UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

**PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE
VEHICULAR EN EL ÓVALO UBICADO EN LA INTERSECCIÓN DE LA
AV. ALFREDO MENDIOLA – AV. EDUARDO DE HABICH, A TRAVÉS
DEL SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE *RAMP METER***

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR

Mariluz Cuadros, Luis Eduardo (0000-0002-9594-413X)

ASESOR

Bravo Lizano, Aldo Rafael (0000-0003-4835-795X)

Lima, 26 de febrero del 2020

DEDICATORIA

A Don Polito[†], por ser el abuelo más bueno del mundo, y a mis padres; Lucho y Carola por todo el amor, soporte y comprensión que siempre me brindan, en las buenas y también en las malas.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por sobre todas las cosas.

Con afecto, a mis familiares quienes me alientan a no rendirme y dar siempre lo mejor de mí.

De manera especial, a Milagros, por ser una mujer brillante y amorosa, quien me complementa en todos los sentidos.

RESUMEN

La congestión vehicular en Lima es caótica dada la escasa infraestructura vial y el acelerado aumento del parque automotor. En contraste, esta investigación propone implementar el sistema de semaforización inteligente, *Ramp Meter*, basado en el algoritmo *AMS-AG*, para reducir los tiempos de viaje vehicular en el óvalo Habich, ubicado en el distrito de San Martín de Porres.

La metodología propuesta consta en la recolección de datos estáticos y registro de una lista de verificaciones. Luego se procede con la toma de datos de entrada para construir el modelo, tales como; flujos, velocidades y tiempos de viaje. El primer paquete de datos es utilizado para la construcción y calibración del modelo en el *software* de microsimulación *PTV Vissim 9.0*, y el segundo para la validación del modelo.

De acuerdo con los resultados de los parámetros de performance vehicular (demora, tiempo de viaje y velocidad) y peatonal (tiempo de viaje, velocidad) de la situación actual y lista de verificaciones, se realiza la propuesta de solución. Del mismo modo, a una proyección a 15 años se estima su funcionalidad en el mediano plazo.

Se concluye que la propuesta de mejora a través de la implementación del *Ramp Meter*, basado en el algoritmo *AMS-AG*, ofrece mejoras en relación con el performance vehicular, sin embargo, pierde rendimiento a medida que incrementa el flujo vehicular. Cumple con el objetivo principal de la investigación de reducirse los tiempos de viaje vehicular. Por último, se afirma que la inversión económica que demanda es una alternativa viable y rentable.

Palabras Claves: óvalo, tiempo de viaje vehicular, *Ramp Meter*, algoritmo *AMS-AG*, microsimulación, *PTV Vissim 9.0*

PROPOSAL FOR REDUCTION OF VEHICLE TRAVEL TIMES IN THE
ROUNABOUT LOCATED ON THE INTERSECTION ALFREDO MENDIOLA AV. –
EDUARDO DE HABICH AV. THROUGH RAMP METER SINGAL CONTROL
SMART SYSTEM

ABSTRACT

Vehicle congestion in Lima is chaotic given the lack of road infrastructure and the rapid increase in the number of vehicles. In contrast, this research proposes to implement the intelligent traffic light system, Ramp Meter, based on the AMS-AG algorithm, to reduce vehicle travel times at the Habich roundabout, in San Martin de Porres district.

The proposed methodology consists of the collection of static data and registering a checklist. Then, we proceed with taking input data to build the model, such as flows, speed and travels times. The first data packet is used for the construction and calibration of the model in the PTV *Vissim* 9.0 microsimulation software, and the second one is used for model validation.

According to the results of the parameters of vehicular performance (delay, travel time and speed) and pedestrian (travel time and speed) of the current situation and checklist, the proposed solution for roundabout is made. Similarly, at a projection to 15 years its functionality is estimated in the medium term.

It is concluded that the improvement proposal through the implementation of the Ramp Meter, based on the AMS-AG algorithm, offers improvements in relation to vehicle performance, however, it loses performance as vehicle flow increases. It fulfills the main objective of the research to reduce vehicle travel times. Finally, it is stated that economic investment that it demands is viable and profitable alternative.

Keywords: roundabout, vehicle travel time, Ramp Meter, AMS-AG algorithm, microsimulation, PTV *Vissim* 9.0.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTOS	2
RESUMEN	3
ABSTRACT	4
TABLA DE CONTENIDOS	5
ÍNDICE DE TABLAS	11
ÍNDICE DE FIGURAS	15
ÍNDICE DE ECUACIONES	24
ÍNDICE DE ANEXOS	25
1 CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	26
1.1 Antecedentes.....	26
1.2 Realidad problemática	34
1.3 Formulación del problema.....	36
1.4 Hipótesis	36
1.5 Objetivo general	36
1.6 Objetivos específicos.....	36
1.7 Descripción del contenido	37
2 CAPITULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA	40
2.1 Óvalo moderno	40
2.1.1 Óvalos con flujos desbalanceados	42
2.2 Semaforización de óvalos.....	43
2.2.1 <i>Metering</i> (medición) de óvalos.....	43
2.2.2 Semáforos peatonales	45
2.2.3 Semaforización completa	45
2.3 Semáforos	46
2.3.1 Elementos que componen un semáforo	46
2.3.2 Unidad de control	51
2.3.3 Semáforo inteligente.....	52
2.3.4 Detectores inteligentes con semáforos	52
2.3.5 Sistema de transporte inteligente (ITS)	54

2.4	Comparación de metodologías de semaforización convencionales	54
2.4.1	Método lineal de Greenshields	54
2.4.2	Método de Webster.....	55
2.5	<i>Ramp Meter</i>	58
2.5.1	Medición de semáforos adaptativos basado en brechas promedio (<i>AMS-AG</i>).....	59
2.6	<i>PTV Vissim 9.0</i>	62
2.6.1	Antecedentes del <i>software</i>	62
2.6.2	Consideraciones del <i>software</i>	62
2.6.3	Componente estático	64
2.6.4	Componente dinámico.....	64
2.6.5	Infraestructura del modelo.....	65
2.6.6	<i>Links</i> y conectores	65
2.6.7	Otros elementos del modelo	66
2.6.8	Intersecciones semaforizadas	67
2.6.9	<i>Vissim COM</i> (módulo opcional).....	67
2.6.10	Python como código de programación	67
2.6.11	<i>V3DM</i> (módulo opcional).....	68
2.7	Comparación entre simuladores de tráfico	68
2.8	Microsimulación del tráfico.....	71
2.9	Fundamentos de la microsimulación vehicular	72
2.9.1	Mecanismo de actualización del sistema de transporte	72
2.9.2	Generación de vehículos.....	72
2.9.3	Representación de la aleatoriedad	72
2.9.4	Interacción vehicular	73
2.9.5	Intervalos de confianza.....	73
2.9.6	Tiempo de estabilidad (<i>warm up</i>).....	75
2.10	Modelo de seguimiento vehicular.....	76
2.10.1	Modelo de distancia segura	76
2.10.2	Modelo lineal.....	77
2.10.3	Modelo estímulo – respuesta	78
2.10.4	Modelo psico – físicos.....	80
2.10.5	Modelo de lógica difusa	82
2.10.6	Modelo de cambio de carril	83

