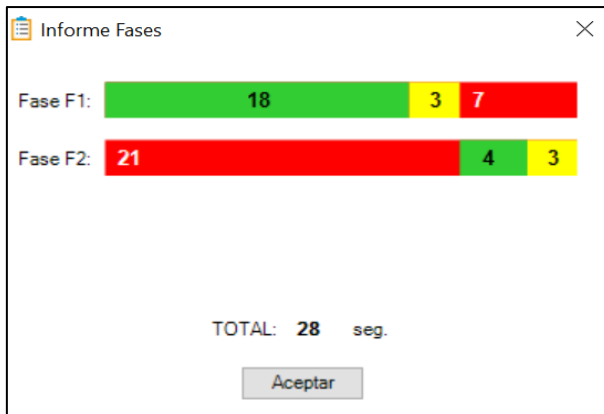


Figura 79: Informe de fases del ciclo optimizado

En la sección de 'Informes ciclos', se presenta una comparación entre el ciclo actual y el ciclo optimizado para las diferentes fases. En la Fase F1, el ciclo actual tiene una duración de 24 segundos de verde, mientras que el ciclo optimizado ha reducido este tiempo a 18 segundos, 3 segundos para la luz ámbar y 7 segundos para la luz roja. En cuanto a la Fase F2, el ciclo actual tiene una duración de 27 segundos para la luz roja, mientras que el ciclo optimizado ha reducido este tiempo a 21 segundos, 4 segundos para la luz verde y 3 segundos para la luz ámbar. Debido a que el tiempo de ciclo optimizado es menor a 35 segundos no se programa tiempo de ciclo para la intersección (ver Figura 80).

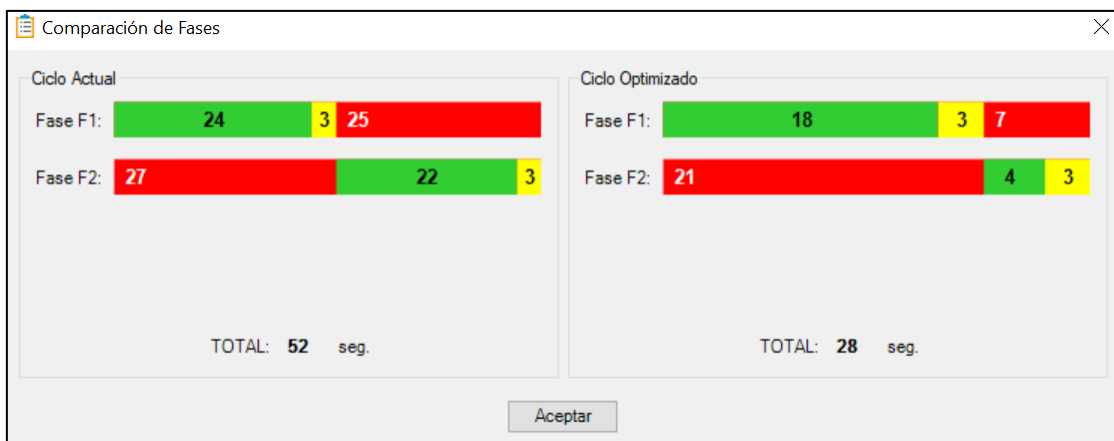


Figura 80: Comparación de fases del ciclo actual y optimizado

Recaltar que la Figura 80 expresa reducciones de tiempos de ciclo y del semáforo de la actual a la optimizada, similarmente con Doçi et al. (2022) que logra disminuir sus longitudes de ciclo de 42 s. a 32 s.; además, con Li et al. (2021) que disminuye su ciclo de 84 a 69 segundos y su tiempo de verde de 18 a 12 segundos; del mismo modo con Arjmand et al. (2021) que en su primera alternativa (optimización de la programación de los semáforos) revela que la sincronización de los semáforos ha mejorado.

4.1.3.2. Intersección de avenida y calle: Villanueva Pinillos – Simón Bolívar

El análisis se desarrolló a través de la recopilación de datos en campo (detallados en ítems anteriores según corresponde), y posterior el sistema JJ22, emplea algoritmos adaptativos para determinar los tiempos de demora y ciclo óptimo. Ante ello, se dio inicio el sistema y se generó un nuevo proyecto a guardar (ver Figura 81).

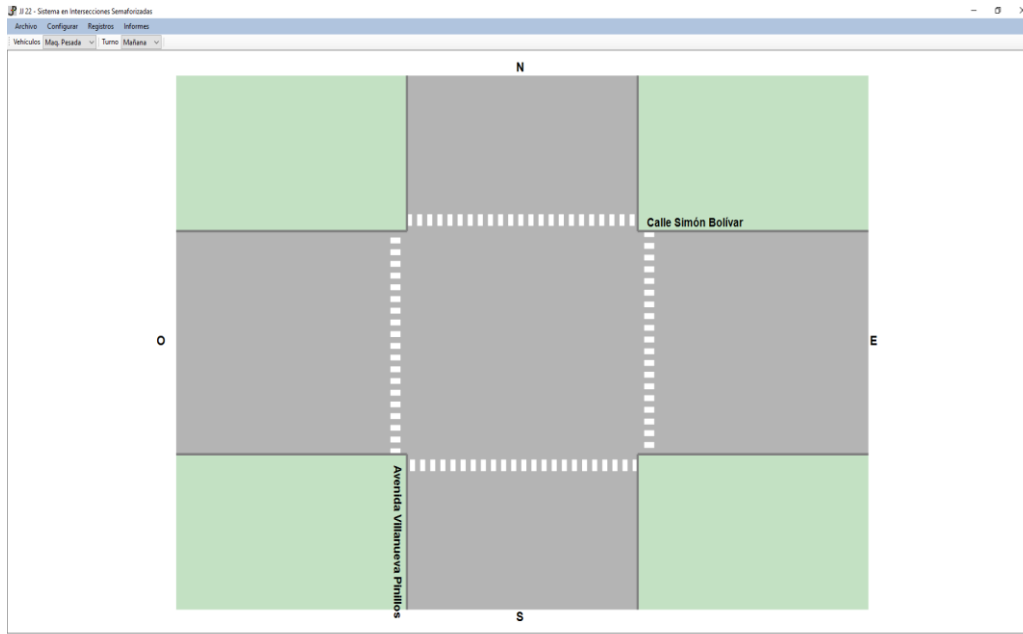


Figura 81: Creación del proyecto intersección Villanueva Pinillos - Simón Bolívar

Posteriormente se ingresó en la pestaña ‘Configurar’ y en la sección ‘Configura intersección’ se verificaron el nombre de la calle Simón Bolívar (horizontal) y avenida Villanueva Pinillos (vertical) e ingresaron sus respectivos anchos promedio de calzada con 8.72m en Este y 10.32m en Oeste (horizontales), y, de 9.40m en Norte y 13.40m en Sur (verticales) respectivamente (ver Figura 82).

Configura Intersección

▼ Calle Horizontal
 Nombre: Calle Simón Bolívar
 Ancho E: 8.72
 Ancho O: 10.32

▼ Calle Vertical
 Nombre: Avenida Villanueva Pinillos
 Ancho N: 9.4
 Ancho S: 13.4

Nombre
Nombre

Aceptar

Figura 82: Verificación del nombre e ingreso de ancho de calzada

Así también, en la sección ‘Clasificación’, se empieza por verificar que sean los que corresponden, ya que por defecto el sistema los presenta, y que servirán para saber en qué rango opera la intersección; la Figura 83 lo detalla.

Clasificación de Control

+ Agregar X

	Nivel Servicio	Demora de Control
▶	A	≤10
	B	>10 - ≤20
	C	>20 - ≤35
	D	>35 - ≤55
	E	>55 - ≤80
	F	>80

Aceptar

Figura 83: Verificación de niveles de servicio y demora

Luego en la sección ‘Vehículos’, se verifica que para todos estos que por defecto el sistema presenta, con su respectivo equivalente vehicular con un valor de 0.25 para Moto Lineal

hasta 3 para Tráiler y Ómnibus, sean los que corresponden para la intersección en estudio, como se muestra en la Figura 84.



ID	Vehículo	F
1	Moto Lineal	0.25
2	MotoTaxi	0.33
3	Auto	1.00
4	Camioneta	1.00
5	Minivan	1.00
6	Camión	2.50
7	Omnibus	3.00
8	Trailer	3.00
9	Maq. Pesada	2.50

Figura 84: Verificación de vehículos y sus equivalentes

Definido los parámetros geométricos y vehiculares, en la pestaña de 'Registros' se ingresaron los datos del flujo vehicular (para el día más cargado - lunes y en sus horas pico) en intervalos de 15 minutos registrando la cantidad de vehículos en ese tiempo, para Moto Lineal, Auto, Camioneta, Minivan y Camión en el sentido Sur-Norte y Este-Oeste, para el turno Mañana, Tarde y Noche (ver Figura 85).

Registro					
Flujo: Sur-Norte		Vehículo: Moto Linea		F:0.25	
		Mañana			
Hora	SE	SN1	SN2	SO	
07:15 - 07:30		140		7	
07:30 - 07:45		125		11	
07:45 - 08:00		152		5	
08:00 - 08:15		161		13	

Registro					
Flujo: Sur-Norte		Vehículo: Moto Linea		F:0.25	
		Tarde			
Hora	SE	SN1	SN2	SO	
12:30 - 12:45		293		36	
12:45 - 13:00		284		27	
13:00 - 13:15		402		40	
13:15 - 13:30		349		44	

Registro					
Flujo: Sur-Norte		Vehículo: Moto Linea		F:0.25	
		Noche			
Hora	SE	SN1	SN2	SO	
18:00 - 18:15		235		41	
18:15 - 18:30		246		28	
18:30 - 18:45		239		18	
18:45 - 19:00		215		22	

Figura 85: Ingreso del flujo vehicular según cada sentido, tipo de vehículo y turno

En seguida se asignaron las fases correspondientes a cada flujo vehicular en las direcciones Este, Norte, Oeste y Sur, designando las fases como F1 (Sur) y F2 (Este) en función del flujo vehicular, y utilizando F0 para indicar la ausencia de asignación de fase en cada sentido respectivo. En la Figura 86 se representa el flujo de tráfico transformado a auto equivalente para el turno de la tarde (del día y hora pico más cargado – lunes de 12:30 a 13:30), con las flechas correspondientes que indican el sentido del desplazamiento de los vehículos.



Figura 86: Asignación de las fases

Precisada las fases se registraron los tiempos de ciclo extraídos de los semáforos de la intersección en estudio, obteniendo en tiempo de verde, 21 segundos en la F1 y 20 segundos en la F2, con tiempos de ámbar y todo rojo, de 3 y 0 segundos respectivamente, en ambas fases, como se muestra en la Figura 87.

The dialog box 'Tiempo de Fases' has a close button (X) in the top right. It contains the following fields:

- Verde F1: Seg.
- Verde F2: Seg.
- Verde F3: Seg.
- Verde F4: Seg.
- Ambar: Seg.
- Todo Rojo: Seg.

An 'Aceptar' button is located at the bottom of the dialog.

Figura 87: Asignación del tiempo de fases

A continuación, para llevar a cabo el procesamiento de los datos, se accedió a la pestaña 'Informes'. En la sub ventana correspondiente al 'Ciclo actual', nos muestra el informe detallado de las fases actuales de la intersección, definiendo F1 con una duración de 21

segundos en verde, seguido de 3 segundos en ámbar y finalizando con 23 segundos en rojo. Respecto a la fase F2, fue de 24 segundos en rojo, 20 segundos en verde y 3 segundos en ámbar (ver Figura 88).

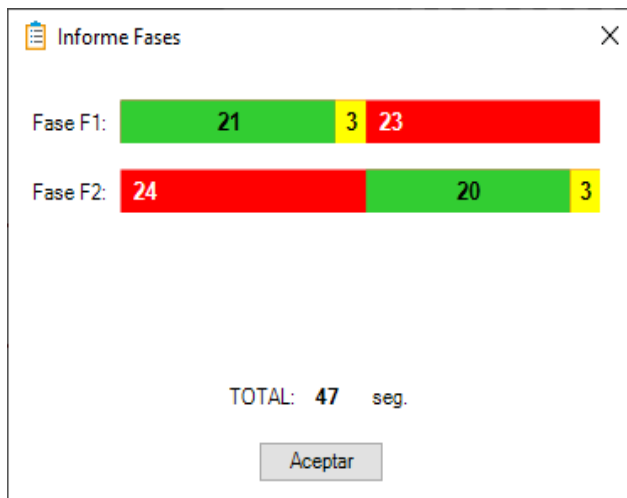


Figura 88: Informe de fases del tiempo de ciclo actual

Dentro del sistema, en la sección ‘Demora actual’ se calcularon las diferentes variables para determinar el tiempo de demora de la intersección empleando el algoritmo entrenado. La Figura 89 presenta el análisis detallado del cálculo de demora de la intersección vial en el turno tarde (del día y hora pico más cargado – lunes de 12:30 a 13:30). Se determinó que la demora en la intersección fue de 9.6 segundos, con un nivel de servicio clasificado como A, indicando un funcionamiento eficiente. Además, se proporcionaron datos relevantes como el número de carriles, el ancho de las vías, la saturación del tráfico en vehículos por hora, así como coeficientes y parámetros del flujo vehicular y la capacidad de la intersección. Este análisis permitió evaluar el desempeño de la intersección vial en términos de demora y nivel de servicio, brindando información crucial para la planificación y optimización del tráfico.



Figura 89: Cálculo de la demora actual de la intersección

Resaltar que la Figura 89 enfoca cantidades de demora y nivel de servicio de la intersección entre avenida y calle, con valores de 9.6 s y “A”, respectivamente, teniendo un funcionamiento eficiente; para ello Radivojević et al. (2021) dice que en la práctica, en intersecciones urbanas, el nivel aceptable de servicio es C, donde los retrasos son de 20-35 s (D representa el nivel menos aceptable de retraso).

En la sección 'Optimizar ciclo', se calculó el tiempo de ciclo óptimo (Tco) utilizando el algoritmo adaptativo el cual considera las diferentes fases asignadas (F1, F2) y las variables más significativas como el flujo, número de carriles, q, Y, Ysum y P. El resultado obtenido para el Tco fue de 25 segundos, lo cual es menor que el límite de 35 segundos establecido, por lo tanto, no se programa un tiempo de ciclo adicional.

Además, se ha calculo el tiempo total de verde (TV) y se distribuyó de manera adecuada para cada fase, asignando los tiempos correspondientes de verde, ámbar y rojo. Esta distribución precisa del tiempo en cada fase del ciclo es fundamental para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del sistema de control de tráfico, permitiendo una gestión óptima de la circulación vehicular en la intersección (ver Figura 90).

Fase	Sentido	Flujo	Camiles	FE	q	Y	Ymax	Ysum	P	Tco	TV	TVF	TA	TR
F1	SN1	644.5	1	1	644.5	0.35806	0.35806	0.46873	6	25	19	15	3	7
F1	SO	132.75	1	1.2	159.3	0.0885	0.35806	0.46873	6	25	19	15	3	7
F2	EN	166	1	1.2	199.2	0.11067	0.11067	0.46873	6	25	19	4	3	18
F2	EO1	131.5	1	1	131.5	0.07306	0.11067	0.46873	6	25	19	4	3	18

Figura 90: Cálculo del tiempo de ciclo óptimo

En la sección de 'Ciclo optimizado', se detalla el tiempo asignado a cada fase del ciclo de semáforo. En la Fase 1, se estableció un tiempo de 15 segundos para la luz verde, 3 segundos para la luz ámbar y 7 segundos para la luz roja. En la Fase 2, se asignaron 18 segundos para la luz roja, 4 segundos para la luz verde y 3 segundos para la luz ámbar (ver Figura 91).

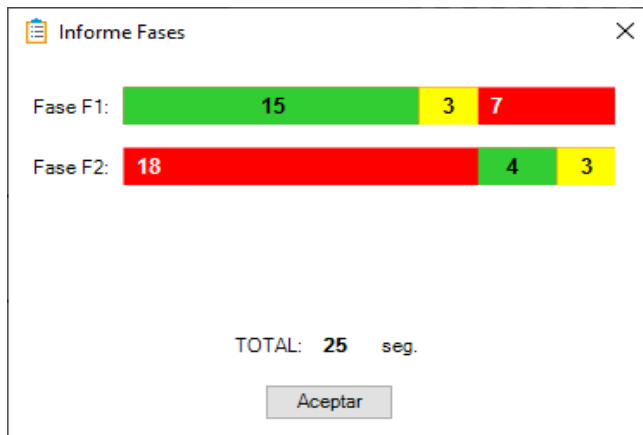


Figura 91: Informe de fases del ciclo optimizado

En la sección de 'Informes ciclos', se presenta una comparación entre el ciclo actual y el ciclo optimizado para las diferentes fases. En la Fase F1, el ciclo actual tiene una duración de 21 segundos de verde, mientras que el ciclo optimizado ha reducido este tiempo a 15 segundos, 3 segundos para la luz ámbar y 7 segundos para la luz roja. En cuanto a la Fase F2, el ciclo actual tiene una duración de 24 segundos para la luz roja, mientras que el ciclo optimizado ha reducido este tiempo a 18 segundos, 4 segundos para la luz verde y 3 segundos para la luz ámbar. Debido a que el tiempo de ciclo optimizado es menor a 35 segundos no se programa tiempo de ciclo para la intersección (ver Figura 92).

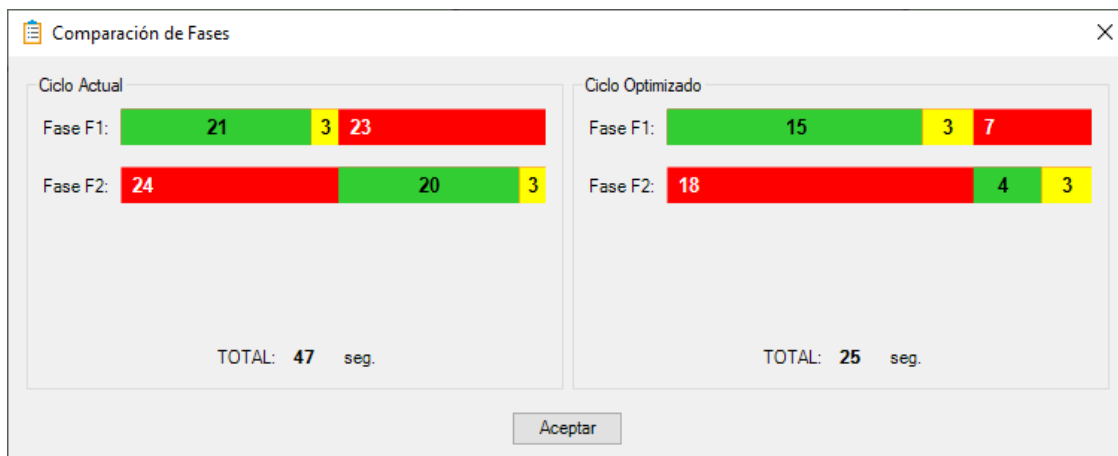


Figura 92: Comparación de fases del ciclo actual y optimizado

Entonces, la Figura 92 enuncia una reducción de tiempos de ciclo y semafóricos del actual al optimizado, de manera similar con Doçi et al. (2022) que logra disminuir sus longitudes de ciclo de 42 s. a 32 s.; así mismo, Li et al. (2021) logra disminuir su ciclo de 84 a 69 segundos y su tiempo de verde de 18 a 12 segundos; además con Arjmand et al. (2021) que para su primera alternativa (optimización de la programación de los semáforos) revela que la sincronización de los semáforos ha mejorado.

4.1.3.3. Caso complementario: Intersección en Indonesia

El análisis de la intersección se llevó a cabo mediante la recopilación de datos de la intersección del artículo científico de Noval et al. (2018) en Indonesia, que en líneas generales brindan:

DATOS:

- Calles: B – T (para fase 1) y S – U (para fase 2)
- Ancho de vía: 6 metros.
- La fase 1 comprende flujos “q1” y “q2” y la fase 2 a “q3”, donde la variable q_i es información sobre el número de vehículos después de multiplicarla por el valor equivalente.
- Valores $q_1 = 511$, $q_2 = 458$, $q_3 = 1165$.
- Flujo de saturación: $s = 525 \cdot (6) = 3150$.
- Mecanismo de semáforo existente: Fase 1 (rojo=98, verde=38, amarillo=2, rojo-amarillo=2); Fase 2 (rojo=48, verde=88, amarillo=2, rojo-amarillo=2); Total del ciclo = 140 segundos.

RESULTADOS:

- Tiempo de ciclo óptimo: 68 segundos.
- Tiempo de verdes en cada fase: Fase 1 = 15 segundos; Fase 2 = 35 segundos).
- Configuración de semáforo optimizado:

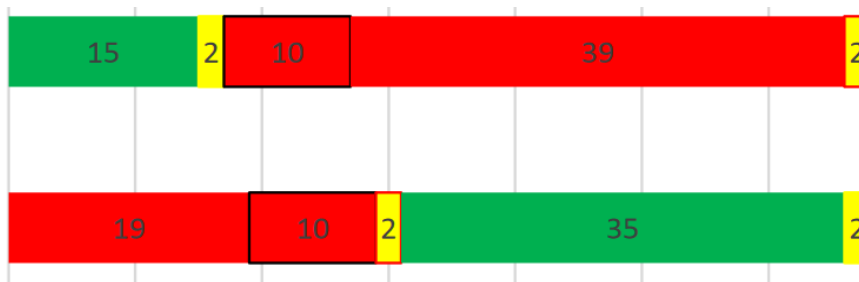


Figura 93: Diagrama de fases

- Reducción de retrasos promedio respecto a las existentes: Fase 1 = 43.18%; Fase 2 = 13.13%.

Luego, se pasó a evaluar en el sistema JJ22 con los algoritmos adaptativos, para determinar los tiempos de demora y ciclo óptimo. Por tanto, se inició el sistema y se creó un nuevo proyecto a guardar (ver Figura 94).

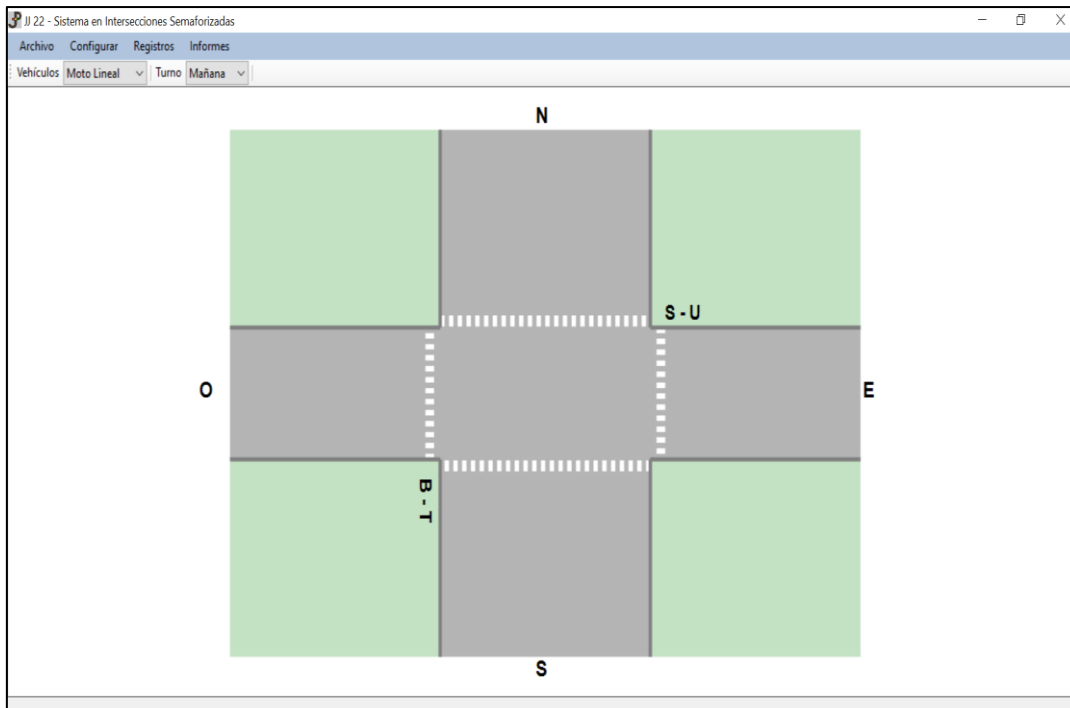


Figura 94: Creación del proyecto - intersección en Indonesia

En seguida se ingresó en la pestaña 'Configurar' y en la sección 'Configura intersección' se verificaron el nombre de la calle S - U (horizontal) y B - T (vertical) e ingresaron sus respectivos anchos de calzada de 6m y 12m respectivamente (ver Figura 95).

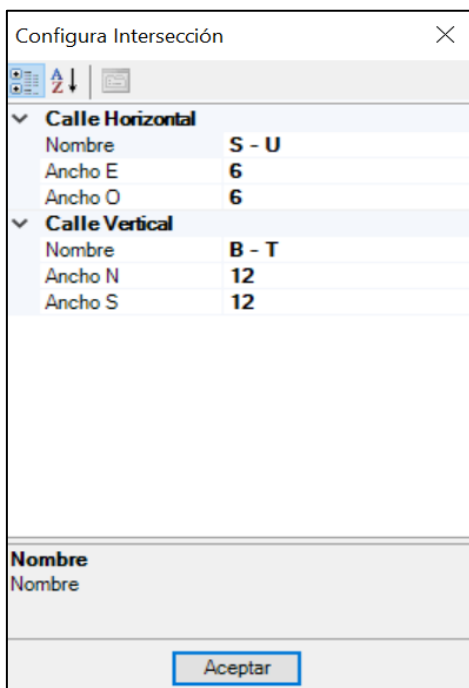


Figura 95: Verificación del nombre e ingreso de ancho de calzada

Así también, en la sección ‘Clasificación’, se empieza por verificar que sean los que corresponden, ya que por defecto el sistema los presenta, y que servirán para saber en qué rango opera la intersección; la Figura 96 lo detalla.

	Nivel Servicio	Demora de Control
▶	A	≤10
	B	>10 - ≤20
	C	>20 - ≤35
	D	>35 - ≤55
	E	>55 - ≤80
	F	>80

Aceptar

Figura 96: Verificación de niveles de servicio y demora

A continuación, en la sección ‘Vehículos’, se verifica que para todos estos que por defecto el sistema presenta, con su respectivo equivalente vehicular con un valor de 0.25 para Moto Lineal hasta 3 para Tráiler y Ómnibus, sean los que corresponden para la intersección en estudio, como se muestra en la Figura 97.

	ID	Vehiculo	F
	1	Moto Lineal	0.25
	2	Moto Taxi	0.33
	3	Auto	1.00
	4	Camioneta	1.00
	5	Minivan	1.00
	6	Camión	2.50
	7	Omnibus	3.00
	8	Trailer	3.00
	9	Maq. Pesada	2.50

Aceptar

Figura 97: Verificación de vehículos y sus equivalentes

Definido los parámetros geométricos y vehiculares, en la pestaña de ‘Registros’ se ingresaron los datos del flujo vehicular en intervalos de una hora registrando la cantidad de vehículos en ese tiempo, para autos en el sentido Norte-Sur, Sur-Norte y Este-Oeste, para el turno Tarde (ver Figura 98).

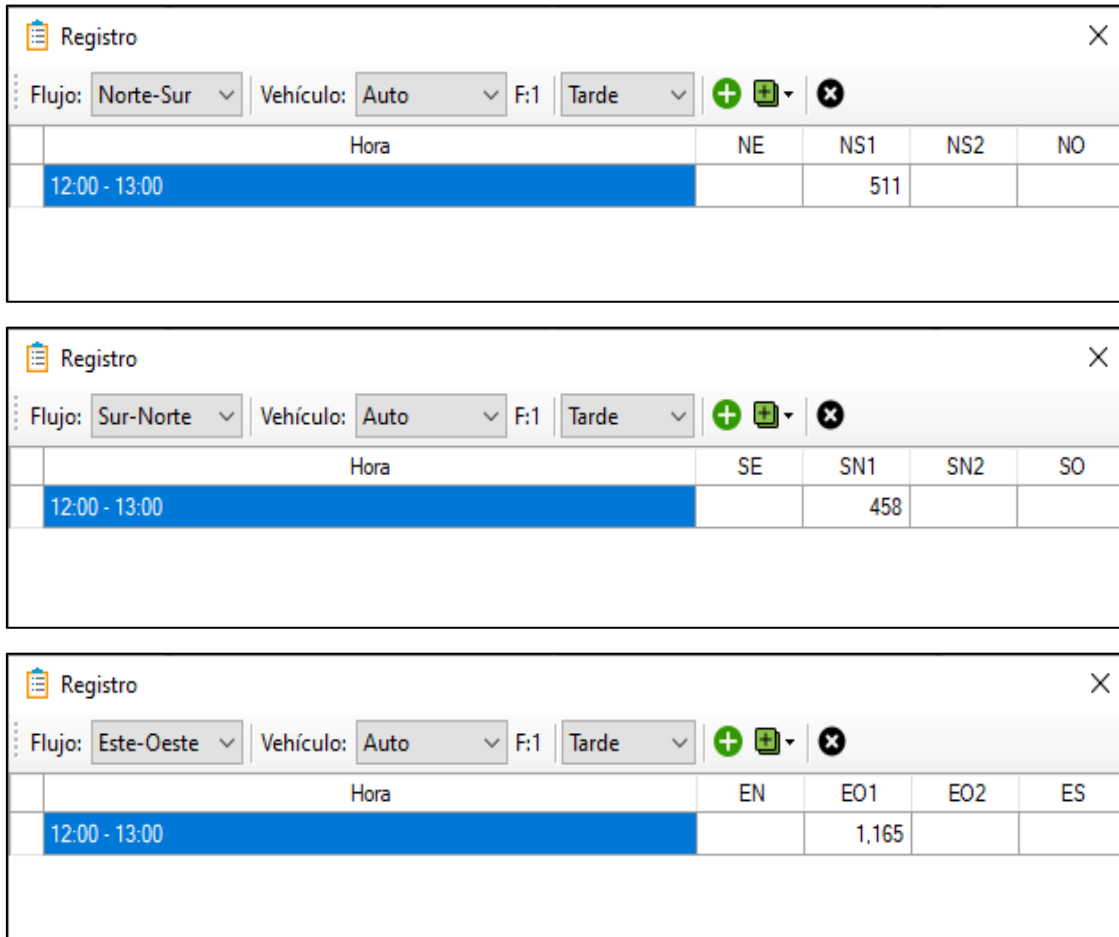


Figura 98: Ingreso del flujo vehicular según cada sentido, tipo de vehículo y turno

Luego se asignaron las fases correspondientes a cada flujo vehicular en las direcciones Este, Norte, Oeste y Sur, designando las fases como F1 (Norte y Sur) y F2 (Este) en función del flujo vehicular, y utilizando F0 para indicar la ausencia de asignación de fase en cada sentido respectivo. En la Figura 99 se representa el flujo de tráfico transformado a auto equivalente para el turno de la tarde, con las flechas correspondientes que indican el sentido del desplazamiento de los vehículos.

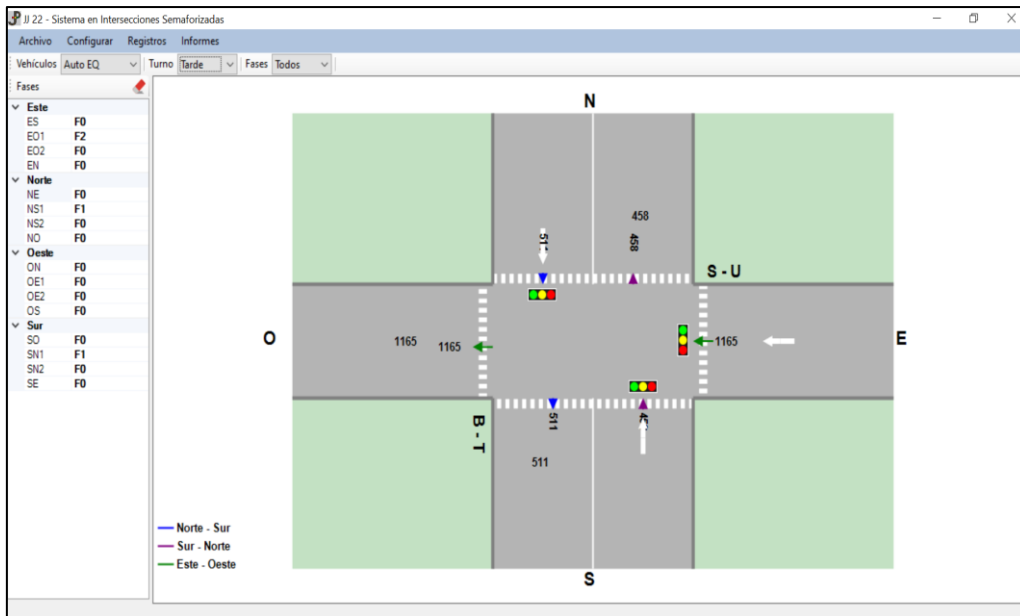


Figura 99: Asignación de las fases

Posteriormente a las fases se registraron los tiempos de ciclo extraídos de los datos de semáforos de la intersección en estudio, obteniendo 38 segundos en la F1 y 94 segundos en la F2 con un tiempo de ámbar de 4 segundos en ambas fases; valores ajustados para dar un tiempo de ciclo total de 140 segundos, para efecto se muestra la Figura 100.

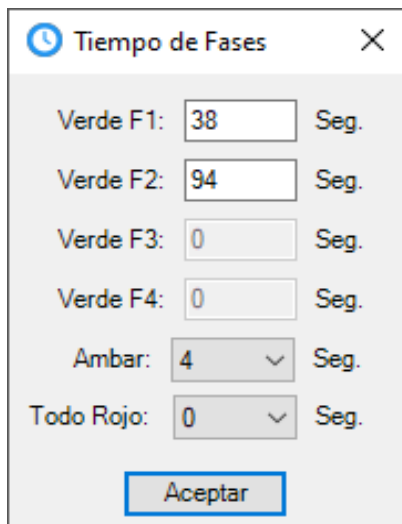


Figura 100: Asignación del tiempo de fases

Seguidamente, para llevar a cabo el procesamiento de los datos, se accedió a la pestaña 'Informes'. En la sub ventana correspondiente al 'Ciclo actual', nos muestra el informe detallado de las fases actuales de la intersección, definiendo F1 con una duración de 38 segundos en verde, seguido de 4 segundos en ámbar y finalizando con 98 segundos en rojo.

Respecto a la fase F2, fue de 42 segundos en rojo, 94 segundos en verde y 4 segundos en ámbar (ver Figura 101).

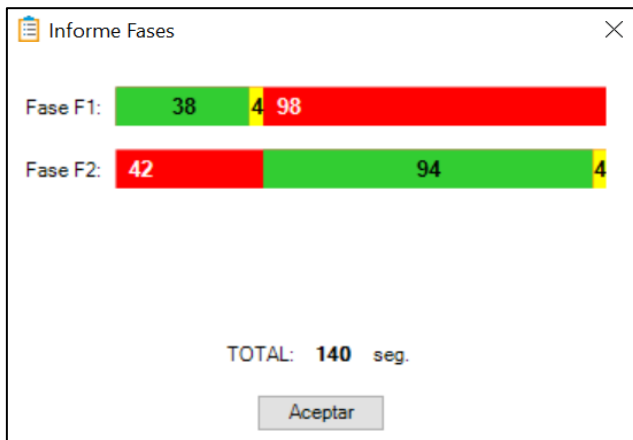


Figura 101: Informe de fases del tiempo de ciclo actual

En la sección ‘Demora actual’ se calcularon las diferentes variables para determinar el tiempo de demora de la intersección empleando el algoritmo entrenado. La Figura 102 presenta el análisis detallado del cálculo de demora de la intersección vial en el turno tarde. Se determinó que la demora en la intersección fue de 50.7 segundos, con un nivel de servicio clasificado como D, indicando un funcionamiento crítico. Además, se proporcionaron datos relevantes como el número de carriles, el ancho de las vías, la saturación del tráfico en vehículos por hora, así como coeficientes y parámetros del flujo vehicular y la capacidad de la intersección. Este análisis permitió evaluar el desempeño de la intersección vial en términos de demora y nivel de servicio, brindando información crucial para la planificación y optimización del tráfico.

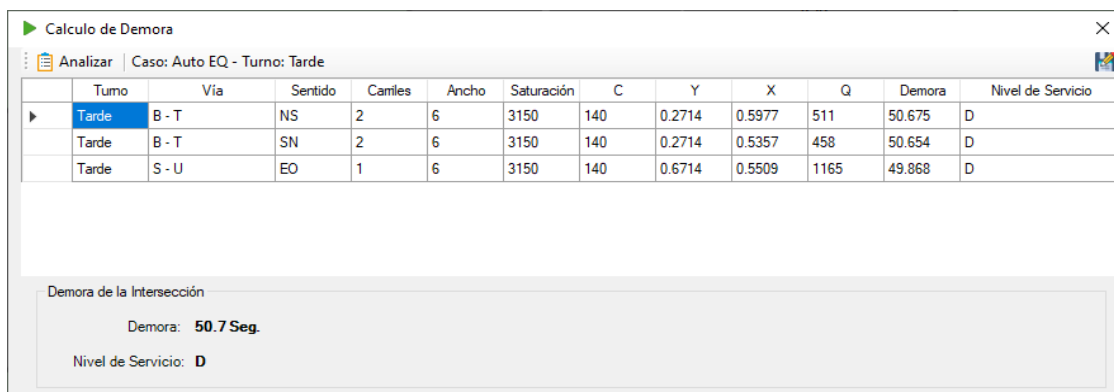


Figura 102: Cálculo de la demora actual de la intersección

En la sección 'Optimizar ciclo', se calculó el tiempo de ciclo óptimo (Tco) utilizando el algoritmo adaptativo el cual considera las diferentes fases asignadas (F1, F2) y las variables

más significativas como el flujo, número de carriles, q , Y , Y_{sum} y P . El resultado obtenido para el T_{co} fue de 54 segundos, siendo mayor que el límite de 35 segundos establecido, por lo tanto, se debe programar un tiempo de ciclo adicional.

Además, se ha calculado el tiempo total de verde (TV) y se distribuyó de manera adecuada para cada fase, asignando los tiempos correspondientes de verde, ámbar y rojo. Esta distribución precisa del tiempo en cada fase del ciclo es fundamental para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del sistema de control de tráfico, permitiendo una gestión óptima de la circulación vehicular en la intersección (ver Figura 103).

	Fase	Sentido	Flujo	Carriles	FE	q	Y	Y_{max}	Y_{sum}	P	T_{co}	TV	TVF	TA	TR
▶	F1	NS1	511	1	1	511	0.28389	0.28389	0.93111	8	54	46	14	4	36
	F1	SN1	458	1	1	458	0.25444	0.28389	0.93111	8	54	46	14	4	36
	F2	EO1	1165	1	1	1165	0.64722	0.64722	0.93111	8	54	46	32	4	18

Figura 103: Cálculo del tiempo de ciclo óptimo

Recalcar que la Figura 103 detalla la aplicación del tiempo todo rojo de 0 s para el procesamiento y estima de los tiempos de ciclo óptimo y semafóricos; corroborando con Doçi et al. (2022) que no implementa el tiempo intermedio todo rojo, que se encuentra en algunas intersecciones, porque es una variable en el tiempo. Respecto al procesamiento para el tiempo de ciclo óptimo y del semáforo; es similar a Radivojević et al. (2021) que en su programa el usuario puede ingresar datos y basado en ellos, la solución de software es que optimiza el plan de señal, es decir, el ciclo valor y la distribución de la duración de la luz verde en fases durante cada ciclo.

En la sección de 'Ciclo optimizado', se detalló el tiempo asignado a cada fase del ciclo de semáforo. En la Fase 1, se estableció un tiempo de 14 segundos para la luz verde, 4 segundos para la luz ámbar y 36 segundos para la luz roja. En la Fase 2, se asignaron 18 segundos para la luz roja, 32 segundos para la luz verde y 4 segundos para la luz ámbar (ver Figura 104).

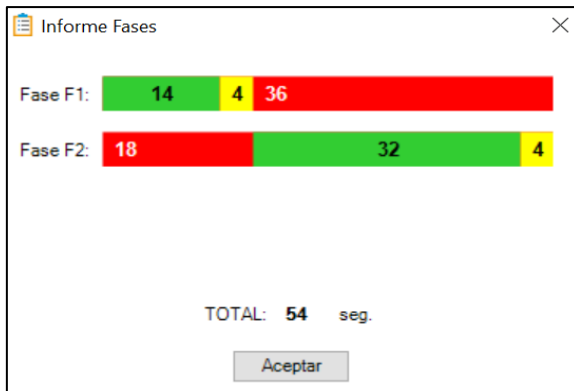


Figura 104: Informe de fases del ciclo optimizado

En la sección de 'Informes ciclos', se presenta una comparación entre el ciclo actual y el ciclo optimizado para las diferentes fases. En la Fase F1, el ciclo actual tiene una duración de 38 segundos de verde, mientras que el ciclo optimizado ha reducido este tiempo a 14 segundos, 4 segundos para la luz ámbar y 36 segundos para la luz roja. En cuanto a la Fase F2, el ciclo actual tiene una duración de 42 segundos para la luz roja, mientras que el ciclo optimizado ha reducido este tiempo a 18 segundos, 32 segundos para la luz verde y 4 segundos para la luz ámbar. Debido a que el tiempo de ciclo optimizado es mayor a 35 segundos se ha programado el tiempo de ciclo para la intersección (ver Figura 105).

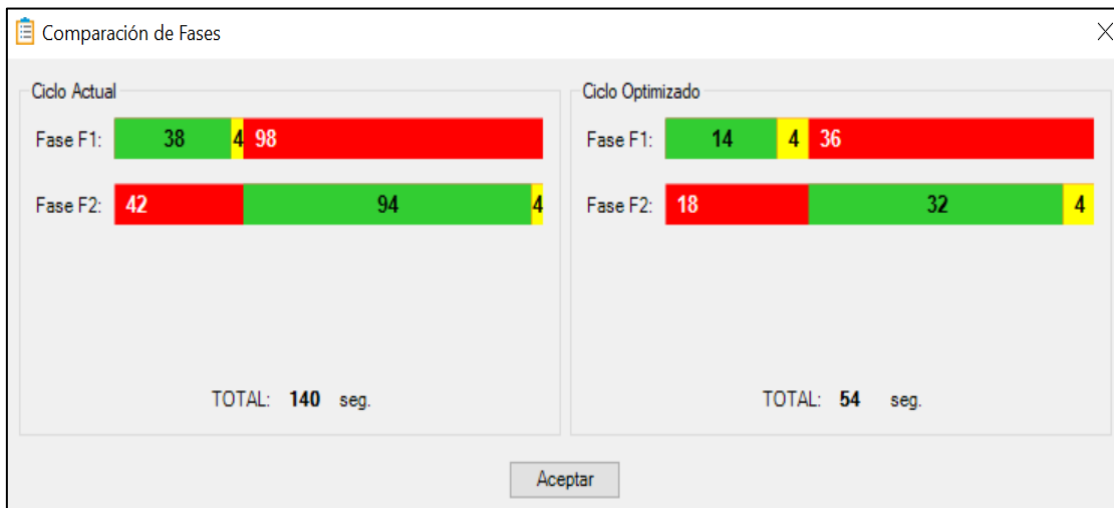


Figura 105: Comparación de fases del ciclo actual y optimizado

Resaltar que la Figura 105 muestra la disminución de tiempos de ciclo y semafóricos del actual al optimizado; similarmente con Li et al. (2021) que logró reducir su ciclo de 84 a 69 segundos y su tiempo de verde de 18 a 12 segundos; así mismo con Arjmand et al. (2021) que de acuerdo a su primera alternativa (optimización de la programación de los semáforos) ha revelado que la sincronización de los semáforos ha mejorado.

Después de optimizar el tiempo de ciclo a 54 segundos, en la sección ‘Demora optimizada’ se recalculó la demora de la intersección y se obtuvo un tiempo de 18.6 segundos con un nivel de servicio B. Este resultado indica que, al reducir el tiempo de ciclo, se disminuyó la demora de alta a moderada en la intersección, lo que se refleja en un nivel de servicio aceptable (ver Figura 106).

The screenshot shows a software window titled "Calculo de Demora" with a sub-header "Analizar | Caso: Auto EQ - Turno: Tarde". It contains a table with the following data:

	Turno	Via	Sentido	Camiles	Ancho	Saturación	C	Y	X	Q	Demora	Nivel de Servicio
▶	Tarde	B - T	NS	2	6	3150	54	0.2593	0.6256	511	18.594	B
	Tarde	B - T	SN	2	6	3150	54	0.2593	0.5607	458	18.575	B
	Tarde	S - U	EO	1	6	3150	54	0.5926	0.6241	1165	12.423	B

Below the table, a summary box displays:

Demora de la Intersección
 Demora: **18.6 Seg.**
 Nivel de Servicio: **B**

Figura 106: Cálculo de la demora optimizada

Además, la Figura 106 representa un ejemplo que mediante la utilización del algoritmo validado para demoras y trasladado al sistema, este logra disminuir por sentido cada demora y mejorar el nivel de servicio; similarmente con Zhang et al. (2021) que después de la optimización, hay una reducción del 15,64% en el retraso en cada dirección en relación con los retrasos en la intersección original, lo que demuestra que su algoritmo es realmente efectivo.

En la sección ‘Informe demoras’, se compara la demora actual y optimizada permitiendo un análisis detallado de las demoras en la intersección y la clasificación del nivel de servicio siendo fundamentales para evaluar la eficiencia y la fluidez del tráfico en el área estudiada. Un nivel de servicio B sugiere que la intersección al ser optimizada operará de manera eficiente, con demoras moderadas y un flujo de tráfico fluido. Este tipo de análisis es crucial para mejorar la planificación y el diseño de sistemas de control de tráfico y garantiza la circulación segura y eficiente en las vías (ver Figura 107).