2.11	Fundamentos de la microsimulación peatonal	84
2.11.1	Nivel estratégico	85
2.11.2	Nivel táctico.....	85
2.11.3	Nivel operacional.....	85
2.12	Modelos de microsimulación peatonal	86
2.12.1	Modelo de elección discreta	86
2.12.2	Modelo de celular automático	86
2.12.3	Modelo de la fuerza social.....	87
2.13	PTV <i>Viswalk</i> 9.0.....	88
2.13.1	Antecedentes del <i>software</i>	89
2.13.2	Consideraciones del <i>software</i>	89
2.13.3	Aplicaciones del modelo	90
2.14	Estadística inferencial para análisis de muestras	91
2.15	Inferencias acerca de dos medias: muestras independientes	91
2.15.1	Caso 1: Muestras independientes con σ_1 y σ_2 desconocidos y sin suposición de igualdad	92
2.15.2	Caso 2: Muestras independientes con σ_1 y σ_2 conocidas.....	95
2.15.3	Caso 2 alternativo: Se supone que $\sigma_1 = \sigma_2$ y se agrupan las varianzas muestrales	95
3	CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	97
3.1	Materiales y métodos.....	99
3.2	Materiales	99
3.2.1	Población	99
3.2.2	Muestra	99
3.3	Método.....	100
3.3.1	Nivel de investigación	100
3.3.2	Diseño de investigación.....	100
3.4	Recolección de información estática	101
3.5	Videograbación.....	101
3.6	Geometría del sistema	102
3.7	Listas de verificaciones	102
3.8	Procesamiento de los datos de campo	103
4	CAPÍTULO 4: RECONOCIMIENTO DE LA INTERSECCIÓN.....	105

4.1	Levantamiento geométrico de la intersección	105
4.1.1	Configuración de vías de acceso del óvalo.....	105
4.1.2	Configuración de calles y vías aledañas de la intersección	106
4.2	Determinación de la señalética de la intersección	108
4.2.1	Señalética horizontal.....	108
4.2.2	Señalética vertical.....	111
4.3	Lista de verificaciones	114
4.3.1	Accesos y entorno.....	114
4.3.2	Circulación y cruces peatonales	115
4.3.3	Circulación vehicular.....	117
4.3.4	Estacionamientos	119
4.3.5	Señalización de tránsito	119
4.4	Datos procesados de las videograbaciones	120
4.5	Aforo vehicular.....	121
4.6	Composición vehicular – Desarrollo del modelo	122
4.6.1	Acceso Sur.....	123
4.6.2	Acceso Este.....	124
4.6.3	Acceso Norte	125
4.6.4	Acceso Oeste	126
4.7	Velocidad de vehículos – Desarrollo del modelo.....	127
4.8	Aforo peatonal – Desarrollo del modelo	128
4.9	Velocidad peatonal – Desarrollo del modelo	129
4.10	Tiempos de control policial de tránsito – Desarrollo del modelo.....	130
4.11	Velocidad vehicular de acceso al óvalo – Calibración	131
4.12	Tiempo de viaje peatonal – Calibración	134
4.13	Aforo vehicular - Validación.....	137
4.14	Composición vehicular – Validación	138
4.14.1	Acceso Sur.....	138
4.14.2	Acceso Este.....	139
4.14.3	Acceso Norte	140
4.14.4	Acceso Oeste	141
4.15	Aforo peatonal - Validación	142

5	CAPÍTULO 5: CONSTRUCCIÓN DEL MODELO, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROYECTO	143
5.1	Construcción del modelo	143
5.1.1	Imagen de fondo (<i>Background</i>).....	143
5.2	Creación de vehículos atípicos en <i>Vissim 9.0</i>	144
5.2.1	Construcción de un modelo en <i>SketchUp</i>	144
5.2.2	Inclusión del vehículo en <i>Vissim 9.0</i>	145
5.2.3	Importación del vehículo a <i>V3DM</i>	146
5.2.4	Creación del vehículo en <i>Vissim 9.0</i>	149
5.2.5	Creación de vías y conectores	150
5.2.6	Creación de obstáculos	151
5.2.7	Definición de velocidades deseadas vehiculares y peatonales	151
5.2.8	Inclusión de parámetros de los vehículos atípicos.....	151
5.2.9	Composición vehicular	152
5.2.10	Ingreso de aforos vehiculares y peatonales	153
5.2.11	Solución de zonas de conflicto	154
5.2.12	Creación de vías peatonales.....	155
5.2.13	Creación de paraderos y rutas de transporte público	159
5.2.14	Creación de rampas y escaleras	161
5.2.15	Creación de señalética vertical y horizontal	164
5.2.16	Creación de semáforos.....	167
5.2.17	Creación de objetos estáticos 3D.....	171
5.3	Verificación del modelo	173
5.4	Calibración del modelo.....	173
5.4.1	Calibración vehicular.....	177
5.4.2	Calibración peatonal	180
5.5	Validación del modelo.....	183
5.5.1	Validación vehicular.....	183
5.5.2	Validación peatonal	185
6	CAPÍTULO 6: PROPUESTA DE MEJORA.....	187
6.1	Implementación del <i>Ramp Meter</i> , basado en el algoritmo <i>AMS-AG</i>	187
6.1.1	Detectores de cola.....	187
6.1.2	Detectores de flujo vehicular de llegada.....	190

6.1.3	Detectores de brechas	193
6.1.4	Codificación del algoritmo AMS-AG en <i>Python</i>	195
6.2	Implementación de semáforos	200
6.3	Eliminación de paraderos no autorizados	203
6.4	Eliminación de estacionamientos no autorizados	204
6.5	Restricción de carriles según tipo de vehículo	205
6.6	Restricción de flujo vehicular por velocidad	207
6.7	Implementación de señalética vertical.....	209
6.8	Reparación de calzadas y veredas	217
7	CAPÍTULO 7: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS	218
7.1	Evaluación de la propuesta	218
7.2	Parámetros de circulación vehicular.....	218
7.2.1	Tiempos de viaje vehicular.....	218
7.2.2	Tiempos de demora vehicular.....	228
7.3	Parámetros de circulación peatonal	230
7.4	Evaluación económica de la propuesta.....	233
7.4.1	Análisis de beneficios	235
7.4.2	Ahorro en el uso de combustible	236
7.4.3	Ahorro hora-hombre de usuarios	237
7.4.4	Análisis de Costos	238
7.4.5	Costos de inversión.....	238
7.4.6	Costos de operación y mantenimiento.....	238
7.4.7	Análisis de Beneficio – Costo	240
8	CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	242
8.1	Conclusiones.....	242
8.2	Recomendaciones	244
9	BIBLIOGRAFÍA	246
10	ANEXOS	251

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los detectores utilizados en el algoritmo AMS-AG	28
Tabla 2. Tiempos de demora promedio vehicular para el horario pico de la mañana.....	29
Tabla 3. Tiempos de demora promedio vehicular a una proyección de 15 años.....	29
Tabla 4. Longitud de cola promedio (pies) para el horario pico de la mañana	30
Tabla 5. Longitud de cola promedio (pies) para a una proyección de 15 años	30
Tabla 6. Configuración de velocidad de conducción y zonas de conflicto	31
Tabla 7. Flujo de tráfico y sus respectivas direcciones presentes en la zona de estudio.....	32
Tabla 8. Tiempos de demora promedio según los accesos del óvalo de la Plaza Vasilesky33	
Tabla 9. Diferencias entre un óvalo antiguo y óvalo moderno.....	41
Tabla 10. Cuadro comparativo entre programas de microsimulación.....	69
Tabla 11. Variables de estudio y operación de la investigación.....	101
Tabla 12. Resumen de datos de velocidad vehicular de acceso al óvalo	104
Tabla 13. Configuración de vías que componen la intersección y sus respectivas dimensiones	107
Tabla 14. Programación de vuelo del dron.....	120
Tabla 15. Tramos definidos para la evaluación de velocidad vehicular de acceso	127
Tabla 16. Configuración de los recorridos peatonales presentes en la intersección.....	129
Tabla 17. Distribución de agentes policiales de tránsito y sus respectivos puntos de control	130
Tabla 18. Tramos seleccionados y sus respectivas longitudes para fines de calibración del modelo	132
Tabla 19. Resumen de datos de velocidad vehicular de acceso al óvalo	134
Tabla 20. Tramos seleccionados y su respectiva longitud de análisis.....	135
Tabla 21. Resumen de datos de tiempos de viaje peatonal en los cruces peatonales del óvalo	137
Tabla 22. Resumen de datos de velocidad vehicular de acceso al óvalo (km/h).....	178

Tabla 23. Prueba de hipótesis de dos medias utilizando distribución “t”- student para la calibración vehicular.....	179
Tabla 24. Resumen de datos de tiempos de viaje peatonal para la calibración peatonal ..	181
Tabla 25. Prueba de hipótesis de dos medias utilizando distribución “t”- student para la calibración peatonal.....	182
Tabla 26. Resumen de datos de velocidad vehicular de acceso al óvalo para la validación vehicular	183
Tabla 27. Prueba de hipótesis de dos medias utilizando distribución “t”- student para la validación vehicular.....	184
Tabla 28. Resumen de datos de tiempos de viaje peatonal para la validación peatonal ...	185
Tabla 29. Prueba de hipótesis de dos medias utilizando distribución “t”- student para la validación peatonal	186
Tabla 30. Posición de los detectores de cola en los accesos en Vissim	188
Tabla 31. Posiciones de los detectores de flujo vehicular en los accesos en Vissim	191
Tabla 32. Ubicación y numeración de los detectores de brechas en Vissim.....	194
Tabla 33. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Sur para la condición AM	219
Tabla 34. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Este para la condición AM	219
Tabla 35. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Norte para la condición AM	220
Tabla 36. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Oeste para la condición AM	220
Tabla 37. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Sur para la condición M	221
Tabla 38. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Este para la condición M	222
Tabla 39. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Norte para la condición M	222

Tabla 40. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Oeste para la condición M	223
Tabla 41. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Sur para la condición PM.....	224
Tabla 42. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Este para la condición PM.....	225
Tabla 43. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Norte para la condición PM.....	225
Tabla 44. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Oeste para la condición PM.....	226
Tabla 45. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Sur para la condición PM (+15).....	227
Tabla 46. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Este para la condición PM (+15).....	227
Tabla 47. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Norte para la condición PM (+15).....	227
Tabla 48. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Oeste para la condición PM (+15).....	228
Tabla 49. Evaluación de propuesta de demora promedio vehicular del sistema para la condición AM.....	228
Tabla 50. Evaluación de propuesta de demora promedio vehicular del sistema para la condición M.....	229
Tabla 51. Evaluación de propuesta de demora promedio vehicular del sistema para la condición PM.....	229
Tabla 52. Evaluación de propuesta de demora promedio vehicular del sistema para la condición PM (+15).....	229
Tabla 53. Evaluación de propuesta de los parámetros de circulación peatonal del sistema para la condición AM	230
Tabla 54. Evaluación de propuesta de los parámetros de circulación peatonal del sistema para la condición M	231

Tabla 55. Evaluación de propuesta de los parámetros de circulación peatonal del sistema para la condición PM.....	231
Tabla 56. Evaluación de propuesta de los parámetros de circulación peatonal del sistema para la condición PM (+15).....	231
Tabla 57. Evaluación de vulnerabilidad de peatones con discapacidad física en el modelo	233
Tabla 58. Costo total que requiere la implementación de la propuesta de mejora	233
Tabla 59. Componente 2.00 del presupuesto total del proyecto.....	235
Tabla 60. Componente 3.00 del presupuesto total del proyecto.....	235
Tabla 61. Tiempo de ahorro promedio tras implementarse la propuesta de mejora	236
Tabla 62. Análisis de ahorro de combustible en el sistema.....	236
Tabla 63. Análisis de ahorro hora-hombre en el sistema	237
Tabla 64. Costos de operación y mantenimiento a generarse sin la implementación de la propuesta de mejora.....	239
Tabla 65. Costos de operación y mantenimiento a generarse tras implementarse la propuesta de mejora	239
Tabla 66. Análisis de Beneficio – Costo tras la implementación de la propuesta de mejora	240
Tabla 67. Escenarios analizados según diferentes tasas de actualización	241

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista aérea del óvalo Tallmadge	26
Figura 2. Principales generadores de viaje en el óvalo Tallmadge	27
Figura 3. Rutas vehiculares a través del óvalo Tallmadge	27
Figura 4. Configuración de detectores según el algoritmo AMS-AG	28
Figura 5. Configuración del óvalo de la Plaza <i>Vasilevsky</i>	31
Figura 6. Población de Lima al año 2017 y composición poblacional según distritos.....	35
Figura 7. Configuración de un óvalo moderno.....	40
Figura 8. Vista aérea del óvalo de Clearwater	44
Figura 9. Configuración de semáforos en el óvalo Clearwater	45
Figura 10. Tipos de semáforo: tipo poste y ménsula.....	47
Figura 11. Configuración de cabeza de semáforos.....	47
Figura 12. Ejemplo de una cara de semáforo	48
Figura 13. Ángulos de colocación de la cara de un semáforo	49
Figura 14. Vista lateral de la visera de un semáforo	50
Figura 15. Ejemplo de un tipo de unidad de control de semáforo.....	52
Figura 16. Ejemplo de ubicación transversal de presión de detectores de tránsito.	53
Figura 17. Configuración de detectores para el funcionamiento del Ramp Meter.....	59
Figura 18. Algoritmo AMS-AG para el funcionamiento del Ramp Meter	61
Figura 19. Modelo de seguimiento vehicular Wiedemann 74.....	63
Figura 20. Modelo de cambio de carril.....	64
Figura 21. Ejemplo de configuración de links y conectores en Vissim 9.0	66
Figura 22. Nomenclatura de calificación de la Tabla 10.....	69
Figura 23. Estados del modelo Wiedemann	82
Figura 24. Alternativas de decisión para el cambio de carril	83
Figura 25. Niveles en el comportamiento del peatón	84
Figura 26. Proceso de comportamiento de peatones mediante el modelo de fuerza social. 88	

Figura 27. Ejemplo del comportamiento peatonal basado en el modelo de la fuerza social	90
Figura 28. Gráfica de distribución “ <i>t</i> ”- <i>student</i>	94
Figura 29. Metodología para la elaboración del modelo microscópico del proyecto.....	98
Figura 30. Ubicación del punto de filmación y vista aérea de la intersección tomada con un Dron	102
Figura 31. Materiales empleados para el registro de datos.....	103
Figura 32. Configuración de vías y acceso de la intersección.....	105
Figura 33. Configuración de calles y vías aledañas de la intersección.....	106
Figura 34. Plano de intersección a nivel de detalle de señaléticas	108
Figura 35. Conjunto de señaléticas horizontales tomadas del plano de intersección	109
Figura 36. Estado de la situación actual de la señalética horizontal en la intersección.....	109
Figura 37. Estado de la situación actual de la señalética horizontal en la intersección.....	110
Figura 38. Estado de la situación actual de la señalética horizontal en la intersección.....	110
Figura 39. Conjunto de señaléticas verticales tomadas del plano de intersección	111
Figura 40. Estado actual de la señalización vertical en la intersección.....	113
Figura 41. Condiciones presentes en accesos y entorno de la intersección.....	114
Figura 42. Condiciones presentes en accesos y entorno de la intersección.....	114
Figura 43. Condiciones presentes en accesos y entorno de la intersección.....	115
Figura 44. Condiciones presentes en circulación y cruces peatonales	115
Figura 45. Condiciones presentes en circulación y cruces peatonales	116
Figura 46. Condiciones presentes en circulación y cruces peatonales	116
Figura 47. Condiciones presentes en circulación y cruces peatonales	117
Figura 48. Condiciones presentes en cuanto a circulación vehicular	117
Figura 49. Condiciones presentes en cuanto a circulación vehicular	118
Figura 50. Condiciones presentes en cuanto a circulación vehicular	118
Figura 51. Condiciones presentes en cuanto a estacionamientos	119
Figura 52. Condiciones presentes en cuanto la señalización de tránsito	119