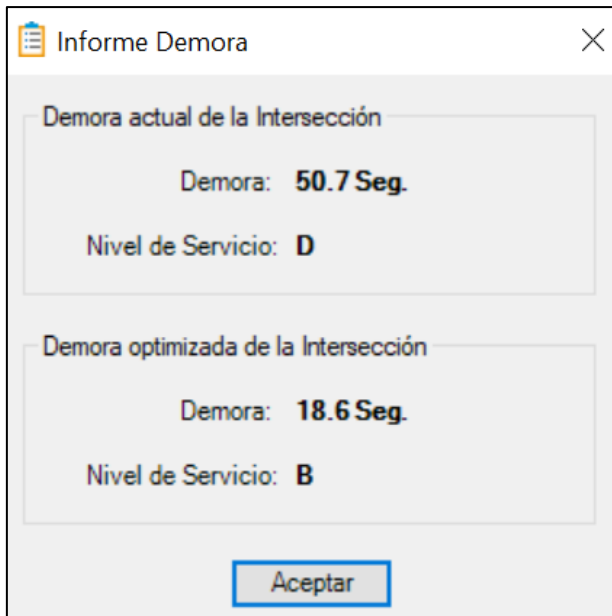


Figura 107: Informe de las demoras actual y optimizada

4.1.3.3.1. Intersección en Indonesia con tiempo todo rojo

Se analizó el caso de estudio con los mismos flujos y valores definidos anteriormente; y ahora con fines de compatibilizar con el ciclo óptimo del artículo, se ha asignado en el sistema un tiempo de todo rojo de 5 segundos en la sección 'Optimizar ciclo' (recaltar que el artículo ha considerado 12 segundos de todo rojo según Figura 93), luego se calculó el tiempo de ciclo óptimo (T_{co}) utilizando el algoritmo adaptativo el cual considera las diferentes fases asignadas (F_1 , F_2) y las variables más significativas como el número de carriles, q , Y , Y_{sum} y P . El resultado obtenido para el T_{co} fue de 67 segundos, siendo mayor que el límite de 35 segundos establecido, por lo tanto, se debe programar un tiempo de ciclo adicional. Además, se calculó el tiempo total de verde (TV) y se distribuyó de manera adecuada para cada fase, asignando los tiempos correspondientes de verde, ámbar y rojo. Esta distribución precisa del tiempo en cada fase del ciclo es fundamental para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro del sistema de control de tráfico, permitiendo una gestión óptima de la circulación vehicular en la intersección (ver Figura 108).

Procesar															
Todo Rojo: 5		Optimizar		Caso: Auto EQ - Turno: Tarde											
	Fase	Sentido	Flujo	Camiles	FE	q	Y	Ymax	Ysum	P	Tco	TV	TVF	TA	TR
▶	F1	NS1	511	1	1	511	0.28389	0.28389	0.93111	18	67	49	15	4	48
	F1	SN1	458	1	1	458	0.25444	0.28389	0.93111	18	67	49	15	4	48
	F2	EO1	1165	1	1	1165	0.64722	0.64722	0.93111	18	67	49	34	4	29

Figura 108: Cálculo del tiempo de ciclo óptimo

En la sección de 'Ciclo optimizado', se detalló el tiempo asignado a cada fase del ciclo de semáforo. En la Fase 1, se estableció un tiempo de 15 segundos para la luz verde, 4 segundos para la luz ámbar, 43 segundos para la luz roja y 5 segundo para todo rojo. En la Fase 2, se asignaron 24 segundos para la luz roja, 34 segundos para la luz verde, 4 segundos para la luz ámbar y 5 segundos para todo rojo (ver Figura 109).

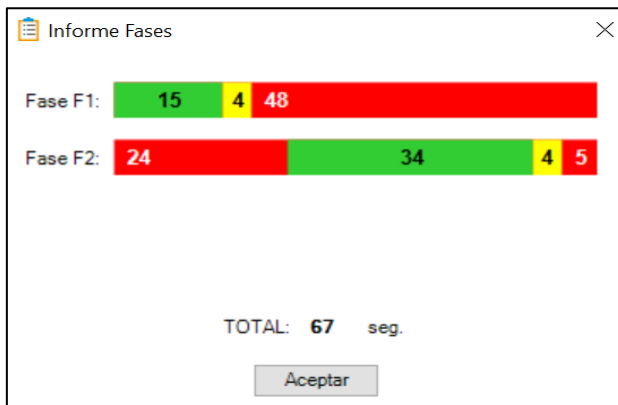


Figura 109: Informe de fases del ciclo optimizado

En la sección de 'Informes ciclos', se presenta una comparación entre el ciclo actual y el ciclo optimizado para las diferentes fases. En la Fase F1, el ciclo actual tiene una duración de 38 segundos de verde, mientras que el ciclo optimizado ha reducido este tiempo a 15 segundos, 4 segundos para la luz ámbar, 43 segundos para la luz roja y 5 segundos para todo rojo. En cuanto a la Fase F2, el ciclo actual tiene una duración de 42 segundos para la luz roja, mientras que el ciclo optimizado ha reducido este tiempo a 24 segundos, 34 segundos para la luz verde, 4 segundos para la luz ámbar y 5 segundos todo rojo. Debido a que el tiempo de ciclo optimizado es mayor a 35 segundos se ha programado el tiempo de ciclo para la intersección (ver Figura 110).

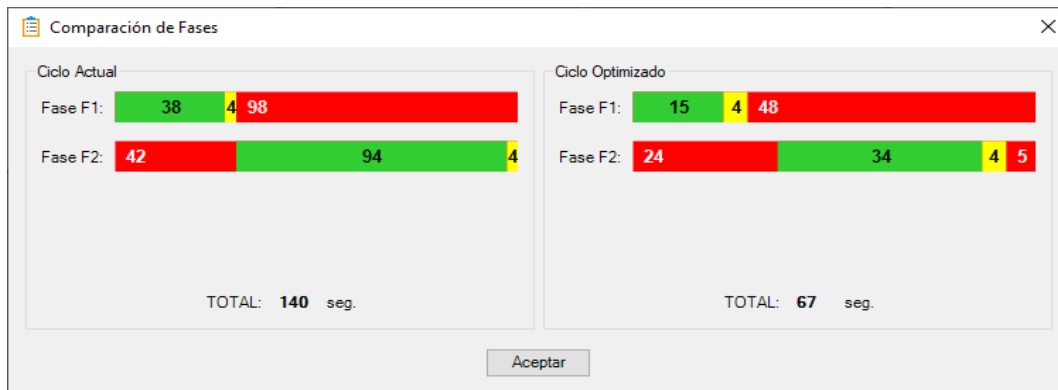


Figura 110: Comparación de fases del ciclo actual y optimizado

Después de optimizar el tiempo de ciclo a 67 segundos, en la sección ‘Demora optimizada’ se recalculó la demora de la intersección y se obtuvo un tiempo de 19.4 segundos con un nivel de servicio B. Este resultado indica que, al reducir el tiempo de ciclo, se disminuyó la demora de alta a moderada en la intersección, lo que se refleja en un nivel de servicio aceptable (ver Figura 111).

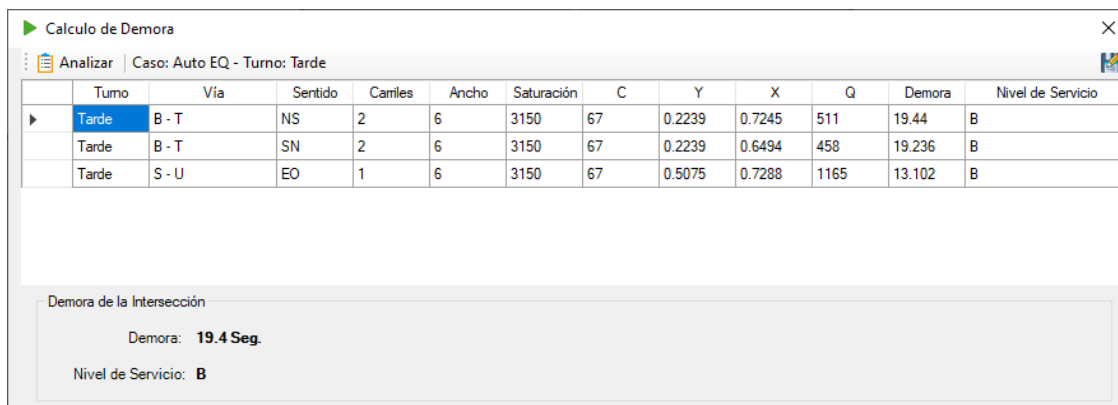


Figura 111: Cálculo de la demora optimizada

Recalcar que la Figura 111 representa un ejemplo que mediante la utilización del algoritmo validado para demoras y trasladado al sistema, teniendo en cuenta ahora un tiempo de todo rojo de 5 s, este aun así logra disminuir por sentido cada demora y mejorar el nivel de servicio; similarmente con Zhang et al. (2021) que después de la optimización, hay una reducción del 15,64% en el retraso en cada dirección en relación con los retrasos en la intersección original, lo que demuestra que su algoritmo es realmente efectivo.

En la sección ‘Informe demoras’, se compara la demora actual y optimizada permitiendo un análisis detallado de las demoras en la intersección y la clasificación del nivel de servicio siendo fundamentales para evaluar la eficiencia y la fluidez del tráfico en el área estudiada. Un nivel de servicio B sugiere que la intersección al ser optimizada operará de manera

eficiente, con demoras moderadas y un flujo de tráfico fluido. Este tipo de análisis es crucial para mejorar la planificación y el diseño de sistemas de control de tráfico y garantiza la circulación segura y eficiente en las vías (ver Figura 112).

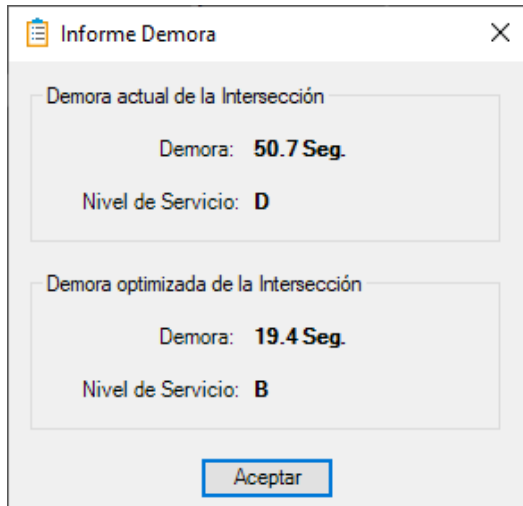


Figura 112: Informe de las demoras actual y optimizada

Resaltar que la Figura 112 representa como ejemplo que a través del uso de algoritmo entrenado y llevado al sistema, este puede reducir la demora y mejorar el nivel de servicio; de manera similar con Li et al. (2021) que su retraso real de las intersecciones se reduce de 21,9 segundos a 17,3 segundos, el nivel de servicio ha aumentado del nivel C al nivel B, y la eficiencia del tráfico de los vehículos ha mejorado significativamente; así como con Bashiri (2020) donde su algoritmo disminuye el retraso de HCM en un 15%, 18,5% y 22% para niveles bajos, medios y altos de tráfico, respectivamente; del mismo modo Novikov et al. (2020) obtuvo un retraso medio existente en la avenida Belgorodsky que disminuyó de 20 s a 16 s, en la calle N. Chumichova, el retraso medio existente fue de 15 s, después de la reorganización es 11 s; al igual que Shaikh et al. (2022) donde sus resultados ilustraron que sus algoritmos redujeron significativamente los retrasos en el tiempo de viaje, entre un 15 % y un 35 % en comparación con las condiciones existentes; similarmente a Andronov & Leverents (2018) quienes lograron reducir los retrasos entre un 30% y un 44%, con el uso del control adaptativo; así también Fernandez et al. (2018) obtiene a través de su algoritmo una mejora del 45% en el tiempo promedio de espera de los autos, para una relación de 10 a 1 entre los flujos de los autos en las dos direcciones.

4.2. DISCUSIÓN

Se lograron seleccionar intersecciones (entre calles y calle - avenida), bajo un trabajo de campo, obteniendo coordenadas de ubicación, desde 1 a 2 sentidos y carriles por calle, y como parte de ello el control de los tiempos de luces de los semáforos y sus ciclos, habiendo características de semaforización por semáforos en dos fases (N-S y E-O) con longitudes de ciclo de 52 s y 47 s; compatibilizando con ALI et al. (2021) que sus intersecciones fueron seleccionadas debido a la disponibilidad de datos reales, para el control de señales de tráfico con un método adaptativo; así como con Díaz & Horna (2023) que analiza una intersección entre las calles Francisco Orellana N°01 y Luna Pizarro N°02 y 03 en Jaén; del mismo modo con Bances & Ramos (2014) que simulan el flujo de vehículos que cruzan por dos intersecciones del centro de la ciudad de Chiclayo, como es la calle José Balta y Pedro Ruiz; también con Paucar et al. (2022) que evalúan una intersección en Lima con el fin de identificar las condiciones actuales y proponer una intersección no convencional; así mismo Celis-Peñaranda et al. (2016) seleccionan como intersección el cruce semafórico localizado en la Calle 10 con Avenida 0 en la ciudad de San José Cúcuta, Norte de Santander, Colombia, el cual está conformado por 4 semáforos; similarmente con Savithramma et al. (2022) que, por su parte, los datos de las señales incluyen información sobre y la duración del ciclo en segundos, para su análisis de control adaptativo en la intersección Shivakumara Swamiji Circle (SSC), en India; de la misma manera con An et al. (2022) seleccionando dos intersecciones en Jungbu-daero en Yongin ciudad con diferentes duraciones de ciclo, es decir, 140 s—intersección A, 120 s—intersección B; concordando con Zhang et al. (2021) en donde su ciclo de la señal de su intersección entre Fengze Road y Tianan South Road, en la provincia de Fujian tiene un período de 141 s; al igual que Bashiri (2020) que muestra una cantidad de 48 segundos para su ciclo; del mismo modo Qiao et al. (2002) ilustra la ubicación de la intersección en Sha Tin, Hong Kong, en el cruce de Tai Chung Kiu Road y Sha Tin Wai Road, con duración de los ciclos que oscilaba entre 75 y 120. En cuanto a recojo de demás datos evaluados, es similar con Arjmand et al. (2021) ya que detecta que sus rutas 3 y 4 son de doble sentido, y las rutas 1 y 2 son unidireccionales, la ruta 1 tiene seis líneas; además con Zhao et al. (2021) que asume las coordenadas del nodo A, nodo B y nodo C en su intersección; así también a Prihantini et al. (2020) que en su intersección APILL en Bantul - Nasional III Street Yogyakarta, constata un tiempo de ciclo óptimo en el área de 133 segundos. Además, en este estudio se caracterizaron anchos de carriles que varían desde 4.15m a 6.70m; valores intermedios con los de Savithramma et al. (2022) que,

van desde 3.50m a 10.50m, para su estudio de control adaptativo en una intersección; además con Arjmand et al. (2021) que ha verificado su ancho de calles 1 y 2 con 18 metros, mientras que las calles 3 y 4 son de 20 metros, para su intersección. Respecto a demás datos, es similar a Prihantini et al. (2020) donde informa que su sección norte es la calle Bantul la cual tiene 2 carriles, con un ancho de entrada de 5,8 m y salida de 5,7 m, la parte este es la calle Nacional III la cual tiene 2 carriles, entrada y salida de 8 m de ancho, la parte sur es la calle Bantul tiene 2 carriles con un ancho de entrada de 5,2 m y salida de 5,6 m, la parte oeste es la calle Nacional III que tiene 2 carriles con un ancho de 8 m de entrada y salida.; así también con An et al. (2022) que para su estudio refleja el número de carriles, características geométricas; de igual manera con Li et al. (2021) que calculó y analizó parámetros geométricos como número de carriles, ancho de carril; así mismo Zhao et al. (2021) toma estadísticas sobre el número de nodos de su intersección, como “Nrl” que es el número de carriles; del mismo modo Saeed & Elhadeef (2019) muestra su intersección la cual tiene cuatro direcciones con dos carriles: uno para avanzar y otro para girar a la izquierda. También, esta investigación detalla los volúmenes de vehículos totales por sentido que abarcó para los tres días de análisis realizado, para con ello pasar a seleccionar el día y hora más cargado (tarde), siendo el mayor flujo por día de 10399 y 5850 vehículos, y de 786 y 777 vehículos en el acceso sur (el más cargado); similar con ALI et al. (2021) que en sus datos de tráfico incluyen información como la fecha (miércoles 11 de abril de 2018) y hora, el número de vehículos que pasaron por la intersección con sus direcciones, y la clase de vehículos; pues así Balaji et al. (2010) resalta que el conteo de vehículos debe ser el número total de estos presentes en un momento dado; así también Qiao et al. (2002) realizan actividad entre semana ya que el volumen de tráfico era menor durante los fines de semana y días festivos. Así mismo, esta tesis detalla demoras y niveles de servicio de las intersecciones evaluadas, teniendo como rangos de nivel “A” y “B”, colocándolos como funcionamiento eficiente y moderado respectivamente; del mismo modo con Radivojević et al. (2021) recalca que en la práctica, se suele considerar que, en intersecciones de zonas urbanas, el nivel aceptable de servicio es C, donde los retrasos son de 20-35 s (D representa el nivel menos aceptable de retraso).

Qian et al. (2013), recolectó las variables volumen de tráfico inactivo, tráfico fluido, tráfico denso, tráfico congestionado, fase flujo de saturación y límites de saturación empleadas para crear un modelo de temporización de señales de tráfico. Balaji et al. (2010), empleó las

variables número de vehículos, retraso medio y velocidad media actual del vehículo para crear un modelo con algoritmos genéticos para optimizar el tiempo de verde en una red de carreteras arteriales urbanas con el fin de reducir el tiempo total de viaje y el retraso experimentado por los vehículos. Wijaya et al. (2019), recolectó las variables volumen de vehículos, duración del verde, amarillo y rojo, flujo de saturación y equivalente de pasajeros de automóvil para optimizar la eficacia de la duración de la señal en la intersección Mirota Kampus UGM mediante el método de Webster y la interpolación por diferencia de Newton. Por otro lado, Olayode et al. (2022) utiliza variables de flujo de tráfico como variables de decisión, para su algoritmo creativo. Todas las anteriores variables similares a este estudio y que se reflejo en el modelo MP_1, mediante el Algoritmo KNeighbors que se obtuvo un $R = 0.985$ y $R^2 = 0.970$, siendo valores mayores a los de Fuad et al. (2022) quien emplea el algoritmo deep Q-network entrenado con valores de 31 intercepciones del Central Jakarta, Indonesia para el control del tráfico en redes de intersecciones urbanas con un $R^2 = 0.95$, similares a Qiao et al. (2002), quien emplea lógica difusa para estimar el tiempo de demora en la intersección Sha Tin, Hong Kong con una precisión del 95%. Además, la tesis detalló, el Algoritmo Maquina de Soporte Vectorial, y se obtuvo $R = 0.846$ y $R^2 = 0.689$ y con el Multi-Layer Perceptron $R = 0.895$ y $R^2 = 0.788$. Cabe destacar que estos valores son indicativos de un rendimiento insatisfactorio del modelo, debido a que no se logra una adaptación efectiva de los datos observados. Esta discrepancia se evidencia de manera gráfica en la Figura 57, donde se muestra una dispersión de los datos predichos, los cuales no siguen una tendencia lineal. Al compararlo con otros modelos propuesto por Chen et al. (2011), se obtiene mejores resultados con los algoritmos genéticos Multi-objective que se ajustan mejor al método de Webster reduciendo el tiempo de demora en 5.8% en la intersección de SIDAOKOU, China para el transporte no motorizado con alta precisión. Así mismo, la investigación muestra el modelo MP_2 KNeighbors que exhibe un desempeño alto con R y R^2 de 0.943 y 0.884, mientras que Multi-Layer Perceptron y Gradient Boosting presentan resultados intermedios con R y R^2 de 0.957, 0.893 y 0.983, 0.910, respectivamente, similares a los obtenidos por Shamlitskiy et al. (2023), quien emplea redes neurales para optimizar el tiempo de ciclo optimo con una precisión del 90%, Balaji et al. (2010), emplea reinforcement learning agents para optimizar el tiempo de verde en una red de carreteras arteriales urbanas con el fin de reducir el tiempo total de viaje y el retraso experimentado por los vehículos con una precisión del 98%, demostrando un 15% de mejora con respecto a los controles de señales de referencia. Estas cifras revelan la eficacia relativa

de cada algoritmo en el contexto del conjunto de datos, proporcionando información valiosa para la selección y ajuste de modelo. Por otro lado, este estudio ha representado la parte interactiva de inicio del sistema a través de su interfaz trabajado en el software Framework .net, usando el lenguaje de programación Microsoft Visual Basic .NET; compatibilizando con Alkandari et al. (2014) donde su propuesta de sistema de control inteligente que se ejecuta mediante software de simulación, fue creado con VB.NET y SQL; así también con Celis-Peñaranda et al. (2016) que muestra su interfaz gráfica para la visualización de la emulación, donde se indica la distribución de los semáforos dentro de las calles junto con su respectiva nomenclatura, y que fue llevada a cabo con el uso de la herramienta computacional LabView 2013.

La investigación ha expresado el final del proceso implementado para la situación actual en las intersecciones, estipulando los tiempos de luces semafóricos (donde el tiempo todo rojo es 0 s verificado en campo) y tiempo de ciclo por fases y total, siendo para las calles: $T_{co} = 52$ s, fase 1: Verde = 24 s, amarillo = 3 s, rojo = 25 s, fase 2: Verde = 22 s, amarillo = 3 s, rojo = 27 s, y para la avenida – calle: $T_{co} = 47$ s, fase 1: Verde = 21 s, amarillo = 3 s, rojo = 23 s, fase 2: Verde = 20 s, amarillo = 3 s, rojo = 24 s.; similarmente con Doçi et al. (2022) que logra obtener su longitud de ciclo dado en 42 s. pero concluyen que si la intersección está equipada con semáforos y cargada con un mayor flujo de tráfico, entonces aumenta la eficiencia de funcionamiento de los semáforos y que se darían resultados opuestos en la situación fuera de las horas punta, es decir, cuando tenemos pequeños flujos de tráfico en cada carril de la intersección, y además, también coincide con Doçi et al. (2022) en el hecho de que no implementa el tiempo intermedio todo rojo, que se encuentra en algunas intersecciones, porque es una variable en el tiempo. Por el lado de procesamiento, corroborar con Radivojević et al. (2021) que en su programa el usuario puede ingresar datos y basado en ellos, la solución de software es que optimiza el plan de señal, es decir, el ciclo valor y la distribución de la duración de la luz verde en fases durante cada ciclo; así mismo, con Li et al. (2021) que encuentra un valor de su ciclo de 84 segundos y un tiempo de verde de 18 segundos. Además, en este estudio a manera de ejemplo (Indonesia) se muestra que el algoritmo entrenado y llevado al sistema, logra reducir la demora de 50.7 s a 18.6 s y mejora el nivel de servicio de “D” a “B”; corroborando con An et al. (2022) que logra el 17,3% (intersección A) y el 12,5% (intersección B) del retraso de los vehículos disminuya; así mismo con Li et al. (2021) que su retraso real de las intersecciones se reduce de 21,9

segundos a 17,3 segundos, el nivel de servicio ha aumentado del nivel C al nivel B, y la eficiencia del tráfico de los vehículos ha mejorado significativamente; de igual manera con Novikov et al. (2020) que obtuvo un retraso medio existente en la avenida Belgorodsky que disminuyó de 20 s a 16 s, en la calle N. Chumichova, el retraso medio existente fue de 15 s, después de la reorganización es 11 s; también con Paucar et al. (2022) que apoyándose de la microsimulación, considerando el diseño geométrico y diseño operativo, el resultado es una disminución del retraso en 47 s; así como Bances & Ramos (2014) que a través de lógica difusa se ha permitido regular el tráfico vehicular, obteniendo resultados muy favorables, en donde los semáforos permiten dar tiempos variables dependiendo de la densidad vehicular, logrando así mayor fluidez del flujo ;similarmente con Bashiri (2020) que su algoritmo disminuyó el retraso de HCM en un 15%, 18,5% y 22% para niveles bajos, medios y altos de tráfico, respectivamente; de manera similar a Shaikh et al. (2022) en la que sus resultados muestran que sus algoritmos produjeron planes sistemáticos de sincronización de señales y redujeron significativamente los retrasos en el tiempo de viaje, entre un 15 % y un 35 % en comparación con las condiciones existentes; además con Arjmand et al. (2021) que en su primer escenario, los semáforos de horario se modifican en un manera de disminuir el tiempo de espera; así también con Andronov & Leverents (2018) que logra disminuir los retrasos entre un 30% y un 44%, haciendo uso del control adaptativo en intersecciones con niveles de carga relativamente bajos; del mismo modo Fernandez et al. (2018) mediante el uso de su algoritmo logra mejorar un 45% el tiempo promedio de espera de los autos, para una relación de 10 a 1 entre los flujos de los autos en las dos direcciones.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se identificó dos intersecciones semaforizadas base, una con cruces de calles y otra con avenida - calle, a las que como zonas de estudio se les extrajo sus condiciones de señalización tanto vertical y horizontal, y de control como semáforos presincronizados; éstas fueron parte de la base de datos y validación del sistema adaptativo. Las intersecciones formadas por calles y por avenida - calle, tuvieron características geométricas basado en dos carriles, anchos promedio de estos que variaron por acceso desde 4.44 m a 5.15 m y de 4.36 m a 6.70 m, con pendientes de $+1.5\%$ a $+2.7\%$ y de $+0.2\%$ a $+2.2\%$, con tipo de área en zona comercial, respectivamente; mostraron características de tránsito, siendo el día lunes el de mayor flujo con totales por día de 10399 y 5850 vehículos, de 786 y 777 vehículos en el acceso sur (el más cargado), respectivamente, para la hora punta de tarde tomada como crítica desde las 12:30 - 13:30 horas, seleccionada de las horas punta analizadas del día lunes, que tuvo en cuenta de: 07:15 – 08:15, 12:30 – 13:30 y 18:00 – 19:00, se encontró que gran porcentaje de utilización de los accesos en las intersecciones están dados por mototaxis en un 48.00% y motos lineales en un 75.93%, respectivamente; hubieron características de semaforización representándose en el control por semáforos en dos fases (N-S y E-O) con longitudes de ciclo de 52 s y 47 s, fase 1: Verde = 24 s, amarillo = 3 s, rojo = 25 s, fase 2: Verde = 22 s, amarillo = 3 s, rojo = 27 s, fase 1: Verde = 21 s, amarillo = 3 s, rojo = 23 s, fase 2: Verde = 20 s, amarillo = 3 s, rojo = 24 s, respectivamente; dicho esto, según enfoque tradicional (Webster) se obtuvo y clasificó a cada intersección para su situación actual con demoras de 11.41 s y 8.32 s, y niveles de servicio “B” y “A”, respectivamente.
- Mediante la recopilación de datos se creó una base conformada por 577 instancias y 16 variables extraídas de información científica, estas fueron ancho de vía, tiempo de semáforo en verde, flujo de saturación, tiempo de ciclo, coeficiente de verde, grado de saturación, flujo del carril, tiempo de demora, número de fases, número de carriles, factor de equivalencia, flujo vehicular directo, flujo de saturación de la intersección, tiempo total perdido por ciclo, flujo peatonal y tiempo de ciclo óptimo. Posteriormente, el sistema adaptativo incluyó dos de los cinco modelos

desarrollados con el uso de cinco algoritmos de predicción, lograron alta precisión mediante el algoritmo RandomForest con valores R^2 de 0.995 y 0.996, para predecir, uno de ellos tiempo de demora y el otro para tiempo de ciclo óptimo; siendo sustentables para usarse en la elaboración del sistema “JJ22”, ejecutable, adaptable y preciso para optimizar demoras, ciclos óptimos y niveles de servicios.

El sistema adaptativo se implementó para cada intersección piloto, con sus condiciones reales, para lo cual haciendo uso del algoritmo entrenado – validado y el sistema, se procesó y pudo obtener para las calles: Tco = 52 s, fase 1: Verde = 24 s, amarillo = 3 s, rojo = 25 s, fase 2: Verde = 22 s, amarillo = 3 s, rojo = 27 s, y para la avenida – calle: Tco = 47 s, fase 1: Verde = 21 s, amarillo = 3 s, rojo = 23 s, fase 2: Verde = 20 s, amarillo = 3 s, rojo = 24 s.

- Se evaluó y comparó el estado actual con el optimizado en la intersección entre calles logrando calcular con el sistema su demora actual en 11.8 s y un nivel de servicio “B” y para la intersección avenida – calle, logró conseguir una demora existente de 9.6 s y nivel de servicio “A”, para ambos casos no se debería programar un tiempo de ciclo adicional por no cumplir con el rango mínimo considerado (35 s), pero a pesar de ello el sistema estima y reduce los tiempos de ciclo óptimo y semafóricos siendo, para calles: Tco = 28 s, fase 1: Verde = 18 s, amarillo = 3 s, rojo = 7 s, fase 2: Verde = 4 s, amarillo = 3 s, rojo = 21 s, y para avenida – calle: Tco = 25 s, fase 1: Verde = 15 s, amarillo = 3 s, rojo = 7 s, fase 2: Verde = 4 s, amarillo = 3 s, rojo = 18 s; para el ejemplo complementario de la intersección en Indonesia, ha logrado obtener una actual demora de 50.7 s con nivel de servicio “D”, disminuyó el tiempo de ciclo óptimo a 54 s y sus tiempos semafóricos en fase 1 a: Verde = 14 s, amarillo = 4 s, rojo = 36 s, fase 2 a: Verde = 32 s, amarillo = 4 s, rojo = 18 s, y posterior redujo (optimizó) su demora a 18.6 s con nivel de servicio “B”; inclusive en este mismo escenario y considerando ahora un tiempo de todo rojo de 5 s, disminuye su tiempo de ciclo óptimo a 67 s y sus tiempos semafóricos de fase 1 a: Verde = 15 s, amarillo = 4 s, todo rojo = 5 s, rojo = 43 s, fase 2 a: Verde = 34 s, amarillo = 4 s, todo rojo = 5 s, rojo = 24 s, para luego reducir (optimizar) su demora a 19.4 s con nivel de servicio “B”.

5.2. RECOMENDACIONES

- Los ingenieros, investigadores y planificadores urbanos, deben implementar el estudio para zonas o casos que correspondan de manera especial a cinco (5) cruces, encrucijadas, óvalos o rotondas. Además, considerar en recopilar otras variables las cuales deben estar asociadas a fallas en carriles o calzadas, accidentes, clima, bloqueos, para hacer modelos más prácticos; e introducir la automatización para recogida de datos y regularización del tráfico, control y/o optimización semafóricos.
- Que los investigadores, ingenieros y desarrolladoras de software deben hacer uso de la metodología Knowledge Discovery Databases (KDD) – Minería de datos y algoritmos de machine learning, para el diseño de un sistema adaptativo propuestos a intersecciones en campo real para descubrir la operatividad y/o mejorar el rendimiento de éstas. Además, se debería incorporar otros lenguajes de programación para la generación de sistemas que hagan uso de la adaptabilidad, y que deberían formar parte de las direcciones de estudio futuras.
- En gobiernos locales, regionales y nacionales se deben implementar los sistemas adaptativos en las diferentes intersecciones del país debido a que reducen el tiempo de demora y optimizan el tiempo de ciclo óptimo, inclusive para intersección pequeña permita la posibilidad de configurar las luces de señal que parpadean en amarillo durante horas de menor actividad. Además, deben adoptar sus protocolos hacia tecnologías que usen la inteligencia artificial, con miras de mejorar los comportamientos variables del sistema de transporte, e ir adaptando lo tradicional.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahiaga-Dagbui, D. D., & Smith, S. D. (2014). Dealing with construction cost overruns using data mining. *Construction Management and Economics*, 32(7-8), Article 7-8. <https://doi.org/10.1080/01446193.2014.933854>
- Alarcón, J., López, J., Ruiz, L., & Sarmiento, C. (2017). *Analysis and comparison of machine learning classification models applied to credit approval*. <https://doi.org/10.33017/RevECIPeru2017.0014/>
- ALI, M. E. M., DURDU, A., CELTEK, S. A., & YILMAZ, A. (2021). *An Adaptive Method for Traffic Signal Control Based on Fuzzy Logic With Webster and Modified Webster Formula Using SUMO Traffic Simulator*. 10.1109/ACCESS.2021.3094270
- Alkandari, A., & Al-Shaikhli, I. F. (2018). *Implementation of Dynamic Fuzzy Logic Control of Traffic Light with Accident Detection and Action System using iTraffic Simulation*. <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v10.i1.pp100-109>
- Alkandari, A., Al-Shaikhli, I. F., & Alhaddad, A. (2014). Optimization of traffic control methods comparing with dynamic webster with Dynamic Cycle Time (DWDC) using simulation software. *2014 10th International Conference on Natural Computation (ICNC)*, 1071-1076. <https://doi.org/10.1109/ICNC.2014.6975989>
- An, H. K., Awais Javeed, M., Bae, G., Zubair, N., M. Metwally, A. S., Bocchetta, P., Na, F., & Javed, M. S. (2022). *Optimized Intersection Signal Timing: An Intelligent Approach-Based Study for Sustainable Models*. <https://doi.org/10.3390/su141811422>
- Andronov, R., & Leverents, E. (2018). *Calculation of vehicle delay at signal-controlled intersections with adaptive traffic control algorithm*. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814304008>
- Arjmand, M., Ebrahimzadeh, M., & Barzegar, S. (2021). *Modeling and Simulation of Urban Traffic Network Using Enterprise Dynamics (Case study: The Sabzeh Meydan intersection in Qazvin city)*. http://www.jmor.ir/article_240076.html
- Ayuntamiento de Madrid. (2000). *Instrucción de Vía Pública*. <https://www.madrid.es/UnidadesDescentralizadas/UDCUrbanismo/PGOUM/InstruccionViaPublica/Ficheros/fic5.2.pdf>
- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación* (3a ed.). http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf

- Balaji, P. G., German, X., & Srinivasan, D. (2010a). Urban traffic signal control using reinforcement learning agents. *IET Intelligent Transport Systems*, 4(3), 177. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2009.0096>
- Balaji, P. G., German, X., & Srinivasan, D. (2010b). Urban traffic signal control using reinforcement learning agents. *IET Intelligent Transport Systems*, 4(3), 177. <https://doi.org/10.1049/iet-its.2009.0096>
- Bances, M. V., & Ramos, M. F. (2014). *SEMÁFOROS INTELIGENTES PARA LA REGULACIÓN DEL TRÁFICO VEHICULAR*. <https://doi.org/10.26495/icti.v1i1.113>
- Baquela, E. G. (2019). *Desarrollo de técnicas de optimización via simulación aplicadas a sistemas de tráfico*. <http://hdl.handle.net/2133/22860>
- Bashiri, M. (2020). *Data-Driven Intersection Management Solutions for Mixed Traffic of Human-Driven and Connected and Automated Vehicles*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2012.05402>
- Bell, D. (2002). *Visual Basic.Net as a First Language: An Evaluation*. <https://doi.org/10.1145/820127.820178>
- Cao, X. (2019). *Real-Time control for intersection traffic signals*. <https://hdl.handle.net/1969.1/188996>
- Celik, Y., & Karadeniz, A. T. (2018). *Urban Traffic Optimization with Real Time Intelligence Intersection Traffic Light System*. <https://doi.org/10.18201/ijisae.2018644780>
- Celis-Peñaranda, J. M., Escobar-Amado, C. D., Sepúlveda-Mora, S. B., Castro-Casadiago, S. A., Medina-Delgado, B., & Ramírez-Mateus, J. J. (2016). *Control adaptativo para optimizar una intersección semafórica basado en un sistema embebido*. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.12.24.8>
- Chen, S., & Chen, F. (2022). Variable Lane Control of Intersection Region Based on Simulation Platform. *IEEE Journal of Radio Frequency Identification*, 6, 896-899. *IEEE Journal of Radio Frequency Identification*. <https://doi.org/10.1109/JRFID.2022.3217081>
- Chen, X., Qian, D., & Shi, D. (2011). Multi-objective Optimization Method of Signal Timing for the Non-motorized Transport at Intersection. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 11(2), 106-111. [https://doi.org/10.1016/S1570-6672\(10\)60118-3](https://doi.org/10.1016/S1570-6672(10)60118-3)
- Cheng, C., Du, Y., Sun, L., & Ji, Y. (2016). Review on Theoretical Delay Estimation Model for Signalized Intersections. *Transport Reviews*, 36(4), 479-499. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1091048>

- Chentoufi, M., & Ellaia, R. (2018). *A Hybrid Particle Swarm Optimization and Tabu Search algorithm for adaptive traffic signal timing optimization*. doi: 10.1109/ITMC.2018.8691188
- Chu, M. C. (2003). *Analysis of motorcycle effects to saturation flow rate at signalized intersection in developing countries*.
<https://www.researchgate.net/publication/281605977>
- Cintrano, C., Ferrer, J., López, M., & Alba, E. (2021). *Hybridization of Racing Methods with Evolutionary Operators for Simulation Optimization of Traffic Lights Programs*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72904-2_2
- Consejo de Investigación del Transporte - TRB. (2000). *Manual de Capacidad de Carreteras (HCM)*.
https://www.academia.edu/26524134/HIGHWAY_CAPACITY_MANUAL_TRANSPORTATION_RESEARCH_BOARD_National_Research_Council
- Corso, C. L. (2014). *Aplicación de algoritmos de clasificación supervisada usando Weka*.
https://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/labsis/Publicaciones/congresos_labsis/cynthia/CNIT_2009_Aplicacion_Algoritmos_Weka.pdf
- Culita, J., Caramihai, S., Dumitrache, I., Moisescu, M., & Sacala, I. (2020). *An Hybrid Approach for Urban Traffic Prediction and Control in Smart Cities*.
<https://doi.org/10.3390/s20247209>
- de la Cruz, L. (2019). *Contribución a las estrategias de optimización multiobjetivo para la coordinación de vehículos en intersecciones urbanas*.
<http://hdl.handle.net/10017/42806>
- Díaz, S., & Horna, P. (2023). *Análisis del tráfico vehicular y peatonal en la intersección Francisco Orellana y Luna Pizarro mediante simulaciones con el Software PTV Vissim en la Ciudad de Jaén*. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.6ffrkg55>
- Doçi, I., Duraku, R., & Hoti, B. (2022). *DESIGN OF TRAFFIC INTERSECTION MODEL AND REGULATION WITH SOFTWARE AND MICROCONTROLLERS*.
https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/full1a5_875407.pdf
- Faldu, P., Doshi, N., & Patel, R. (2019). *Real Time Adaptive Traffic Control System A Hybrid Approach*. doi: 10.1109/CCOMS.2019.8821749
- Fernández, G., Trejo, J., & Moreno, M. (2020). *Sistema multi-agente para el control de tráfico urbano para vehículos de prioridad*. Corpus ID: 232314008
- Fernandez, T., Fuentes, S., Illi, J. I., Nacht, J., Falco, M., Pezzuchi, G., & Robiolo, G. (2018). *Sistema dinámico y adaptativo para el control del tráfico de una intersección de calles: Modelación y simulación de un sistema multi-agente*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:70229678>

- Flores, M., Hernandez, E. G., Ferreira, E. D., Flores, J. J., & Fernandez, G. (2019). *A Hybrid Representation of Urban Traffic Networks using Multi-agent Systems and Petri Nets*. doi: 10.1109/CoDIT.2019.8820626
- Fonseca, O., Pujol, G., Allende, S., & Bouza, G. (2014). *Una herramienta para simular y analizar el flujo de tráfico en un cruce regulado por semáforos con tiempos de ciclos variables*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2227-18992014000500003&lng=es&tlng=es.
- Fuad, M. R. T., Fernandez, E. O., Mukhlis, F., Putri, A., Sutarto, H. Y., Hidayat, Y. A., & Joelianto, E. (2022). Adaptive Deep Q-Network Algorithm with Exponential Reward Mechanism for Traffic Control in Urban Intersection Networks. *Sustainability*, 14(21), Article 21. <https://doi.org/10.3390/su142114590>
- George, S., & Santra, A. (2020). *Traffic Prediction Using Multifaceted Techniques: A Survey*. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07612-8>
- Gheware, S., Kejkar, A., & Tondare, S. (2014). Data Mining :Task, Tools, Techniques and Applications. *IJARCCCE*, 3. <https://doi.org/10.17148/IJARCCCE.2014.31003>
- Gusrion, D., Kom, S., & Kom, M. (2018). *MEMBUAT APLIKASI PENYIMPANAN DAN PENGOLAHAN DATA DENGAN VB.NET*. <https://core.ac.uk/download/pdf/229586034.pdf>
- Hambli, C., Amad, M., & Azzaoui, N. (2021). Smart control algorithm in traffic lights at urban intersections. En *Innovative and Intelligent Technology-Based Services For Smart Environments—Smart Sensing and Artificial Intelligence*. CRC Press.
- Hao, J., & Ho, T. K. (2019). *Machine Learning Made Easy: A Review of Scikit-learn Package in Python Programming Language*. DOI: 10.3102/1076998619832248
- Hernández, C. E., & Carpio, N. (2019). *Introducción a los tipos de muestreo*. DOI: 10.5377/alerta.v2i1.7535
- Hou, Q., Leng, J., Ma, G., Liu, W., & Cheng, Y. (2019). *An adaptive hybrid model for short-term urban traffic flow prediction*. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.121065>
- Hussain, H., Javaid, M. B., Khan, F. S., Dalal, A., & Khalique, A. (2020). *Optimal control of traffic signals using quantum annealing*. <https://doi.org/10.1007/s11128-020-02815-1>
- Jiajia, L., & Xingquan, Z. (2020). *Research on Fuzzy Control and Optimization for Traffic Lights at Single Intersection*. <https://www.china-simulation.com/EN/10.16182/j.issn1004731x.joss.20-FZ0498>

- Joyanes, L. (2008). *FUNDAMENTOS DE PROGRAMACIÓN Algoritmos, estructura de datos y objetos* (Cuarta). <https://combomix.net/wp-content/uploads/2017/03/Fundamentos-de-programaci%C3%B3n-4ta-Edici%C3%B3n-Luis-Joyanes-Aguilar-2.pdf>
- Komarov, Y. Y., Ganzin, S. V., & Silchenkov, D. D. (2021). Determination of the conditions for the application of the F. Webster formula for determining the transport delay at a circular intersection with traffic light regulation and a cut-through central island. *Интеллект. Инновации. Инвестиции, Vol 1, Pp 76-86* (2021), 1.
- Lee, W.-H., & Chiu, C.-Y. (2020). *Design and Implementation of a Smart Traffic Signal Control System for Smart City Applications*. <https://doi.org/10.3390/s20020508>
- Lema, C., Pedreira, L., Bouza, G., & Allende, S. (2011). *Estudio de la optimización del tráfico en un cruce a través del ajuste de los ciclos de los semáforos mediante recocido simulado*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6017739>
- Leprêtre, F., Fonlupt, C., Verel, S., Marion, V., Armas, R., Aguirre, H., & Tanaka, K. (2019). *Fitness landscapes analysis and adaptive algorithms design for traffic lights optimization on SIALAC benchmark*. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105869>
- Li, Y., Qin, Z., & Zhu, C. M. (2021). *Optimal design of transportation signal control at the intersection based on Webster signal timing method*. 10.1088/1742-6596/1972/1/012130
- Ma, T., Antoniou, C., & Toledo, T. (2020). *Hybrid machine learning algorithm and statistical time series model for network-wide traffic forecast*. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2019.12.022>
- Majstorović, Ž., Tišljarić, L., Ivanjko, E., & Carić, T. (2023). Urban Traffic Signal Control under Mixed Traffic Flows: Literature Review. *Applied Sciences, 13*(7), Article 7. <https://doi.org/10.3390/app13074484>
- Marbán, O., Mariscal, G., & Segovia, J. (2009). A Data Mining & Knowledge Discovery Process Model. En J. Ponce & A. Karahoc (Eds.), *Data Mining and Knowledge Discovery in Real Life Applications*. I-Tech Education and Publishing. <https://doi.org/10.5772/6438>
- Martín, J. A., de Lope, J., & Maravall, D. (2009). *Adaptation, anticipation and rationality in natural and artificial systems: Computational paradigms mimicking nature*. DOI 10.1007/s11047-008-9096-6
- Mendoza, C. (2017). *Evaluar las medidas de rendimiento óptimos de los semáforos ubicados en los alrededores de las rotondas Centroamérica y Jean Paul Genie*,

para calcular un ciclo común que permitan agilizar la circulación y mejorar la operatividad entre ellas. <http://repositorio.unan.edu.ni/8829/>

- Merbah, A., Makrizi, A., & Essoufi, E. H. (2023). Intelligent management of crossroads with traffic lights using an hybrid method combining genetic algorithm and fuzzy logic. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 44(1), 299-307. <https://doi.org/10.3233/JIFS-221535>
- MIAO, L., & LEITNER, D. (2021). *Adaptive Traffic Light Control With Quality-of-Service Provisioning for Connected and Automated Vehicles at Isolated Intersections*. doi: 10.1109/ACCESS.2021.3064310
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2018). *Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG - 2018*. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf
- Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones. (2020). *MANUAL DE SEÑALIZACIÓN DE TRÁNSITO*. <https://www.mtt.gob.cl/wp-content/uploads/2020/04/Manual-de-Sen%CC%83alizacion-de-Transito.pdf>
- Montoya, G. (2005). *INGENIERÍA DE TRÁNSITO*. <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/apuntes-ingenieria-de-transito.pdf>
- MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN. (2013). *PLAN DE DESARROLLO URBANO CIUDAD DE JAÉN 2013—2025*. <https://munijaen.gob.pe/documentos/proyecto1/RESUMEN%20EJECUTIVO.pdf>
- Nacht, J., Falco, M., & Robiolo, G. (2018). Modelado y Simulación de una Intersección de Calles en un Contexto Multi-Agente. *Elektron*, 2(2), 83-94. <https://doi.org/10.37537/rev.elektron.2.2.59.2018>
- Navarro, A., López, O. R., García, E. E., Tlelo, E., López, D., Hernández, C., & Inzunza, E. (2022). *Traffic Flow Prediction for Smart Traffic Lights Using Machine Learning Algorithms*. <https://doi.org/10.3390/technologies10010005>
- Noval, C., Virgono, A., & Saputra, R. E. (2018). Optimasi Lampu Lalu Lintas Cerdas Menggunakan Metode Webster. *eProceedings of Engineering*, 5(3), Article 3. <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/8014>
- Novikov, I. A., Shevtsova, A. G., Kravchenko, A. A., & Burlutskaya, A. G. (2020). *Development of a procedure for adapting a model of adjustable intersection*. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-726-735>
- Olayode, I., Severino, A., Tartibu, L., Arena, F., & Cakici, Z. (2021). *Performance Evaluation of a Hybrid PSO Enhanced ANFIS Model in Prediction of Traffic Flow*

of Vehicles on Freeways: Traffic Data Evidence from South Africa.
<https://doi.org/10.3390/infrastructures7010002>

- Olayode, O. I., Tartibu, L. K., & Okwu, M. O. (2022, enero 25). *Application of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System Model on Traffic Flow of Vehicles at a Signalized Road Intersections*. ASME 2021 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. <https://doi.org/10.1115/IMECE2021-70956>
- paitConsultores. (2003). *CONCEPCION DE LA CIRCULACION VIAL - Municipalidad Metropolitana de Lima—PROTRANSPORTE DE LIMA*.
<https://www.protransporte.gob.pe/pdf/biblioteca/2009/PatioSur/Estudios%20Basicos/Concepcion%20Circulacion%20Vial.pdf>
- Paucar, J. K., Santos, L. F., & Tarquino, F. M. (2022). *Unconventional geometric design in an intersection in the city of Lima*. <https://doi.org/doi:10.1109/CONIITI57704.2022.9953667>
- Pereira, F. S. (2022). *MODELO INTELIGENTE DE CONTROLE ADAPTATIVO DE TRÁFEGO URBANO*. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/43722>
- Prihantini, Santoso, A. H., & Fajrin, H. R. (2020). Application of Webster's Method to Optimizing Traffic Lights at the Intersection of Bantul—Nasional III Street, Yogyakarta. *Proceeding International Conference on Science and Engineering*, 3, 347-352. <https://doi.org/10.14421/icse.v3.526>
- Qian, R., Lun, Z., Wenchen, Y., & Meng, Z. (2013). A Traffic Emission-saving Signal Timing Model for Urban Isolated Intersections. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 96, 2404-2413. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.08.269>
- Qiao, F., Yi, P., Yang, H., & Devarakonda, S. (2002a). Fuzzy logic based intersection delay estimation. *Mathematical and Computer Modelling*, 36(11), 1425-1434. [https://doi.org/10.1016/S0895-7177\(02\)00298-4](https://doi.org/10.1016/S0895-7177(02)00298-4)
- Qiao, F., Yi, P., Yang, H., & Devarakonda, S. (2002b). Fuzzy logic based intersection delay estimation. *Mathematical and Computer Modelling*, 36(11), Article 11. [https://doi.org/10.1016/S0895-7177\(02\)00298-4](https://doi.org/10.1016/S0895-7177(02)00298-4)
- Qin, K., Xu, Y., Kang, C., & Kwan, M.-P. (2020). A graph convolutional network model for evaluating potential congestion spots based on local urban built environments. *Transactions in GIS*, 24(5), 1382-1401. <https://doi.org/10.1111/tgis.12641>
- Radivojević, M., Tanasković, M., & Stević, Z. (2021). *The adaptive algorithm of a four way intersection regulated by traffic lights with four phases within a cycle*. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114073>
- Ravipati, R. D., & Abualkibash, M. (2019). *Intrusion Detection System Classification Using Different Machine Learning Algorithms on KDD-99 and NSL-KDD*

Datasets—A Review Paper (SSRN Scholarly Paper 3428211; Número 3428211).
<https://doi.org/10.2139/ssrn.3428211>

Saeed, I., & Elhadeif, M. (2019). *A Distributed inVANETs-Based Intersection Traffic Control Algorithm*. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1328-8_44

Saha, A., Chandra, S., & Ghosh, I. (2017). Delay at Signalized Intersections under Mixed Traffic Conditions. *Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems*, 143(8), Article 8. <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000070>

Savithramma, R. M., & Sumathi, R. (2020). *Road Traffic Signal Control and Management System: A Survey*. 10.1109/ICISS49785.2020.9315970

Savithramma, R. M., & Sumathi, R. (2023). Comparative Analysis of Waiting Delay Estimation Models for Signalized Intersections: A Case Study Tumakuru City. En D. Goyal, A. Kumar, V. Piuri, & M. Paprzycki (Eds.), *Proceedings of the Third International Conference on Information Management and Machine Intelligence* (pp. 579-589). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2065-3_61

Savithramma, R. M., Sumathi, R., & Sudhira, H. S. (2022). *A Comparative Analysis of Machine Learning Algorithms in Design Process of Adaptive Traffic Signal Control System*. 10.1088/1742-6596/2161/1/012054

Schuh, G., Prote, J.-P., Luckert, M., & Sauermann, F. (2018). Determination of order specific transition times for improving the adherence to delivery dates by using data mining algorithms. *Procedia CIRP*, 72, 169-173.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.236>

Shafiq, M., Tian, Z., Bashir, A. K., Jolfaei, A., & Yu, X. (2020). Data mining and machine learning methods for sustainable smart cities traffic classification: A survey. *Sustainable Cities and Society*, 60, 102177.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102177>

Shaikh, P. W., El-Abd, M., Khanafer, M., & Gao, K. (2022a). A Review on Swarm Intelligence and Evolutionary Algorithms for Solving the Traffic Signal Control Problem. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(1), 48-63.
<https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3014296>

Shaikh, P. W., El-Abd, M., Khanafer, M., & Gao, K. (2022b). A Review on Swarm Intelligence and Evolutionary Algorithms for Solving the Traffic Signal Control Problem. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(1), 48-63.
<https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3014296>

Shamlitskiy, Y., Popov, A., Saidov, N., & Moiseeva, K. (2023a). Transport Stream Optimization Based on Neural Network Learning Algorithms. *Transportation Research Procedia*, 68, 417-425. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.056>

- Shamlitskiy, Y., Popov, A., Saidov, N., & Moiseeva, K. (2023b). Transport Stream Optimization Based on Neural Network Learning Algorithms. *Transportation Research Procedia*, 68, 417-425. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.056>
- Shashikanth, A., Yashwanth, G., Sathwik, M., Gayathri, S., & Srinivasa, P. (2022). A HYBRID METHOD TO ENHANCE SMART TRAFFIC MANAGEMENT IN CITIES USING MACHINE LEARNING. https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/issue_6_june_2022/26064/final/fin_irjmets1655283964.pdf
- Shelby, S. G. (2004). Single-Intersection Evaluation of Real-Time Adaptive Traffic Signal Control Algorithms. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1867(1), 183-192. <https://doi.org/10.3141/1867-21>
- Singh, A. (2022). IMPROVEMENT OF SIGNALIZED INTERSECTION IN BENGALURU USING WEBSTER'S METHOD. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 4(3). https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/issue_3_march_2022/20126/final/fin_irjmets1648112008.pdf
- Sıkar, R. B., & Aslan, H. (2022). Calculation of the delays of autonomous vehicles at signalized intersections using the Webster method. *Academic Perspective Procedia*, 5(3), Article 3. <https://doi.org/10.33793/acperpro.05.03.3561>
- Soto, E. (2021). *Python in Informatics Sciences Engineering: Projections of practical, scientific and social dimensions*. <https://publicaciones.uci.cu/index.php/serie/article/view/879>
- Tang, J., Zhang, X., Yu, T., & Liu, F. (2021). *Missing traffic data imputation considering approximate intervals: A hybrid structure integrating adaptive network-based inference and fuzzy rough set*. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.125776>
- Valero, Y. (Director). (2024). *Diseño de intersecciones viales y semaforizaciones* [Video recording]. <https://www.facebook.com/share/v/fFBcvKv27e4Y3J4E/?mibextid=xfxF2i>
- Wijaya, D. D. A., Luckyarno, Y. F., Utami, S. S., & Prasetyo, R. (2019). *Analysis of Vehicle Waiting Time Efficiency Using Webster Method and Newton's Divided Difference: Case Study at Mirota Kampus Intersection, Yogyakarta, Indonesia*.
- Wolput, B., Christofa, E., & Tampère, C. (2016). *Optimal Cycle Length Formulas for Intersections with or without Transit Signal Priority*. <https://doi.org/10.3141/2558-08>

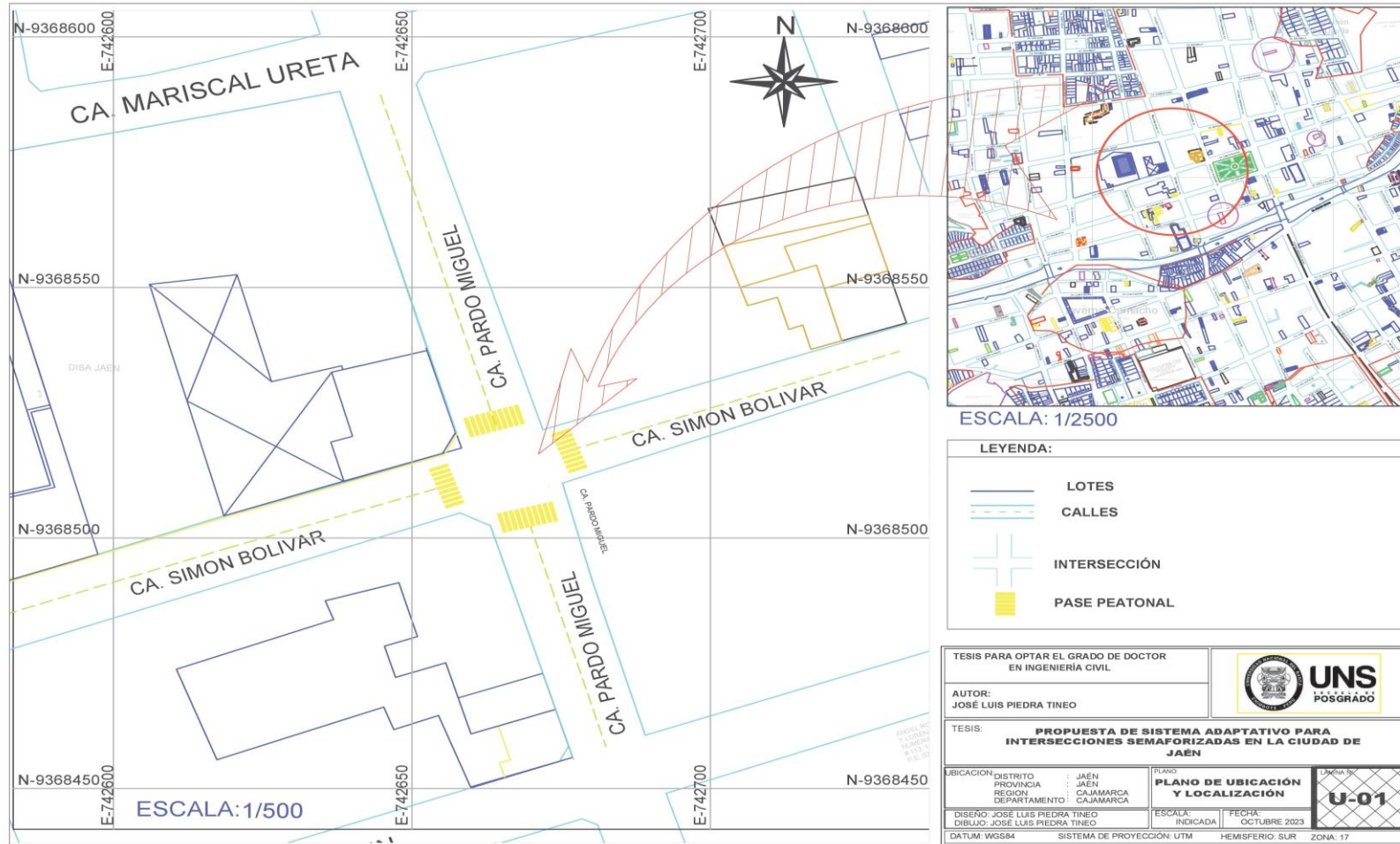
- Wu, W., Liu, Y., Liu, W., Zhang, F., Rey, D., & Dixit, V. (2019). *An integrated approach for optimizing left-turn forbiddance decisions at multiple intersections*. <https://doi.org/10.1080/21680566.2019.1631901>
- Yang, J., Zhang, J., & Wang, H. (2020). *Urban Traffic Control in Software Defined Internet of Things via a Multi-Agent Deep Reinforcement Learning Approach*. 10.1109/TITS.2020.3023788
- Zaatouri, K., Jeridi, M., & Ezzedine, T. (2018). *Adaptive Traffic Light Control System Based on WSN: Algorithm Optimization and Hardware Design*. doi: 10.23919/SOFTCOM.2018.8555802
- Zakariya, A. Y., & Rabia, S. I. (2016). Estimating the minimum delay optimal cycle length based on a time-dependent delay formula. *Alexandria Engineering Journal*, 55(3), 2509-2514. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.07.029>
- Zhang, H., Yuan, H., Chen, Y., Yu, W., Wang, C., Wang, J., & Gao, Y. (2021). Traffic Light Optimization Based on Modified Webster Function. *Journal of Advanced Transportation*, 2021, e3328202. <https://doi.org/10.1155/2021/3328202>
- Zhang, Y., Chen, Q., Su, R., Zhang, Y., & Sun, C. (2019). *A Hybrid Traffic Light Control Strategy Based on Branching Ratio Estimation and Congestion Identification*. doi: 10.1109/CDC40024.2019.9029797
- Zhang, Y., & Zhou, Y. (2018). *Distributed coordination control of traffic network flow using adaptive genetic algorithm based on cloud computing*. 10.1016/j.jnca.2018.07.001
- Zhao, L., Zhao, W., Hawbani, A., Al-Dubai, A. Y., Min, G., Zomaya, A. Y., & Gong, C. (2021). *Novel Online Sequential Learning-Based Adaptive Routing for Edge Software-Defined Vehicular Networks*. 10.1109/TWC.2020.3046275
- Zong-Ming, L., Cheng-Yang, C., Chin-Yu, H., & Yung-Yuan, C. (2021). *Intelligent Traffic Signal Control System by Using Image Information*. <https://arxiv.org/pdf/2109.10181.pdf>

VII.ANEXOS

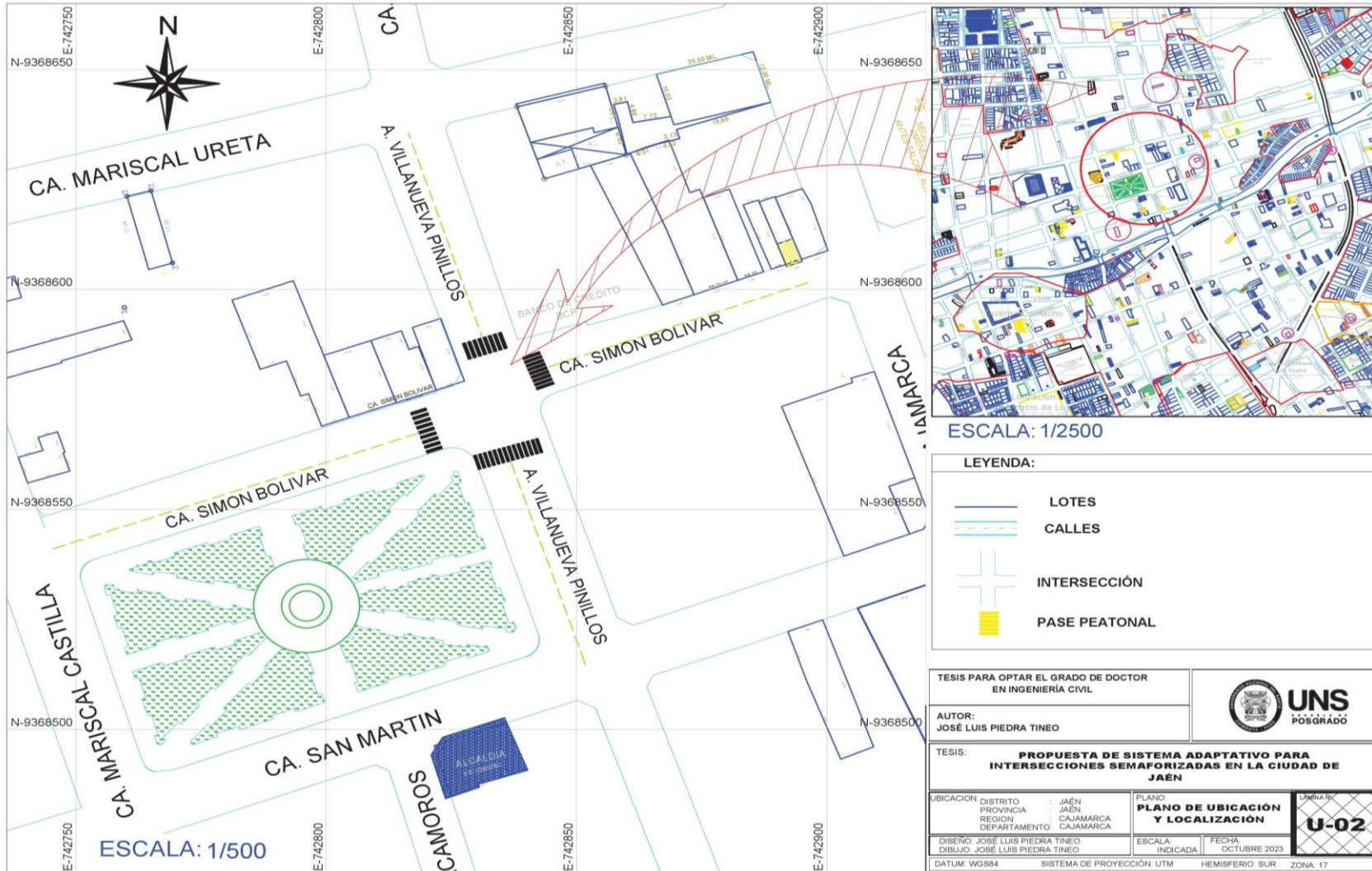
Anexo A

(Geometría: Planos)

Anexo A 1. Plano de ubicación y localización de la intersección de calles



Anexo A 2. Plano de ubicación y localización de la intersección de avenida y calle

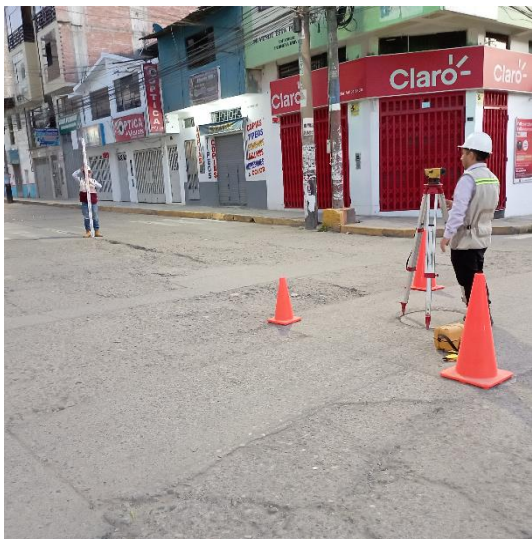


Anexo B

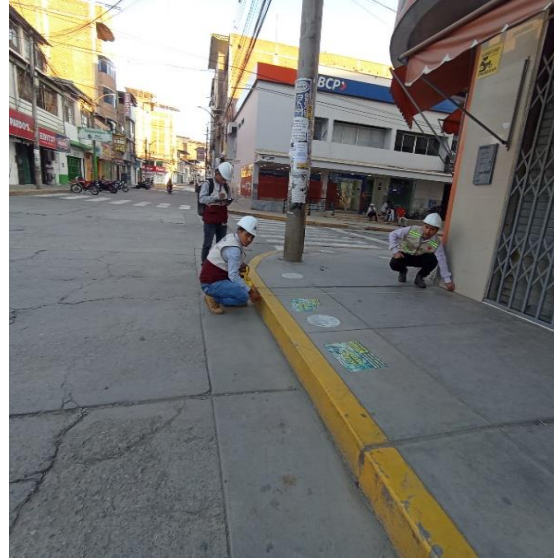
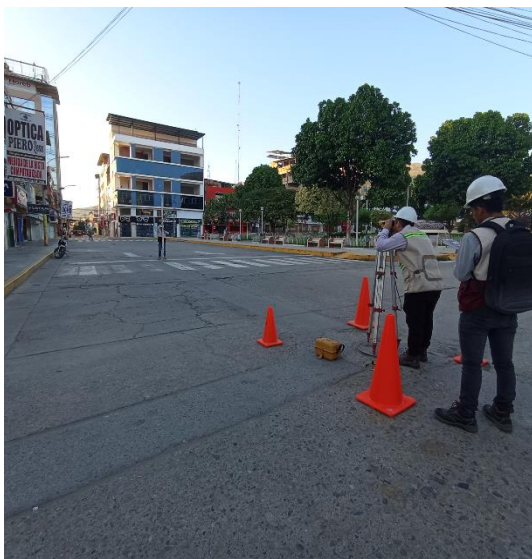
(Fotografías: Geometría, Tránsito y Semaforización)

Anexo B 1. Trabajo zonas de estudio, acopio de datos de características geométricas (Intersecciones: Calles=a., Avenida y calle=b.)

a.



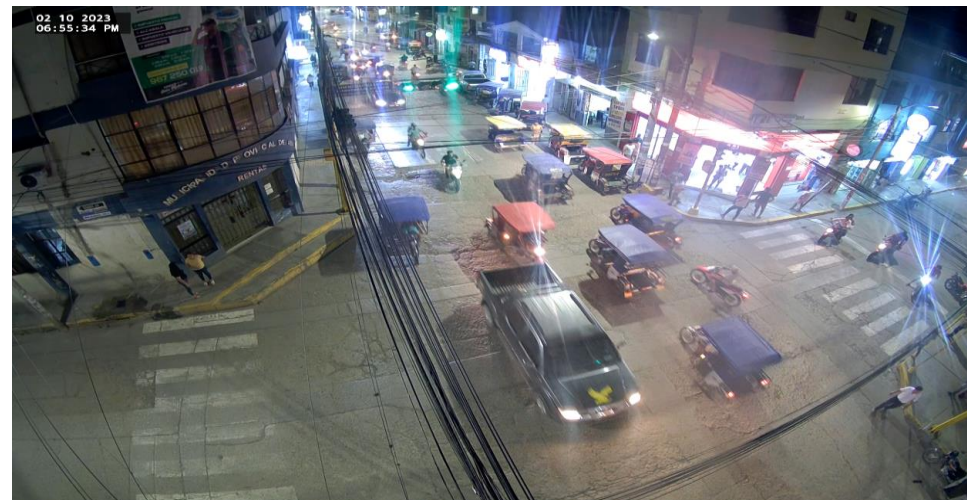
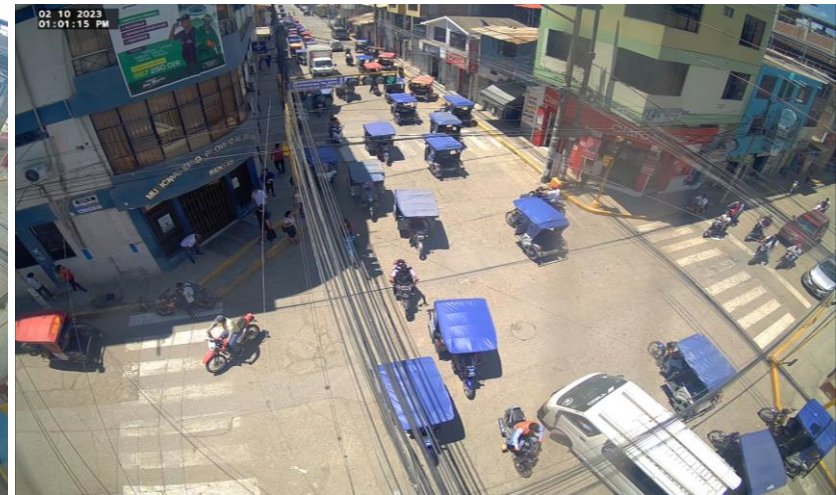
b.



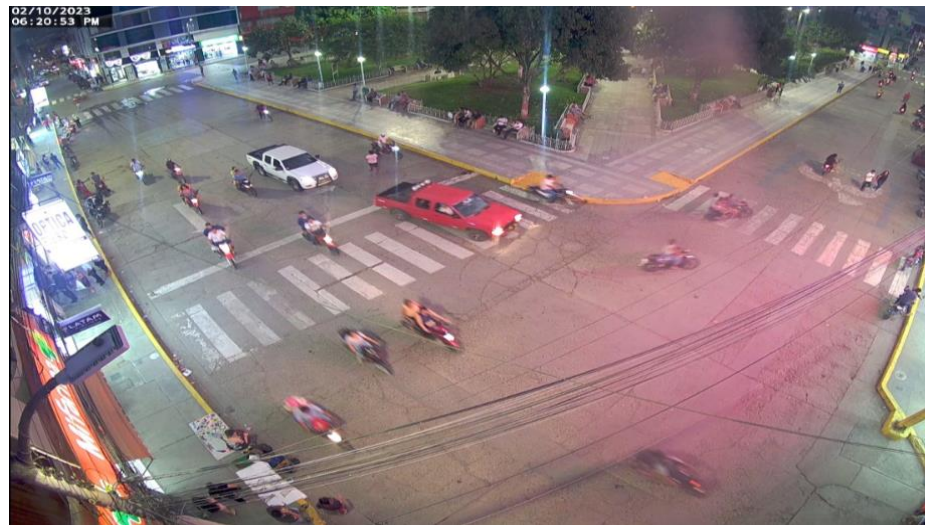
Anexo B 2. Equipo de trabajo, para condiciones geométricas y de semaforización



Anexo B 3. Situación actual intersección de calles - flujo vehicular (mañana, tarde y noche)



Anexo B 4. Situación actual intersección de avenida y calle - flujo vehicular (mañana, tarde y noche)



Anexo C

**(Tránsito: Solicitudes, volúmenes, composiciones vehiculares,
flujogramas)**

Jaén, 05 de Octubre de 2023

OFICIO N° 004 – 2023 – JLPT

Sr. Mayor PNP (R) Francisco Arrascaue Villegas
Gerente Seguridad y Participación Ciudadana - MPJ.

Asunto : **SOLICITUD VARIAS**

De mi consideración:

Por medio del presente me dirijo a Ud. con la finalidad de hacerle llegar mi cordial saludo y a la vez comentarle que mi persona se encuentra por ejecutar una tesis doctoral en la ciudad de Jaén referida a un estudio vial donde intervienen las intersecciones semaforizadas; por lo que requiero a usted ordene o derive a quien corresponda la siguiente solicitud:

➤ Se me opte la videograbación por una semana completa (de lunes a domingo) que logre captar específicamente la intersección de las calles Villanueva Pinillos con Simón Bolívar, para evaluar y/o realizar el estado vial en dicha zona de la ciudad.

Recalcar que emito este pedido o solicitud en respuesta y/o por recomendación de la Sub Gerencia de Transporte, Tránsito y Vialidad (adjunto CARTA 150-2023-MPJ/GDT/SGTTV).

Es todo cuanto informo a Ud. para su trámite respectivo y demás fines.

Atentamente,


MG. ING. JOSÉ LUIS PIEDRA TINEO
Doctorando



JGSC-MPJ
JLPTT
CC
ARCHIVO

Jaén, 05 de Octubre de 2023

OFICIO N° 005 – 2023 – JLPT

Sr. Mayor PNP (R) Francisco Arrascaue Villegas
Gerente Seguridad y Participación Ciudadana - MPJ.

Asunto : **SOLICITUD VARIAS**

De mi consideración:

Por medio del presente me dirijo a Ud. con la finalidad de hacerle llegar mi cordial saludo y a la vez comentarle que mi persona se encuentra por ejecutar una tesis doctoral en la ciudad de Jaén referida a un estudio vial donde intervienen las intersecciones semaforizadas; por lo que requiero a usted ordene o derive a quien corresponda la siguiente solicitud:

- Se me opte la videograbación por una semana completa (de lunes a domingo) que logre captar específicamente la intersección de las calles Pardo Miguel con Simón Bolívar, para evaluar y/o realizar el estado vial en dicha zona de la ciudad.

Recalcar que emito este pedido o solicitud en respuesta y/o por recomendación de la Sub Gerencia de Transporte, Tránsito y Validad (adjunto CARTA 150-2023-MPJ/GDT/SGTTV).

Es todo cuanto informo a Ud. para su trámite respectivo y demás fines.

Atentamente,



MG. ING. JOSÉ LUIS PIEDRA TINEO
Doctorando

Cel.: 968438169

JGSC:MPJ
JLPTT
CC
ARCHIVO





MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN


GERENCIA DE PARTICIPACIÓN Y SEGURIDAD CIUDADANA

Calle Bolívar 1580 - Centro Operaciones de Seguridad Ciudadana

Email: seguridad.ciudadania@munprojaen.gob.pe Telf.: 075-602430 anexo 2003 o 2001

Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

INFORME N°064 - 2023 -MPJ/GPSC/EC/SYCR

A	:	May. PNP@ JOSE FRANCISCO ARRASCUE VILLANUEVA <i>Gerente de Participación y Seguridad Ciudadana</i>	
DE	:	YONER CORONEL RIMARACHIN <i>Especialista en Cámaras de Seguridad</i>	
ASUNTO	:	COPIA DE VIDEOGRABACION	
REFERENCIA	:	OFICIO N°005 - 2023 -JLPT y OFICIO N°004 - 2023 -JLPT.	
FECHA	:	JAÉN, 19 DE OCTUBRE 2023	

Mediante el presente me dirijo a usted, para saludarle cordialmente y a la vez para informarle lo siguiente:

1. Con respecto al proveído de su despacho en el documento de referencia se coordino con el interesado para poder brindarle las video grabaciones.
2. Se le ha ido brindando progresivamente la copia de los videos, a partir del día 10 de octubre del presente.
3. Los videos solicitados son de las cámaras instaladas en las intersecciones de las calles Pardo Miguel con Simón Bolívar y las intersecciones de las calles Villanueva Pinillos con Simón Bolívar.
4. Los videos brindados son de durante una semana continua desde el día 02/10/2023 hasta el 08/10/2023.
5. La información solicitada se le brindo en un disco duro externo proporcionado por el interesado.

Sin otro particular me despido de usted, agradeciendo de ante mano su atención.

Atentamente


MUNICIPALIDAD PROVINCIAL JAÉN
 Gerente de Participación y Seguridad Ciudadana
Yoner Coronel Rimarachin
 Especialista en Cámaras de Seguridad


 JUN 21 DE OCTUBRE DE 2023
 VISTO POR SEÑ. ASIST. ADMINISTR.
 PROL: **REINER N. LACRUZ**





MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN
GERENCIA DE PARTICIPACIÓN Y SEGURIDAD CIUDADANA

Calle Simón Bolívar Nº 1580 – Jaén
Call Center 076-602430



“Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres”
“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

Jaén, 20 de octubre de 2023

OFICIO N° 179-2023-MPJ/GPSC-G

Señor:

MG. ING. JOSE LUIS PIEDRA TINEO

Presente.-

ASUNTO : SOBRE COPIAS DE VIDEO VIGILANCIA PARA EFECTOS DE
TESIS DOCTORAL EN LA CIUDAD DE JAÉN.

REF. : a) Informe N° 064-2023-MPJ/GPSC/ECS/YCR de fecha
19.10.2023.
b) Oficio N° 004-2023-JLPT de fecha 05.10.2023.
c) Oficio N° 005-2023-JLPT de fecha 05.10.2023.

Tengo el agrado de dirigirme a Ud., para expresarle mi cordial saludo y al mismo tiempo visto los documentos de la referencia (b) y (c) y en razón al documento de referencia (a), se informa que se cuenta con copia de los videos de la cámara de video vigilancia solicitados, por lo que se ha ido alcanzando una copia de los mismos de manera gradual a partir del día 10/10/2023 en un disco duro externo proporcionado por su persona, para efectos de tesis doctoral en la Ciudad de Jaén

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para expresarle las muestras de mi especial consideración y estima.

Atentamente,

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN
Ing. RP/ RP José R. Aranda Trillos
Gerente de Participación y Seguridad Ciudadana

Cc
Adjunto
FIRV/GPSC
DMLA/ASIS-Adm.

T = 0037960-2023
T = 0037961-2023

aén, 26 de Junio de 2023

OFICIO Nº 001 – 2023 – JLPT

Sr

Jefe de la Gerencia de Seguridad Ciudadana - MPJ.

Asunto : **SOLICITUD VARIAS**

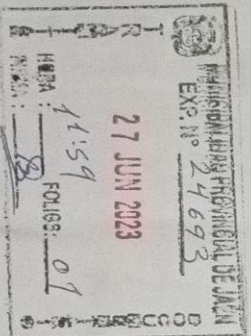
De mi consideración:

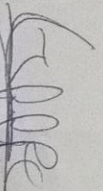
Por medio del presente me dirijo a Ud. con la finalidad de hacerle llegar mi cordial saludo y a la vez comentarle que mi persona se encuentra por ejecutar una tesis doctoral en la ciudad de Jaén referida a un estudio vial donde intervienen las intersecciones semaforizadas, por lo que requiero a usted ordene o derive a quien corresponda las siguientes solicitudes:

- Se me brinde el número, posición (entre que calles) y distancias (entre semáforos) de los semáforos que se encuentran en la ciudad de Jaén.
- Se me opte la posibilidad de instalar cámaras o en su defecto el permiso respectivo ante los usuarios involucrados en las intersecciones semaforizadas (sin generar daños), para realizar el conteo vehicular en ciertas intersecciones en la ciudad.
- De ser posible me brinden alguna base de datos de conteos vehiculares realizadas en las intersecciones semaforizadas.
- Manifiestarme algún interés, si puede existir la posibilidad de alguna alianza con su institución con fines de cubrir algunos beneficios y a la vez buscar aportar al transporte en la ciudad de acuerdo a los resultados obtenidos en el estudio.

Es todo cuanto informo a Ud. para su trámite respectivo y demás fines.

Atentamente,




MG. ING. JOSÉ LUIS PIEDRA TINEO
Doctorando



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE JAÉN
GERENCIA DE DESARROLLO TERRITORIAL
SUB GERENCIA DE TRANSPORTE, TRANSITO Y VIABILIDAD
"AÑO DE LA UNIDAD LA PAZ Y EL DESARROLLO"



CARTA 150-2023-MPJ/GDT/SGTTV

SEÑORES:
MG. ING. JOSE LUIS PIEDRA TINEO
Presente. .

ASUNTO : INFORMACION SOLICITADA.

Ref. : T: 24693 -2023 (F: 27/06/2023)

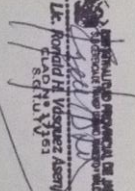
FECHA : Jaén, 17 de Julio del 2023

Es grato saludarlo cordialmente y al mismo tiempo, en atención a la referencia, donde solicita se brinde el número de posición y distancia de los semáforos que se encuentran en la ciudad de Jaén y base de datos de conteos vehiculares; cabe indicar que la Sub gerencia no contamos con dicha información y sobre el ítem número 2 y 4, sobre la instalación de cámaras y alianza con la Municipalidad, la Sub Gerencia encargada es la SUB GERENCIA DE SERENAZGO Y VIGILANCIA.

Desde la Sub Gerencia de Transporte, tránsito y vialidad, estamos interesados en tener alianzas diversas, para poder generar base de datos actualizados, los cuales hoy ayudan a ordenar la ciudad, citamos a su persona pueda opersonarse a las oficinas de la cual represento, para entablar dichos objetivos, y/o comunicarse al número 960455158 Señorita Ali Romina Jeraldine Pérez Pérez.

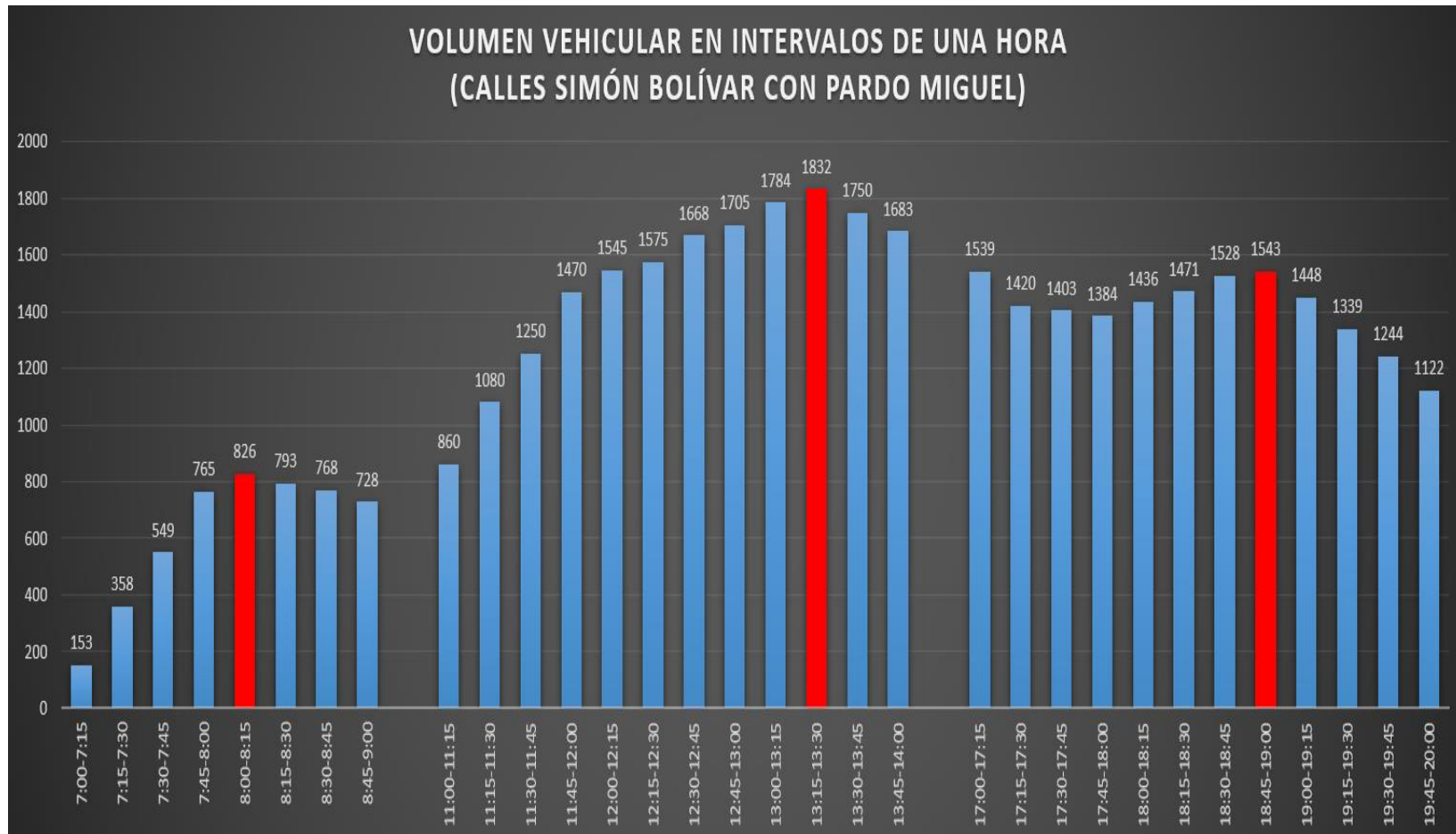
Con los muestras más sinceras de consideración y respeto, me despido de usted.