Figura 53. Evaluación de entorno y accesos según la lista de verificaciones	120
Figura 54. Tipos de vehículos que circulan a través de la intersección.....	121
Figura 55. Rutas vehiculares según acceso	122
Figura 56. Composición vehicular en el acceso Sur.....	123
Figura 57. Composición vehicular por ruta en el acceso Sur	123
Figura 58. Composición vehicular en el acceso Este	124
Figura 59. Composición vehicular por ruta en el acceso Este.....	124
Figura 60. Composición vehicular en el acceso Norte	125
Figura 61. Composición vehicular por ruta en el acceso Norte	125
Figura 62. Composición vehicular en el acceso Oeste	126
Figura 63. Composición vehicular por ruta en el acceso Oeste	126
Figura 64. Velocidad deseada según tipo de vehículo en la zona de estudio	128
Figura 65. Mapa de ubicación de los recorridos peatonales.....	129
Figura 66. Velocidad deseada peatonal en la zona de estudio.....	130
Figura 67. Ciclo semafórico generado a partir de los tiempos promedios asignados por los agentes policiales.....	131
Figura 68. Longitud evaluada en el acceso Sur	132
Figura 69. Longitud evaluada en el acceso Este.....	133
Figura 70. Longitud evaluada en el acceso Norte	133
Figura 71. Longitud evaluada en el acceso Oeste	133
Figura 72. Longitud evaluada en el crucero peatonal Sur	135
Figura 73. Longitud evaluada en el crucero peatonal Este.....	135
Figura 74. Longitud evaluada en el crucero peatonal Norte.....	136
Figura 75. Longitud evaluada en el crucero peatonal Oeste.....	136
Figura 76. Flujograma vehicular de los accesos del óvalo para la validación del modelo	138
Figura 77. Composición vehicular en el acceso Sur.....	138
Figura 78. Composición vehicular por ruta en el acceso Sur	139

Figura 79. Composición vehicular en el acceso Este	139
Figura 80. Composición vehicular por ruta en el acceso Este.....	140
Figura 81. Composición vehicular en el acceso Norte	140
Figura 82. Composición vehicular por ruta en el acceso Norte	141
Figura 83. Composición vehicular en el acceso Oeste	141
Figura 84. Composición vehicular por ruta en el acceso Oeste	142
Figura 85. Flujograma peatonal para la validación del modelo	142
Figura 86. Zona de estudio analizada mediante mapa georreferenciado del programa	144
Figura 87. Modelo base de una coaster	145
Figura 88. Modelo modificado de una coaster	145
Figura 89. Procedimiento para configurar las propiedades de un vehículo en V3DM	146
Figura 90. Procedimiento para configurar las propiedades de un vehículo en V3DM	147
Figura 91. Procedimiento para configurar las propiedades de un vehículo en V3DM	148
Figura 92. Procedimiento para exportar un vehículo generado en V3DM.....	148
Figura 93. Tipos de vehículos generados en el programa V3DM.....	149
Figura 94. Procedimiento para crear un nuevo vehículo en Vissim.....	149
Figura 95. Configuración de propiedades de velocidad de los vehículos en Vissim	150
Figura 96. Configuración de propiedades de velocidad de los vehículos en Vissim	150
Figura 97. Gráfica de distribución de velocidad deseada de un vehículo tipo coaster.....	152
Figura 98. Procedimiento para ingresar las composiciones vehiculares relativas en Vissim	153
Figura 99. Procedimiento para ingresar los aforos vehiculares en Vissim.....	153
Figura 100. Procedimiento para ingresar los aforos peatonales en Vissim.....	154
Figura 101. Configuración de las zonas de conflicto en Vissim	154
Figura 102. Procedimiento para la creación de vías peatonales en <i>Vissim</i>	155
Figura 103. Procedimiento para la crear vías peatonales mediante el uso de la herramienta Links en Vissim.....	155

Figura 104. Procedimiento para crear vías peatonales mediante el uso de la herramienta Links en Vissim.....	156
Figura 105. Procedimiento para crear de vías peatonales mediante el uso de la herramienta Links en Vissim.....	156
Figura 106. Crucero peatonal este creado mediante uso de la herramienta Links en Vissim	157
Figura 107. Procedimiento para la creación de crucero peatonal mediante la herramienta Areas en Vissim.....	157
Figura 108. Procedimiento para la creación de crucero peatonal mediante la herramienta Areas en Vissim.....	158
Figura 109. Crucero peatonal este creado mediante la herramienta Areas en Vissim	158
Figura 110. Procedimiento para la creación de paraderos de transporte público en Vissim	159
Figura 111. Procedimiento para la creación de rutas de transporte público en Vissim.....	160
Figura 112. Procedimiento para la configuración de buses de transporte público en Vissim	160
Figura 113. Procedimiento para la creación de rampas mediante el uso de Links en Vissim	162
Figura 114. Creación del puente peatonal Trompeta en Vissim.....	162
Figura 115. Creación del puente peatonal Honorio Delgado en Vissim	162
Figura 116. Creación del intercambio elevado Panamericana Norte – Habich en Vissim	163
Figura 117. Procedimiento para la creación de escaleras en Vissim.....	164
Figura 118. Procedimiento para la creación de escaleras en Vissim.....	164
Figura 119. Procedimiento para la creación de señalética vertical en Vissim	165
Figura 120. Señalética vertical creada en Vissim.....	165
Figura 121. Procedimiento para la creación de señalética horizontal en Vissim	166
Figura 122. Crucero peatonal tipo cebra creado en Vissim.....	166
Figura 123. Flecha de giro permitido creado en Vissim.....	167

Figura 124. Líneas divisorias entre carriles creado en Vissim	167
Figura 125. Procedimiento para la creación de semáforos en Vissim.....	168
Figura 126. Semáforo de luz ámbar intermitente creado en Vissim	168
Figura 127. Procedimiento para la creación del ciclo semafórico en Vissim.....	169
Figura 128. Ubicación de los agentes policiales de tránsito en Vissim.....	170
Figura 129. Ciclos de control policial de tránsito creados en Vissim	170
Figura 130. Procedimiento para compatibilizar el ciclo semafórico y la estructura de semáforo en Vissim	171
Figura 131. Objetos 3D más representativos creados en Vissim	172
Figura 132. Circulación vehicular tras iniciar la simulación.....	172
Figura 133. Aspecto de la situación peatonal tras iniciar la simulación.....	173
Figura 134. Tramos seleccionados para evaluar las velocidades vehiculares de acceso al óvalo en <i>Vissim</i>	174
Figura 135. Crucero peatonal Sur seleccionado para evaluar los tiempos de viaje peatonal en Vissim.....	174
Figura 136. Procedimiento para configuración de parámetros de la simulación en Vissim	175
Figura 137. Configuración de parámetros vehiculares en <i>Vissim</i>	176
Figura 138. Configuración de parámetros peatonales en Vissim	176
Figura 139. Procedimiento para visualizar los resultados de la simulación en Vissim.....	177
Figura 140. Procedimiento para configurar los detectores de cola en Vissim	187
Figura 141. Procedimiento para visualizar los resultados de longitud de cola en Vissim	188
Figura 142. Ubicación de los detectores de cola en el modelo de Vissim	189
Figura 143. Procedimiento para configurar los detectores de flujo vehicular en Vissim..	190
Figura 144. Procedimiento para visualizar los resultados de conteo de flujos vehiculares en Vissim.....	191
Figura 145. Ubicación de los detectores de flujo vehicular en el modelo en Vissim.....	192
Figura 146. Procedimiento para configurar los detectores de brechas en Vissim.....	193