Atentamente,

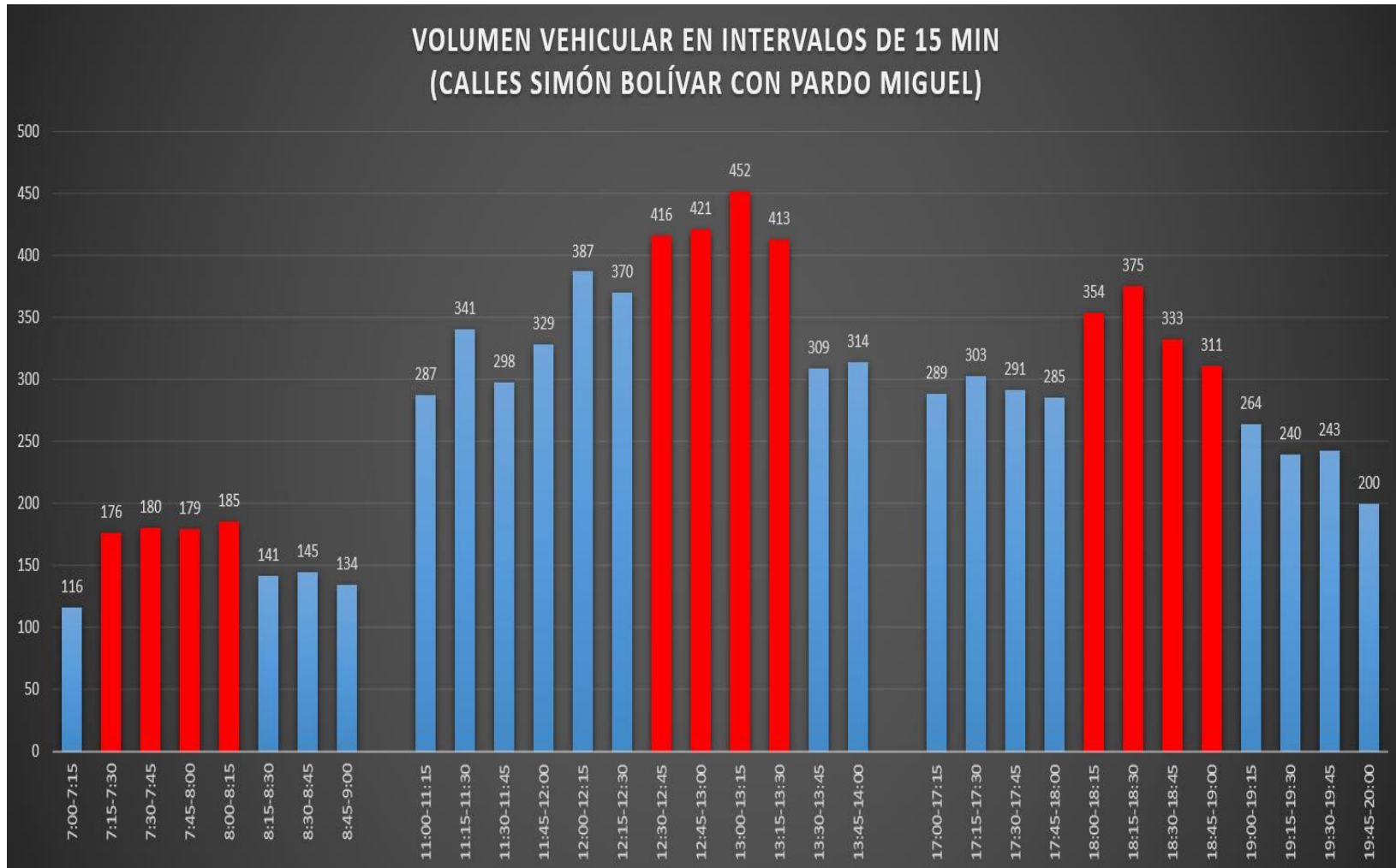

Sub Gerente
Lc. Ronald H. Vazquez Asorio
C.R. 14.111.051

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

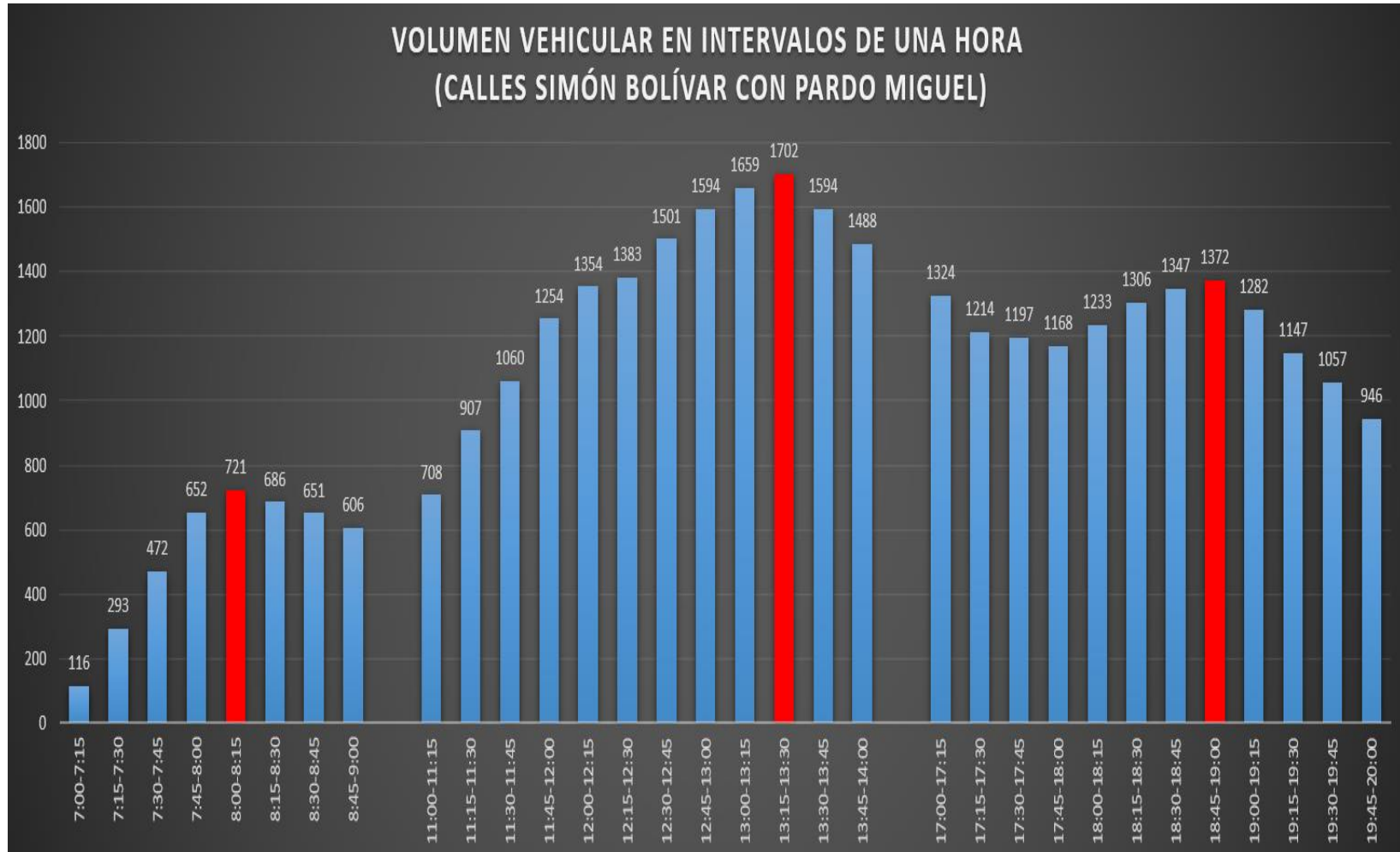
Anexo C 2. Intervalos de 1 hora para el volumen vehicular (Lunes)



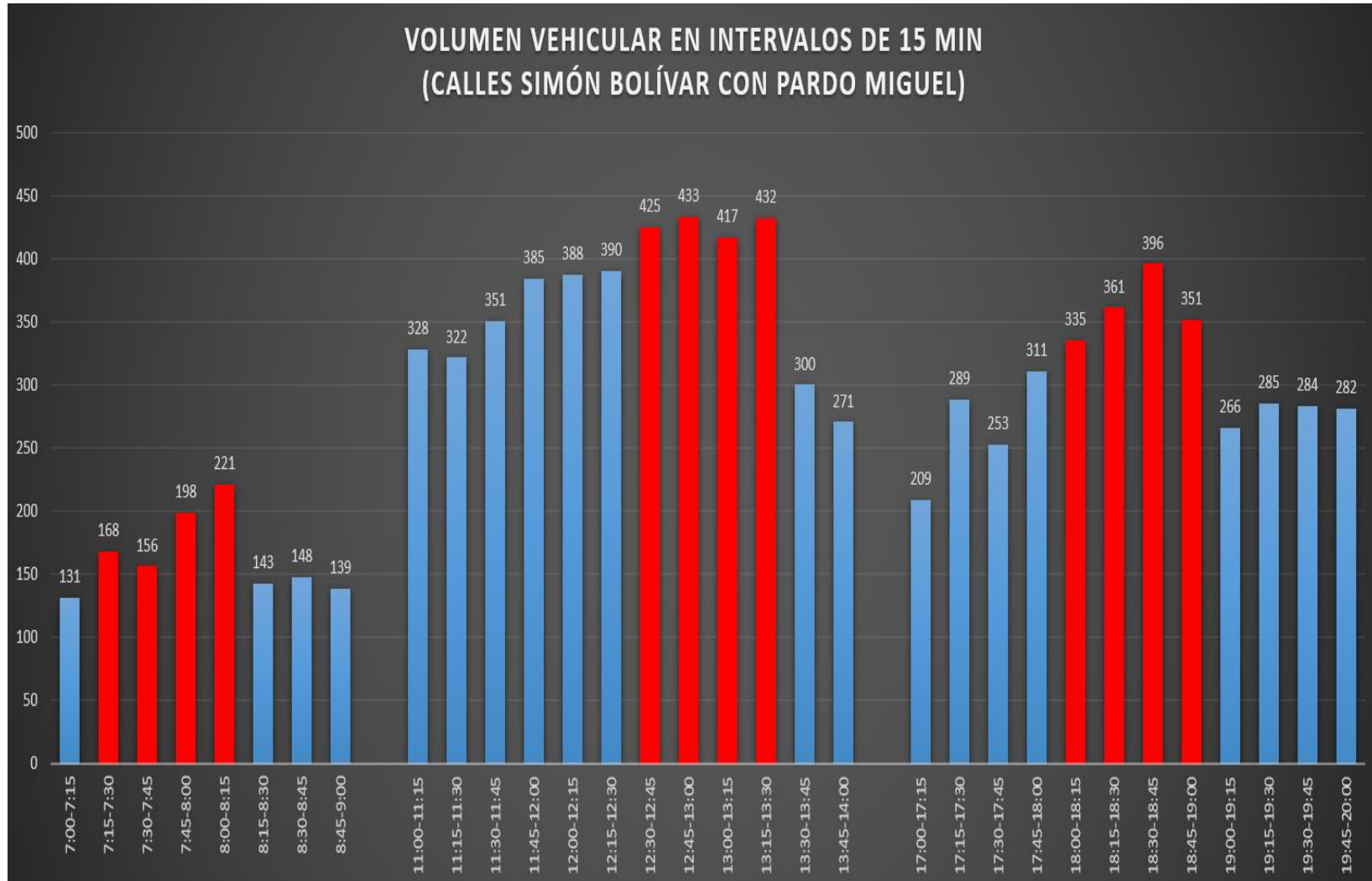
Anexo C 3. Intervalos de 15 minutos para el volumen vehicular (Miércoles)



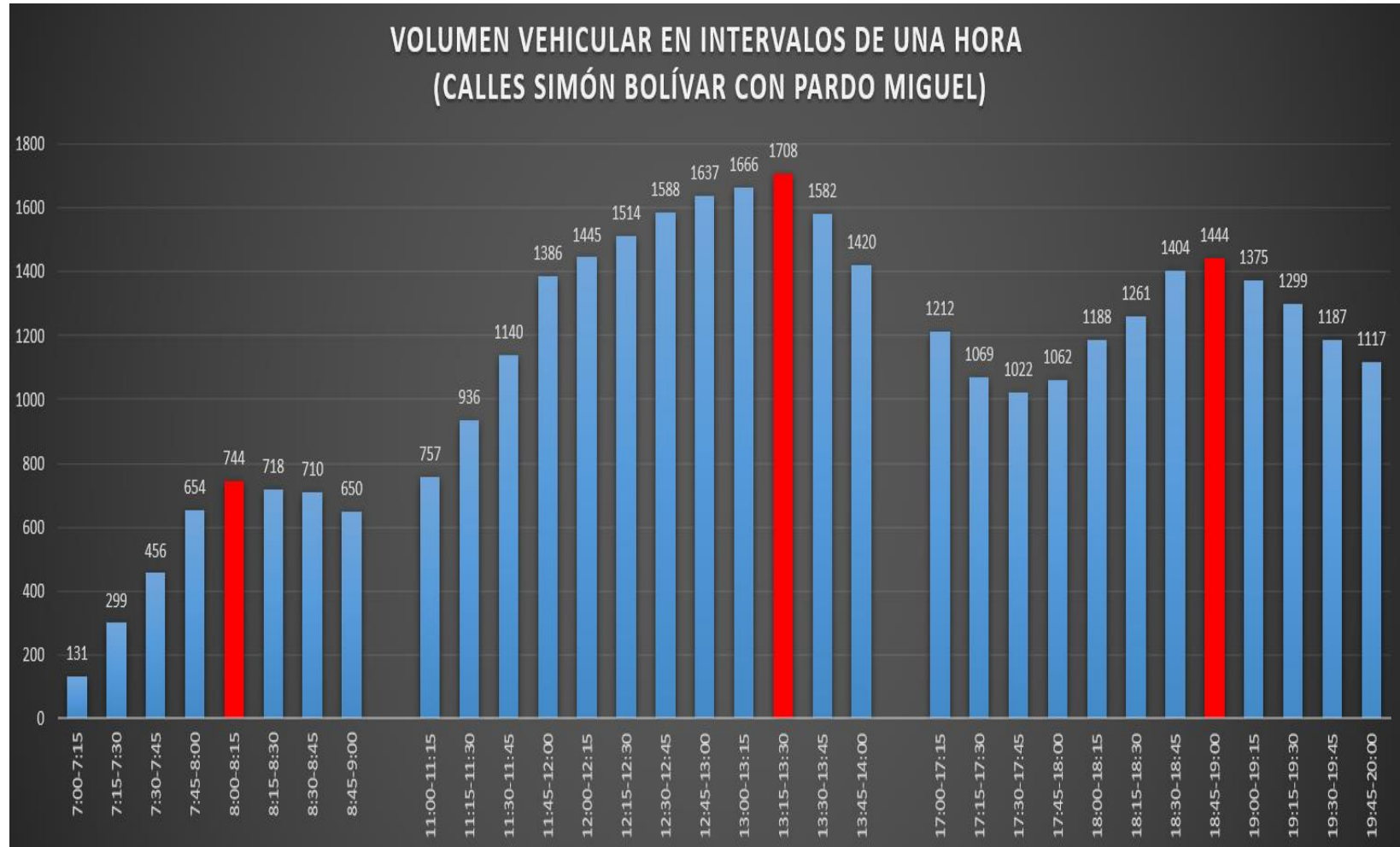
Anexo C 4. Intervalos de 1 hora para el volumen vehicular (Miércoles)



Anexo C 5. Intervalos de 15 minutos para el volumen vehicular (Viernes)

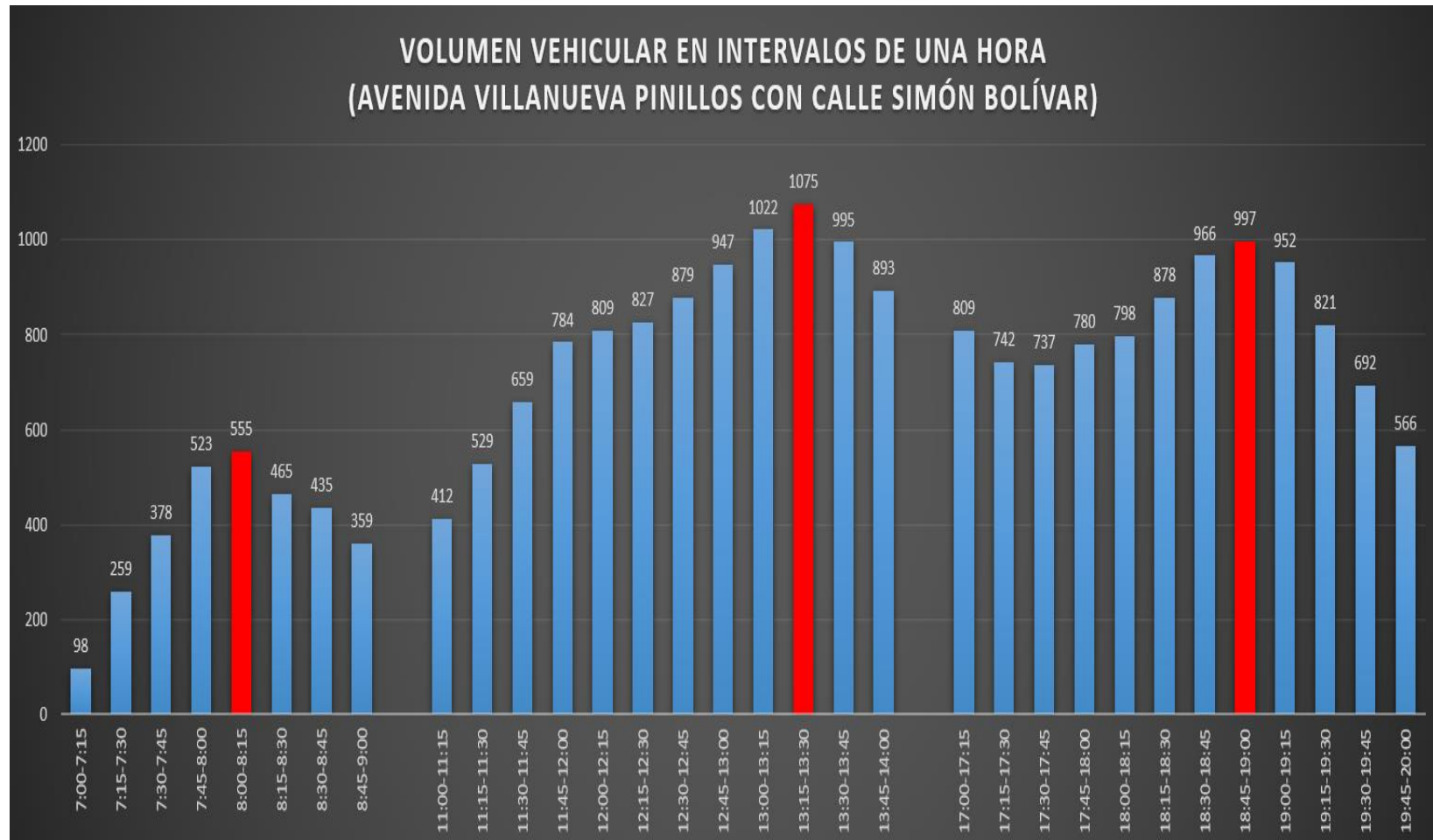


Anexo C 6. Intervalos de 1 hora para el volumen vehicular (Viernes)

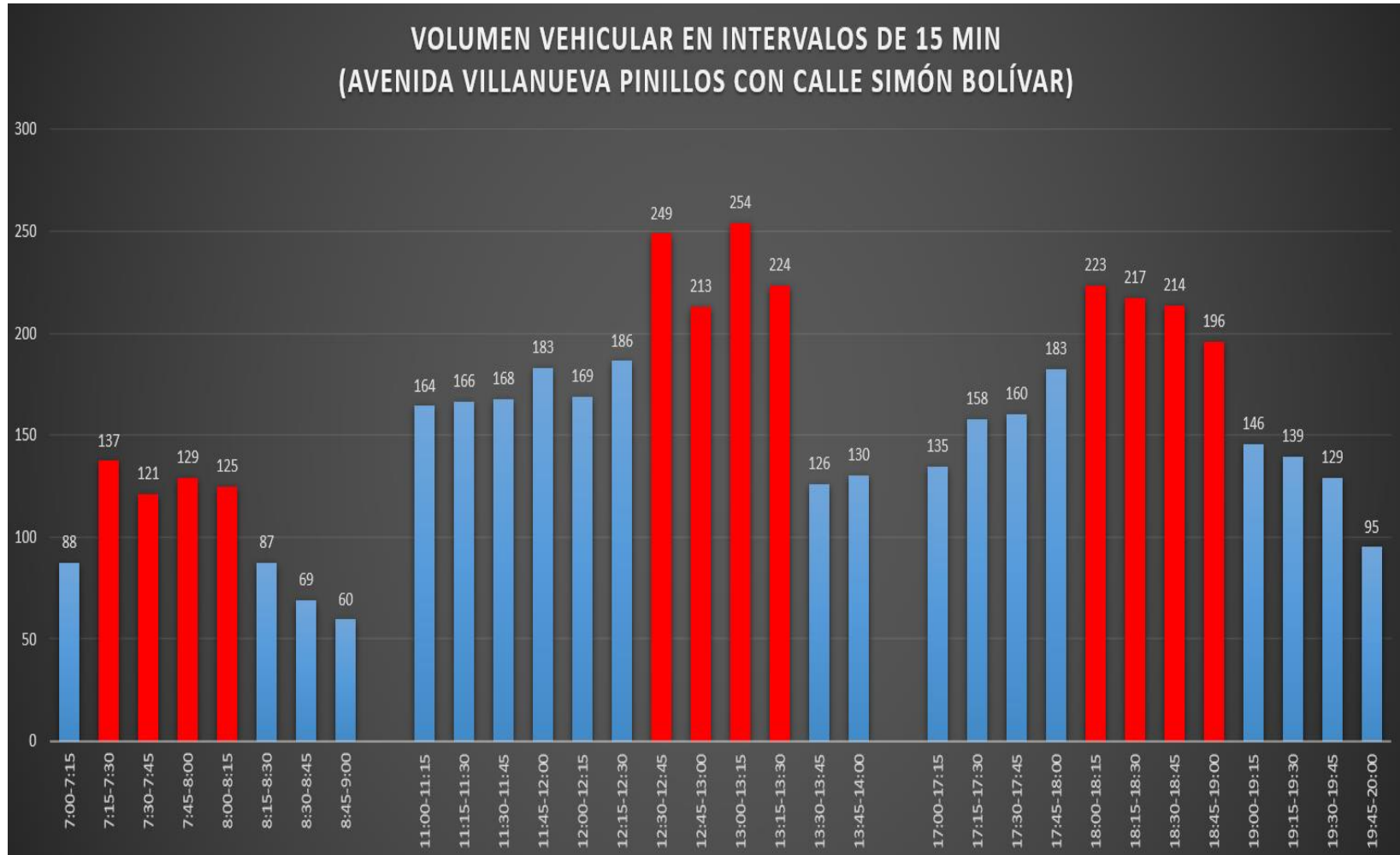


Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

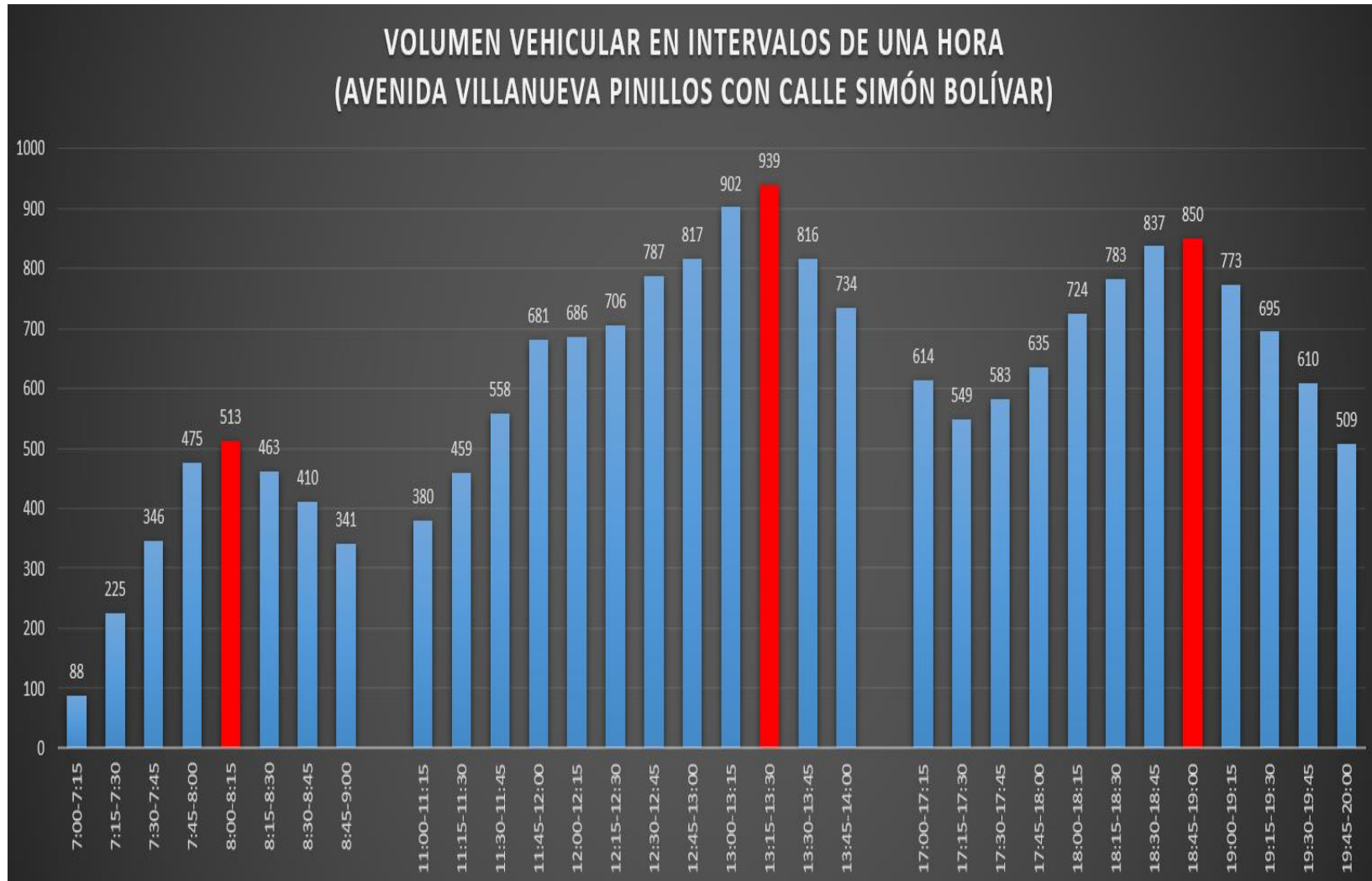
Anexo C 7. Intervalos de 1 hora para el volumen vehicular (Lunes)



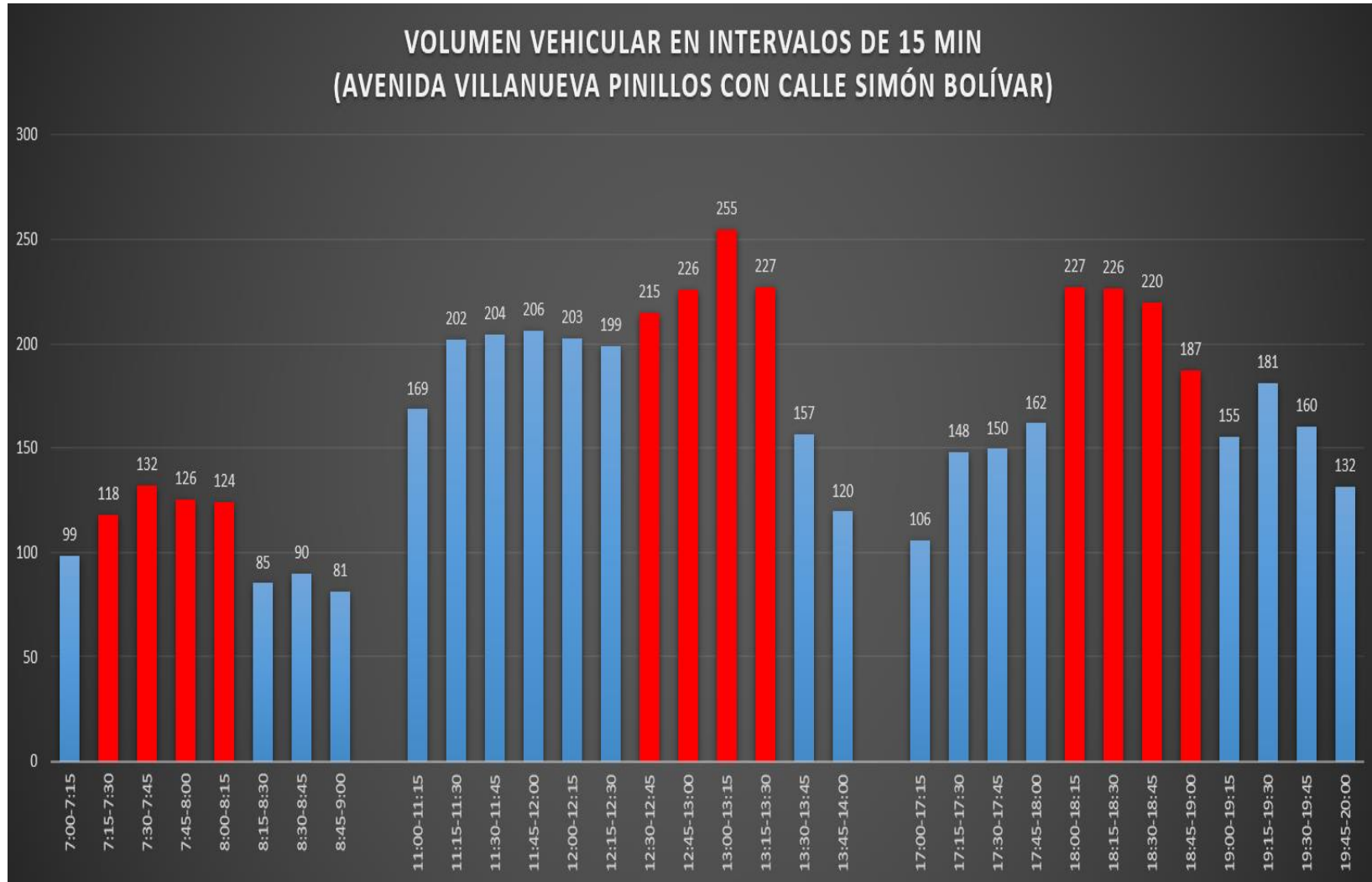
Anexo C 8. Intervalos de 15 minutos para el volumen vehicular (Miércoles)



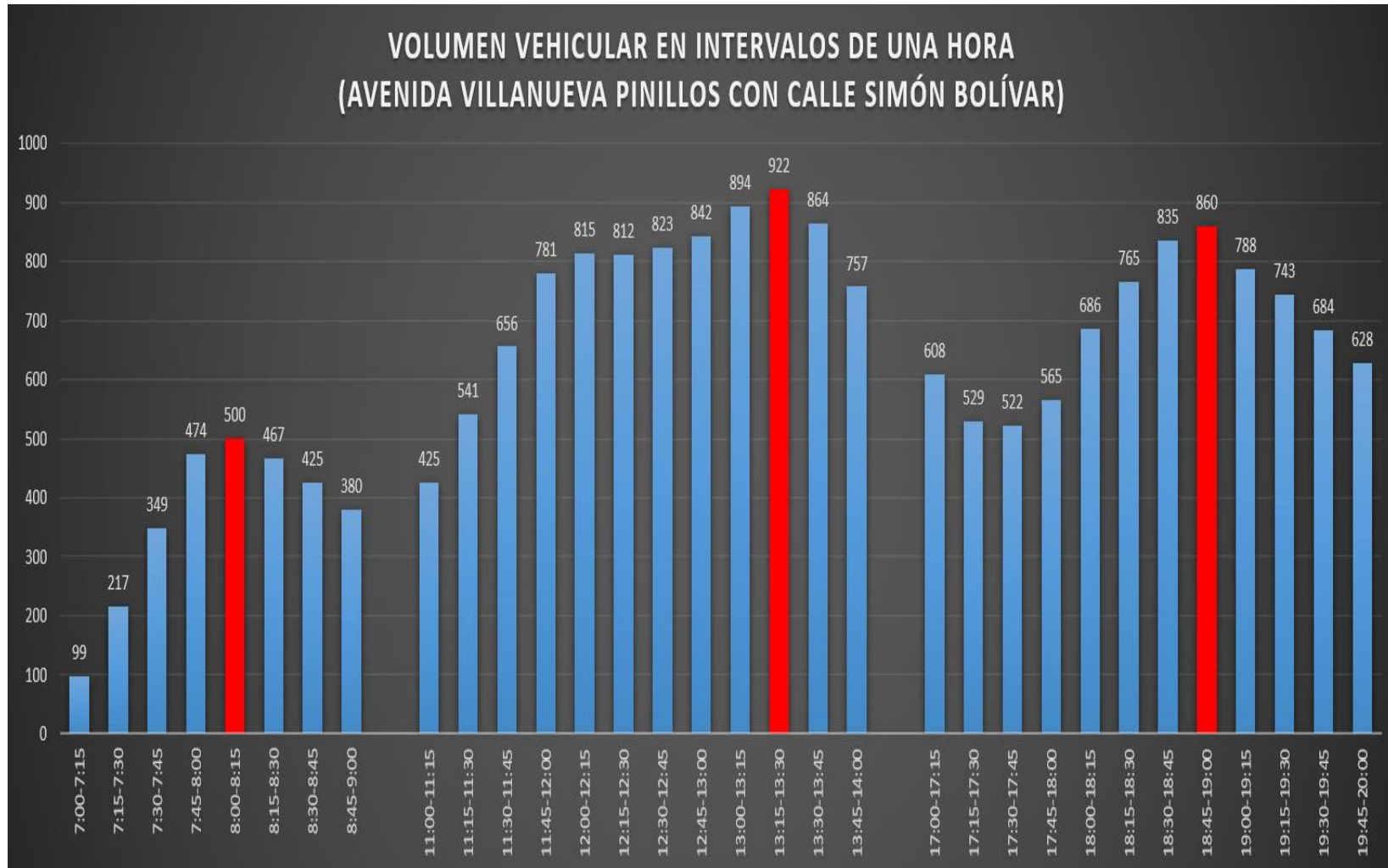
Anexo C 9. Intervalos de 1 hora para el volumen vehicular (Miércoles)



Anexo C 10. Intervalos de 15 minutos para el volumen vehicular (Viernes)



Anexo C 11. Intervalos de 1 hora para el volumen vehicular (Viernes)





Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:



Anexo C 12. Hoja de resumen total de conjuntos vehiculares, sus horas punta y factor (Lunes)

FLUJO VEHICULAR TOTAL POR ACCESO HOJA DE RESUMEN																			
	INTERSECCION:	CALLES SIMÓN BOLÍVAR CON PARDO MIGUEL											REGIÓN:	CAJAMARCA					
	DÍA:	LUNES											PROVINCIA:	JAÉN					
	FECHA:	02 DE OCTUBRE 2023											DISTRITO:	JAÉN					
ACCESOS	N-S				S-N				E-O				O-E				TOTAL X 15 MIN	TOTAL HORARIA	
HORA	11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	-	33	41	42	-	43			
7:00-7:15	4	52	0	0	0	0	64	5	11	9	0	8	0	0	0	0	153	153	
7:15-7:30	2	75	0	0	0	0	80	4	16	12	0	17	0	0	0	0	206	358	
7:30-7:45	3	66	0	0	0	0	81	5	11	6	0	19	0	0	0	0	191	549	
7:45-8:00	3	71	0	0	0	0	86	2	25	13	0	17	0	0	0	0	216	765	
8:00-8:15	5	81	0	0	0	0	87	3	11	14	0	13	0	0	0	0	213	826	
8:15-8:30	3	55	0	0	0	0	80	3	12	13	0	7	0	0	0	0	173	733	
8:30-8:45	3	64	0	0	0	0	72	2	13	9	0	4	0	0	0	0	166	768	
8:45-9:00	2	62	0	0	0	0	77	5	11	6	0	13	0	0	0	0	175	728	
11:00-11:15	12	135	0	0	0	0	148	6	16	8	0	21	0	0	0	0	346	860	
11:15-11:30	8	157	0	0	0	0	177	6	14	22	0	7	0	0	0	0	392	1080	
11:30-11:45	10	137	0	0	0	0	135	13	11	15	0	16	0	0	0	0	336	1250	
11:45-12:00	8	141	0	0	0	0	172	10	27	24	0	13	0	0	0	0	395	1470	
12:00-12:15	13	157	0	0	0	0	191	7	16	25	0	13	0	0	0	0	421	1545	
12:15-12:30	9	158	0	0	0	0	189	9	17	23	0	18	0	0	0	0	422	1575	
12:30-12:45	10	173	0	0	0	0	169	8	23	22	0	26	0	0	0	0	430	1668	
12:45-13:00	8	182	0	0	0	0	160	8	28	31	0	14	0	0	0	0	431	1705	
13:00-13:15	11	184	0	0	0	0	214	8	41	28	0	16	0	0	0	0	501	1784	
13:15-13:30	13	167	0	0	0	0	210	9	35	23	0	14	0	0	0	0	470	1832	
13:30-13:45	10	126	0	0	0	0	147	8	20	24	0	12	0	0	0	0	347	1750	
13:45-14:00	7	145	0	0	0	0	162	5	17	18	0	11	0	0	0	0	365	1683	
17:00-17:15	12	126	0	0	0	0	147	5	11	24	0	32	0	0	0	0	357	1539	
17:15-17:30	12	139	0	0	0	0	151	11	14	8	0	16	0	0	0	0	351	1420	
17:30-17:45	8	123	0	0	0	0	138	6	21	22	0	14	0	0	0	0	331	1403	
17:45-18:00	10	139	0	0	0	0	146	7	15	13	0	16	0	0	0	0	345	1384	
18:00-18:15	6	164	0	0	0	0	148	8	19	29	0	34	0	0	0	0	408	1436	
18:15-18:30	11	167	0	0	0	0	151	8	21	13	0	16	0	0	0	0	386	1471	
18:30-18:45	7	142	0	0	0	0	150	3	28	33	0	25	0	0	0	0	388	1528	
18:45-19:00	5	129	0	0	0	0	148	7	18	33	0	20	0	0	0	0	360	1543	
19:00-19:15	9	120	0	0	0	0	135	5	10	17	0	17	0	0	0	0	314	1448	
19:15-19:30	2	109	0	0	0	0	115	5	21	16	0	9	0	0	0	0	277	1339	
19:30-19:45	4	117	0	0	0	0	121	7	16	10	0	17	0	0	0	0	292	1244	
19:45-20:00	7	94	0	0	0	0	97	6	11	11	0	13	0	0	0	0	238	1122	
H.P - Mañana	14	292	-	-	-	-	334	13	62	45	-	66	-	-	-	-	826	2499	
MAX * 4	21	323	-	-	-	-	348	18	98	56	-	75	-	-	-	-	864	3303	
F.H.P	0.7	0.9	-	-	-	-	1.0	0.7	0.6	0.8	-	0.9	-	-	-	-	1.0	0.8	
H.P - Tarde	42	705	-	-	-	-	752	34	126	104	-	69	-	-	-	-	1832	6990	
MAX * 4	53	735	-	-	-	-	855	34	162	124	-	102	-	-	-	-	2004	7329	
F.H.P	0.8	1.0	-	-	-	-	0.9	1.0	0.8	0.8	-	0.7	-	-	-	-	0.9	1.0	
H.P - Noche	29	602	-	-	-	-	598	26	85	109	-	94	-	-	-	-	1543	5977	
MAX * 4	43	669	-	-	-	-	605	34	111	133	-	134	-	-	-	-	1633	6170	
F.H.P	0.7	0.9	-	-	-	-	1.0	0.8	0.8	0.8	-	0.7	-	-	-	-	0.9	1.0	

Anexo C 13. Hoja de resumen total de conjuntos vehiculares, sus horas punta y factor (Miércoles)

FLUJO VEHICULAR TOTAL POR ACCESO																		
HOJA DE RESUMEN																		
	INTERSECCIÓN:	CALLES SIMÓN BOLÍVAR CON PARDO MIGUEL											REGIÓN:	CAJAMARCA				
	DÍA:	MIÉRCOLES											PROVINCIA:	JAÉN				
	FECHA:	04 DE OCTUBRE 2023											DISTRITO:	JAÉN				
ACCESOS	N-S				S-N				E-O				O-E				TOTAL X 15 MIN	TOTAL HORARIA
MOVIM. HORA	11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	-	33	41	42	-	43		
7:00-7:15	0	40	0	0	0	0	53	3	10	7	0	4	0	0	0	0	116	116
7:15-7:30	3	65	0	0	0	0	69	2	18	10	0	10	0	0	0	0	176	233
7:30-7:45	3	57	0	0	0	0	71	4	14	11	0	19	0	0	0	0	180	472
7:45-8:00	3	62	0	0	0	0	75	3	10	13	0	14	0	0	0	0	179	652
8:00-8:15	3	72	0	0	0	0	75	2	15	9	0	10	0	0	0	0	185	721
8:15-8:30	5	43	0	0	0	0	65	4	10	4	0	11	0	0	0	0	141	686
8:30-8:45	1	53	0	0	0	0	61	1	16	8	0	6	0	0	0	0	145	651
8:45-9:00	2	49	0	0	0	0	63	3	5	10	0	3	0	0	0	0	134	606
11:00-11:15	7	119	0	0	0	0	130	2	13	12	0	5	0	0	0	0	287	708
11:15-11:30	5	141	0	0	0	0	157	7	6	10	0	16	0	0	0	0	341	907
11:30-11:45	5	126	0	0	0	0	119	8	12	19	0	8	0	0	0	0	298	1060
11:45-12:00	6	124	0	0	0	0	150	7	9	18	0	15	0	0	0	0	329	1254
12:00-12:15	9	144	0	0	0	0	172	11	18	18	0	15	0	0	0	0	387	1354
12:15-12:30	5	143	0	0	0	0	171	5	17	19	0	10	0	0	0	0	370	1383
12:30-12:45	8	159	0	0	0	0	182	7	27	23	0	10	0	0	0	0	416	1501
12:45-13:00	8	168	0	0	0	0	180	5	20	26	0	13	0	0	0	0	421	1594
13:00-13:15	8	170	0	0	0	0	191	7	30	25	0	22	0	0	0	0	452	1659
13:15-13:30	9	155	0	0	0	0	186	10	23	15	0	15	0	0	0	0	413	1702
13:30-13:45	7	113	0	0	0	0	133	7	21	20	0	8	0	0	0	0	309	1594
13:45-14:00	5	124	0	0	0	0	143	5	14	14	0	10	0	0	0	0	314	1488
17:00-17:15	7	111	0	0	0	0	130	3	14	11	0	13	0	0	0	0	289	1324
17:15-17:30	7	113	0	0	0	0	132	3	15	21	0	12	0	0	0	0	303	1214
17:30-17:45	8	108	0	0	0	0	122	6	11	14	0	23	0	0	0	0	291	1197
17:45-18:00	7	114	0	0	0	0	125	9	13	8	0	11	0	0	0	0	285	1168
18:00-18:15	6	151	0	0	0	0	135	6	11	27	0	19	0	0	0	0	354	1233
18:15-18:30	6	153	0	0	0	0	133	8	28	29	0	18	0	0	0	0	375	1306
18:30-18:45	8	129	0	0	0	0	137	5	20	14	0	21	0	0	0	0	333	1347
18:45-19:00	7	116	0	0	0	0	133	4	14	28	0	9	0	0	0	0	311	1372
19:00-19:15	6	105	0	0	0	0	115	4	11	11	0	13	0	0	0	0	264	1282
19:15-19:30	6	94	0	0	0	0	100	6	10	8	0	16	0	0	0	0	240	1147
19:30-19:45	4	99	0	0	0	0	102	5	12	14	0	6	0	0	0	0	243	1057
19:45-20:00	7	77	0	0	0	0	82	5	9	13	0	8	0	0	0	0	200	946
H.P - Mañana	13	256	-	-	-	-	289	11	57	43	-	52	-	-	-	-	721	2138
MAX * 4	14	288	-	-	-	-	299	18	73	50	-	76	-	-	-	-	741	2883
F.H.P	0.9	0.9	-	-	-	-	1.0	0.6	0.8	0.9	-	0.7	-	-	-	-	1.0	0.7
H.P - Tarde	37	652	-	-	-	-	739	29	100	90	-	60	-	-	-	-	1702	6455
MAX * 4	37	679	-	-	-	-	762	40	119	105	-	89	-	-	-	-	1808	6807
F.H.P	0.9	1.0	-	-	-	-	1.0	0.7	0.8	0.9	-	0.7	-	-	-	-	0.9	0.9
H.P - Noche	28	549	-	-	-	-	537	23	72	97	-	67	-	-	-	-	1372	5259
MAX * 4	32	613	-	-	-	-	547	34	110	115	-	82	-	-	-	-	1501	5490
F.H.P	0.9	0.9	-	-	-	-	1.0	0.7	0.7	0.8	-	0.8	-	-	-	-	0.9	1.0

Anexo C 14. Hoja de resumen total de conjuntos vehiculares, sus horas punta y factor (Viernes)



FLUJO VEHICULAR TOTAL POR ACCESO HOJA DE RESUMEN																			
	INTERSECCIÓN:	CALLES SIMÓN BOLÍVAR CON PARDO MIGUEL										REGIÓN:	CAJAMARCA						
	DÍA:	VIERNES										PROVINCIA:	JAÉN						
	FECHA:	06 DE OCTUBRE 2023										DISTRITO:	JAÉN						
ACCESOS	N-S				S-N				E-O				O-E				TOTAL X 15 MIN	TOTAL HORARIA	
MOVIM. HORA	11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	-	33	41	42	-	43			
7:00-7:15	17	35	0	0	0	0	56	5	9	3	0	7	0	0	0	0	131	131	
7:15-7:30	3	52	0	0	0	0	74	5	15	11	0	10	0	0	0	0	168	239	
7:30-7:45	3	51	0	0	0	0	67	2	17	6	0	10	0	0	0	0	156	456	
7:45-8:00	1	71	0	0	0	0	93	3	9	15	0	8	0	0	0	0	198	654	
8:00-8:15	3	69	0	0	0	0	96	2	16	11	0	23	0	0	0	0	221	744	
8:15-8:30	6	45	0	0	0	0	68	1	6	8	0	9	0	0	0	0	143	718	
8:30-8:45	7	47	0	0	0	0	62	3	11	10	0	9	0	0	0	0	148	710	
8:45-9:00	3	47	0	0	0	0	61	3	16	5	0	4	0	0	0	0	139	650	
11:00-11:15	9	152	0	0	0	0	125	6	14	13	0	10	0	0	0	0	328	757	
11:15-11:30	9	124	0	0	0	0	144	7	14	15	0	10	0	0	0	0	322	936	
11:30-11:45	7	159	0	0	0	0	132	5	18	17	0	14	0	0	0	0	351	1140	
11:45-12:00	4	162	0	0	0	0	156	10	18	21	0	14	0	0	0	0	385	1386	
12:00-12:15	4	169	0	0	0	0	149	3	21	25	0	17	0	0	0	0	388	1445	
12:15-12:30	7	158	0	0	0	0	161	5	18	22	0	20	0	0	0	0	390	1514	
12:30-12:45	8	179	0	0	0	0	167	6	25	15	0	26	0	0	0	0	425	1588	
12:45-13:00	11	169	0	0	0	0	182	10	18	38	0	7	0	0	0	0	433	1637	
13:00-13:15	6	169	0	0	0	0	171	7	16	23	0	24	0	0	0	0	417	1666	
13:15-13:30	5	183	0	0	0	0	170	10	34	20	0	11	0	0	0	0	432	1708	
13:30-13:45	6	123	0	0	0	0	138	5	8	9	0	11	0	0	0	0	300	1582	
13:45-14:00	9	100	0	0	0	0	132	3	10	8	0	8	0	0	0	0	271	1420	
17:00-17:15	2	83	0	0	0	0	90	4	15	10	0	7	0	0	0	0	209	1212	
17:15-17:30	4	112	0	0	0	0	118	6	15	16	0	18	0	0	0	0	289	1069	
17:30-17:45	3	105	0	0	0	0	103	5	9	10	0	17	0	0	0	0	253	1022	
17:45-18:00	6	120	0	0	0	0	134	4	4	26	0	18	0	0	0	0	311	1062	
18:00-18:15	4	138	0	0	0	0	134	6	20	13	0	20	0	0	0	0	335	1188	
18:15-18:30	2	145	0	0	0	0	151	7	12	24	0	21	0	0	0	0	361	1261	
18:30-18:45	4	164	0	0	0	0	172	4	22	13	0	16	0	0	0	0	396	1404	
18:45-19:00	5	148	0	0	0	0	136	7	18	25	0	12	0	0	0	0	351	1444	
19:00-19:15	5	100	0	0	0	0	124	4	12	13	0	9	0	0	0	0	266	1375	
19:15-19:30	8	100	0	0	0	0	130	5	15	13	0	15	0	0	0	0	285	1299	
19:30-19:45	7	105	0	0	0	0	129	5	16	12	0	10	0	0	0	0	284	1187	
19:45-20:00	6	109	0	0	0	0	118	8	13	16	0	11	0	0	0	0	282	1117	
HP - Mañana	10	242	-	-	-	-	330	12	56	43	-	51	-	-	-	-	744	2152	
MAX * 4	14	283	-	-	-	-	384	18	67	58	-	92	-	-	-	-	884	2975	
F.H.P	0.7	0.9	-	-	-	-	0.9	0.6	0.8	0.7	-	0.6	-	-	-	-	0.8	0.7	
HP - Tarde	30	700	-	-	-	-	689	32	93	96	-	68	-	-	-	-	1708	6598	
MAX * 4	43	734	-	-	-	-	727	36	137	153	-	105	-	-	-	-	1733	6630	
F.H.P	0.7	1.0	-	-	-	-	0.9	0.8	0.7	0.6	-	0.7	-	-	-	-	1.0	1.0	
HP - Noche	16	594	-	-	-	-	593	24	73	75	-	70	-	-	-	-	1444	5298	
MAX * 4	20	658	-	-	-	-	689	30	89	99	-	84	-	-	-	-	1585	5778	
F.H.P	0.8	0.9	-	-	-	-	0.9	0.8	0.8	0.8	-	0.8	-	-	-	-	0.9	0.9	

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

Anexo C 15. Hoja de resumen total de conjuntos vehiculares, sus horas punta y factor (Lunes)

FLUJO VEHICULAR TOTAL POR ACCESO																			
HOJA DE RESUMEN																			
	INTERSECCIÓN:	AVENIDA VILLANUEVA PINILLOS CON CALLE SIMÓN BOLÍVAR											REGIÓN:	CAJAMARCA					
	DÍA:	LUNES											PROVINCIA:	JAÉN					
	FECHA:	02 DE OCTUBRE 2023											DISTRITO:	JAÉN					
ACCESOS MOVIM. HORA	N-S				S-N				E-O				O-E				TOTAL X 15 MIN	TOTAL HORARIA	
	11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	-	33	41	42	-	43			
7:00-7:15	0	0	0	0	0	0	46	16	26	10	0	0	0	0	0	0	0	98	98
7:15-7:30	0	0	0	0	0	0	73	22	37	29	0	0	0	0	0	0	0	161	259
7:30-7:45	0	0	0	0	0	0	56	19	27	17	0	0	0	0	0	0	0	120	378
7:45-8:00	0	0	0	0	0	0	84	23	12	26	0	0	0	0	0	0	0	145	523
8:00-8:15	0	0	0	0	0	0	60	23	26	20	0	0	0	0	0	0	0	129	555
8:15-8:30	0	0	0	0	0	0	50	5	9	8	0	0	0	0	0	0	0	71	465
8:30-8:45	0	0	0	0	0	0	39	14	27	10	0	0	0	0	0	0	0	90	435
8:45-9:00	0	0	0	0	0	0	46	8	7	8	0	0	0	0	0	0	0	69	359
11:00-11:15	0	0	0	0	0	0	112	19	29	22	0	0	0	0	0	0	0	182	412
11:15-11:30	0	0	0	0	0	0	136	22	19	12	0	0	0	0	0	0	0	188	529
11:30-11:45	0	0	0	0	0	0	147	15	25	32	0	0	0	0	0	0	0	219	659
11:45-12:00	0	0	0	0	0	0	117	22	31	24	0	0	0	0	0	0	0	195	784
12:00-12:15	0	0	0	0	0	0	134	18	37	19	0	0	0	0	0	0	0	207	809
12:15-12:30	0	0	0	0	0	0	148	18	21	19	0	0	0	0	0	0	0	206	827
12:30-12:45	0	0	0	0	0	0	155	26	53	37	0	0	0	0	0	0	0	271	879
12:45-13:00	0	0	0	0	0	0	155	41	33	35	0	0	0	0	0	0	0	263	947
13:00-13:15	0	0	0	0	0	0	166	35	54	27	0	0	0	0	0	0	0	281	1022
13:15-13:30	0	0	0	0	0	0	169	31	27	33	0	0	0	0	0	0	0	260	1075
13:30-13:45	0	0	0	0	0	0	134	19	26	13	0	0	0	0	0	0	0	192	995
13:45-14:00	0	0	0	0	0	0	111	17	19	14	0	0	0	0	0	0	0	161	893
17:00-17:15	0	0	0	0	0	0	119	21	35	23	0	0	0	0	0	0	0	197	809
17:15-17:30	0	0	0	0	0	0	140	10	23	20	0	0	0	0	0	0	0	193	742
17:30-17:45	0	0	0	0	0	0	134	14	25	14	0	0	0	0	0	0	0	186	737
17:45-18:00	0	0	0	0	0	0	123	26	30	26	0	0	0	0	0	0	0	205	780
18:00-18:15	0	0	0	0	0	0	131	20	37	27	0	0	0	0	0	0	0	215	798
18:15-18:30	0	0	0	0	0	0	169	29	41	35	0	0	0	0	0	0	0	273	878
18:30-18:45	0	0	0	0	0	0	179	28	41	27	0	0	0	0	0	0	0	274	966
18:45-19:00	0	0	0	0	0	0	152	14	41	29	0	0	0	0	0	0	0	235	997
19:00-19:15	0	0	0	0	0	0	109	17	20	24	0	0	0	0	0	0	0	170	952
19:15-19:30	0	0	0	0	0	0	95	17	16	14	0	0	0	0	0	0	0	142	821
19:30-19:45	0	0	0	0	0	0	105	13	14	13	0	0	0	0	0	0	0	145	692
19:45-20:00	0	0	0	0	0	0	72	9	17	12	0	0	0	0	0	0	0	110	566
H.P - Mañana	-	-	-	-	-	-	273	88	102	93	-	-	-	-	-	-	-	555	1715
MAX * 4	-	-	-	-	-	-	334	93	148	117	-	-	-	-	-	-	-	644	2218
F.H.P	-	-	-	-	-	-	0.8	0.9	0.7	0.8	-	-	-	-	-	-	-	0.9	0.8
H.P - Tarde	-	-	-	-	-	-	645	133	166	132	-	-	-	-	-	-	-	1075	3922
MAX * 4	-	-	-	-	-	-	675	165	214	149	-	-	-	-	-	-	-	1125	4299
F.H.P	-	-	-	-	-	-	1.0	0.8	0.8	0.9	-	-	-	-	-	-	-	1.0	0.9
H.P - Noche	-	-	-	-	-	-	631	30	159	117	-	-	-	-	-	-	-	997	3639
MAX * 4	-	-	-	-	-	-	715	116	164	138	-	-	-	-	-	-	-	1097	3988
F.H.P	-	-	-	-	-	-	0.9	0.8	1.0	0.8	-	-	-	-	-	-	-	0.9	0.9

Anexo C 16. Hoja de resumen total de conjuntos vehiculares, sus horas punta y factor (Miércoles)

FLUJO VEHICULAR TOTAL POR ACCESO																		
HOJA DE RESUMEN																		
	INTERSECCIÓN:	AVENIDA VILLANUEVA PINILLOS CON CALLE SIMÓN BOLÍVAR										REGIÓN:	CAJAMARCA					
	DÍA:	MIÉRCOLES										PROVINCIA:	JAÉN					
	FECHA:	04 DE OCTUBRE 2023										DISTRITO:	JAÉN					
ACCESOS	N-S				S-N				E-O				O-E				TOTAL X 15 MIN	TOTAL HORARIA
HORA	11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	-	33	41	42	-	43		
7:00-7:15	0	0	0	0	0	0	34	20	17	17	0	0	0	0	0	0	88	88
7:15-7:30	0	0	0	0	0	0	63	22	28	25	0	0	0	0	0	0	137	225
7:30-7:45	0	0	0	0	0	0	70	17	21	15	0	0	0	0	0	0	121	346
7:45-8:00	0	0	0	0	0	0	71	12	17	30	0	0	0	0	0	0	129	475
8:00-8:15	0	0	0	0	0	0	65	22	20	19	0	0	0	0	0	0	125	513
8:15-8:30	0	0	0	0	0	0	43	21	16	8	0	0	0	0	0	0	87	463
8:30-8:45	0	0	0	0	0	0	45	3	9	13	0	0	0	0	0	0	69	410
8:45-9:00	0	0	0	0	0	0	33	13	6	8	0	0	0	0	0	0	60	341
<hr/>																		
11:00-11:15	0	0	0	0	0	0	83	35	23	24	0	0	0	0	0	0	164	380
11:15-11:30	0	0	0	0	0	0	107	25	25	9	0	0	0	0	0	0	166	459
11:30-11:45	0	0	0	0	0	0	88	29	28	23	0	0	0	0	0	0	168	558
11:45-12:00	0	0	0	0	0	0	117	19	22	25	0	0	0	0	0	0	183	681
12:00-12:15	0	0	0	0	0	0	104	38	16	12	0	0	0	0	0	0	169	686
12:15-12:30	0	0	0	0	0	0	108	42	24	13	0	0	0	0	0	0	186	706
12:30-12:45	0	0	0	0	0	0	139	35	40	35	0	0	0	0	0	0	249	787
12:45-13:00	0	0	0	0	0	0	116	35	42	20	0	0	0	0	0	0	213	817
13:00-13:15	0	0	0	0	0	0	146	31	43	34	0	0	0	0	0	0	254	902
13:15-13:30	0	0	0	0	0	0	134	25	37	28	0	0	0	0	0	0	224	939
13:30-13:45	0	0	0	0	0	0	71	22	18	16	0	0	0	0	0	0	126	816
13:45-14:00	0	0	0	0	0	0	81	19	22	8	0	0	0	0	0	0	130	734
<hr/>																		
17:00-17:15	0	0	0	0	0	0	79	20	20	17	0	0	0	0	0	0	135	614
17:15-17:30	0	0	0	0	0	0	91	33	21	13	0	0	0	0	0	0	158	549
17:30-17:45	0	0	0	0	0	0	101	31	16	12	0	0	0	0	0	0	160	583
17:45-18:00	0	0	0	0	0	0	111	24	29	19	0	0	0	0	0	0	183	635
18:00-18:15	0	0	0	0	0	0	123	24	42	34	0	0	0	0	0	0	223	724
18:15-18:30	0	0	0	0	0	0	151	17	28	21	0	0	0	0	0	0	217	783
18:30-18:45	0	0	0	0	0	0	132	20	37	24	0	0	0	0	0	0	214	837
18:45-19:00	0	0	0	0	0	0	120	24	31	21	0	0	0	0	0	0	196	850
19:00-19:15	0	0	0	0	0	0	93	19	22	11	0	0	0	0	0	0	146	773
19:15-19:30	0	0	0	0	0	0	85	26	14	15	0	0	0	0	0	0	139	695
19:30-19:45	0	0	0	0	0	0	83	19	13	14	0	0	0	0	0	0	129	610
19:45-20:00	0	0	0	0	0	0	62	10	10	13	0	0	0	0	0	0	95	509
H.P - Mañana	-	-	-	-	-	-	268	72	85	88	-	-	-	-	-	-	513	1559
MAX * 4	-	-	-	-	-	-	284	88	112	120	-	-	-	-	-	-	549	2050
F.H.P	-	-	-	-	-	-	0.9	0.8	0.8	0.7	-	-	-	-	-	-	0.9	0.8
H.P - Tarde	-	-	-	-	-	-	535	126	162	117	-	-	-	-	-	-	939	3444
MAX * 4	-	-	-	-	-	-	584	140	172	139	-	-	-	-	-	-	1016	3756
F.H.P	-	-	-	-	-	-	0.9	0.9	0.9	0.8	-	-	-	-	-	-	0.9	0.9
H.P - Noche	-	-	-	-	-	-	526	85	139	101	-	-	-	-	-	-	850	3194
MAX * 4	-	-	-	-	-	-	605	97	167	136	-	-	-	-	-	-	893	3401
F.H.P	-	-	-	-	-	-	0.9	0.9	0.8	0.7	-	-	-	-	-	-	1.0	0.9

Anexo C 17. Hoja de resumen total de conjuntos vehiculares, sus horas punta y factor (Viernes)

FLUJO VEHICULAR TOTAL POR ACCESO																		
HOJA DE RESUMEN																		
	INTERSECCION:	AVENIDA VILLANUEVA PINILLOS CON CALLE SIMON BOLIVAR											REGION:	CAJAMARCA				
	DIÁ:	VIERNES											PROVINCIA:	JAÉN				
	FECHA:	06 DE OCTUBRE 2023											DISTRITO:	JAÉN				
ACCESOS	N-S				S-N				E-O				O-E				TOTAL X 15 MIN	TOTAL HORARIA
MOVIM.	11	12	13	14	21	22	23	24	31	32	-	33	41	42	-	43		
HORA																		
7:00-7:15	0	0	0	0	0	0	59	16	9	15	0	0	0	0	0	0	99	99
7:15-7:30	0	0	0	0	0	0	53	25	26	15	0	0	0	0	0	0	118	217
7:30-7:45	0	0	0	0	0	0	65	23	21	24	0	0	0	0	0	0	132	349
7:45-8:00	0	0	0	0	0	0	78	12	20	15	0	0	0	0	0	0	126	474
8:00-8:15	0	0	0	0	0	0	57	23	16	29	0	0	0	0	0	0	124	500
8:15-8:30	0	0	0	0	0	0	37	15	15	19	0	0	0	0	0	0	85	467
8:30-8:45	0	0	0	0	0	0	51	11	15	13	0	0	0	0	0	0	90	425
8:45-9:00	0	0	0	0	0	0	46	11	18	7	0	0	0	0	0	0	81	380
<hr/>																		
11:00-11:15	0	0	0	0	0	0	99	29	30	10	0	0	0	0	0	0	169	425
11:15-11:30	0	0	0	0	0	0	122	23	39	18	0	0	0	0	0	0	202	541
11:30-11:45	0	0	0	0	0	0	116	35	24	29	0	0	0	0	0	0	204	656
11:45-12:00	0	0	0	0	0	0	138	16	36	16	0	0	0	0	0	0	206	781
12:00-12:15	0	0	0	0	0	0	126	23	27	28	0	0	0	0	0	0	203	815
12:15-12:30	0	0	0	0	0	0	125	27	26	22	0	0	0	0	0	0	199	812
12:30-12:45	0	0	0	0	0	0	138	19	26	33	0	0	0	0	0	0	215	823
12:45-13:00	0	0	0	0	0	0	117	42	51	16	0	0	0	0	0	0	226	842
13:00-13:15	0	0	0	0	0	0	153	33	25	43	0	0	0	0	0	0	255	894
13:15-13:30	0	0	0	0	0	0	134	35	32	27	0	0	0	0	0	0	227	922
13:30-13:45	0	0	0	0	0	0	102	23	19	12	0	0	0	0	0	0	157	864
13:45-14:00	0	0	0	0	0	0	83	13	12	12	0	0	0	0	0	0	120	757
<hr/>																		
17:00-17:15	0	0	0	0	0	0	60	5	25	15	0	0	0	0	0	0	106	608
17:15-17:30	0	0	0	0	0	0	94	20	23	12	0	0	0	0	0	0	148	529
17:30-17:45	0	0	0	0	0	0	87	20	17	26	0	0	0	0	0	0	150	522
17:45-18:00	0	0	0	0	0	0	102	31	12	17	0	0	0	0	0	0	162	565
18:00-18:15	0	0	0	0	0	0	136	31	32	29	0	0	0	0	0	0	227	686
18:15-18:30	0	0	0	0	0	0	161	15	30	20	0	0	0	0	0	0	226	765
18:30-18:45	0	0	0	0	0	0	153	12	34	22	0	0	0	0	0	0	220	835
18:45-19:00	0	0	0	0	0	0	115	26	20	26	0	0	0	0	0	0	187	860
19:00-19:15	0	0	0	0	0	0	111	20	17	8	0	0	0	0	0	0	155	788
19:15-19:30	0	0	0	0	0	0	119	21	31	11	0	0	0	0	0	0	181	743
19:30-19:45	0	0	0	0	0	0	111	9	19	22	0	0	0	0	0	0	160	684
19:45-20:00	0	0	0	0	0	0	86	18	18	10	0	0	0	0	0	0	132	628
H.P - Mañana	-	-	-	-	-	-	253	83	83	82	-	-	-	-	-	-	500	1539
MAX * 4	-	-	-	-	-	-	313	100	104	114	-	-	-	-	-	-	529	1999
F.H.P	-	-	-	-	-	-	0.8	0.8	0.8	0.7	-	-	-	-	-	-	0.9	0.8
H.P - Tarde	-	-	-	-	-	-	541	129	133	119	-	-	-	-	-	-	922	3481
MAX * 4	-	-	-	-	-	-	611	167	204	173	-	-	-	-	-	-	1018	3687
F.H.P	-	-	-	-	-	-	0.9	0.8	0.7	0.7	-	-	-	-	-	-	0.9	0.9
H.P - Noche	-	-	-	-	-	-	565	84	116	96	-	-	-	-	-	-	860	3146
MAX * 4	-	-	-	-	-	-	644	124	136	115	-	-	-	-	-	-	909	3441
F.H.P	-	-	-	-	-	-	0.9	0.7	0.8	0.8	-	-	-	-	-	-	0.9	0.9

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

Anexo C 18. Volumen vehicular teniendo en cuenta el acceso – Hoja resumida (Día miércoles)

INTERSECCIÓN		C. PARDO MIGUEL		C. SIMÓN BOLÍVAR		
HORAS PUNTA	HORA	N - S	S - N	E - O	O - E	TOTAL (15MIN)
H.P. MAÑANA	7:15-7:30	67	71	38	0	176
	7:30-7:45	61	75	44	0	180
	7:45-8:00	66	77	36	0	180
	8:00-8:15	75	76	34	0	185
H.P. TARDE	12:30-12:45	167	189	60	0	416
	12:45-13:00	176	186	59	0	421
	13:00-13:15	178	197	77	0	452
	13:15-13:30	164	196	53	0	413
H.P. NOCHE	18:00-18:15	157	140	57	0	354
	18:15-18:30	159	142	74	0	375
	18:30-18:45	137	141	54	0	333
	18:45-19:00	123	137	51	0	311
TOTAL	H.P. MAÑANA	269	301	151	0	
	H.P. TARDE	685	768	249	0	
	H.P. NOCHE	577	560	236	0	

Anexo C 19. Volumen vehicular teniendo en cuenta el acceso – Hoja resumida (Día viernes)

INTERSECCIÓN		C. PARDO MIGUEL		C. SIMÓN BOLÍVAR		
HORAS PUNTA	HORA	N - S	S - N	E - O	O - E	TOTAL (15MIN)
H.P. MAÑANA	7:15-7:30	55	79	35	0	168
	7:30-7:45	54	69	33	0	156
	7:45-8:00	71	96	31	0	198
	8:00-8:15	73	98	50	0	221
H.P. TARDE	12:30-12:45	187	173	66	0	425
	12:45-13:00	179	191	63	0	433
	13:00-13:15	175	178	64	0	417
	13:15-13:30	188	179	65	0	432
H.P. NOCHE	18:00-18:15	142	140	53	0	335
	18:15-18:30	147	158	57	0	361
	18:30-18:45	169	176	52	0	396
	18:45-19:00	153	144	55	0	351
TOTAL	H.P. MAÑANA	253	342	149	0	
	H.P. TARDE	730	721	256	0	
	H.P. NOCHE	610	618	217	0	

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

Anexo C 20. Volumen vehicular teniendo en cuenta el acceso – Hoja resumida (Día miércoles)

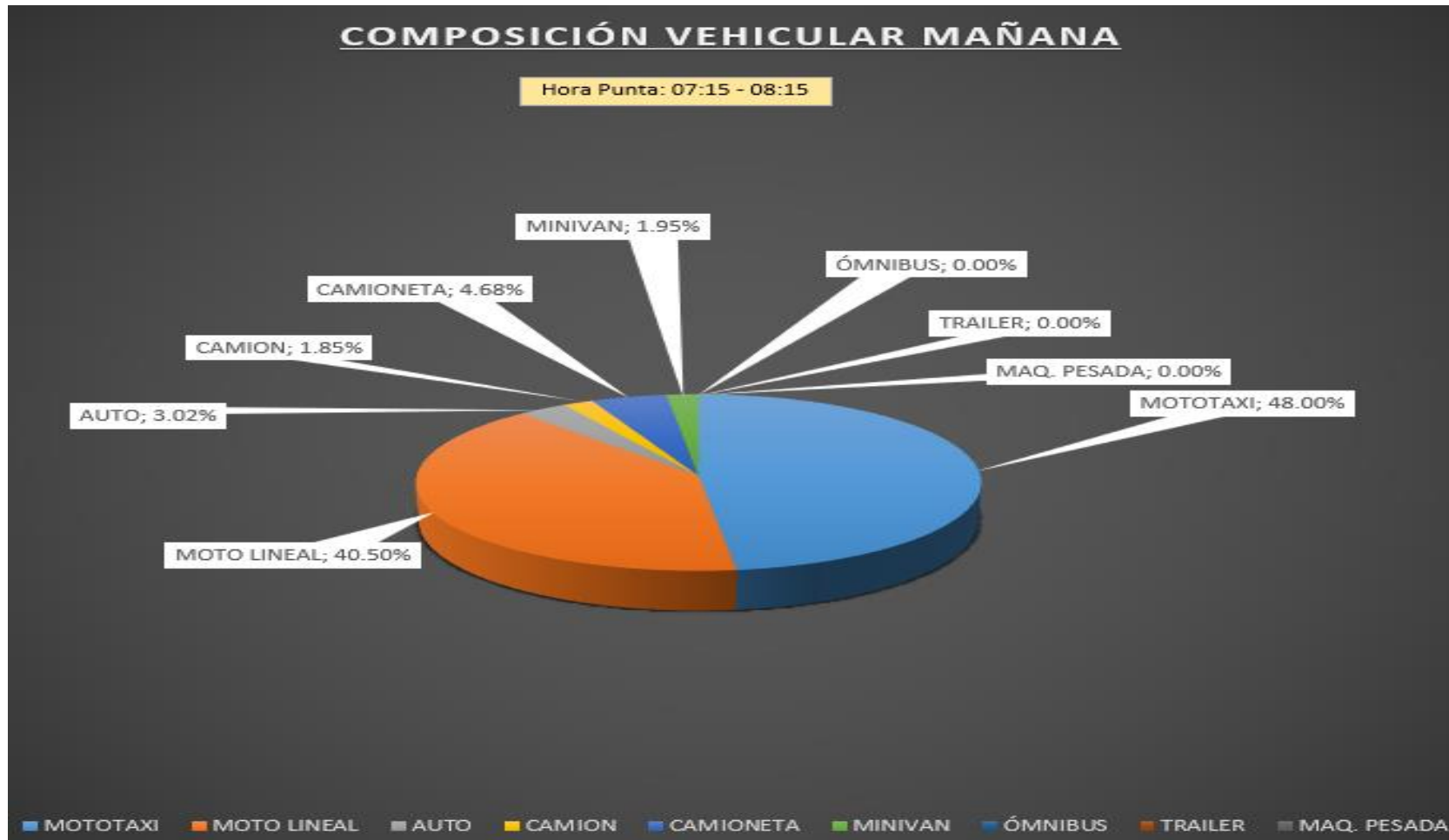
INTERSECCIÓN		A. VILLANUEVA PINILLOS		C. SIMÓN BOLÍVAR		
HORAS PUNTA	HORA	N - S	S - N	E - O	O - E	TOTAL (15MIN)
H.P. MAÑANA	7:15-7:30	0	85	53	0	137
	7:30-7:45	0	86	35	0	121
	7:45-8:00	0	83	47	0	129
	8:00-8:15	0	87	38	0	125
H.P. TARDE	12:30-12:45	0	174	75	0	249
	12:45-13:00	0	151	62	0	213
	13:00-13:15	0	177	77	0	254
	13:15-13:30	0	159	65	0	224
H.P. NOCHE	18:00-18:15	0	148	76	0	223
	18:15-18:30	0	168	50	0	217
	18:30-18:45	0	152	62	0	214
	18:45-19:00	0	144	53	0	196
TOTAL	H.P. MAÑANA	0	340	172	0	
	H.P. TARDE	0	660	279	0	
	H.P. NOCHE	0	611	239	0	

Anexo C 21. Volumen vehicular teniendo en cuenta el acceso – Hoja resumida (Día viernes)

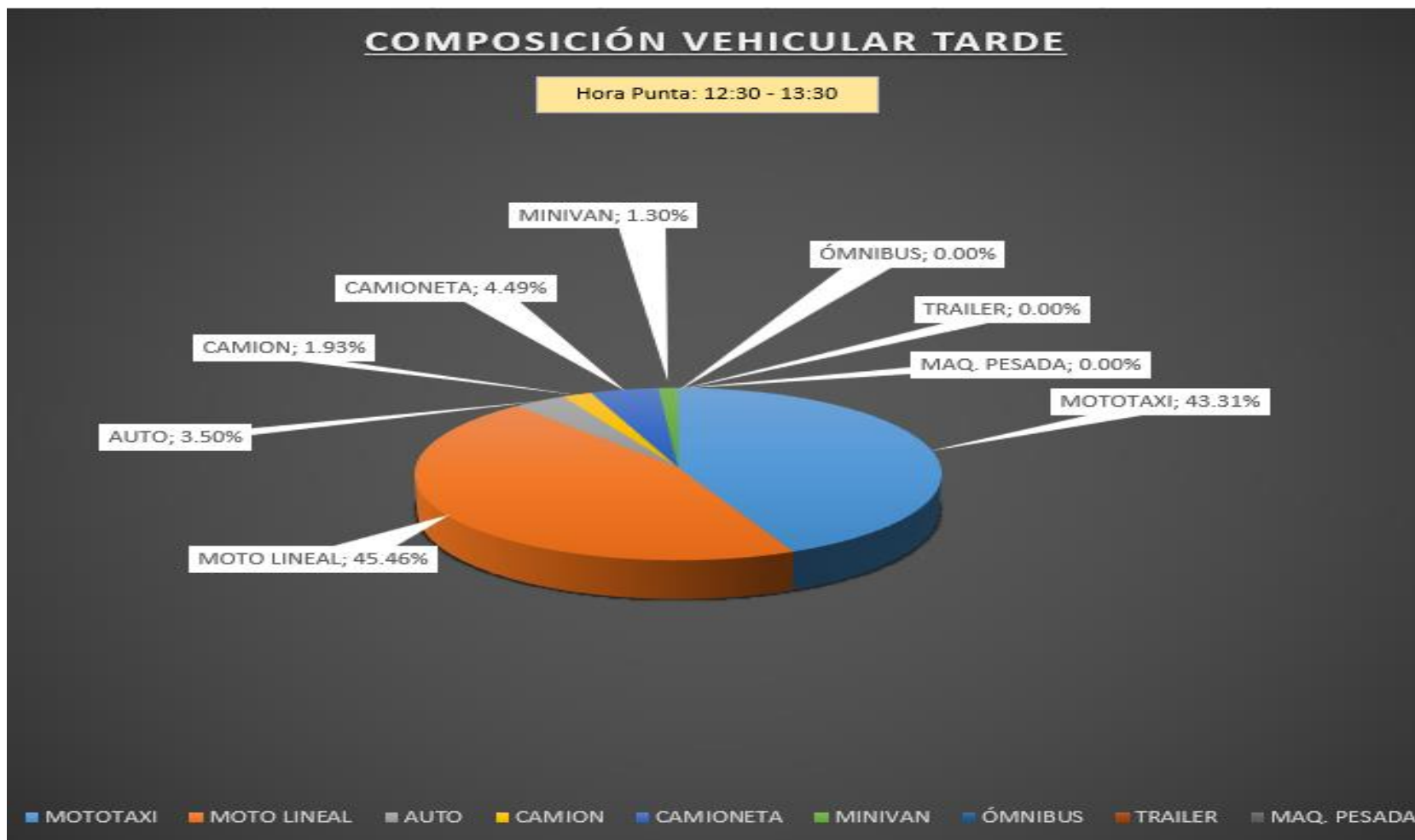
INTERSECCIÓN		A. VILLANUEVA PINILLOS		C. SIMÓN BOLÍVAR		
HORAS PUNTA	HORA	N - S	S - N	E - O	O - E	TOTAL (15MIN)
H.P. MAÑANA	7:15-7:30	0	78	41	0	118
	7:30-7:45	0	88	45	0	132
	7:45-8:00	0	90	35	0	126
	8:00-8:15	0	80	44	0	124
H.P. TARDE	12:30-12:45	0	156	59	0	215
	12:45-13:00	0	159	67	0	226
	13:00-13:15	0	186	69	0	255
	13:15-13:30	0	169	58	0	227
H.P. NOCHE	18:00-18:15	0	167	60	0	227
	18:15-18:30	0	176	50	0	226
	18:30-18:45	0	164	56	0	220
	18:45-19:00	0	141	46	0	187
TOTAL	H.P. MAÑANA	0	335	165	0	
	H.P. TARDE	0	670	252	0	
	H.P. NOCHE	0	649	212	0	

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

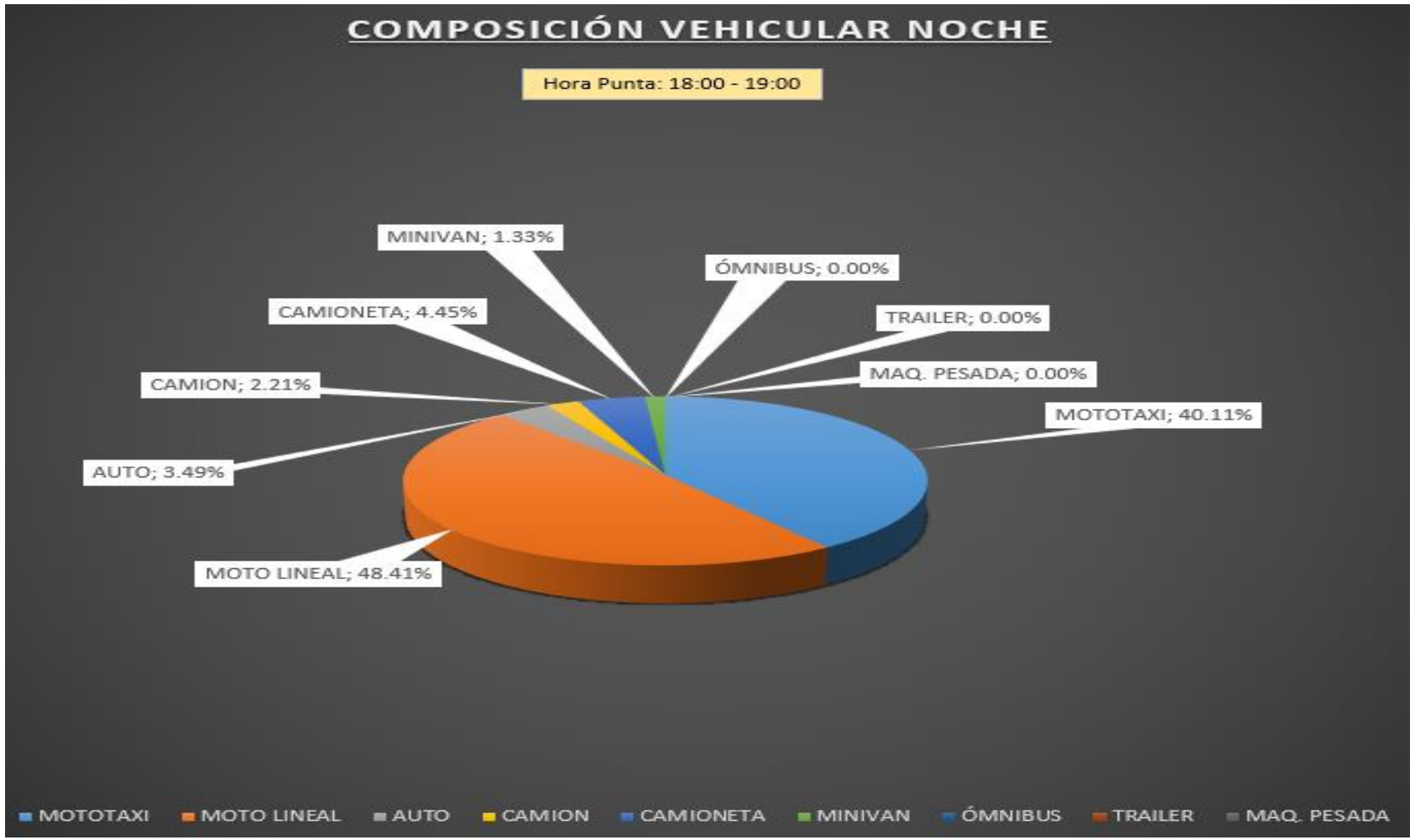
Anexo C 22. Constitución vehicular – Punta turno mañana (Lunes)



Anexo C 23. Constitución vehicular – Punta turno tarde (Lunes)



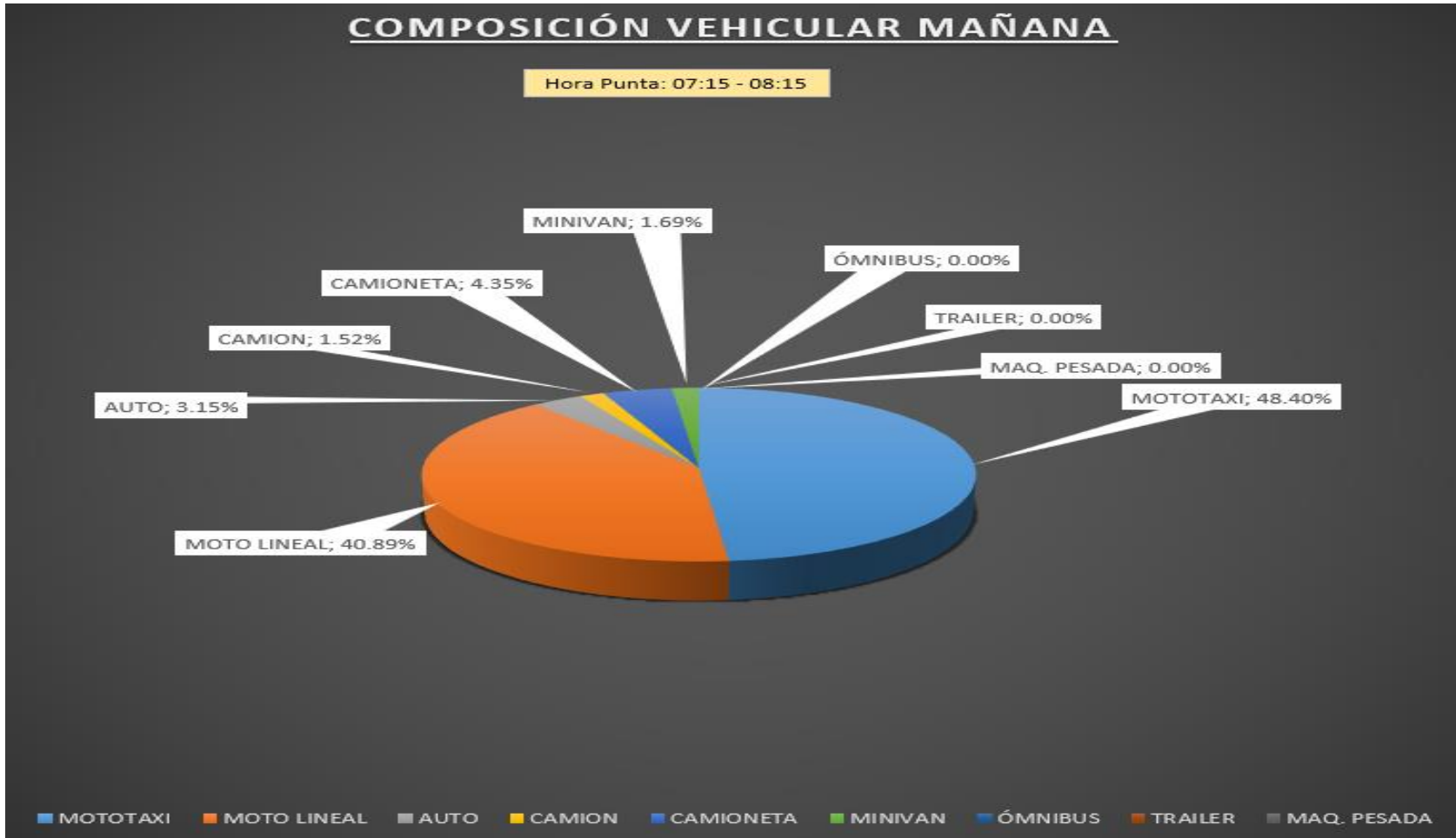
Anexo C 24. Constitución vehicular – Punta turno noche (Lunes)



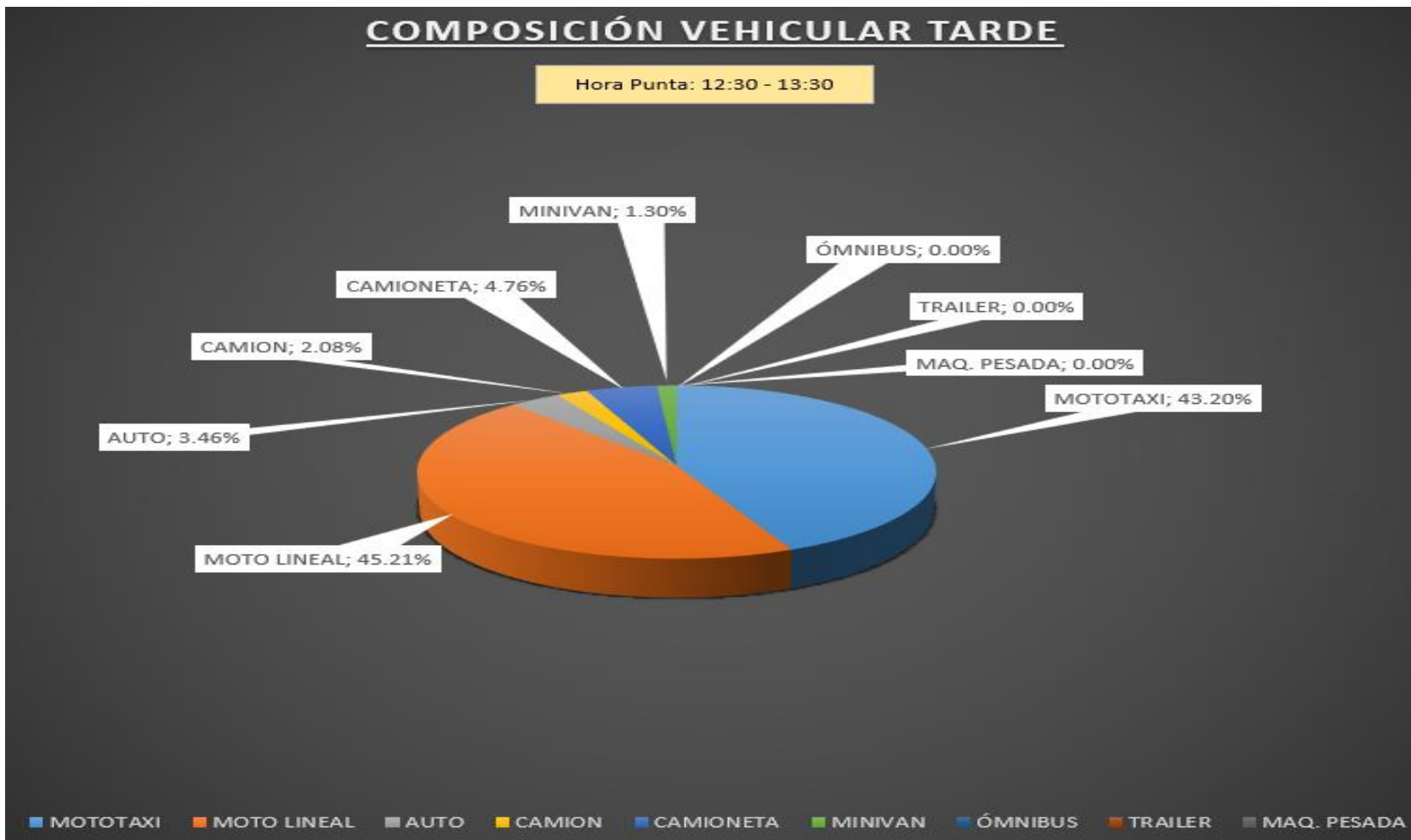
Anexo C 25. Valores de proporciones vehiculares en horas punta (Miércoles)

TIPO DE VEHICULO	INTERSECCIÓN CALLES SIMÓN BOLÍVAR CON PARDO MIGUEL					
	7:15 - 8:15		12:30 - 13:30		18:00 - 19:00	
MOTOTAXI	890	48.40%	1825	43.20%	1418	41.26%
MOTO LINEAL	752	40.89%	1910	45.21%	1638	47.66%
AUTO	58	3.15%	146	3.46%	119	3.46%
CAMION	28	1.52%	88	2.08%	76	2.21%
CAMIONETA	80	4.35%	201	4.76%	144	4.19%
MINIVAN	31	1.69%	55	1.30%	42	1.22%
ÓMNIBUS	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
TRAILER	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
MAQ. PESADA	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
TOTAL	1839	100.00%	4225	100.00%	3437	100.00%

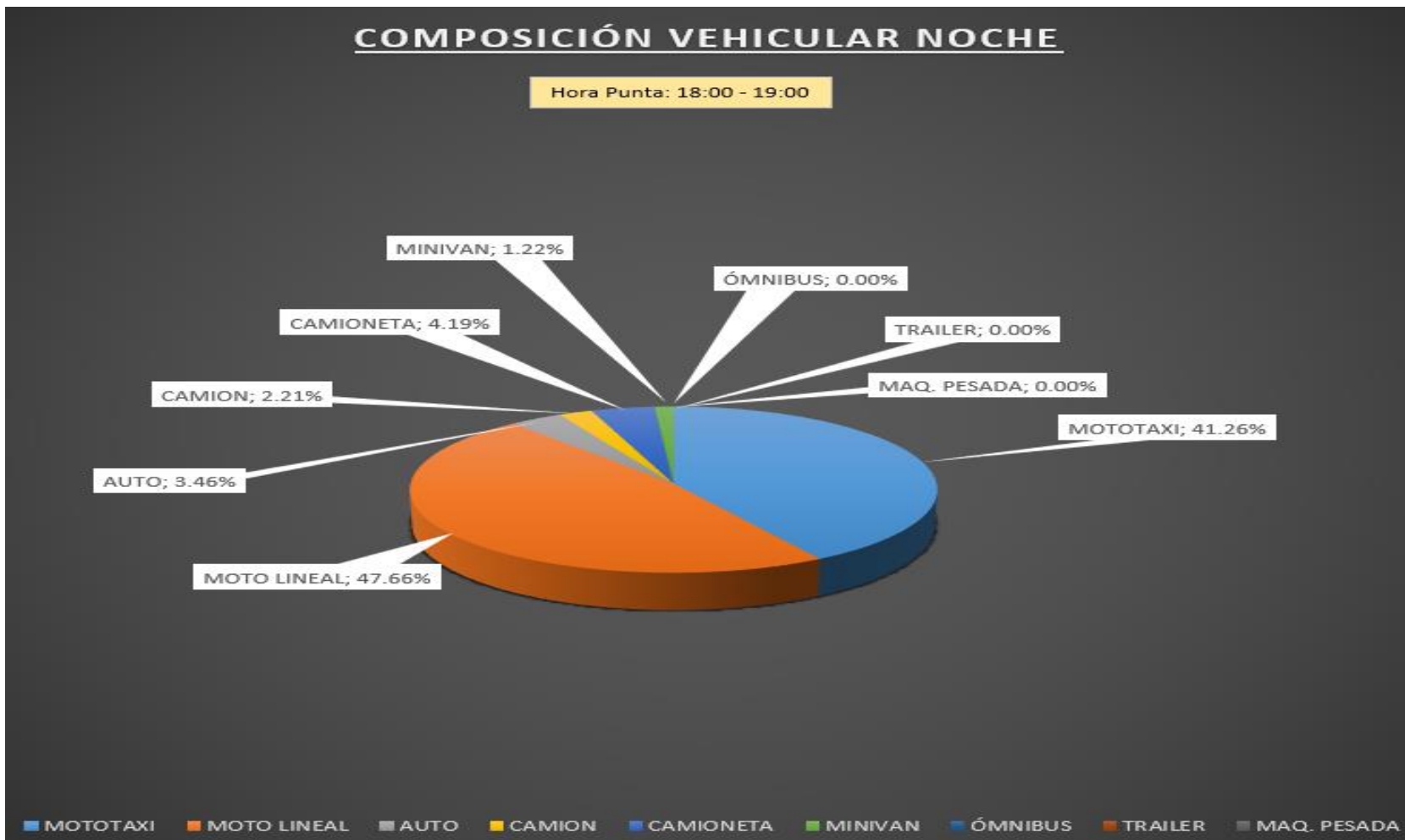
Anexo C 26. Constitución vehicular – Punta turno mañana (Miércoles)



Anexo C 27. Constitución vehicular – Punta turno tarde (Miércoles)



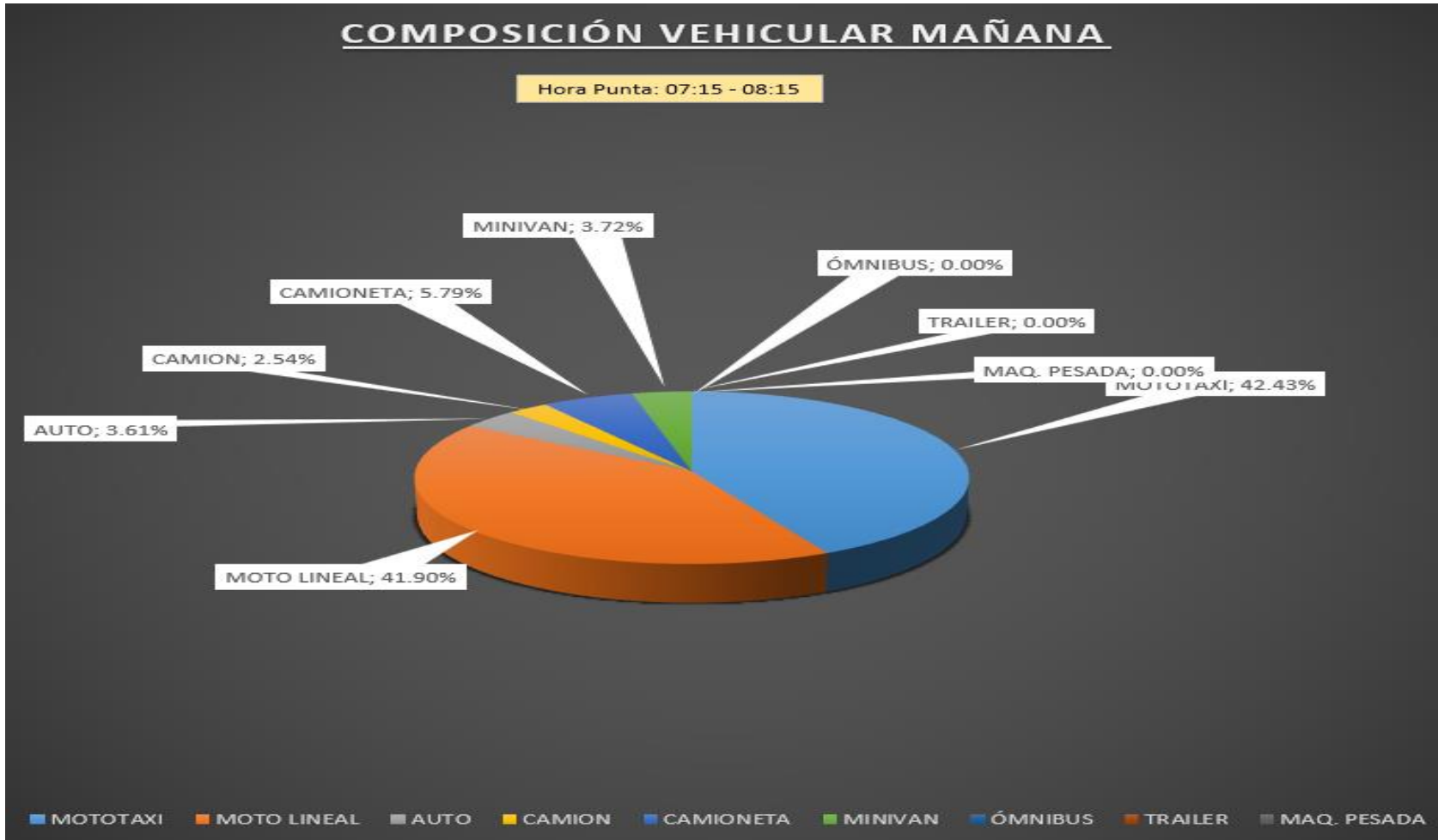
Anexo C 28. Constitución vehicular – Punta turno noche (Miércoles)