Figura 147. Procedimiento para configurar las propiedades de un detector de brecha en Vissim.....	194
Figura 148. Ubicación de los detectores de brechas en el modelo Vissim.....	195
Figura 149. Adaptación del algoritmo AMS-AG	196
Figura 150. Procedimiento para abrir un archivo en el programa Python.....	197
Figura 151. Función para leer colas en los accesos de la programación en Python.....	197
Figura 152. Función para determinar el flujo de llegada en los accesos de la programación en Python	197
Figura 153. Función para determinar cuál acceso registra cola de la programación en Python	197
Figura 154. Función para determinar el acceso de control y el acceso de medición en Python	198
Figura 155. Función para determinar la brecha promedio frente al acceso de control en Python.....	199
Figura 156. Función para encender el segundo semáforo de medición en Python	199
Figura 157. Función para verificar las colas en los accesos medidos en Python	199
Figura 158. Ubicación de semáforos en el modelo <i>Vissim</i>	200
Figura 159. Ubicación de semáforos peatonales en el modelo Vissim	201
Figura 160. Ubicación de semáforos de luz ámbar intermitente en los giros en “U” y punto de convergencia en el modelo Vissim	202
Figura 161. Propuesta de eliminación del paradero no autorizado “Honorio Delgado” en el modelo Vissim.....	203
Figura 162. Propuesta de eliminación del paradero no autorizado “Trompeta” en el modelo Vissim.....	203
Figura 163. Propuesta de eliminación del paradero no autorizado “Acceso Este” en el modelo Vissim.....	204
Figura 164. Propuesta de eliminación de estacionamientos no autorizados Av. E. Habich (Oeste – Este) en el modelo Vissim	204

Figura 165. Propuesta de eliminación de estacionamientos no autorizados Av. E. de Habich (Este – Oeste) en el modelo Vissim	205
Figura 166. Propuesta de restricción de carriles según tipo de vehículo sobre el intercambio elevado Panamericana Norte - Habich	206
Figura 167. Propuesta de señalética vertical dada la restricción de carriles según tipos de vehículos.....	207
Figura 168. Implementación del sensor de velocidad en el modelo Vissim	208
Figura 169. Funcionamiento del sensor de velocidad aplicado en el punto de convergencia	209
Figura 170. Señalética vertical adecuada para la implementación de semáforos.....	209
Figura 171. Señal P-55	210
Figura 172. Señal P-3	210
Figura 173. Señalética vertical adecuada para la eliminación de paraderos no autorizados	211
Figura 174. Señal I-6	211
Figura 175. Señal R-44.....	212
Figura 176. Señalética vertical adecuada para la propuesta de restricción de flujo vehicular por velocidad	212
Figura 177. Señal R-30.....	213
Figura 178. Señal I-4A	213
Figura 179. Señalética vertical adecuada para la propuesta de eliminación de estacionamiento no autorizados.....	214
Figura 180. Señal R-27.....	214
Figura 181. Señal R-27A.....	215
Figura 182. Señal R-28.....	215
Figura 183. Señalética vertical adecuada para la propuesta de restricción de carriles según tipo de vehículo	216
Figura 184. Señal R-23.....	216

Figura 185. Señal R-55B	217
Figura 186. Componente 1.00 del presupuesto total del proyecto	234

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Método lineal de Greenshields	55
Ecuación 2. Ecuación para calcular el ciclo óptimo según el método de Webster.....	55
Ecuación 3. Ecuación para calcular el tiempo efectivo de luz verde según el método de Webster.....	56
Ecuación 4. Ecuación para calcular la demora mínima según el método de Webster	57
Ecuación 5. Ecuación para calcular la demora promedio por ciclo según el método de Webster.....	57
Ecuación 6. Cálculo para obtener la desviación estándar de una muestra	74
Ecuación 7. Cálculo para el número mínimo de corridas.....	75
Ecuación 8. Aplicación del modelo de distancia segura	76
Ecuación 9. Aplicación del modelo lineal	77
Ecuación 10. Aplicación del modelo estímulo-respuesta.....	78
Ecuación 11. Aplicación del modelo estímulo-respuesta.....	79
Ecuación 12. Cálculo del estadístico de prueba “t” con σ_1 y σ_2 desconocidos.	92
Ecuación 13. Ecuación de intervalos de confianza.....	93
Ecuación 14. Cálculo del error de muestra.....	93
Ecuación 15. Planteamiento de la prueba de hipótesis nula	93
Ecuación 16. Cálculo del estadístico “t”	94
Ecuación 17. Cálculo de la estadística de prueba “t” suponiendo que $\sigma_1 = \sigma_2$	96
Ecuación 18. Cálculo de la varianza agrupada	96
Ecuación 19. Ecuación de intervalos de confianza.....	96
Ecuación 20. Cálculo del error de muestra.....	96

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Aforos vehiculares	251
Anexo 2. Aforo peatonal	259
Anexo 3. Velocidad de vehículos presentes en la zona de estudio.....	267
Anexo 4. Velocidad de peatones presentes en la zona de estudio	275
Anexo 5. Tiempos asignados del control policial.....	279
Anexo 6. Lista de verificaciones presentes en la zona de estudio	281
Anexo 7. Calibración vehicular	283
Anexo 8. Calibración peatonal	285
Anexo 9. Validación vehicular	287
Anexo 10. Validación peatonal	289
Anexo 11. Tiempos de viaje vehicular para la hora pico “mañana”	291
Anexo 12. Tiempos de viaje vehicular para la hora pico "mediodía"	292
Anexo 13. Tiempos de viaje vehicular para la hora pico “noche”	293
Anexo 14. Tiempos de viaje vehicular para la hora pico “noche (+15%)”	294
Anexo 15. Tiempo de demora vehicular promedio en el sistema	295
Anexo 16. Parámetros de circulación peatonal en el sistema.....	296
Anexo 17. Código de programación en Python.....	297
Anexo 18. Tabla de distribución “t” student	298
Anexo 19. Plano de la intersección	299

1 CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Como antecedentes a esta propuesta se tienen los siguientes casos en otros países:

Se tiene el estudio titulado “*An Investigation of Adaptive Metering Signal Control for Circular Intersections with Unbalanced Flows*” (Bolla, 2013). Mediante el cual, el autor utilizó el *software* PTV Vissim 5.0 para el análisis de microsimulación de un óvalo con semaforización. Para esta investigación, se utiliza como caso de estudio un óvalo existente ubicado en la ciudad de Tallmadge, Ohio en Estados Unidos. El óvalo sufre grandes demoras y largas colas en más de un acceso durante las horas pico. Los datos de la videograbación del óvalo Tallmadge han sido recogidos de un estudio anterior para las horas pico de la mañana y la tarde, donde los volúmenes de flujo vehicular eran desbalanceados.

El autor desarrolló un modelo del óvalo *Tallmadge* y usando los parámetros de circulación vehicular observados en campo se procedió a calibrar para que el modelo reflejara el mismo comportamiento de conducción. El método de medición adaptativa fue implementado al modelo calibrado para comparar el rendimiento luego de haberse implementado la semaforización en los accesos del óvalo (Bolla, 2013).

Figura 1. Vista aérea del óvalo *Tallmadge*
Fuente: (Bolla, 2013)

Asimismo, se realizó un exhaustivo análisis del área de influencia para determinar los principales centros generadores de viaje. Se determinó la presencia de dos escuelas: la Universidad de *Akron*, con una matrícula aproximada de 30,000 estudiantes y la Universidad de *Kent State*, con una matrícula de 40,000 estudiantes en sus ocho campus y 28,000 estudiantes en el campus principal al sur oeste y noreste de la intersección, respectivamente. Ambas universidades se encuentran a una distancia menor de 10 kilómetros (Bolla, 2013).

Figura 2. Principales generadores de viaje en el óvalo *Tallmadge*
Fuente: (Bolla, 2013)

Tomando en consideración lo anterior, estos establecimientos generan grandes volúmenes de flujo vehicular diario, el cual asciende a un promedio de 24,000 vehículos que ingresan por los diferentes accesos del óvalo. Esta cifra ha sido estimada mediante los conteos vehiculares realizados por el departamento de transporte de Ohio (Bolla, 2013).

Figura 3. Rutas vehiculares a través del óvalo *Tallmadge*
Fuente: (Bolla, 2013)

En este sentido, el autor planteó como propuesta de mejora la implementación de una semaforización de medición adaptativa basada en las brechas promedio. Para este método, se utilizan cuatro detectores para cada acceso con la finalidad de determinar las brechas disponibles, los flujos de entrada, flujos de llegada y detectores de colas (Bolla, 2013).

La Tabla 1 describe los detectores utilizados y la Figura 4 muestra tres accesos del óvalo Tallmadge tras la colocación de los detectores en cada acceso. Las pequeñas líneas rojas antes de los semáforos representan los detectores de entrada (E) y se colocan a una distancia de 15 metros desde la línea de precaución para evitar confusiones. Los detectores de cola para cada acceso han sido colocados a una distancia de 50 metros del punto de entrada y los detectores de demanda fueron colocados a una distancia de 120 metros de la entrada.

Tabla 1. Descripción de los detectores utilizados en el algoritmo AMS-AG

Ítem	Nomenclatura del detector	Descripción
1	E_i	Para determinar la tasa de flujo de entrada
2	Q_i	Para determinar las colas
3	C_i	Para determinar las brechas en el flujo circulante
4	D_i	Para determinar la tasa de flujo de llegada

Fuente: Adaptación de (Bolla, 2013)

Figura 4. Configuración de detectores según el algoritmo AMS-AG
Fuente: (Bolla, 2013)

En este método, los semáforos se usan junto con la regla de prioridad en el funcionamiento de un óvalo. Sin embargo, como la regla de prioridad depende del

comportamiento del conductor, es difícil predecir la capacidad de entrada, es decir, la cantidad de vehículos que pueden entrar a la vía de circulación dado un periodo de tiempo determinado (Bolla, 2013).

Por lo tanto, se considera las tasas de llegada de los vehículos, brecha promedio y las tasas de salida para utilizarlos en conjunto con los detectores de cola para decidir cuando un acceso debe controlarse y cuando apagar las luces para el acceso medido. Para ello, solo se utiliza una luz ámbar y roja. En este método no existe los ciclos semafóricos y las luces del semáforo se activan y desactivan mediante la estrategia de control. Se utiliza un tiempo de ámbar fijo de 3 segundos y el tiempo de rojo depende de la estrategia de control. Este método se basa en seleccionar un acceso de control basado en detectores de cola y luego medir uno o dos accesos basados en la brecha promedio frente al acceso de control (Bolla, 2013). En la Tabla 2 y Tabla 3 se muestran los resultados del tiempo de demora promedio (segundos) para el horario pico de la mañana y su proyección a 15 años, respectivamente:

Tabla 2. *Tiempos de demora promedio vehicular para el horario pico de la mañana*

method	Original Volume	T – test versus	
	Average delay time per vehicle (s)	T - statistic	p-value
AMS - AG	13.59	11.14	0.000
No control	103.19	N/A	N/A

Fuente: (Bolla, 2013)

Tabla 3. *Tiempos de demora promedio vehicular a una proyección de 15 años*

method	15% Incremented Volume	T – test versus	
	Average delay time per vehicle (s)	T - statistic	p-value
AMS - AG	38.33	28.68	0.000
No control	98.24	N/A	N/A

Fuente: (Bolla, 2013)

En la Tabla 4 y Tabla 5 se muestran los resultados de longitud de cola promedio (pies) para el horario pico de la mañana y su proyección a 15 años:

Tabla 4. *Longitud de cola promedio (pies) para el horario pico de la mañana*

method	Original Volume	T – test versus	
	Average queue length (pies)	T - statistic	p-value
AMS - AG	10.29	-11.51	0.000
No control	26.40	N/A	N/A

Fuente: (Bolla, 2013)

Tabla 5. *Longitud de cola promedio (pies) para a una proyección de 15 años*

method	15% Incremented Volume	T – test versus	
	Average queue length (pies)	T - statistic	p-value
AMS - AG	60.04	33.19	0.000
No control	209.06	N/A	N/A

Fuente: (Bolla, 2013)

Los resultados de la simulación mostraron que el método de control de medición adaptativa brinda mejoras significativas a los accesos del óvalo Tallmadge, en términos de reducción de tiempos de demora y longitud de colas. Aproximadamente, se redujo un 40% de longitud de cola promedio para la condición AM. Asimismo, también hubo mejora en reducirse la demora promedio por vehículo en un 30%, sin embargo, para la condición de futuro solo se redujo en un 70% la longitud de cola promedio y un 60% en el tiempo de demora promedio por vehículo.

Por otro lado, se tiene el estudio titulado “*Efficiency Analysis of Roundabout with Traffic Signals*” (Nikitin, Patskan, & Savina, 2016), en el cual, el autor también utilizó el *software* PTV *Vissim* para el análisis de un óvalo con semaforización.

Los datos de entrada se recogieron por medio de la filmación de vídeo en el óvalo de la Plaza *Vasilevsky* en Moscú, Rusia, y en dos cruces cercanos. La configuración del óvalo se presenta a continuación en la Figura 5.

Figura 5. Configuración del óvalo de la Plaza *Vasilevsky*
Fuente: (Nikitin, Patskan, & Savina, 2016)

El óvalo se modeló para evaluar la situación de la circulación del tráfico. El análisis incluyó recopilación de información sobre los siguientes indicadores: tiempos de viaje vehicular promedio de la intersección, tiempos de viaje vehicular clasificados según ruta, el tiempo total de demora, el número total de paradas y un número promedio de paradas de un vehículo (Nikitin, Patskan, & Savina, 2016). El modelo se llevó a cabo diez veces con diferentes semillas iniciales. Los parámetros de velocidad, de acceso, y geometría del óvalo se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Configuración de velocidad de conducción y zonas de conflicto

Driving speed	
Motor cars	40 km/h (with zones of decrease to 30 km/h)
Freight transport	40 km/h
Public transport	30 km/h
Pedestrians	5 km/h
Bicyclists	10 km/h
Conflict zones	Standard settings
Diameter of the internal island of the traffic circle	28 m

Fuente: (Nikitin, Patskan, & Savina, 2016)

El óvalo de la Plaza *Vasilevsky* tiene cuatro vías de acceso. En la Tabla 7, se presenta los flujos de tráfico y sus giros/direcciones son obtenidos como resultado del procesamiento de y la presencia de flujos peatonales densos (Nikitin, Patskan, & Savina, 2016).