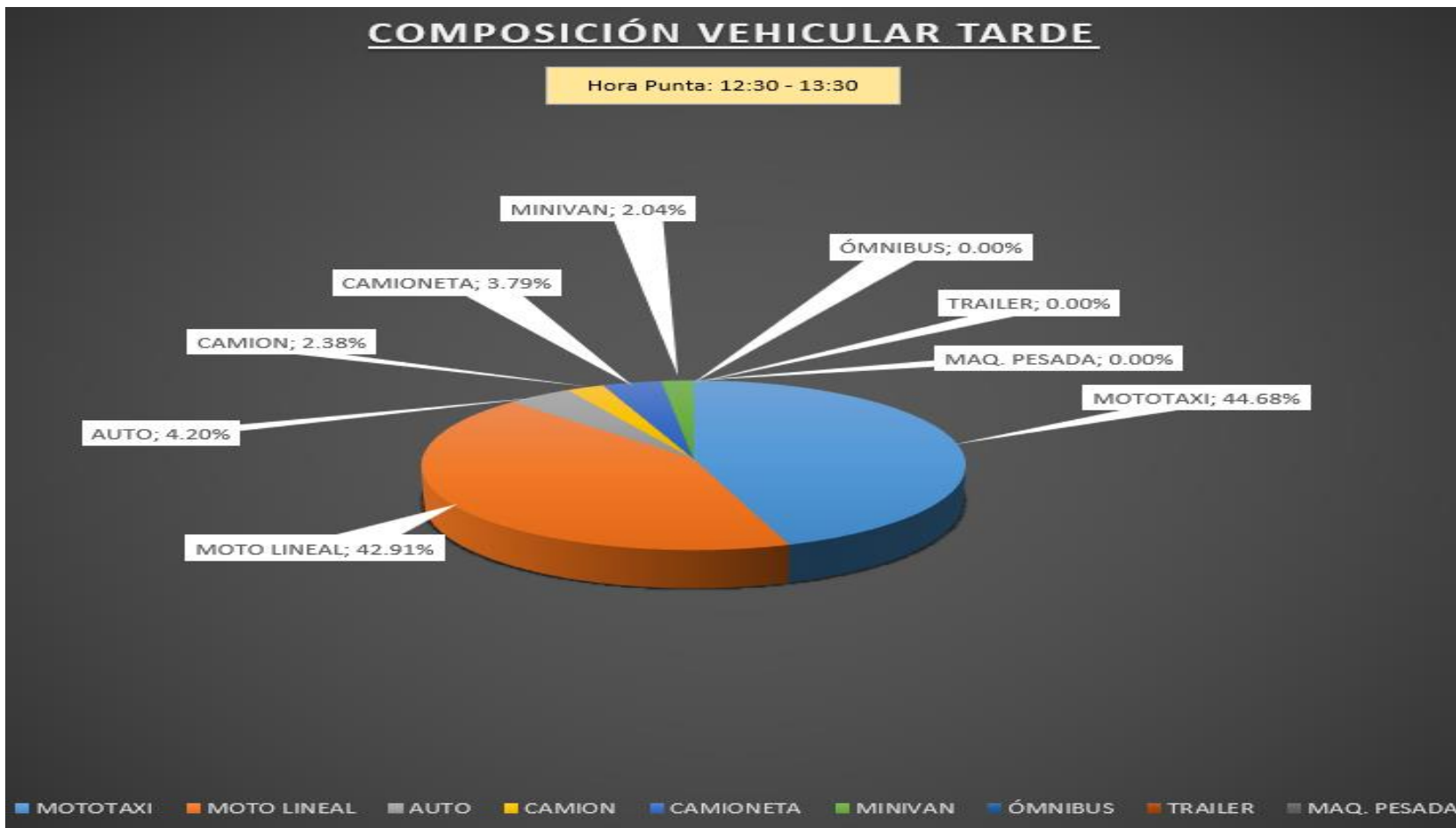
Anexo C 29. Valores de proporciones vehiculares en horas punta (Viernes)

TIPO DE VEHICULO	INTERSECCIÓN CALLES SIMÓN BOLÍVAR CON PARDO MIGUEL					
	7:15 - 8:15		12:30 - 13:30		18:00 - 19:00	
MOTOTAXI	718	42.43%	1841	44.68%	1408	40.47%
MOTO LINEAL	709	41.90%	1768	42.91%	1675	48.15%
AUTO	61	3.61%	173	4.20%	100	2.87%
CAMION	43	2.54%	98	2.38%	110	3.16%
CAMIONETA	98	5.79%	156	3.79%	126	3.62%
MINIVAN	63	3.72%	84	2.04%	60	1.72%
ÓMNIBUS	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
TRAILER	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
MAQ. PESADA	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
TOTAL	1692	100.00%	4120	100.00%	3479	100.00%

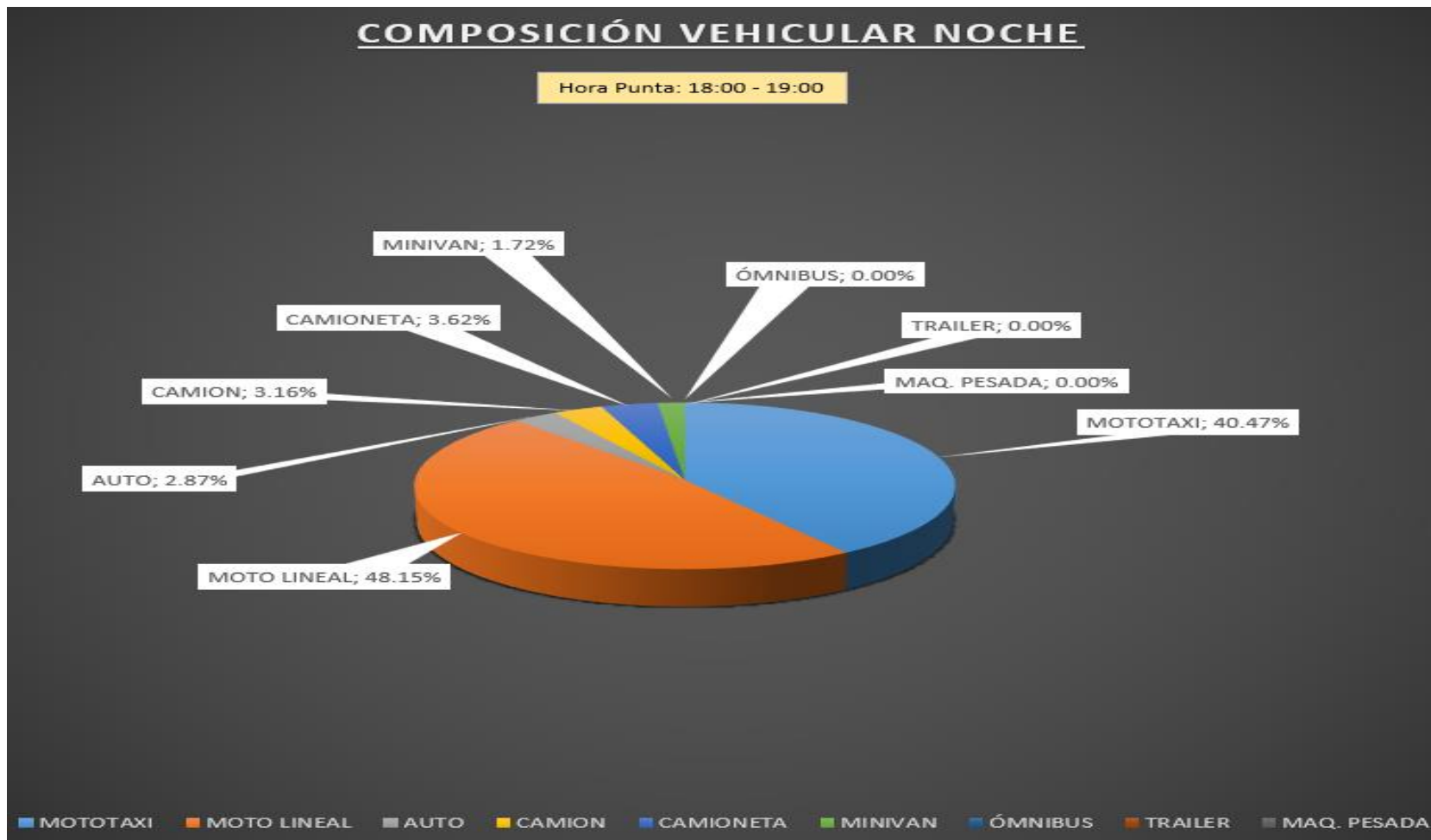
Anexo C 30. Constitución vehicular – Punta turno mañana (Viernes)



Anexo C 31. Constitución vehicular – Punta turno tarde (Viernes)

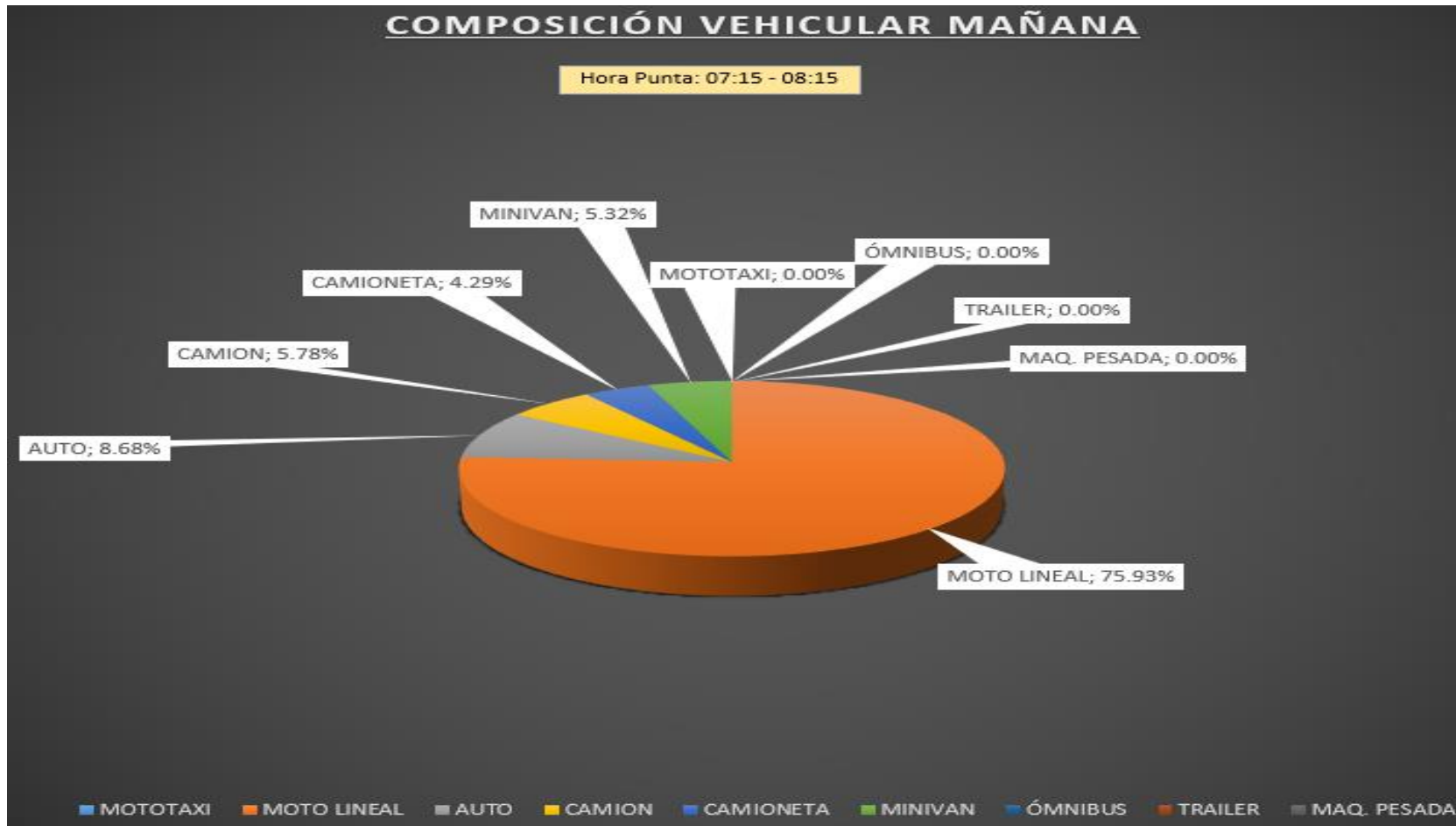


Anexo C 32. Constitución vehicular – Punta turno noche (Viernes)

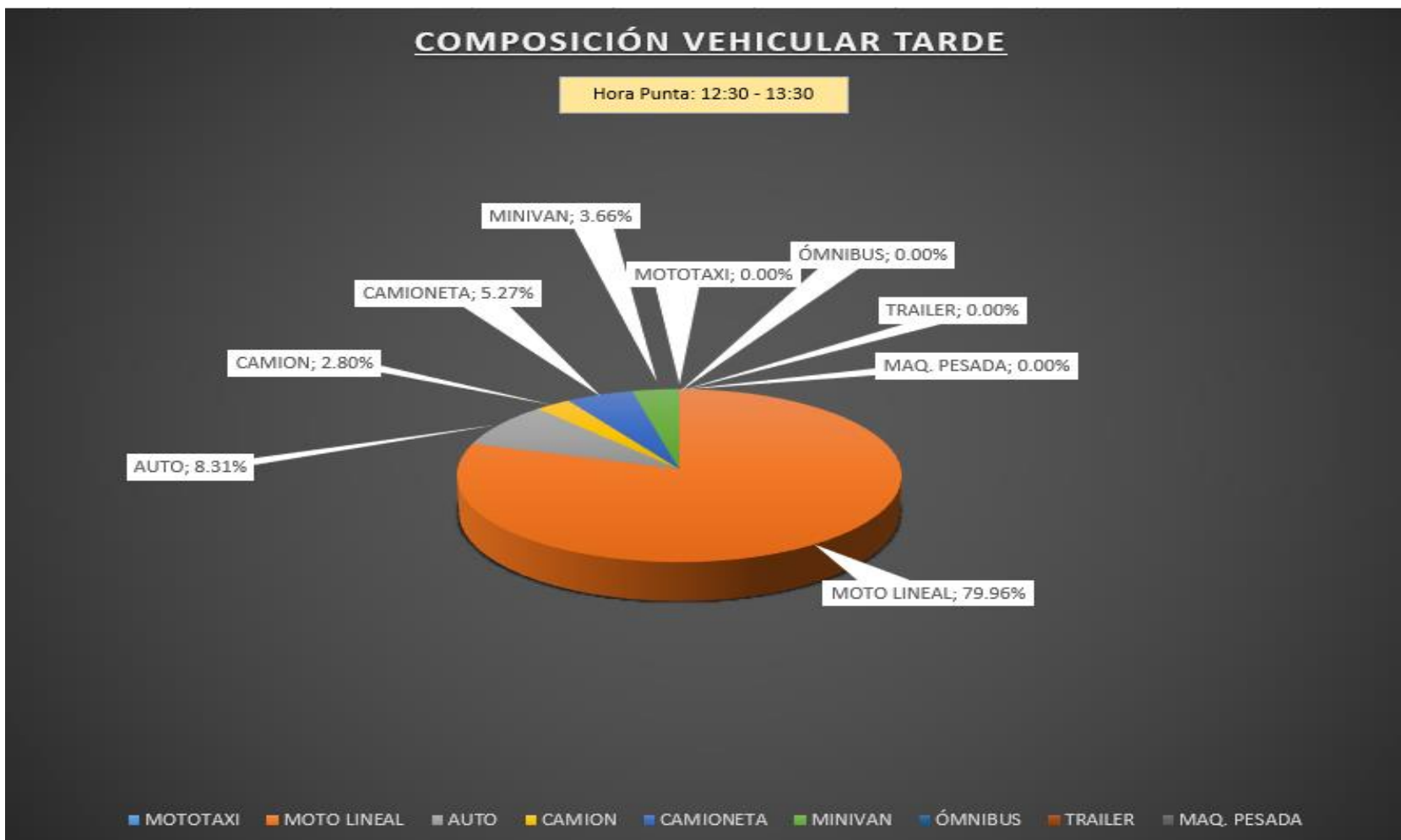


Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

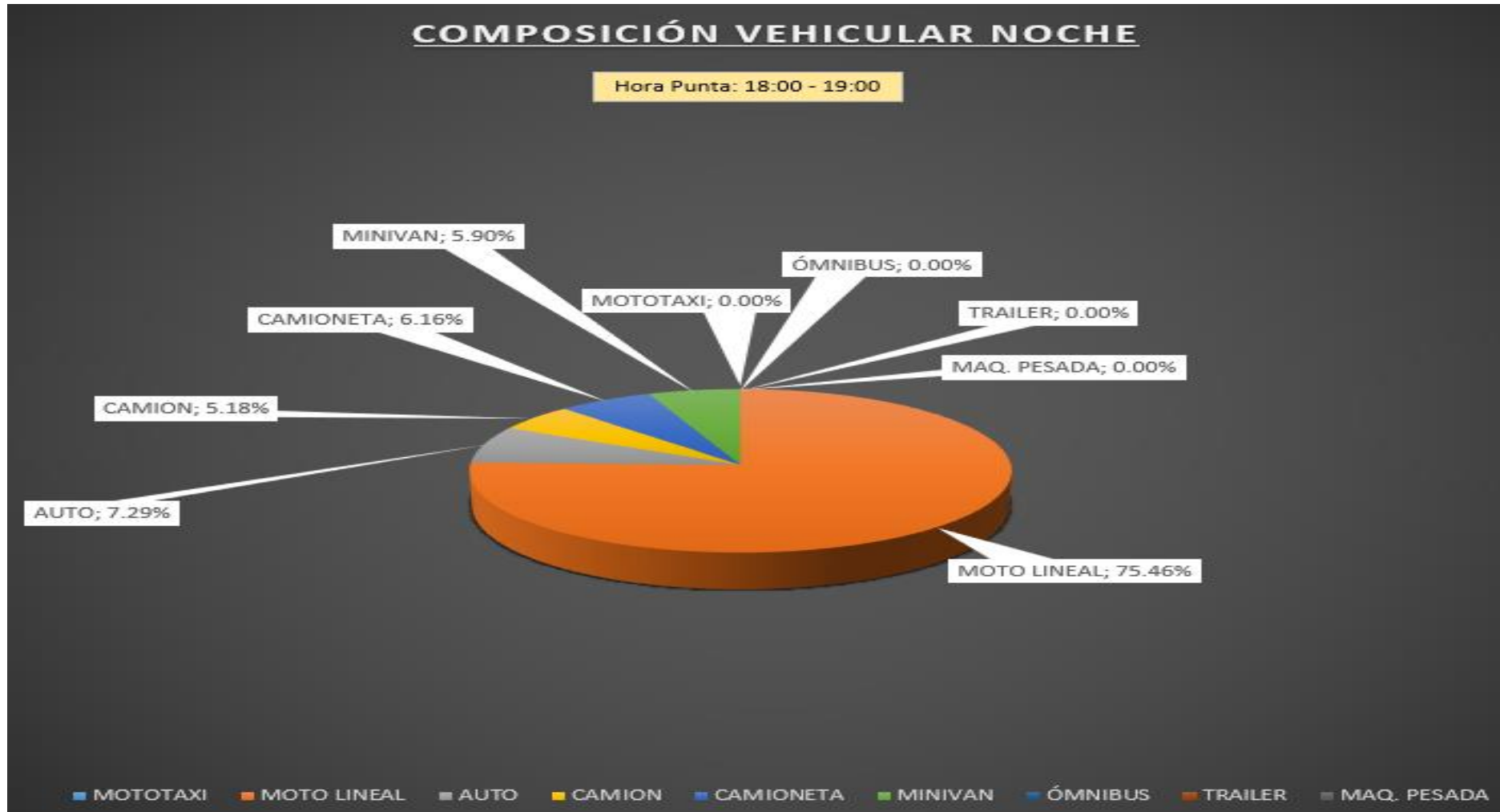
Anexo C 33. Constitución vehicular – Punta turno mañana (Lunes)



Anexo C 34. Constitución vehicular – Punta turno tarde (Lunes)



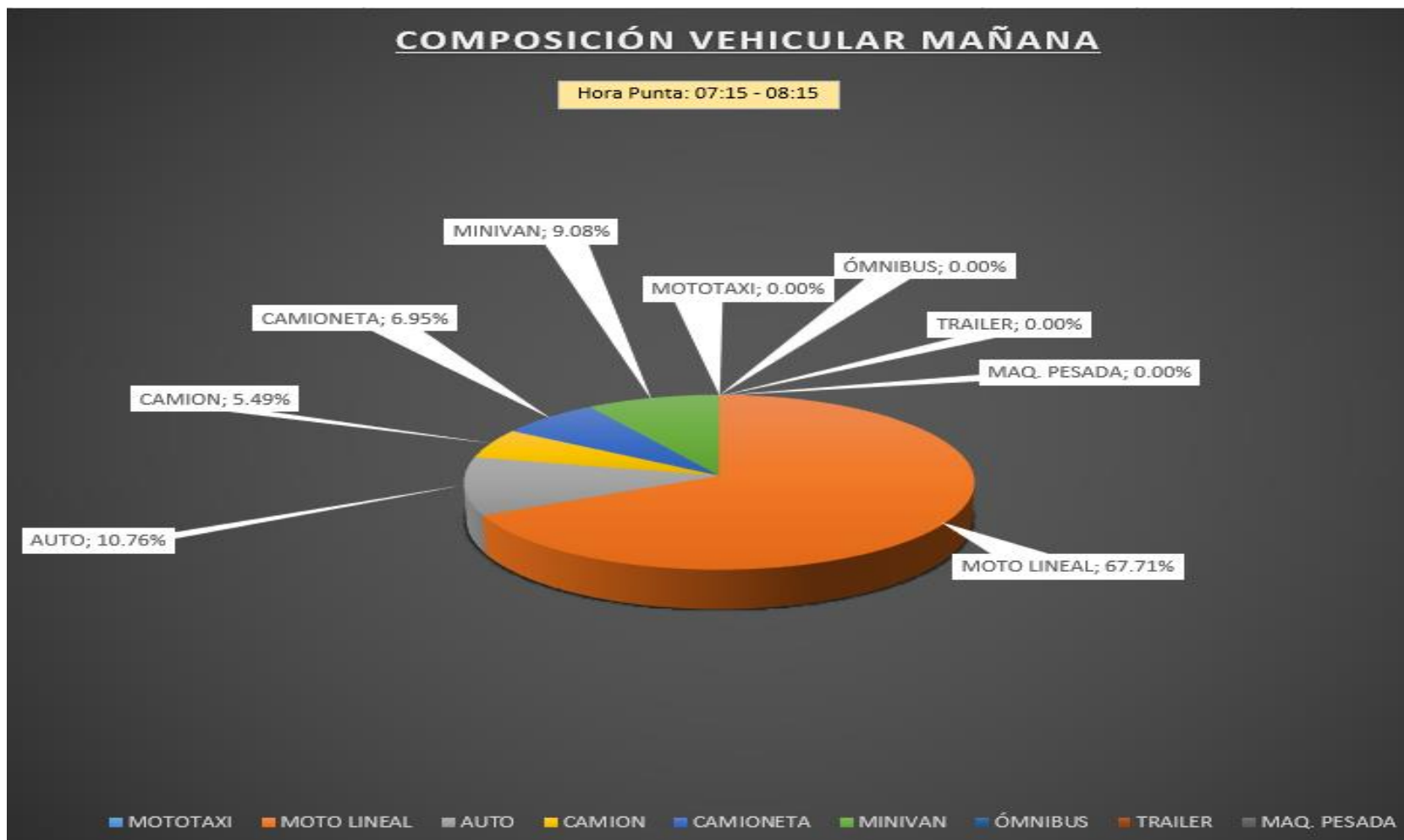
Anexo C 35. Constitución vehicular – Punta turno noche (Lunes)



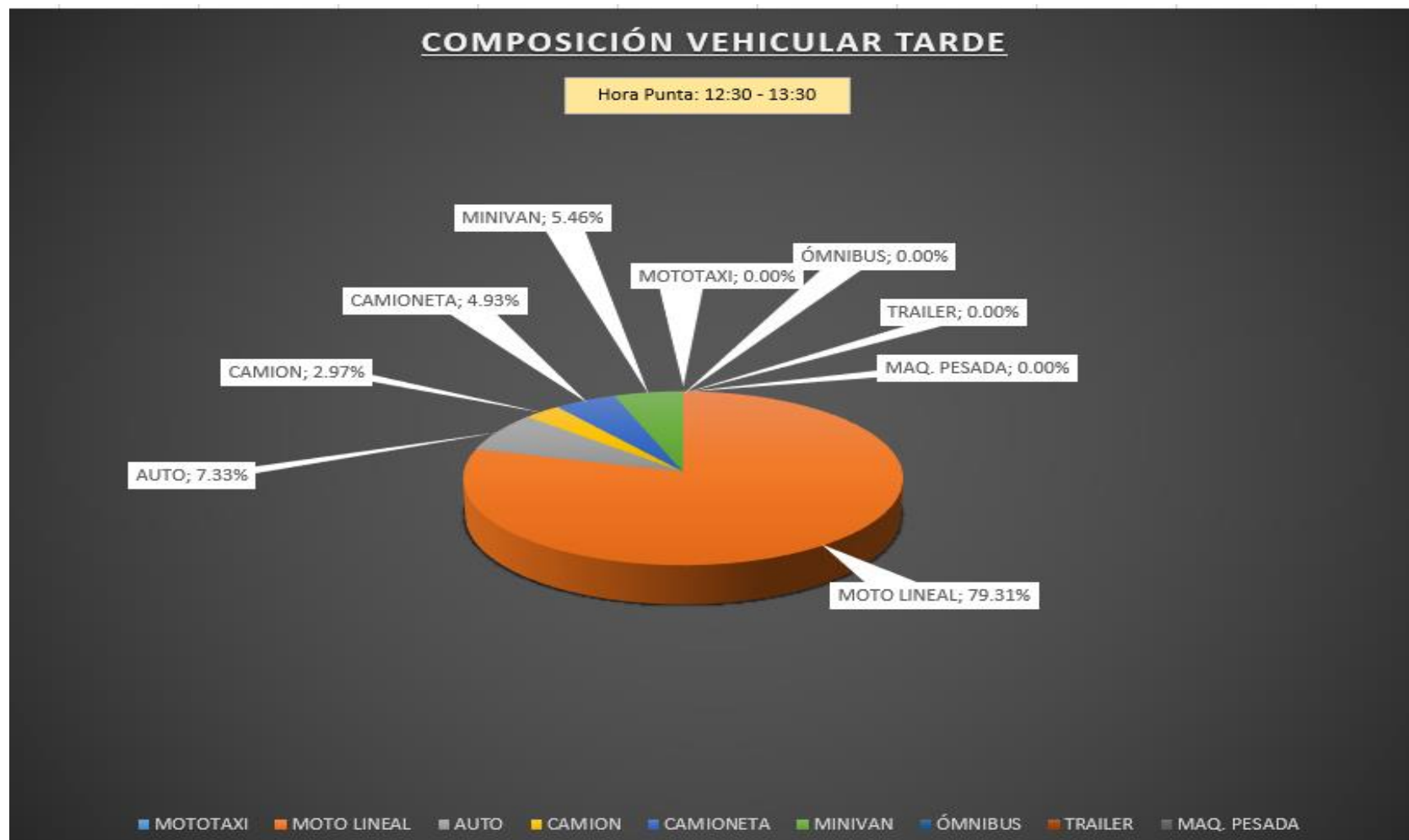
Anexo C 36. Valores de proporciones vehiculares en horas punta (Miércoles)

TIPO DE VEHICULO	INTERSECCIÓN AVENIDA VILLANUEVA PINILLOS CON CALLE SIMÓN BOLÍVAR					
	7:15 - 8:15		12:30 - 13:30		18:00 - 19:00	
MOTOTAXI	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
MOTO LINEAL	604	67.71%	1656	79.31%	1293	75.92%
AUTO	96	10.76%	153	7.33%	140	8.22%
CAMION	49	5.49%	62	2.97%	78	4.58%
CAMIONETA	62	6.95%	103	4.93%	105	6.17%
MINIVAN	81	9.08%	114	5.46%	87	5.11%
ÓMNIBUS	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
TRAILER	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
MAQ. PESADA	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
TOTAL	892	100.00%	2088	100.00%	1703	100.00%

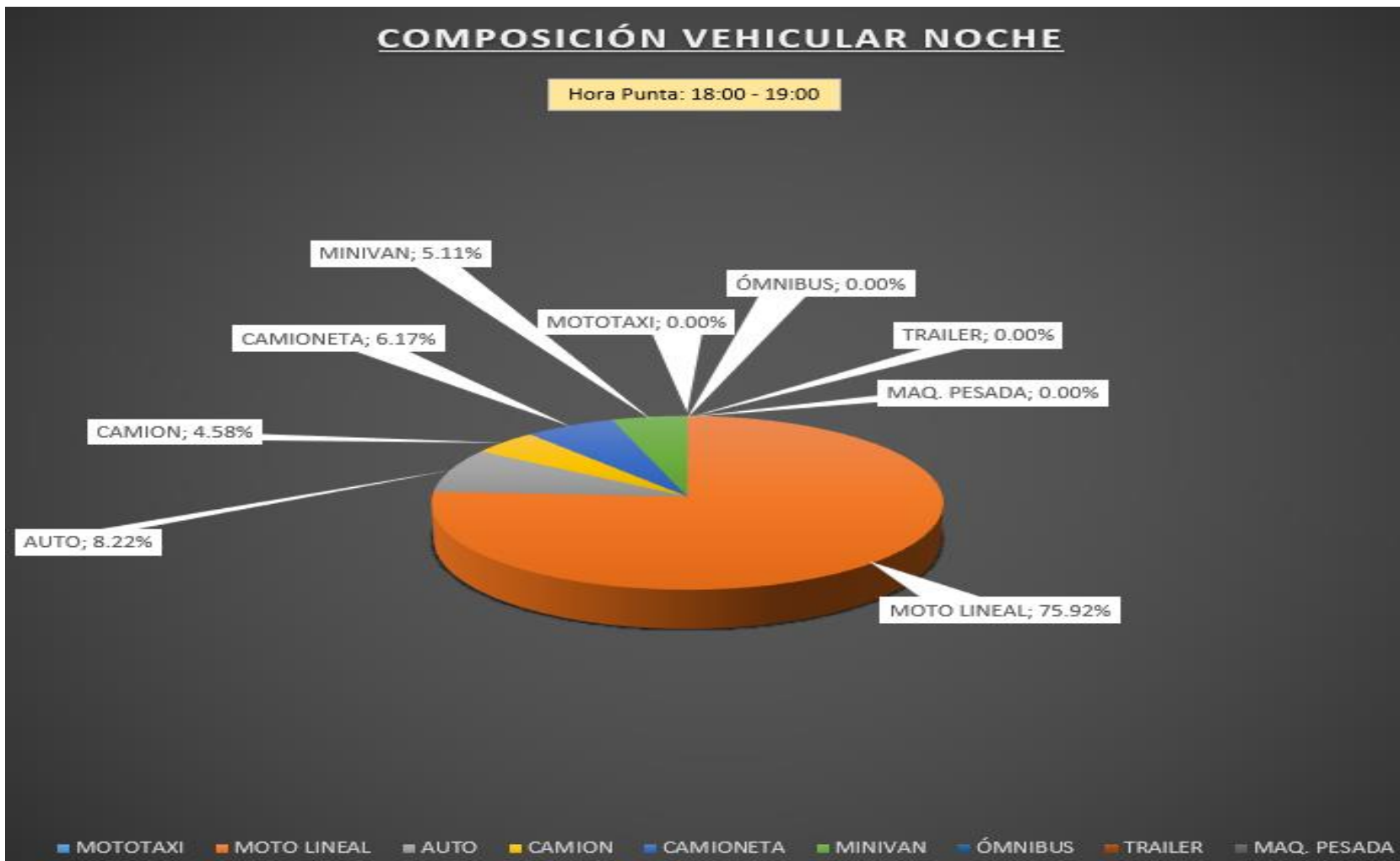
Anexo C 37. Constitución vehicular – Punta turno mañana (Miércoles)



Anexo C 38. Constitución vehicular – Punta turno tarde (Miércoles)



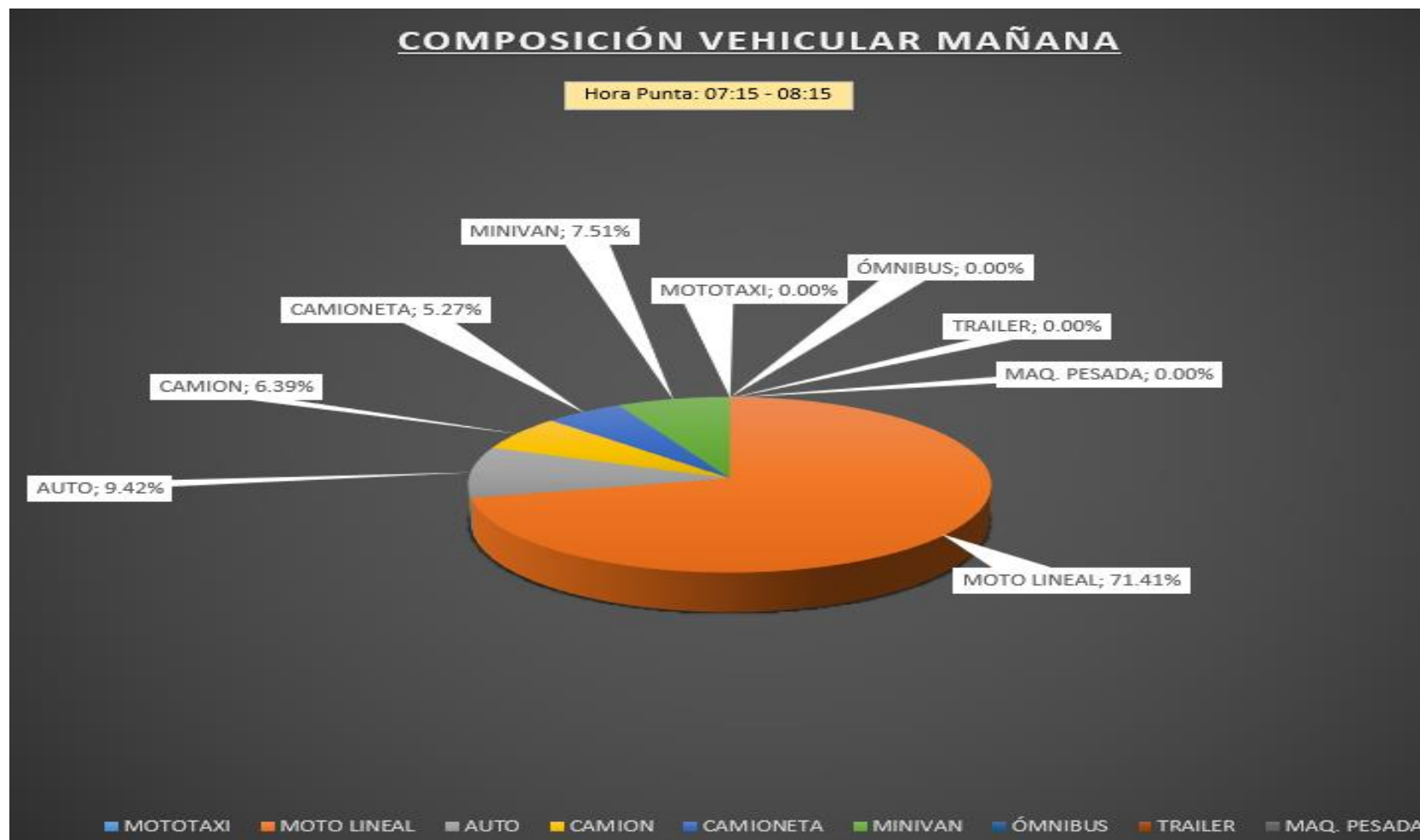
Anexo C 39. Constitución vehicular – Punta turno noche (Miércoles)



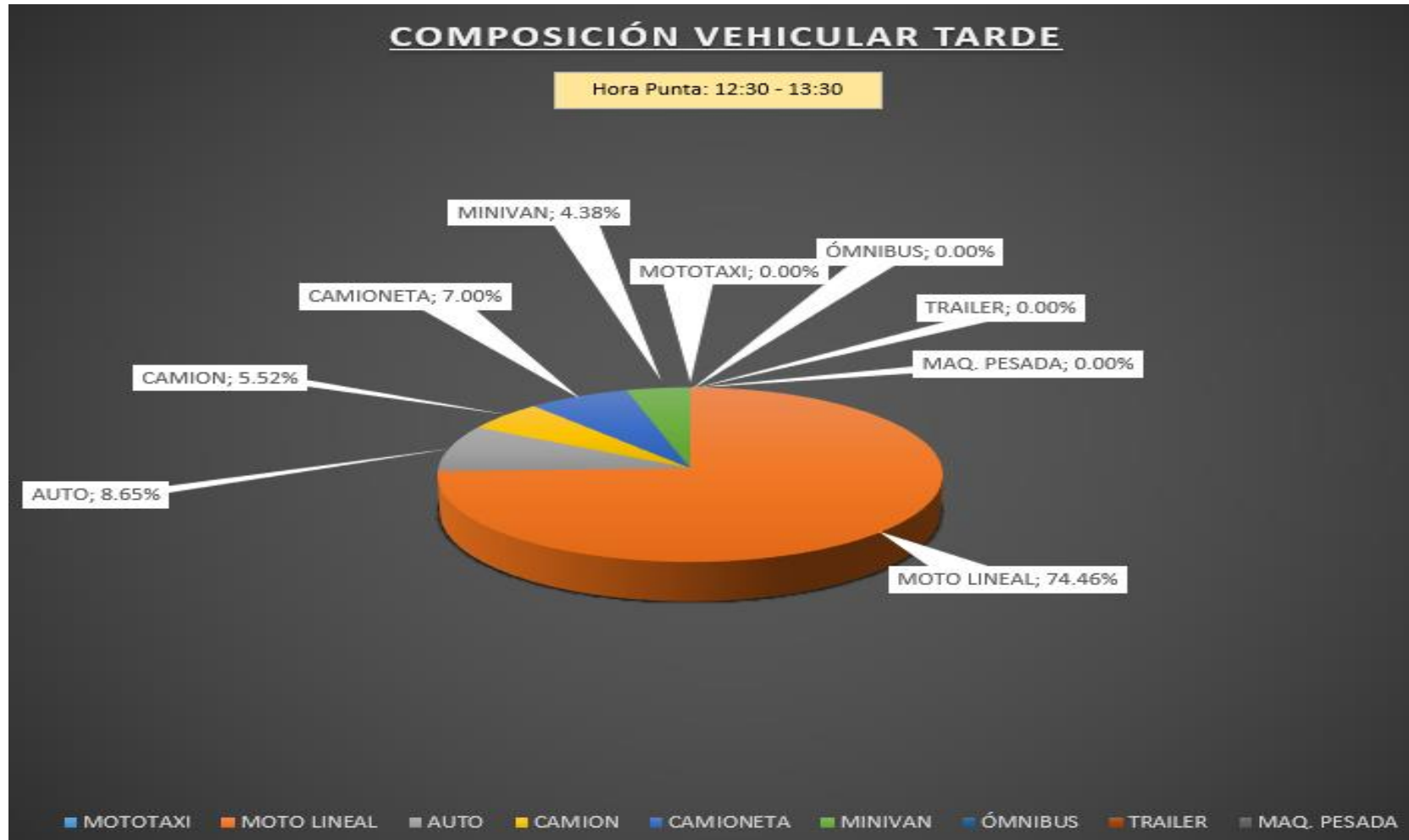
Anexo C 40. Valores de proporciones vehiculares en horas punta (Viernes)

TIPO DE VEHICULO	INTERSECCIÓN AVENIDA VILLANUEVA PINILLOS CON CALLE SIMÓN BOLÍVAR					
	7:15 - 8:15		12:30 - 13:30		18:00 - 19:00	
MOTOTAXI	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
MOTO LINEAL	637	71.41%	1309	74.46%	1263	75.45%
AUTO	84	9.42%	152	8.65%	112	6.69%
CAMION	57	6.39%	97	5.52%	89	5.32%
CAMIONETA	47	5.27%	123	7.00%	109	6.51%
MINIVAN	67	7.51%	77	4.38%	101	6.03%
ÓMNIBUS	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
TRAILER	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
MAQ. PESADA	0	0.00%	0	0.00%	0	0.00%
TOTAL	892	100.00%	1758	100.00%	1674	100.00%

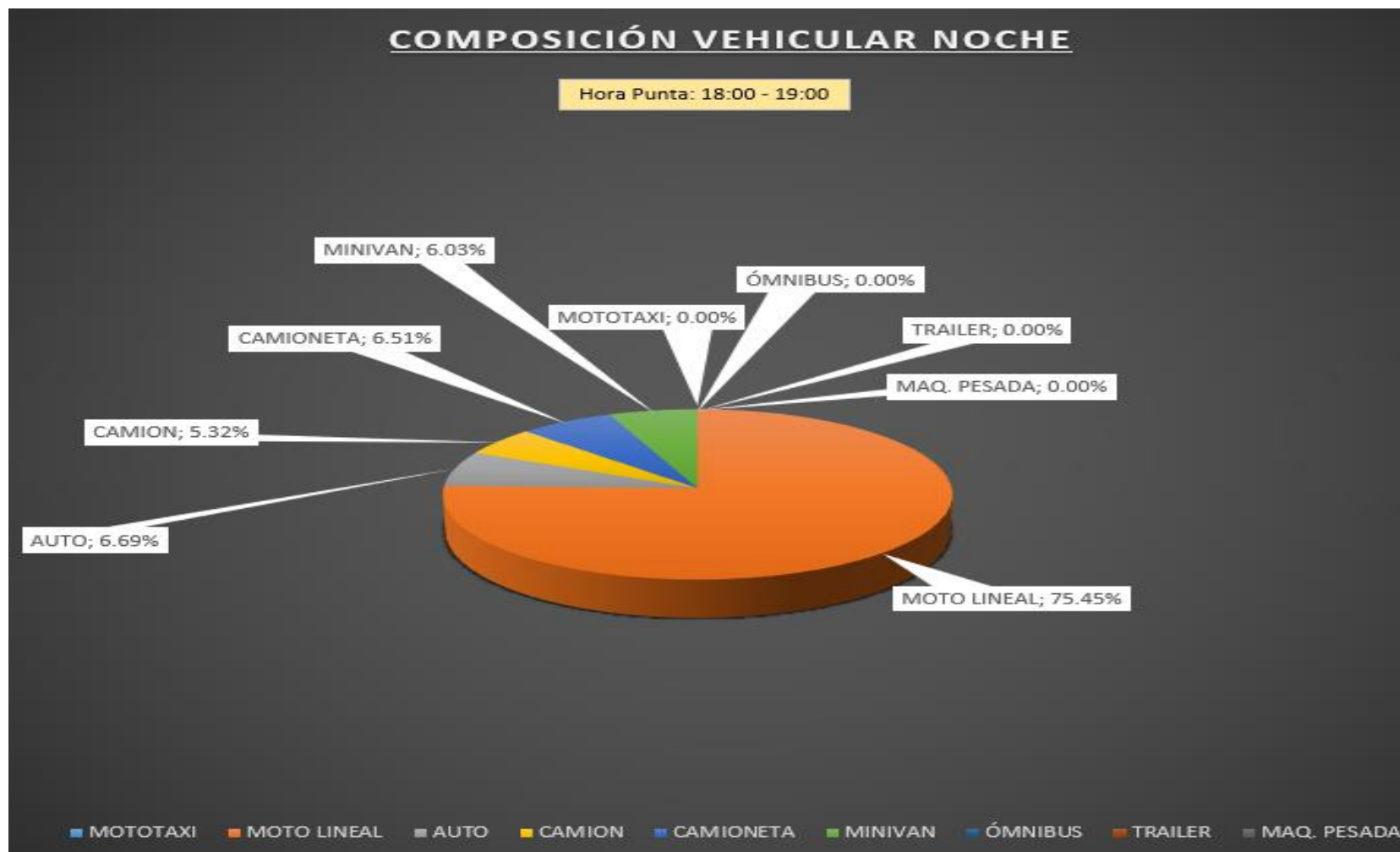
Anexo C 41. Constitución vehicular – Punta turno mañana (Viernes)



Anexo C 42. Constitución vehicular – Punta turno tarde (Viernes)