Tabla 7. *Flujo de tráfico y sus respectivas direcciones presentes en la zona de estudio*

Chernyakhovsky Street (conventional cars per hour)	
To the right	641
Directly	701
To the left	1521
9 April Street (conventional cars per hour)	
To the right	349
Directly	1006
To the left	611
Litovsky Val Street (conventional cars per hour)	
To the right	712
Directly	1393
To the left	96
A Navsky Street (conventional cars per hour)	
To the right	1137
Directly	1261
To the left	120
Pedestrians (per hour)	
Chernyakhovsky	483
9 April	168
Litovsky Val	140

Fuente: (Nikitin, Patskan, & Savina, 2016)

El desarrollo de la microsimulación en el *software PTV Vissim*, se utilizó para el análisis de la interrelación entre el tiempo de demora y flujos de tráfico en caso de diferentes formas

de semaforización en los accesos del óvalo. Debido a la configuración sin éxito del óvalo se utilizó la herramienta reglas de prioridad (*Priority Rules*), en el modelo, en lugar de áreas de conflicto (*Conflict Areas*) (Nikitin, Patskan, & Savina, 2016).

Tabla 8. *Tiempos de demora promedio según los accesos del óvalo de la Plaza Vasilesky*

Average delay time for the streets, seconds	
Chernyakhovsky Street (conventional cars per hour)	
To the right	129.74 sec
Directly	132.31 sec
To the left	135.20 sec
9 April Street (conventional cars per hour)	
To the right	40.13 sec
Directly	43.76 sec
To the left	45.54 sec
Litovsky Val Street (conventional cars per hour)	
To the right	39.05 sec
Directly	42.88 sec
To the left	43.45 sec
A Navsky Street (conventional cars per hour)	
To the right	15.09 sec
Directly	20.62 sec
To the left	23.98 sec
Average delay time, seconds	86.04 sec

Fuente: (Nikitin, Patskan, & Savina, 2016)

Los resultados arrojados por el programa han demostrado que los flujos peatonales influyen directamente en el rendimiento del óvalo. Según la Federación de Rusia, si un peatón cruza una carretera con más de 2 carriles de circulación, el paso de peatones debe estar equipado con semáforos (Nikitin, Patskan, & Savina, 2016).

1.2 Realidad problemática

Antiguamente, cuando fueron concebidos los óvalos en el diseño vial de la ciudad de Lima, los volúmenes vehiculares eran relativamente bajos, por lo tanto, los óvalos funcionaban adecuadamente. A medida que la población fue creciendo y del mismo modo el parque automotor, los volúmenes de tráfico empezaron a congestionarse causando demoras y largas colas. Hoy en día, el 72% de limeños se estresa a causa del tráfico en su ciudad, según revela estudio elaborado por el PAD de la Escuela de Dirección de la Universidad de Piura. Asimismo, los capitalinos llegan a perder hasta 60 horas en el tráfico al mes (Díaz, 2018).

Según la consultora Marketwin, realizó el II Estudio de Tráfico y Tendencias de Movilidad Urbana en Lima – 2018, el cual cita que, ese porcentaje de limeños emplea entre 2 horas a más para desplazarse a sus actividades, principalmente trabajo y estudio (Díaz, 2018). Asimismo, otra revelación del estudio sugiere que el pasar menos tiempo con la familia tiene repercusiones sociales y educativas: un 30% deja al margen acciones recreativas, necesarias para la salud, y un 20% precisa que ha dejado o se ve imposibilitado de estudiar, lo cual trunca el desarrollo de las personas”, detalló Willard Manrique, coordinador de la investigación (Díaz, 2018).

En efecto, este aumento del congestionamiento vehicular viene generando consecuencias nefastas a la sociedad, como, por ejemplo; el incremento de la contaminación ambiental y sonora, serios daños a la salud, aumento del índice de mortalidad y pérdida económica debido al tiempo desperdiciado dentro de los vehículos públicos y privados (Huang, Weng, Wu, & Chen, 2016).

Otro detalle importante por considerar es que, actualmente más de la mitad de los limeños viven en los distritos de Lima Este y Lima Norte. Como se muestra en la Figura 6, del total de habitantes que tiene Lima Metropolitana se distribuye el 27,1% vive en Lima Este (9 distritos), el 25,5% en Lima Norte (8 distritos), el 19,2% en Lima Sur (11 distritos), el 18,0% en Lima Centro (15 distritos) y el 10,2% en la Provincia Constitucional del Callao (7 distritos) (Avila, Castañeda, Minaya, & Aguilar, 2016). Asimismo, según cifras publicadas por la Municipalidad Metropolitana de Lima, la capital concentra el 68.5% (800.000 vehículos del parque automotor nacional (Méndez, 2019).

Figura 6. Población de Lima al año 2017 y composición poblacional según distritos
Fuente: (INEI, 2016)

Por último, la escasa educación vial en el Perú se ve reflejada en el sinnúmero de accidentes generados por la irresponsabilidad de los usuarios, la forma de manejo imprudente y el incumplimiento de las señales de tránsito. Todo lo anteriormente mencionado, sitúa a los limeños en una situación alarmante que debe ser atendida a la brevedad por las autoridades en pro de la sociedad.

1.3 Formulación del problema

¿Se reducirá los tiempos de viaje vehicular del óvalo Habich a través de la implementación del sistema de semaforización inteligente *Ramp Meter*?

1.4 Hipótesis

La implementación del sistema de semaforización inteligente *Ramp Meter* en el óvalo Habich permitirá mejorar las condiciones de circulación y reducir los tiempos de viaje vehicular.

1.5 Objetivo general

Mejorar las condiciones de circulación del óvalo Habich mediante la implementación de un sistema de semaforización inteligente *Ramp Meter* cuyo fin es reducir los tiempos de viaje vehicular.

1.6 Objetivos específicos

- Identificar y evaluar las condiciones de circulación de la intersección de la Av. Alfredo Mendiola y Av. Eduardo de Habich, con la finalidad de hallar los parámetros de performance vehicular y peatonal de la situación actual.
- Implementar la semaforización inteligente *Ramp Meter* en el óvalo Habich, basado en el algoritmo *AMS-AG*, para cuantificar los parámetros de performance vehicular bajo este nuevo escenario.
- Analizar los resultados arrojados de la microsimulación en el *software Vissim 9.0* tras implementar el sistema de semaforización inteligente *Ramp Meter*, para corroborar la reducción de los tiempos de viaje vehicular.

1.7 Descripción del contenido

En el Capítulo 1, la introducción abre paso a la temática de la presente investigación citando diferentes casos de aplicación de semáforos en intersecciones circulares, donde se evalúan los resultados obtenidos en cuanto a mejoras en la circulación vehicular. Asimismo, se comenta acerca de la realidad problemática mencionando la actual coyuntura del congestionamiento vehicular y el creciente aumento del parque automotor en la ciudad de Lima, específicamente en la periferia norte. Así, se formula el problema y se establece la hipótesis de investigación que más adelante servirá para su comprobación. Además, en el presente capítulo se delimitan el objetivo general y los objetivos específicos con la finalidad de mantener un panorama claro sobre el motivo de la investigación.

En el Capítulo 2, se realiza una breve revisión del marco teórico del proyecto, donde se definen los términos de mayor relevancia en relación con el tema de investigación; entre los más resaltantes se encuentran; óvalo, *Ramp Meter*, semaforización inteligente, microsimulación, *Vissim* y modelo de seguimiento vehicular. Lo anterior, ya que son necesarios para justificar la metodología a emplear y conocer cuáles son las ventajas que ofrece el programa de microsimulación para modelar el comportamiento vehicular y peatonal lo más parecido a la realidad.

En el Capítulo 3, se determina la metodología a emplear, el cual se basa en una adaptación propia planteada por la *Federal Highway Administration* (FHWA), que es la entidad norteamericana encargada de regular el transporte por carretera, cuyo objeto es proponer un modelo para la evaluación de la presente investigación. Asimismo, se enuncian los materiales y métodos a utilizarse para la obtención de datos en campo, así como también, se elabora una lista de verificaciones que según (Cabrera, 2015) , es una herramienta que permite reconocer las condiciones de vulnerabilidad en una determinada zona de estudio.