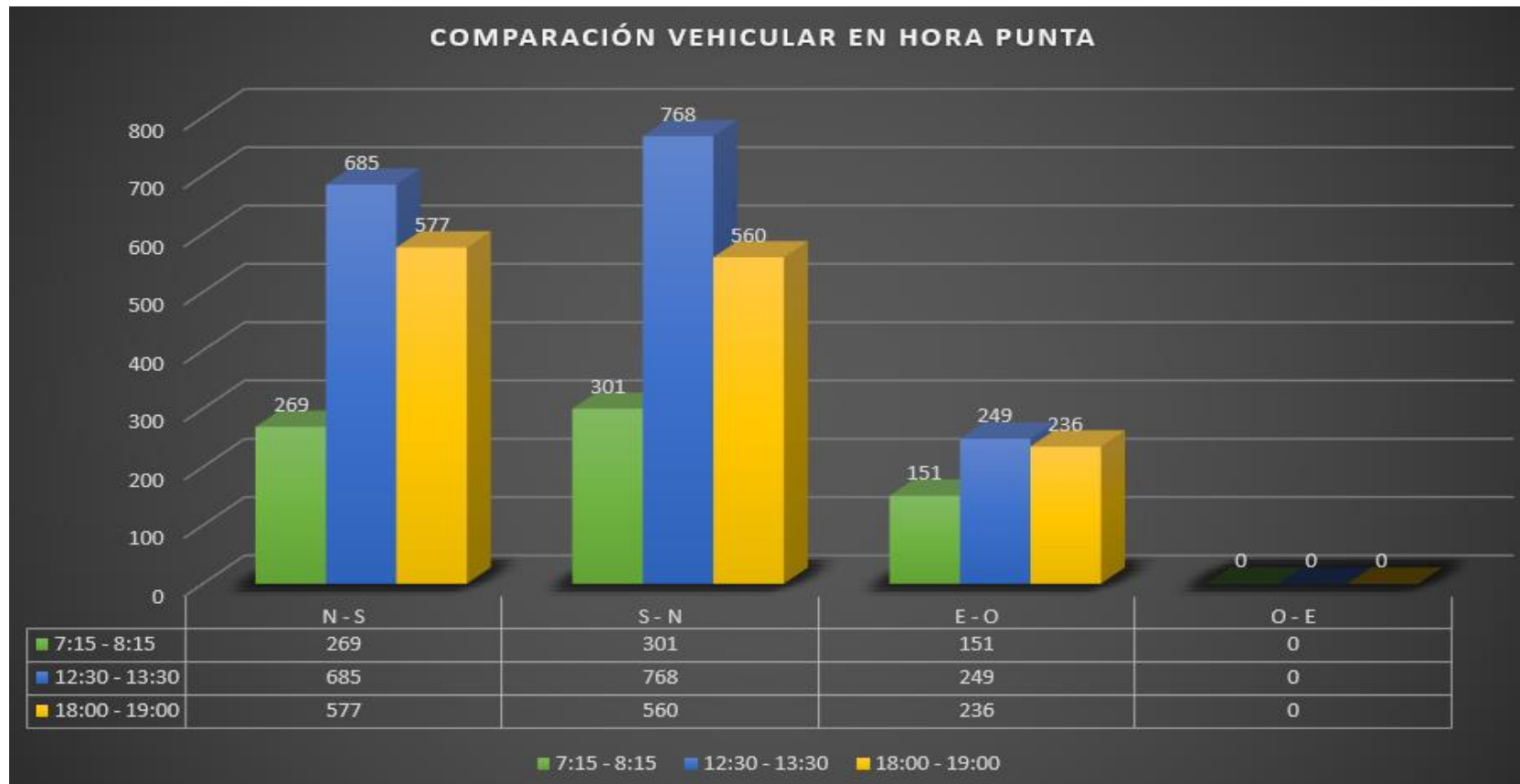


Anexo C 43. Constitución vehicular – Punta turno noche (Viernes)

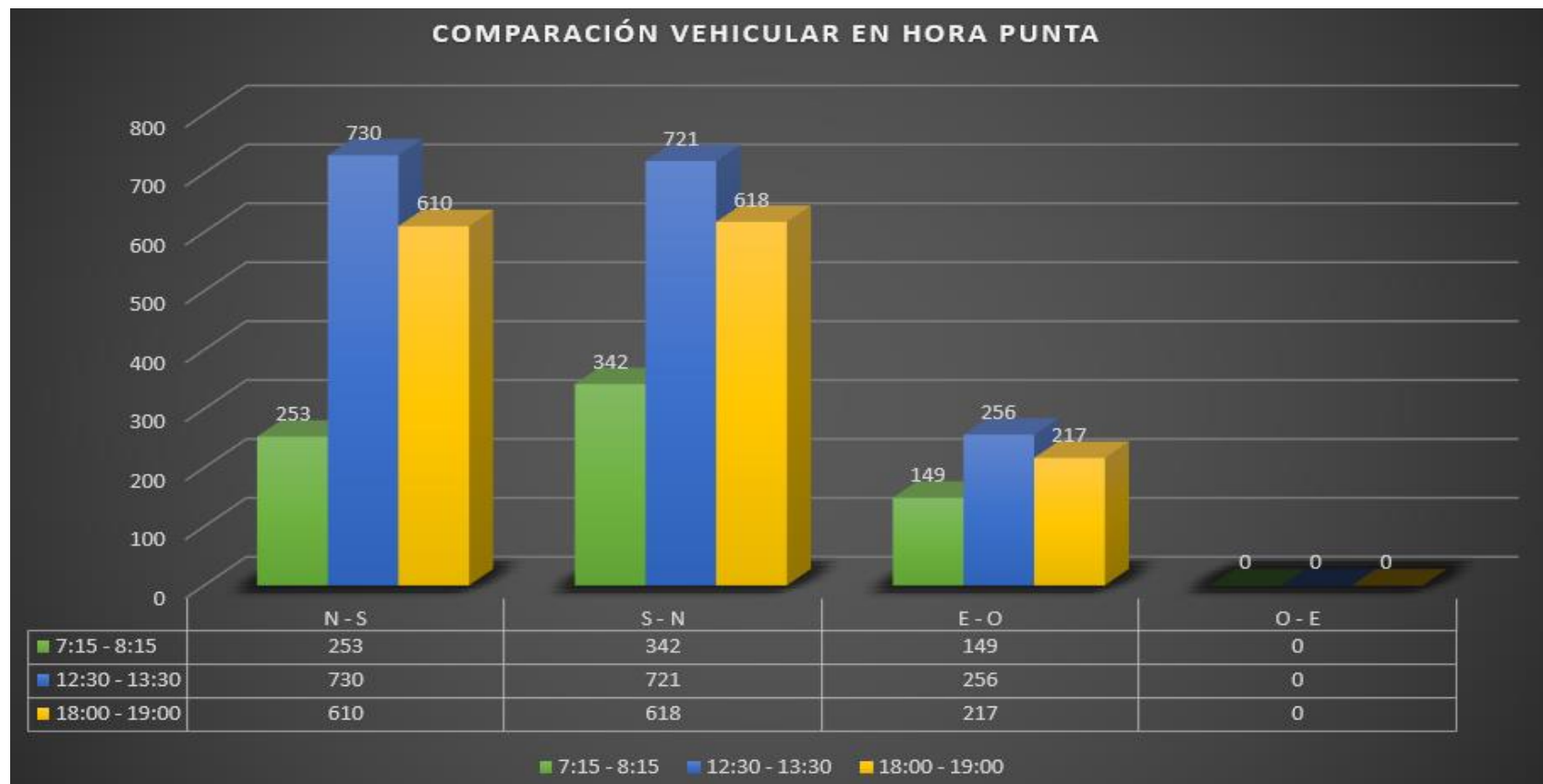


Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

Anexo C 44. Cotejo vehicular en horas pico (Miércoles)

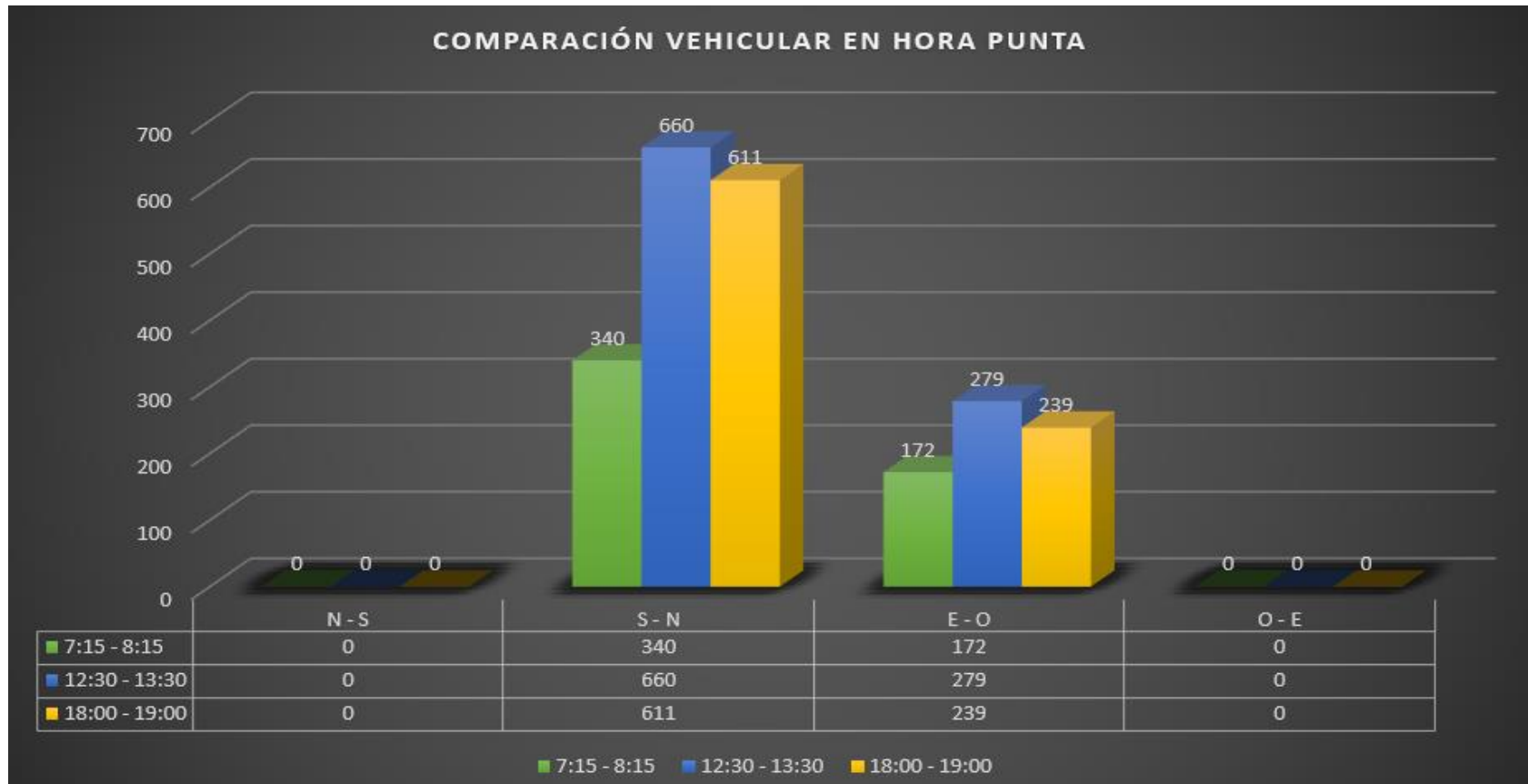


Anexo C 45. Cotejo vehicular en horas pico (Viernes)

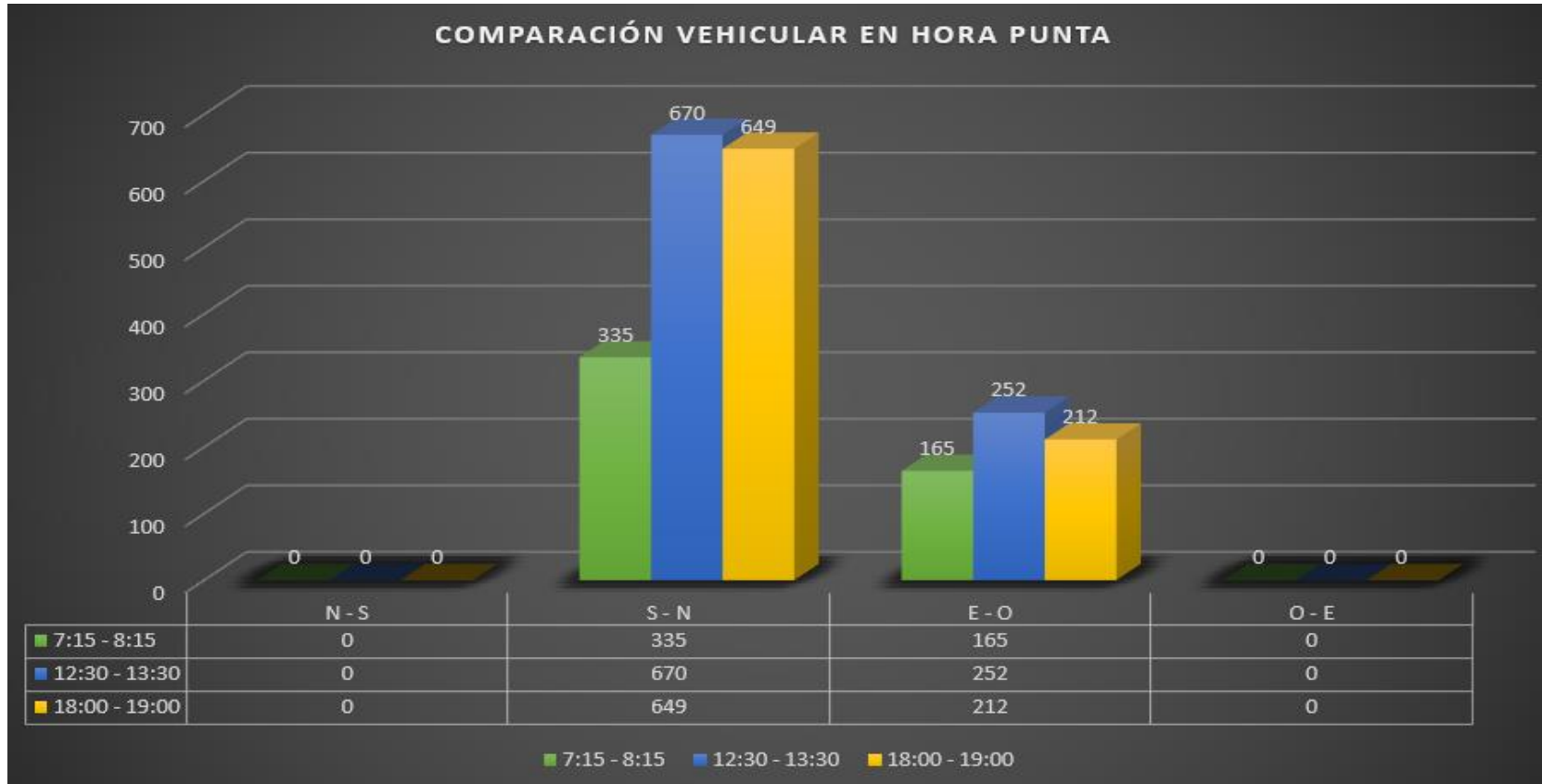


Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

Anexo C 46. Cotejo vehicular en horas pico (Miércoles)

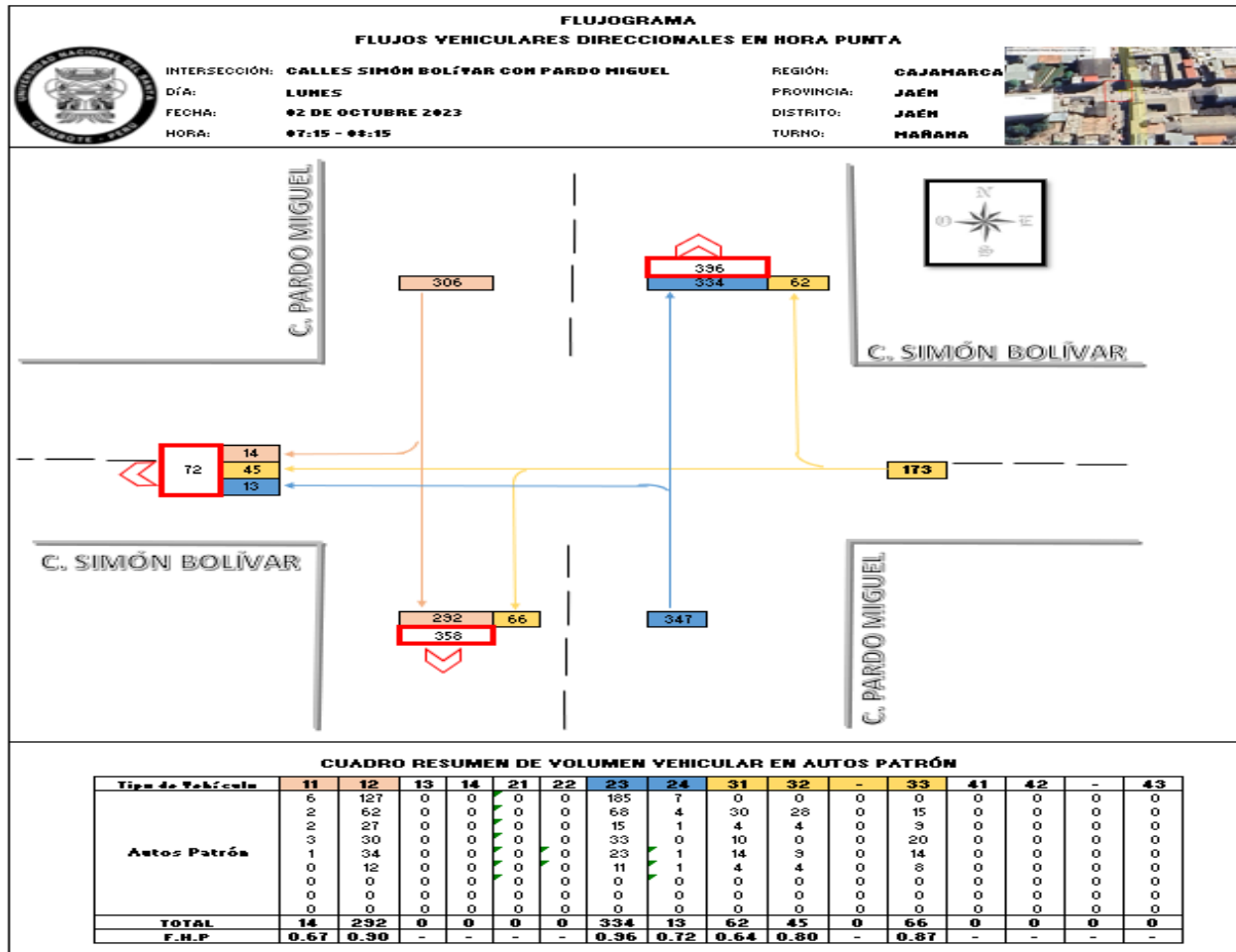


Anexo C 47. Cotejo vehicular en horas pico (Viernes)

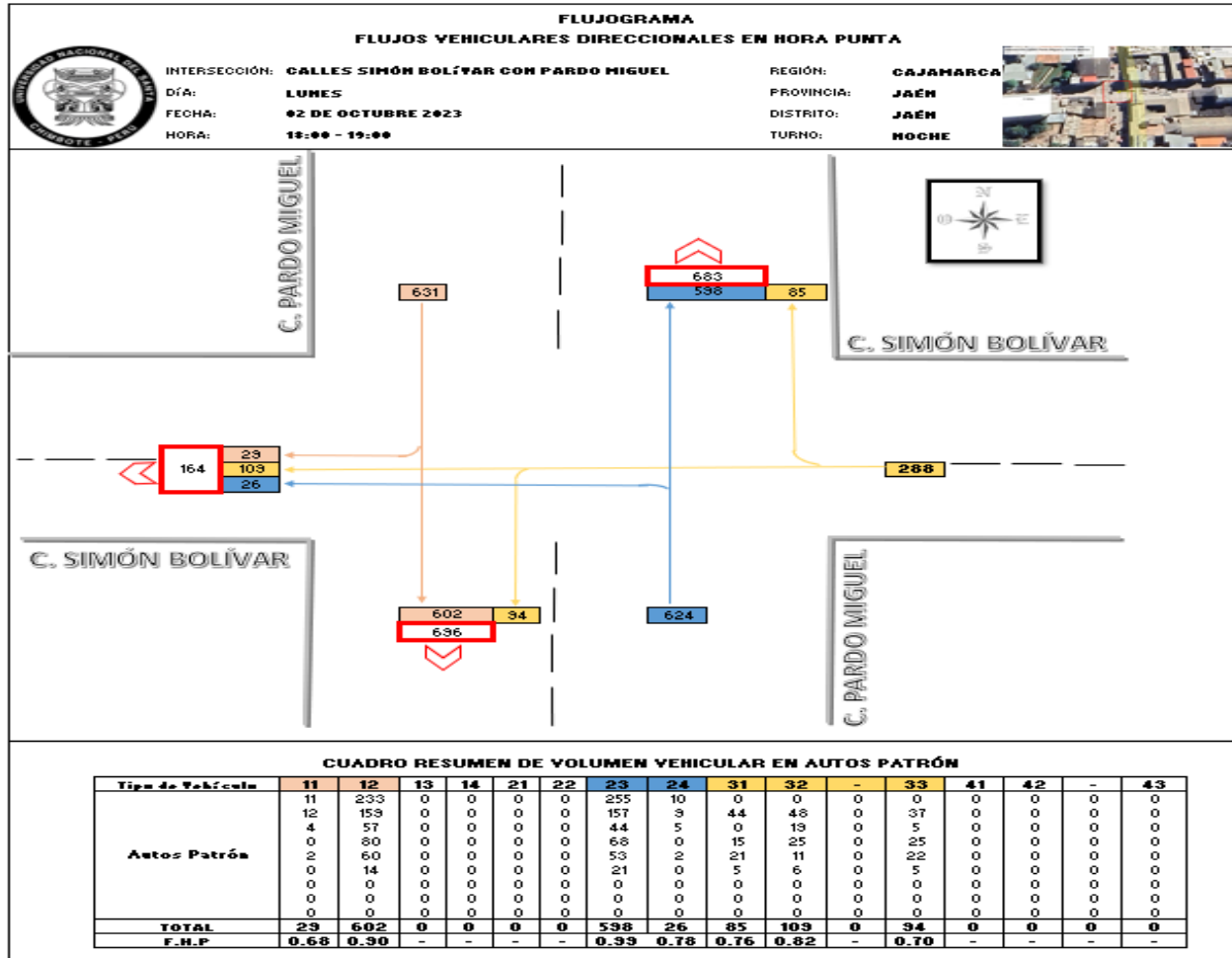


Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

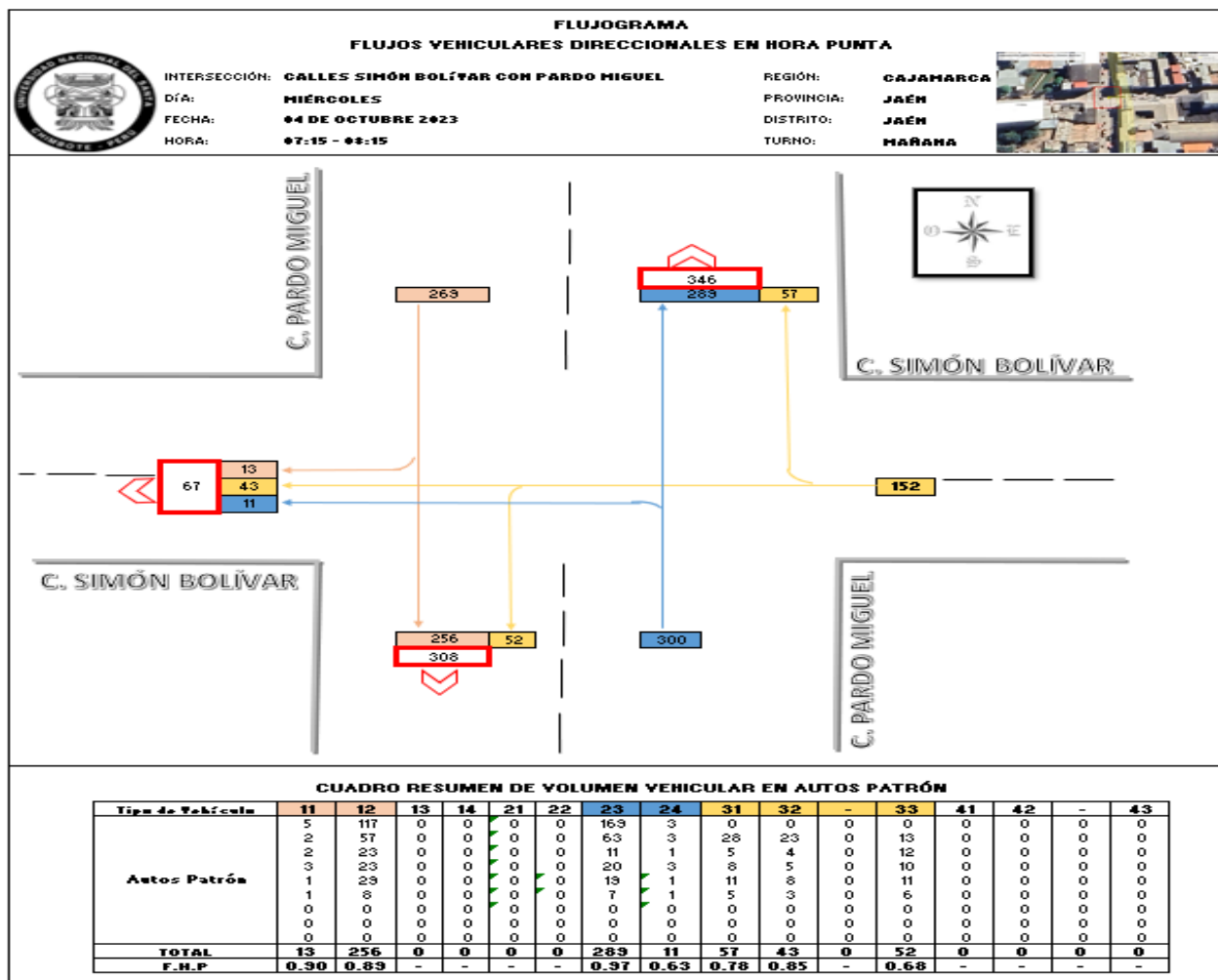
Anexo C 48. Horario punta (Lunes mañana) – Flujoograma



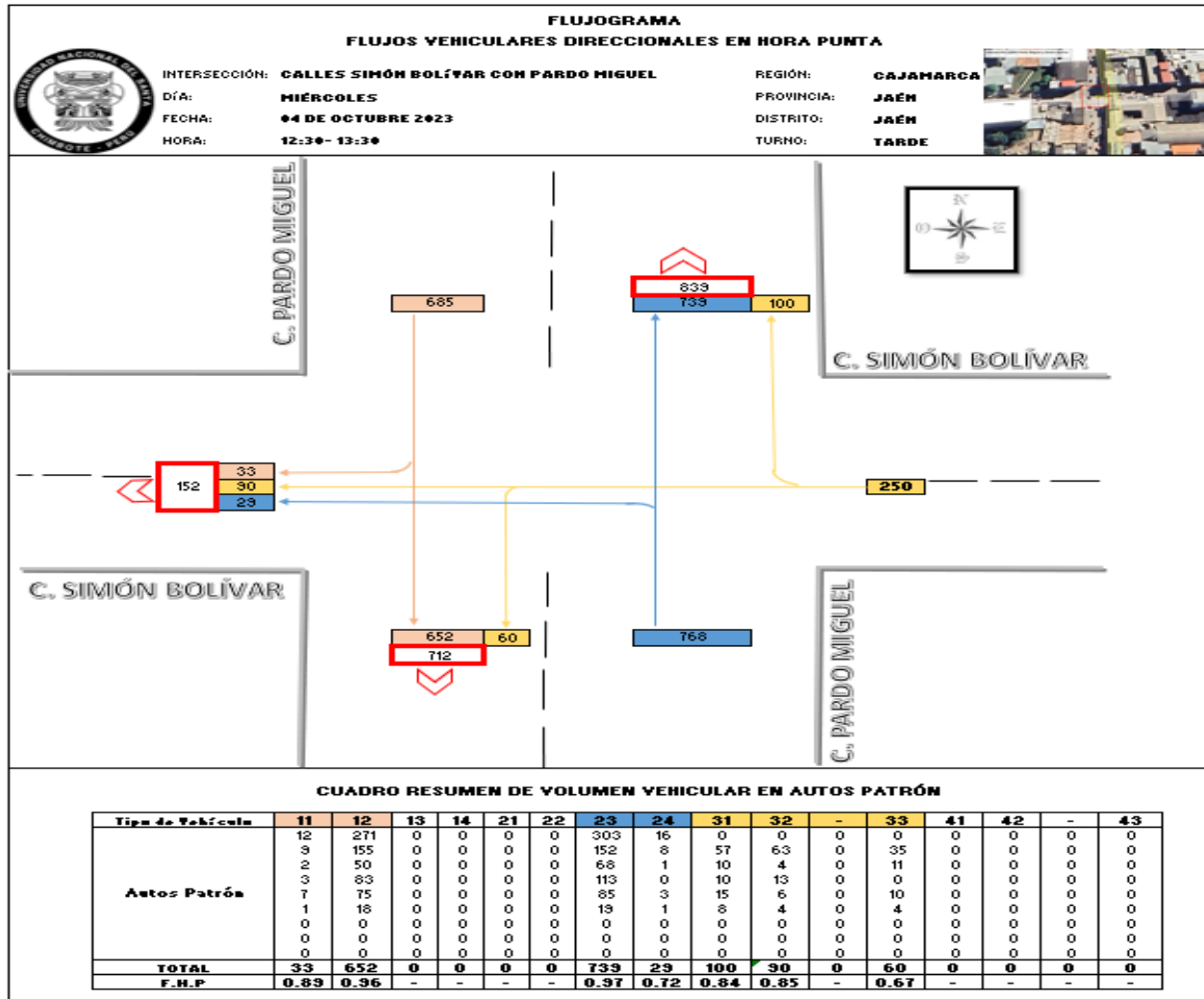
Anexo C 49. Horario punta (Lunes noche) – Flujoograma



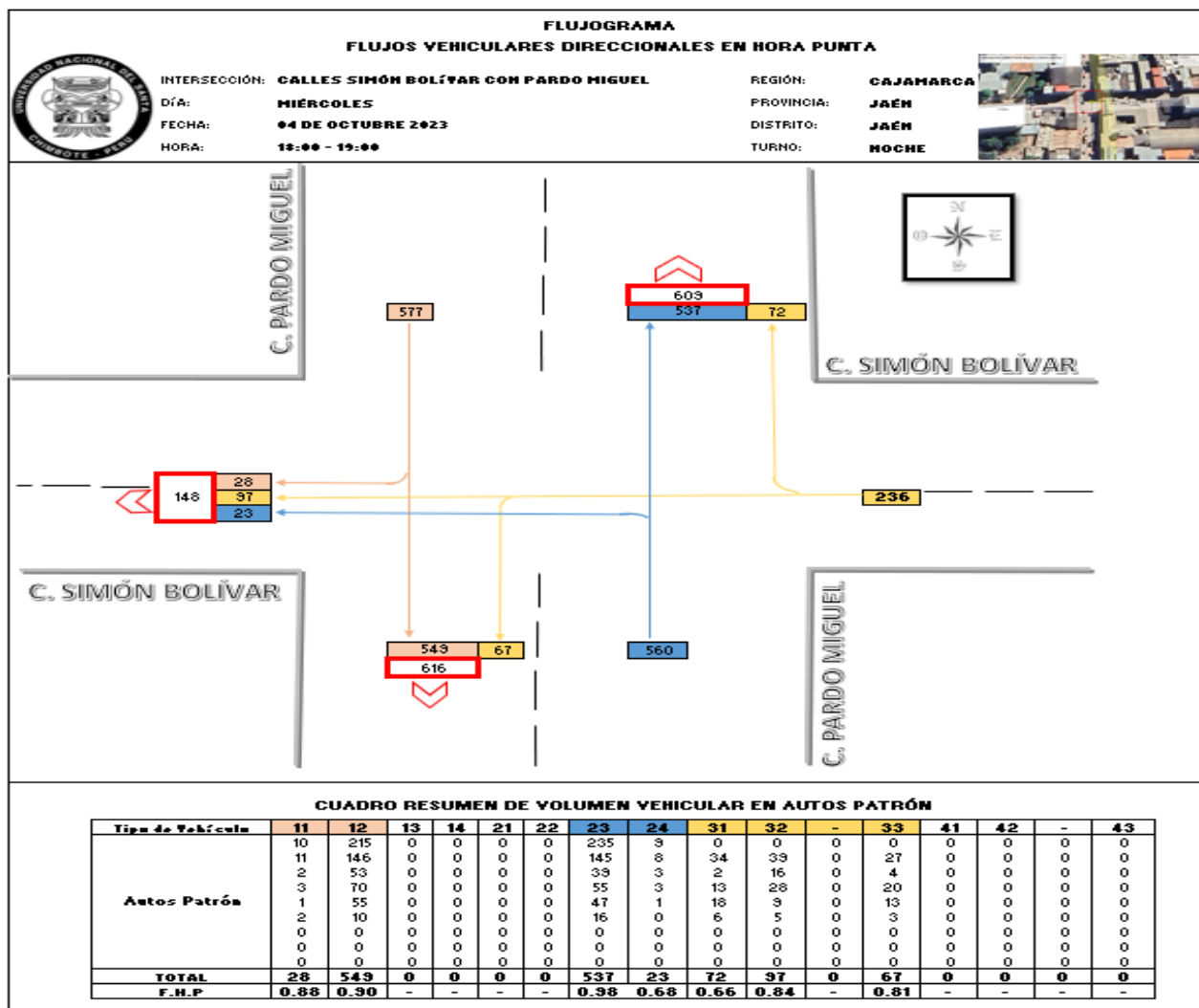
Anexo C 50. Horario punta (Miércoles mañana) – Flujograma



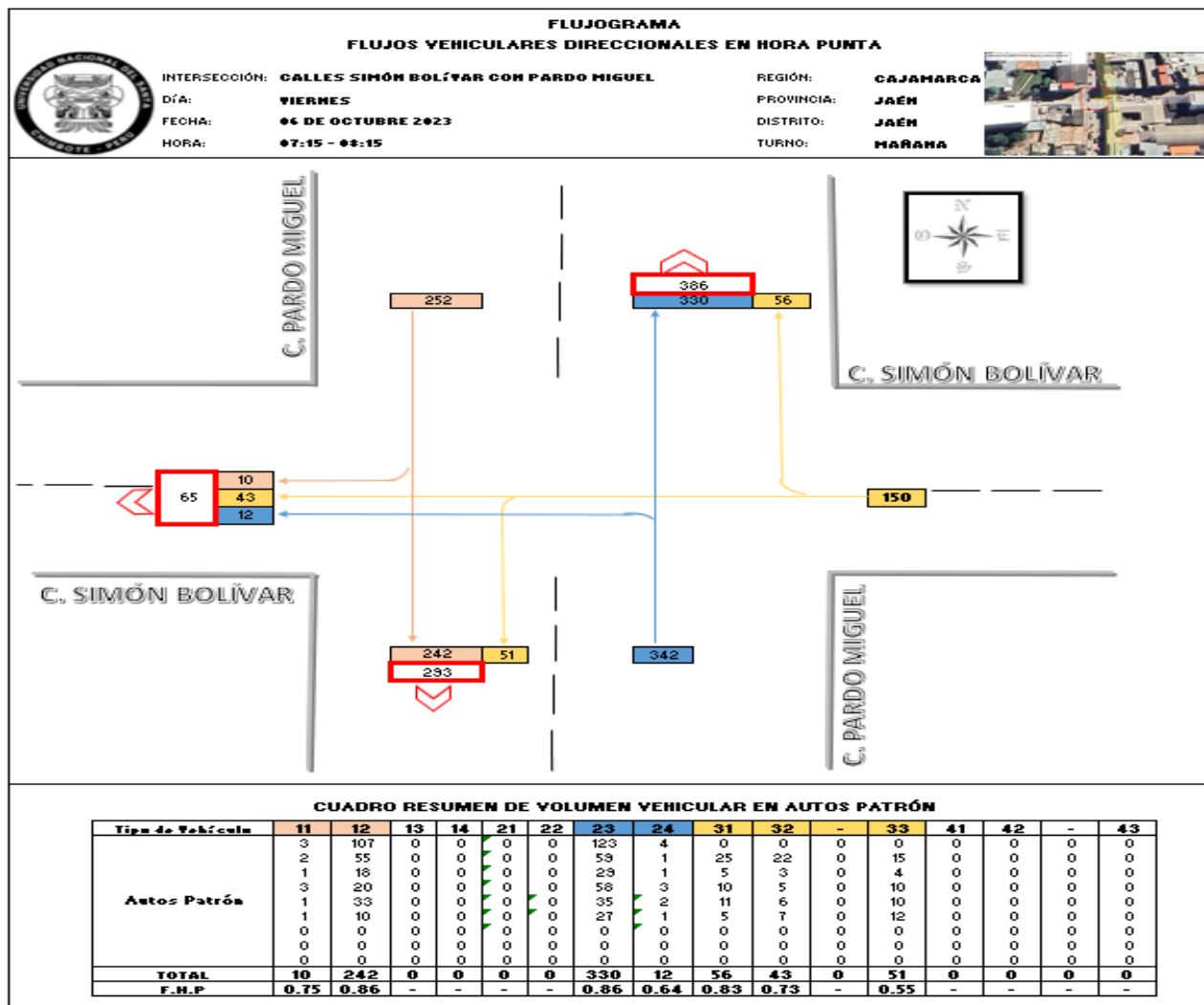
Anexo C 51. Horario punta (Miércoles tarde) – Flujoograma



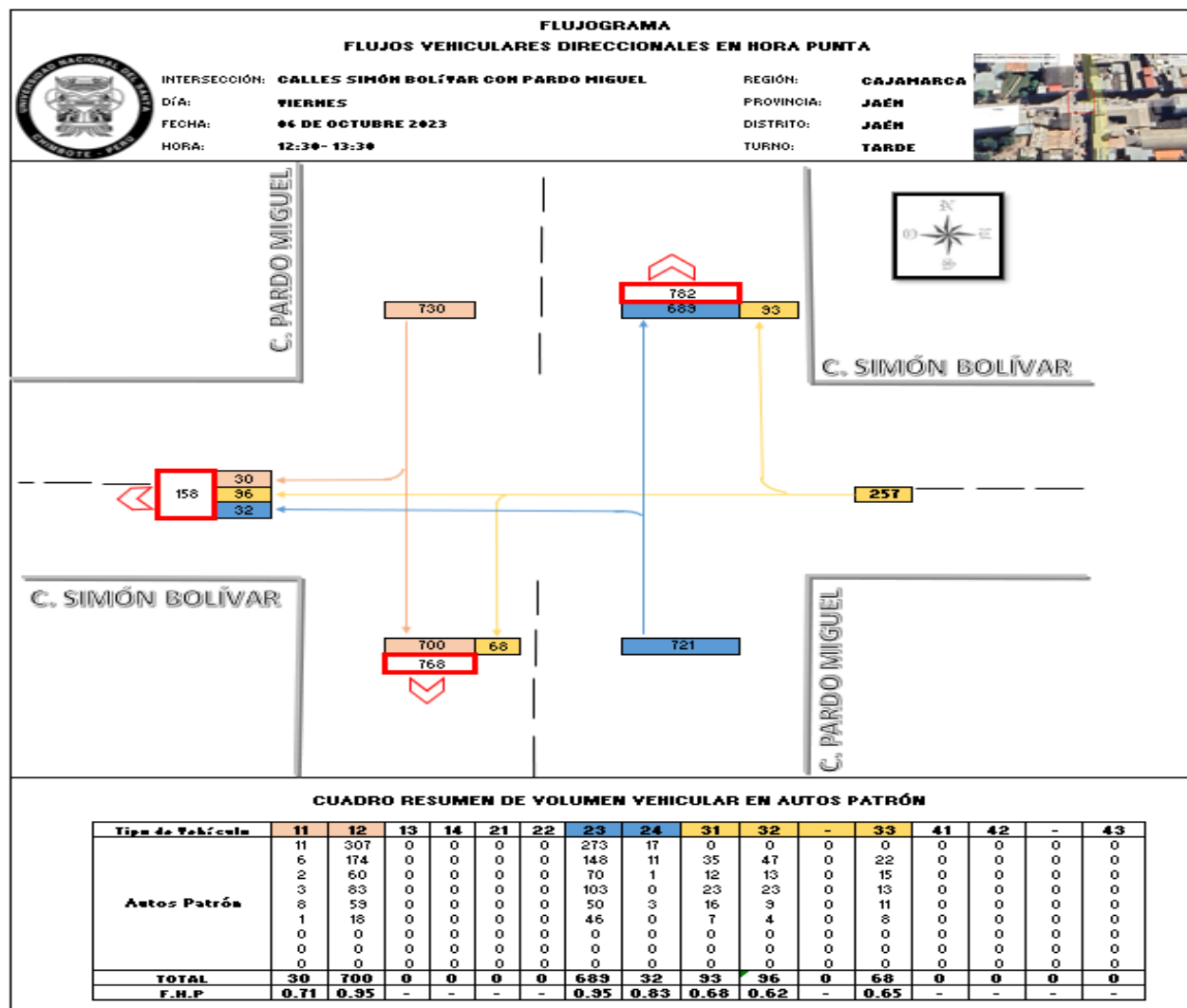
Anexo C 52. Horario punta (Miércoles noche) – Flujoograma



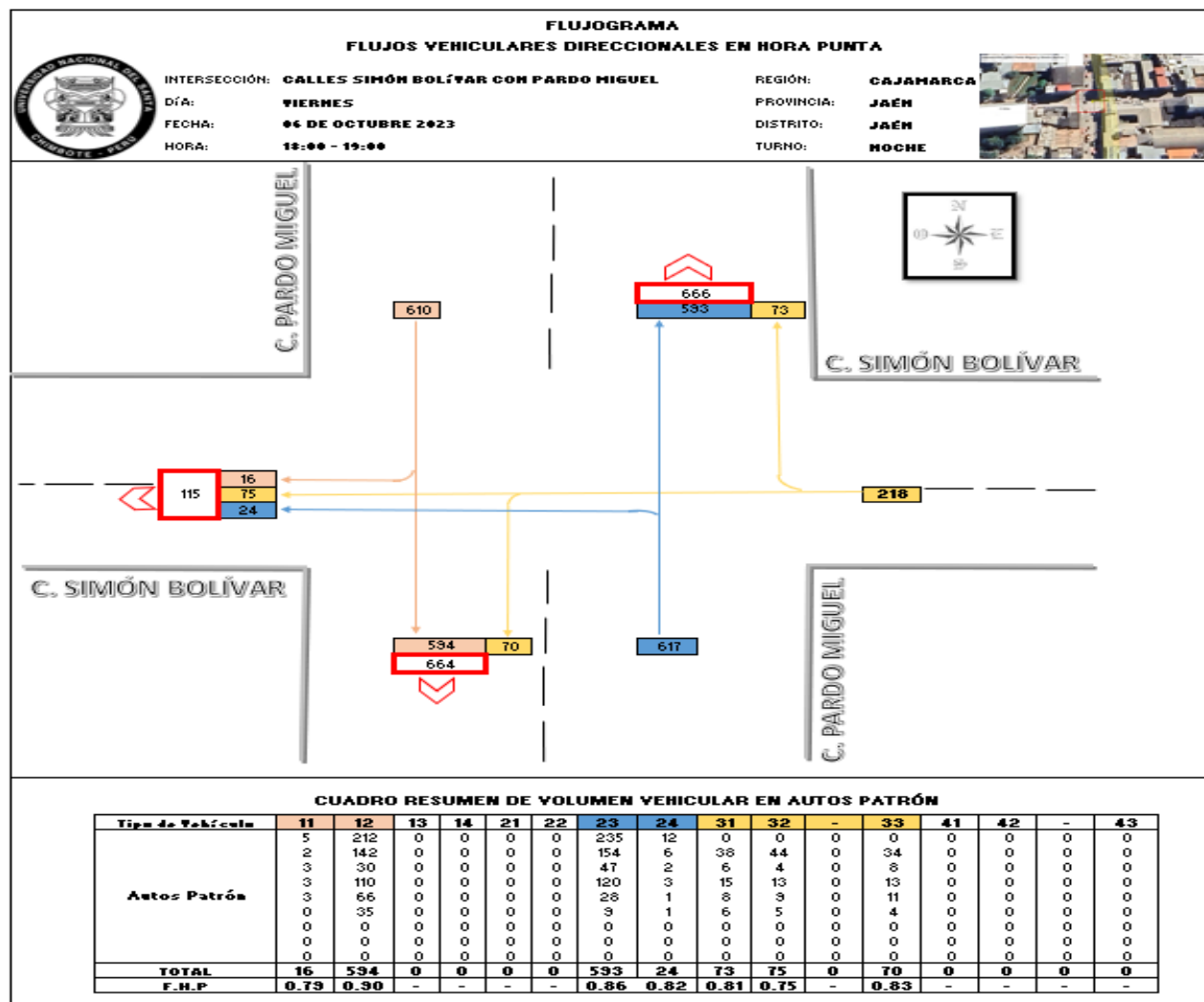
Anexo C 53. Horario punta (Viernes mañana) – Flujograma



Anexo C 54. Horario punta (Viernes tarde) – Flujoograma

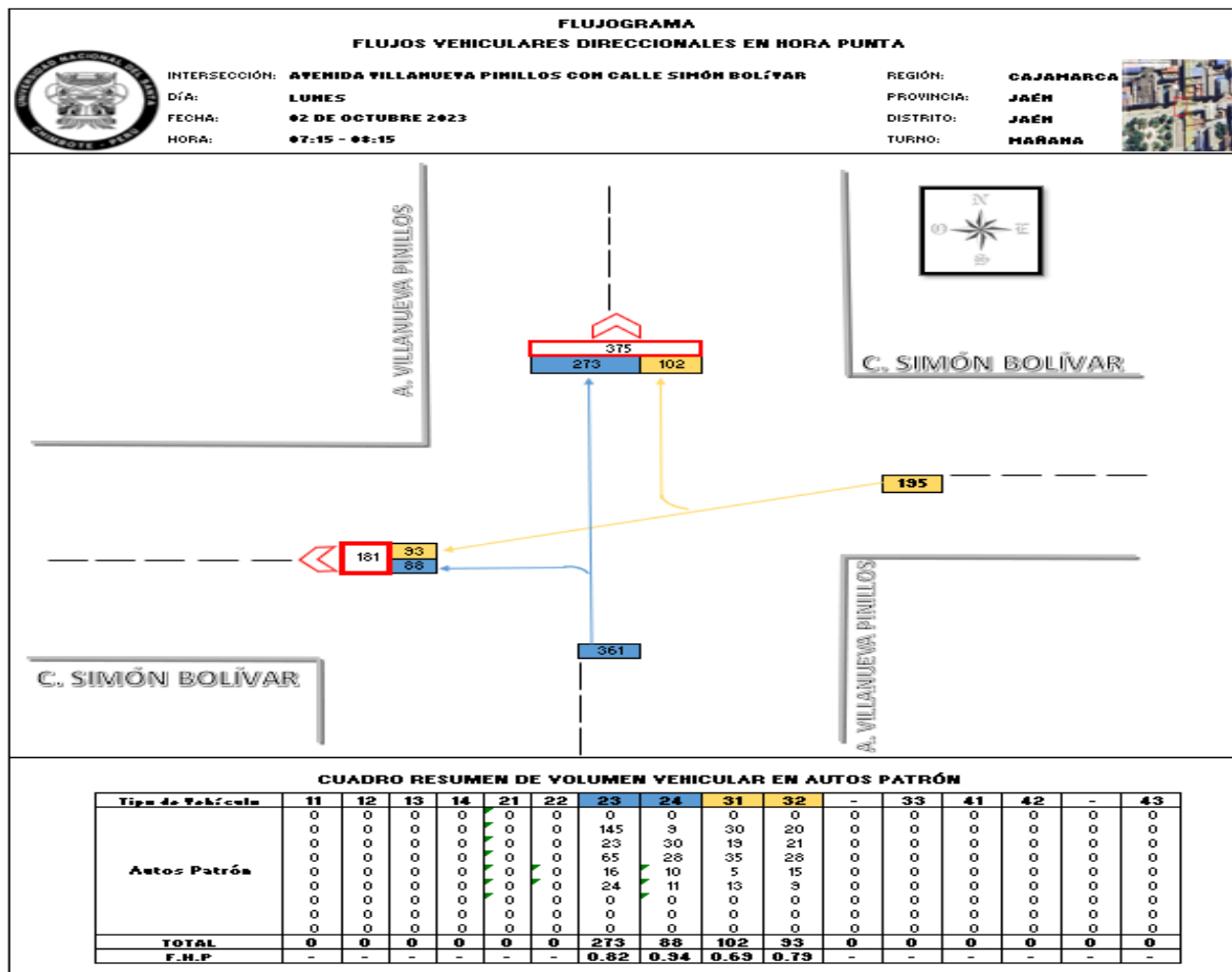


Anexo C 55. Horario punta (Viernes noche) – Flujoograma

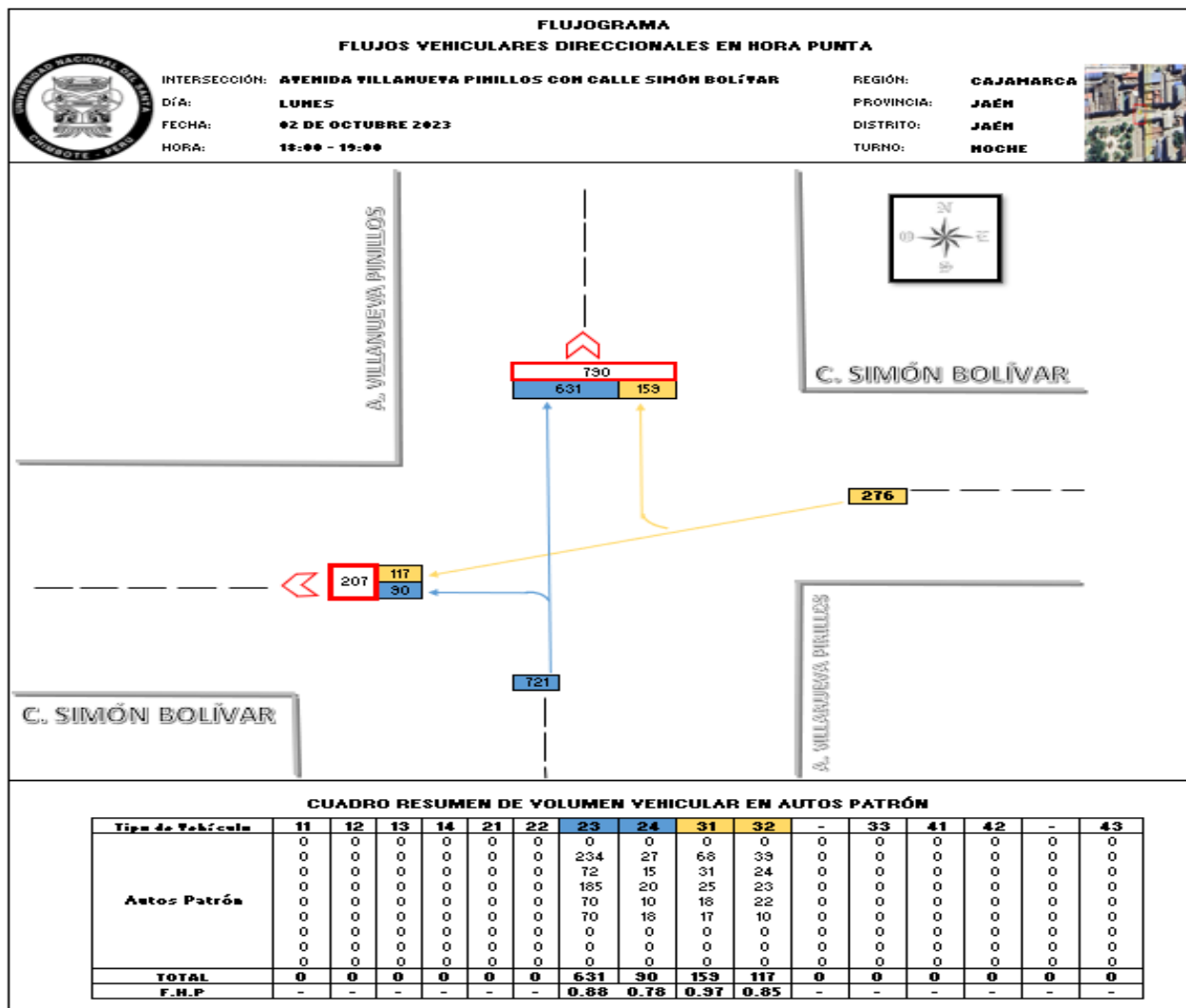


Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

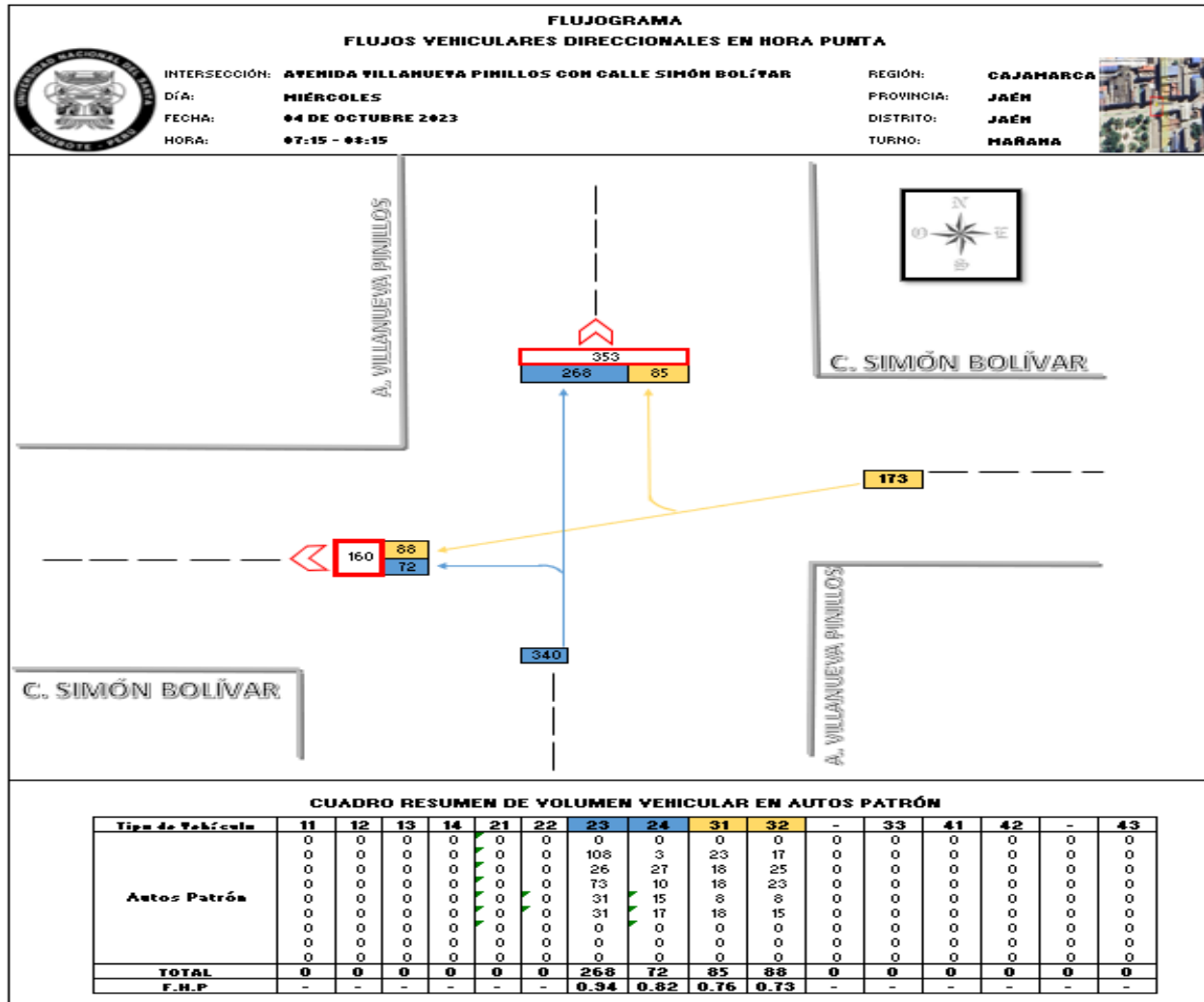
Anexo C 56. Horario punta (Lunes mañana) – Flujograma.



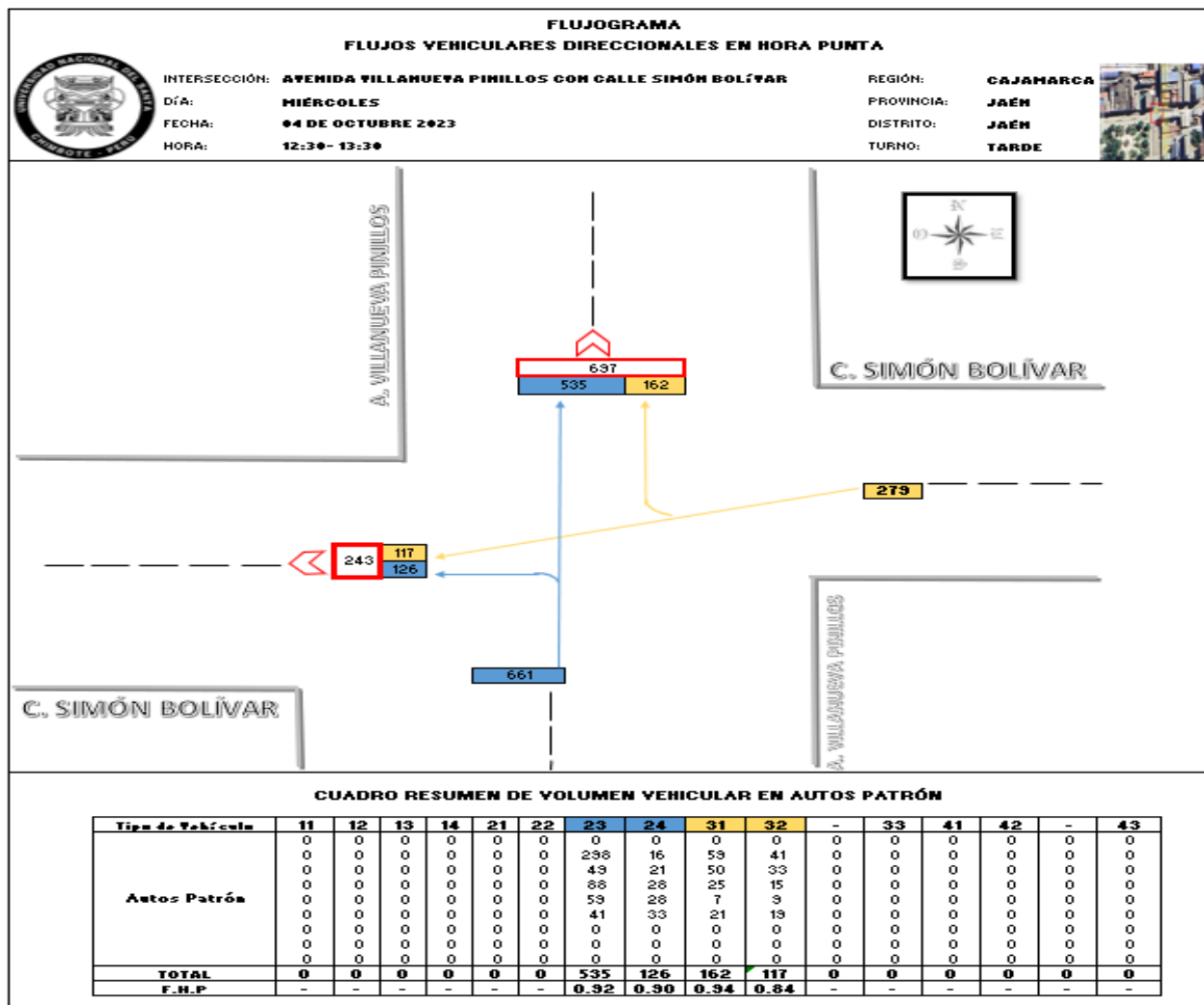
Anexo C 57. Horario punta (Lunes noche) – Flujograma.



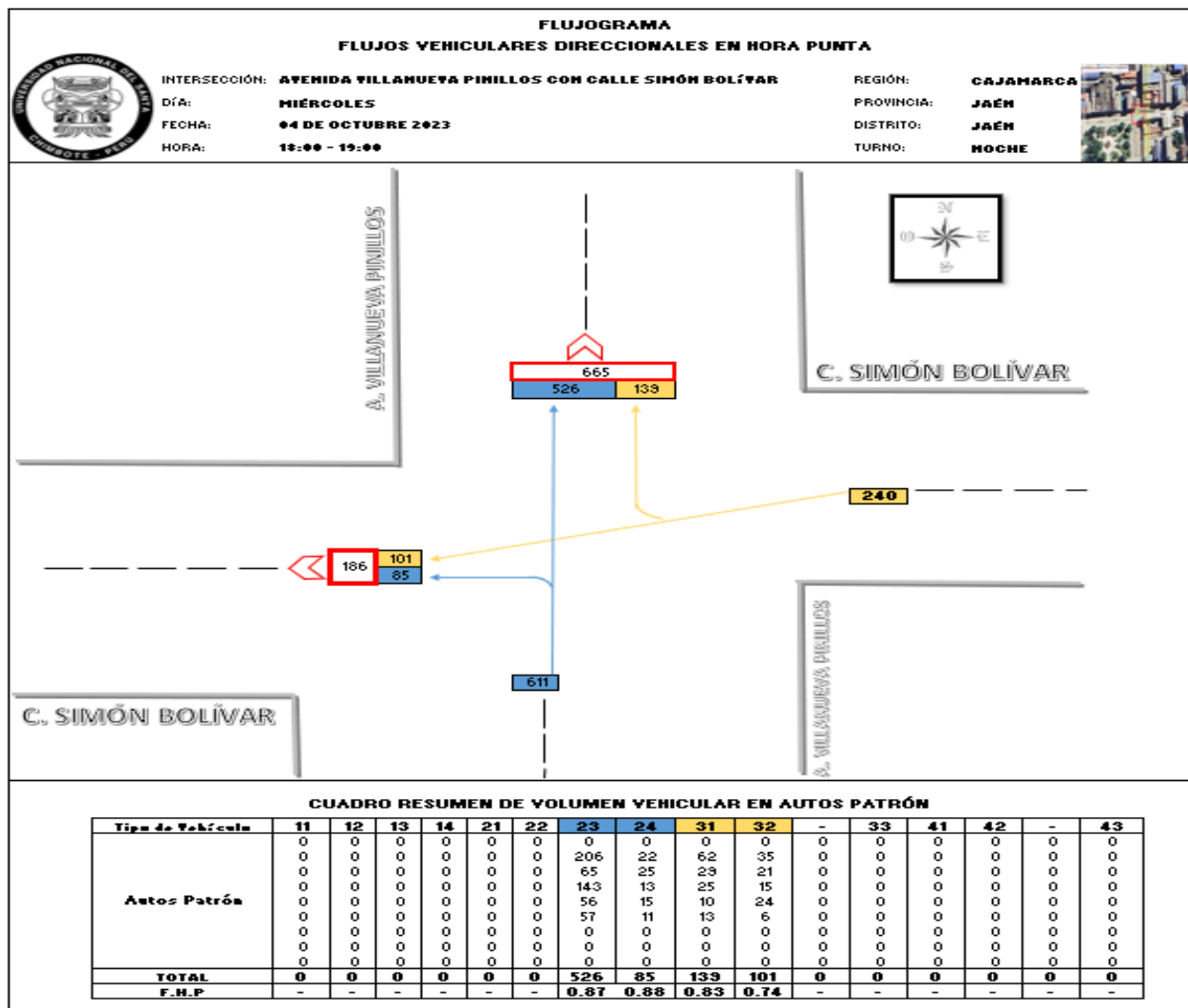
Anexo C 58. Horario punta (Miércoles mañana) – Flujograma



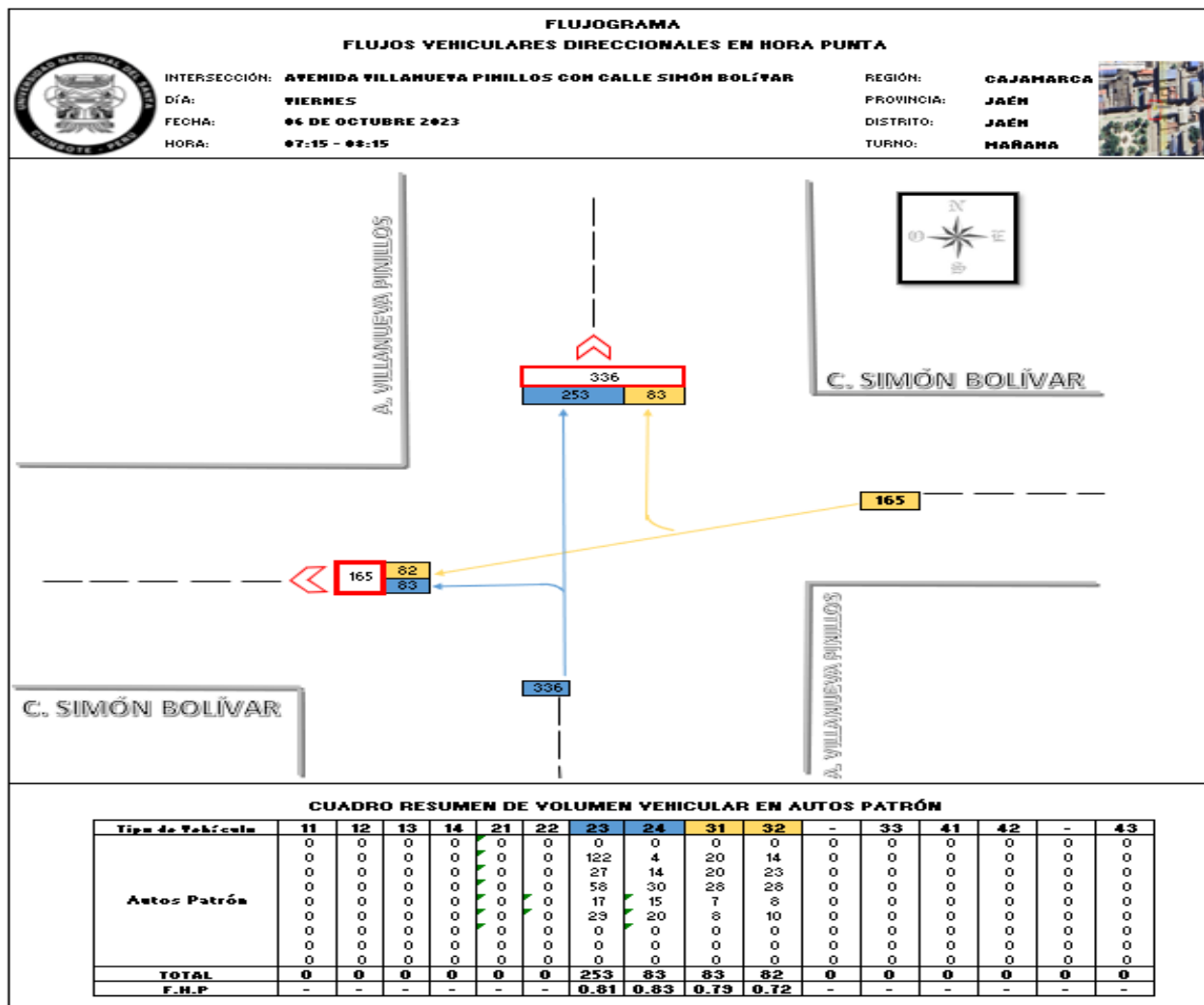
Anexo C 59. Horario punta (Miércoles tarde) – Flujoograma



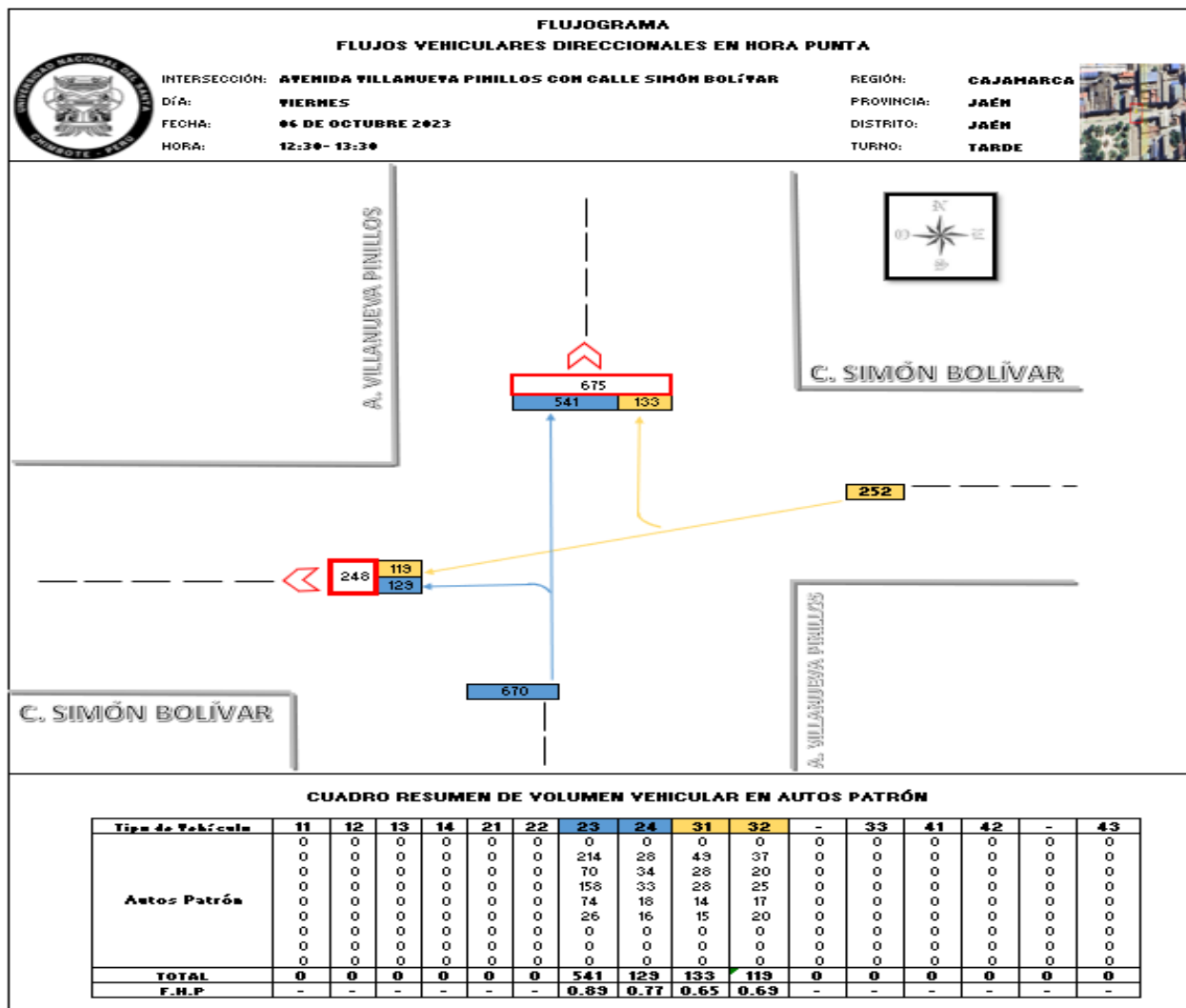
Anexo C 60. Horario punta (Miércoles noche) – Flujoograma



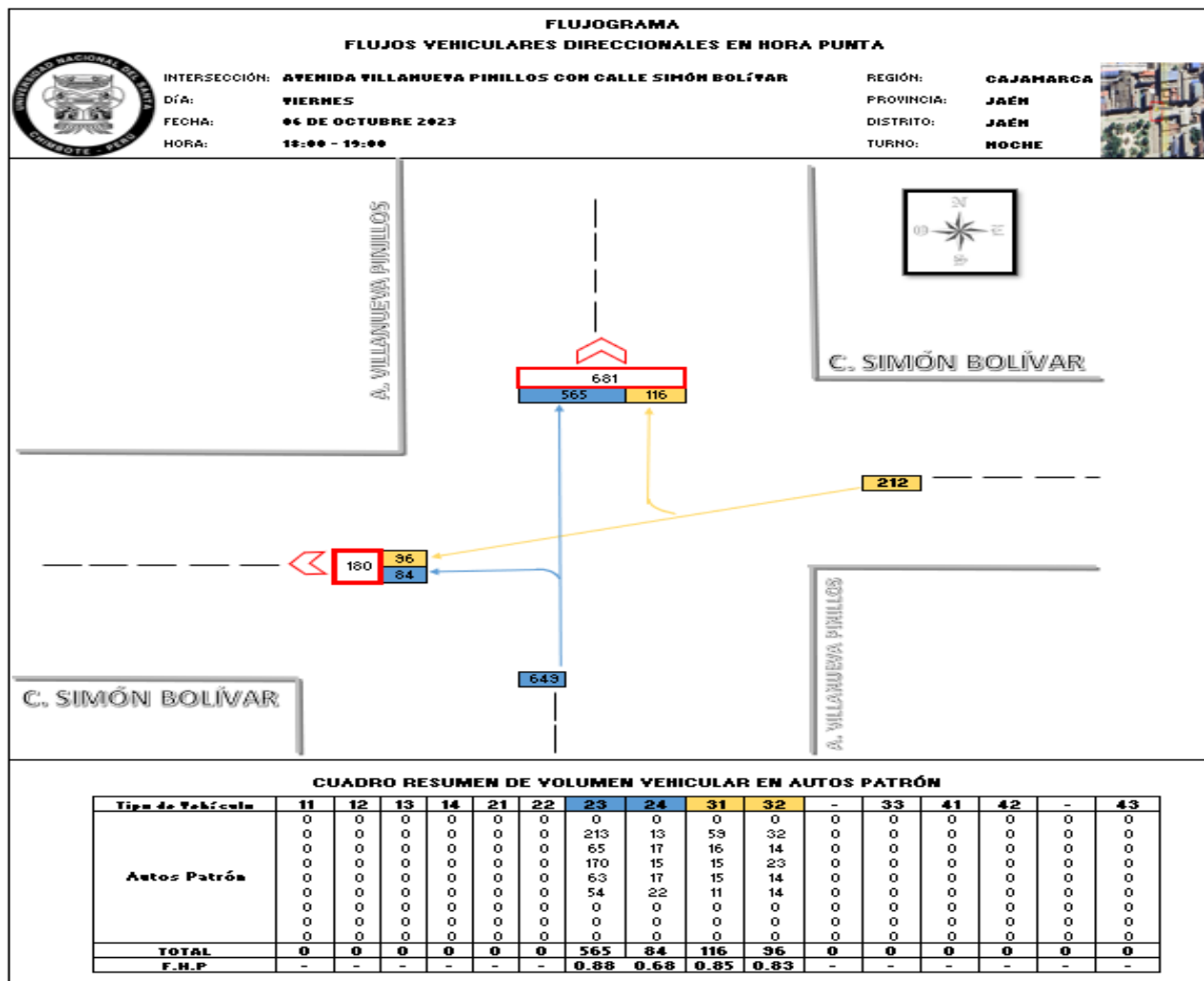
Anexo C 61. Horario punta (Viernes mañana) – Flujograma



Anexo C 62. Horario punta (Viernes tarde) – Flujoograma



Anexo C 63. Horario punta (Viernes noche) – Flujoograma





Anexo D



(Situación actual y optimizado: Demora, nivel de servicio y tiempo de ciclo óptimo)

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:

Anexo D 1. Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio (Miércoles)



DEMORA POR ACCESO O SENTIDO Y NIVEL DE SERVICIO WEBSTER Y HCM												
		INTERSECCIÓN CALLES SIMÓN BOLÍVAR CON PARDO MIGUEL					REGIÓN: CAJAMARCA					
		DÍA: MIÉRCOLES		PROVINCIA: JAÉN								
		FECHA: 04 DE OCTUBRE 2023		DISTRITO: JAÉN								
		TURNOS: MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)										
												
Ítem	Turno	Nombre de la vía	Sentido	Número de carriles (NC)	Ancho de la vía (ANV)	Saturación (ST)	Variables				Demora (DM)	Nivel de servicio
							C	Y=λ	X	Q		
1	Mañana	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.26	308	8.56	A
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.29	346	8.70	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	52	0.42	0.04	67	8.78	A
2	Tarde	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.60	712	10.40	B
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.70	839	11.15	B
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	52	0.42	0.08	152	8.96	A
3	Noche	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.52	616	9.89	A
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.51	609	9.86	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	52	0.42	0.08	148	8.95	A

Anexo D 2. Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio (Viernes)



DEMORA POR ACCESO O SENTIDO Y NIVEL DE SERVICIO WEBSTER Y HCM												
	INTERSECCIÓN:	CALLES SIMÓN BOLÍVAR CON PARDO MIGUEL				REGIÓN:	CAJAMARCA					
	DÍA:	VIERNES				PROVINCIA:	JAÉN					
	FECHA:	06 DE OCTUBRE 2023				DISTRITO:	JAÉN					
	TORNOS:	MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)										
												
Ítem	Turno	Nombre de la vía	Sentido	Número de carriles (NC)	Ancho de la vía (ANV)	Saturación (ST)	Variables				Demora (DM)	Nivel de servicio
							C	$Y=\lambda$	X	Q		
1	Mañana	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.25	293	8.50	A
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.32	386	8.86	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	52	0.42	0.03	65	8.78	A
2	Tarde	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.64	768	10.72	B
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.66	782	10.80	B
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	52	0.42	0.08	158	8.97	A
3	Noche	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.56	664	10.14	B
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	52	0.46	0.56	666	10.15	B
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	52	0.42	0.06	115	8.88	A

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:

Anexo D 3. Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio (Miércoles)



DEMORA POR ACCESO O SENTIDO Y NIVEL DE SERVICIO WEBSTER Y HCM												
	INTERSECCIÓN:	AVENIDA VILLANUEVA PINILLOS CON CALLE SIMÓN BOLÍVAR				REGIÓN:	CAJAMARCA					
	DÍA:	MIÉRCOLES				PROVINCIA:	JAÉN					
	FECHA:	04 DE OCTUBRE 2023				DISTRITO:	JAÉN					
	TURNOS:	MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)										
												
Ítem	Turno	Nombre de la vía	Sentido	Número de carriles (NC)	Ancho de la vía (ANV)	Saturación (ST)	Variables				Demora (DM)	Nivel de servicio
							C	$Y=\lambda$	X	Q		
1	Mañana	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	47	0.45	0.13	353	7.64	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	47	0.43	0.08	160	8.01	A
2	Tarde	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	47	0.45	0.26	697	8.14	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	47	0.43	0.11	243	8.15	A
3	Noche	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	47	0.45	0.25	665	8.09	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	47	0.43	0.09	186	8.05	A

Anexo D 4. Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio (Viernes)



DEMORA POR ACCESO O SENTIDO Y NIVEL DE SERVICIO WEBSTER Y HCM												
	INTERSECCIÓN:	AVENIDA VILLANUEVA PINILLOS CON CALLE SIMÓN BOLÍVAR					REGIÓN:	CAJAMARCA				
	DÍA:	VIERNES					PROVINCIA:	JAÉN				
	FECHA:	06 DE OCTUBRE 2023					DISTRITO:	JAÉN				
	TORNOS:	MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)										
												
Ítem	Turno	Nombre de la vía	Sentido	Número de carriles (NC)	Ancho de la vía (ANV)	Saturación (ST)	Variables				Demora (DM)	Nivel de servicio
							C	Y=λ	X	Q		
1	Mañana	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	47	0.45	0.13	336	7.62	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	47	0.43	0.08	165	8.02	A
2	Tarde	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	47	0.45	0.25	675	8.10	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	47	0.43	0.12	248	8.16	A
3	Noche	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	47	0.45	0.25	681	8.11	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	47	0.43	0.08	180	8.05	A

Intersección de las calles Simón Bolívar con Pardo Miguel:



Anexo D 5. Tiempo de ciclo óptimo y tiempos semafóricos por fases (Miércoles)

TIEMPO DE CICLO ÓPTIMO WEBSTER														
	INTERSECCIÓN:	CALLES SIMÓN BOLÍVAR CON PARDO MIGUEL					REGIÓN:	CAJAMARCA						
	DÍA:	MIÉRCOLES					PROVINCIA:	JAÉN						
	FECHA:	04 DE OCTUBRE 2023					DISTRITO:	JAÉN						
	TORNOS:	MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)												
Turno: Mañana														
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámba de fase(TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)	
1	13	1	1.2	15.14	0.008	0.161	0.199	6	17	11	9	3	5	
1	256	1	1	256.32	0.142									
1	289	1	1	289.21	0.161									
1	11	1	1.2	13.56	0.008									
2	57	1	1.2	68.10	0.038	0.038					2	3	12	
2	43	1	1	42.50	0.024									
2	52	1	1.2	62.40	0.035									
Turno: Tarde														
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámba de fase(TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)	
1	33	1	1.2	39.85	0.022	0.410	0.477	6	27	21	18	3	6	
1	652	1	1	651.76	0.362									
1	739	1	1	738.86	0.410									
1	29	1	1.2	34.70	0.019									
2	100	1	1.2	119.40	0.066	0.066					3	3	21	
2	90	1	1	89.75	0.050									
2	60	1	1.2	71.70	0.040									
Turno: Noche														
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámba de fase(TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)	
1	28	1	1.2	33.38	0.019	0.305	0.359	6	22	16	14	3	5	
1	549	1	1	549.08	0.305									
1	537	1	1	536.96	0.298									
1	23	1	1.2	27.70	0.015									
2	72	1	1.2	86.70	0.048	0.054					2	3	17	
2	97	1	1	96.75	0.054									
2	67	1	1.2	79.80	0.044									



Anexo D 6. Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio - optimizados (Miércoles)

DEMORA POR ACCESO O SENTIDO Y NIVEL DE SERVICIO - OPTIMIZADOS WEBSTER Y HCM												
		INTERSECCIÓN: CALLES SIMÓN BOLÍVAR CON PARDO MIGUEL				REGIÓN: CAJAMARCA						
		DÍA: MIÉRCOLES				PROVINCIA: JAÉN						
		FECHA: 04 DE OCTUBRE 2023				DISTRITO: JAÉN						
		TURNOS: MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)										
Ítem	Turno	Nombre de la vía	Sentido	Número de carriles (NC)	Ancho de la vía (ANV)	Saturación (ST)	Variables				Demora (DM)	Nivel de servicio
							C	Y=λ	X	Q		
1	Mañana	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	17	0.53	0.23	308	2.14	A
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	17	0.53	0.25	346	2.17	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	17	0.12	0.13	67	6.72	A
2	Tarde	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	27	0.67	0.41	712	2.07	A
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	27	0.67	0.49	839	2.22	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	27	0.11	0.30	152	11.04	B
3	Noche	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	22	0.64	0.37	616	1.91	A
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	22	0.64	0.37	609	1.90	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	22	0.09	0.36	148	9.39	A

Anexo D 7. Tiempo de ciclo óptimo y tiempos semafóricos por fases (Viernes)



TIEMPO DE CICLO ÓPTIMO WEBSTER													
	INTERSECCIÓN:	CALLES SIMÓN BOLÍVAR CON PARDO HIGUEL				REGIÓN:	CAJAMARCA						
	DÍA:	VIERNES				PROVINCIA:	JAÉN						
	FECHA:	04 DE OCTUBRE 2023				DISTRITO:	JAÉN						
	TURNOS:	MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)											
Turno: Mañana													
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámbra de fase (TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)
1	10	1	1.2	12.26	0.007	0.183	0.221	6	18	12	10	3	5
1	242	1	1	242.42	0.135								
1	330	1	1	330.26	0.183								
1	12	1	1.2	14.15	0.008								
2	56	1	1.2	66.90	0.037	0.037					2	3	13
2	43	1	1	42.50	0.024								
2	51	1	1.2	60.90	0.034								
Turno: Tarde													
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámbra de fase (TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)
1	30	1	1.2	36.07	0.020	0.389	0.451	6	25	19	16	3	6
1	700	1	1	700.40	0.389								
1	689	1	1	688.83	0.383								
1	32	1	1.2	38.39	0.021								
2	93	1	1.2	111.00	0.062	0.062					3	3	19
2	96	1	1	95.50	0.053								
2	68	1	1.2	81.90	0.046								
Turno: Noche													
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámbra de fase (TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)
1	16	1	1.2	18.94	0.011	0.330	0.379	6	23	17	15	3	5
1	594	1	1	594.36	0.330								
1	593	1	1	593.29	0.330								
1	24	1	1.2	29.05	0.016								
2	73	1	1.2	87.00	0.048	0.048					2	3	18
2	75	1	1	74.50	0.041								
2	70	1	1.2	83.70	0.047								

Anexo D 8. Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio - optimizados (Viernes)



DEMORA POR ACCESO O SENTIDO Y NIVEL DE SERVICIO - OPTIMIZADOS WEBSTER Y HCM												
	INTERSECCIÓN:	CALLES SIMÓN BOLÍVAR CON PARDO MIGUEL				REGIÓN:	CAJAMARCA					
	DÍA:	VIERNES				PROVINCIA:	JAÉN					
	FECHA:	06 DE OCTUBRE 2023				DISTRITO:	JAÉN					
	TURNOS:	MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)										
												
Ítem	Turno	Nombre de la vía	Sentido	Número de carriles (NC)	Ancho de la vía (ANV)	Saturación (ST)	Variables				Demora (DM)	Nivel de servicio
							C	$Y=\lambda$	X	Q		
1	Mañana	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	18	0.56	0.20	293	2.01	A
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	18	0.56	0.27	386	2.09	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	18	0.11	0.13	65	7.21	A
2	Tarde	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	25	0.64	0.46	768	2.30	A
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	25	0.64	0.47	782	2.32	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	25	0.12	0.29	158	10.03	B
3	Noche	C. Pardo Miguel	NS	2	5.06	2585.67	23	0.65	0.39	664	1.87	A
		C. Pardo Miguel	SN	2	5.06	2585.67	23	0.65	0.39	666	1.87	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	8.59	4509.75	23	0.09	0.29	115	9.83	A

Intersección de la avenida Villanueva Pinillos con calle Simón Bolívar:



Anexo D 9. Tiempo de ciclo óptimo y tiempos semafóricos por fases (Miércoles)

TIEMPO DE CICLO ÓPTIMO WEBSTER													
	INTERSECCIÓN: AVENIDA VILLANUEVA PINILLOS CON CALLE SIMÓN BOLÍVAR				REGIÓN: CAJAMARCA								
	DÍA: MIÉRCOLES		PROVINCIA: JAÉN										
	FECHA: 04 DE OCTUBRE 2023		DISTRITO: JAÉN										
	TURNOS: MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)												
Turno: Mañana													
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámbar de fase (TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)
1	268	1	1	268.00	0.149	0.149	0.205	6	18	12	9	3	6
1	72	1	1.2	86.70	0.048								
2	88	1	1	87.50	0.049	0.057							
2	85	1	1.2	101.70	0.057						3	3	12
Turno: Tarde													
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámbar de fase (TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)
1	535	1	1	534.50	0.297	0.297	0.405	6	24	18	13	3	8
1	126	1	1.2	150.90	0.084								
2	117	1	1	116.75	0.065	0.108							
2	162	1	1.2	194.40	0.108						5	3	16
Turno: Noche													
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámbar de fase (TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)
1	526	1	1	526.00	0.292	0.292	0.385	6	23	17	13	3	7
1	85	1	1.2	102.00	0.057								
2	101	1	1	100.75	0.056	0.092							
2	139	1	1.2	166.20	0.092						4	3	16



Anexo D 10. Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio - optimizados (Miércoles)

DEMORA POR ACCESO O SENTIDO Y NIVEL DE SERVICIO - OPTIMIZADOS WEBSTER Y HCM												
	INTERSECCIÓN:	AVENIDA VILLANUEVA PINILLOS CON CALLE SIMÓN BOLÍVAR					REGIÓN:	CAJAMARCA				
	DÍA:	MIÉRCOLES					PROVINCIA:	JAÉN				
	FECHA:	04 DE OCTUBRE 2023					DISTRITO:	JAÉN				
	TURNOS:	MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)										
												
Ítem	Turno	Nombre de la vía	Sentido	Número de carriles (NC)	Ancho de la vía (ANV)	Saturación (ST)	Variables				Demora (DM)	Nivel de servicio
							C	Y=λ	X	Q		
1	Mañana	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	18	0.50	0.12	353	2.39	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	18	0.17	0.19	160	6.46	A
2	Tarde	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	24	0.54	0.21	697	2.85	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	24	0.21	0.23	243	7.90	A
3	Noche	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	23	0.57	0.20	665	2.45	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	23	0.17	0.21	186	8.15	A

Anexo D 11. Tiempo de ciclo óptimo y tiempos semafóricos por fases (Viernes)

TIEMPO DE CICLO ÓPTIMO WEBSTER													
	INTERSECCIÓN:	AVENIDA VILLANUEVA PINILLOS CON CALLE SIMÓN BOLÍVAR				REGIÓN:	CAJAMARCA						
	DÍA:	VIERNES				PROVINCIA:	JAÉN						
	FECHA:	06 DE OCTUBRE 2023				DISTRITO:	JAÉN						
	TORNOS:	MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)											
Turno:		Mañana											
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámbar de fase (TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)
1	253	1	1	252.50	0.140	0.140	0.195	6	17	11	8	3	6
1	83	1	1.2	99.30	0.055								
2	82	1	1	82.00	0.046	0.055							
2	83	1	1.2	99.00	0.055								
Turno:		Tarde											
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámbar de fase (TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)
1	541	1	1	541.25	0.301	0.301	0.390	6	23	17	13	3	7
1	129	1	1.2	154.20	0.086								
2	119	1	1	118.75	0.066	0.089							
2	133	1	1.2	159.90	0.089								
Turno:		Noche											
Fase	Flujo por movimiento	Numero de carriles (NC)	Factor de equivalencia (FE)	Flujo vehicular directo (q)	Flujo saturación (Y)	Flujo de saturación Yi	Suma del flujo de saturación	Tiempo total perdido por ciclo (P)	Tiempo de ciclo óptimo (Tco)	Tiempo Total de verde (TV)	Tiempo de verde de fase (TVF)	Tiempo de ámbar de fase (TA)	Tiempo de rojo de fase (TR)
1	565	1	1	564.75	0.314	0.314	0.391	6	23	17	14	3	6
1	84	1	1.2	100.80	0.056								
2	96	1	1	96.00	0.053	0.077							
2	116	1	1.2	138.60	0.077								

Anexo D 12. Demoras por acceso o sentido y sus niveles de servicio - optimizados (Viernes)

DEMORA POR ACCESO O SENTIDO Y NIVEL DE SERVICIO - OPTIMIZADOS WEBSTER Y HCM												
	INTERSECCIÓN:	AVENIDA VILLANUEVA PINILLOS CON CALLE SIMÓN BOLÍVAR				REGIÓN:	CAJAMARCA					
	DÍA:	VIERNES				PROVINCIA:	JAÉN					
	FECHA:	06 DE OCTUBRE 2023				DISTRITO:	JAÉN					
	TURNOS:	MAÑANA (07:15 - 08:15), TARDE (12:30 - 13:30) y NOCHE (18:00 - 19:00)										
												
Ítem	Turno	Nombre de la vía	Sentido	Número de carriles (NC)	Ancho de la vía (ANV)	Saturación (ST)	Variables				Demora (DM)	Nivel de servicio
							C	$Y=\lambda$	X	Q		
1	Mañana	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	17	0.47	0.12	336	2.52	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	17	0.18	0.19	165	5.96	A
2	Tarde	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	23	0.57	0.20	675	2.45	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	23	0.17	0.29	248	8.26	A
3	Noche	A. Villanueva Pinillos	SN	1	11.40	5985.00	23	0.61	0.19	681	1.99	A
		C. Simón Bolívar	EO	1	9.52	4998.00	23	0.13	0.28	180	9.02	A