En el Capítulo 4, se realiza el reconocimiento de la intersección, en lo que respecta al trabajo de campo, tales como, determinar el aforo vehicular y peatonal y su composición relativa, red de calles y avenidas de acuerdo con su geometría existente, definición de velocidades deseadas de vehículo y peatones, tiempos de control policial presente en la intersección, adición de la señalética vertical y horizontal, la asignación de reglas de prioridad entre vehículos y peatones, entre otros.

En el Capítulo 5, se menciona el procedimiento a realizar para la construcción del modelo, en tanto, se utilizan diferentes herramientas del programa y externas, tales como el software *SketchUp* que ayudarán a crear objetos en 3D, como por ejemplo los vehículos atípicos registrados en la zona de estudio. Asimismo, se insertan al programa todos los datos recogidos de campo y anteriormente descritos en el capítulo anterior. Posteriormente, se calibra el modelo tomando como referencia algunas atribuciones presentes tales como las velocidades vehiculares de acceso al óvalo y los tiempos de viaje peatonal. Luego, se procede a la validación del modelo utilizando un nuevo paquete de datos de volumen vehicular. Por último, mediante una prueba de hipótesis nula a un nivel de significancia de 5%, se evalúa si las medias de las muestras analizadas puedan ser consideradas iguales estadísticamente.

En el Capítulo 6, se establece la propuesta de mejora, mediante el cual se implementa el funcionamiento del *Ramp Meter*, basado en el algoritmo *AMS-AG* en el modelo de microsimulación previamente calibrado y validado. Para tal efecto, se enuncia el procedimiento para aplicar los diferentes tipos de detectores; tales como; de colas, de flujos vehiculares y de brechas que serán insertados en el modelo. Además, se establece la programación del algoritmo en *Python* y mediante la interface *COM* de *Vissim* puedan ejecutarse las diferentes funciones que dará lugar a la activación de los semáforos a tiempo real, de acuerdo con las condiciones presentes durante la simulación. No obstante, se

propone otras medidas complementarias que reforzarán a la propuesta de mejora planteada, tales como; la eliminación de paraderos no autorizados, la eliminación de estacionamientos no autorizados, la restricción de carriles según tipo de vehículo, la restricción del flujo vehicular por velocidad, la implementación de una adecuada señalética vertical acorde a las nuevas modificaciones y por último la reparación de calzadas y veredas. Lo anterior, se sugiere ejecutar con el propósito de mejorar aún más las condiciones que ofrecería la implementación del *Ramp Meter*.

En el Capítulo 7, se realiza el análisis y evaluación de resultados, es decir, luego de obtener los parámetros de circulación vehicular y peatonal del modelo de la situación actual y del modelo de la propuesta de mejora, se procede a contrastarlas y verificar cuantitativa y cualitativamente los resultados obtenidos. Por su parte, en cuanto a los parámetros de circulación vehicular, se analiza los tiempos de viaje y los tiempos de demora. En cuanto a los parámetros de circulación peatonal, se analizan las velocidades peatonales y posteriormente se realiza una evaluación de la presencia de peatones vulnerables en la zona de estudio. A través de ello, se plantea que los tiempos de rojo semafóricos satisfacen el tiempo mínimo requerido que tarda un peatón para desplazarse mediante el cruce peatonal. Por otro lado, se realiza una evaluación económica del proyecto destacándose los beneficios y costos que demandaría la inversión. De esta manera, se hace una comparativa de cuánto dinero se ahorraría en términos de uso de combustible y hora-hombre tras conocer el tiempo ahorrado en viajes. Al respecto, un análisis de beneficio-costos determina la viabilidad del proyecto en términos económicos.

Finalmente, en el Capítulo 8, se anuncia las conclusiones y recomendaciones basadas en la experiencia adquirida a lo largo de la presente investigación. Se sintetizan los resultados más notables y se propone ciertas recomendaciones a realizar para futuras investigaciones.

2 CAPITULO 2: REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Óvalo moderno

Antiguamente, dado el bajo volumen de tráfico, los óvalos funcionaban adecuadamente. Según fue incrementado el volumen vehicular, se empezaron a congestionar los óvalos y causando largas demoras. También, el incremento de la velocidad de los vehículos emergentes en los accesos causó diversas colisiones entre vehículos iniciando su declive como solución vial a mediados de los años 50's en Estados Unidos de Norte América (Bolla, 2013).

Los óvalos modernos fueron inicialmente desarrollados en Reino Unido en 1966 con una nueva regla de prioridad para el tráfico circulante. Además de esta nueva regla, algunos cambios geométricos fueron incluidos con el fin de reducir la velocidad de acceso y circulación, y un flujo vehicular más suavizado. Estos cambios realizados hicieron que los óvalos rectificaran los problemas asociados a sus predecesores, mejorando las características de seguridad en intersecciones circulares. Por tal motivo, los óvalos modernos son significativamente diferentes a los antiguos en cuanto a diseño y operación se refiere. La Figura 7 muestra el diseño de un óvalo moderno (Jacquemart, 1998).

Figura 7. Configuración de un óvalo moderno
Fuente: Bolla (2013)

Las diferencias más resaltantes entre el diseño de un óvalo antiguo y moderno son descritas en la Tabla 9.

Tabla 9. *Diferencias entre un óvalo antiguo y óvalo moderno*

	Óvalo moderno	Óvalo antiguo
Control en el cruce	Señal de “ceder el paso” para los vehículos entrantes	Señal de “Pare”, se les otorga prioridad a los vehículos entrantes
Características operacionales	Los vehículos al interior del óvalo tienen la prioridad sobre los vehículos entrantes	Permite áreas de entrecruzamiento para resolver los conflictos generado por los giros o movimientos
Deflexión	Utiliza la deflexión para reducir la velocidad operacional en el óvalo	Algunos óvalos grandes proporcionan un camino recto para movimiento importantes con mayor velocidad
Estacionamiento de automóviles	No está permitido estacionar en la vía de circulación	Algunos óvalos grandes permiten el parqueo dentro de la vía de circulación
Crucero peatonal	Ninguna actividad peatonal es permitida al interior de la isla central	Algunos óvalos antiguos permitían el cruce peatonal para ciertas actividades en la isla central

Fuente: (Bolla, 2013)

Asimismo, en la investigación “*Synthesis of Highway Practice 264: Modern Roundabout Practice in the United States*”, cita también que los óvalos modernos que existen en Estados Unidos brindan beneficios significativos en términos de seguridad, demoras y capacidad en comparación con los óvalos predecesores. Un desempeño mejor y más seguro ha conducido a que los óvalos modernos recobren notable importancia en el diseño de intersecciones circulares en dicho país. No obstante, la eficiencia de un óvalo es mejor comparado con

intersecciones semaforizadas donde hay un alto número de vehículos con giro a la izquierda (Jacquemart, 1998).

2.1.1 Óvalos con flujos desbalanceados

Los óvalos se desempeñan mejor cuando los flujos de llegada en los accesos se encuentran balanceados, incluso, que los pelotones están presentes en el flujo circulante y vehículos de cada acceso puedan entrar al óvalo. Esta situación se genera ya que, la regla de “ceder el paso” limita el flujo de acceso condicionándolo al flujo circulante. Es por ello por lo que, el desempeño del óvalo es dependiente en ambos factores, del flujo circulante y del flujo en el acceso como tal.

De acuerdo con la investigación *“Roundabout with Unbalanced Flow Patterns”*, revela que los flujos desbalanceados en un óvalo no son un problema cuando la demanda general es baja, tomando en consideración el crecimiento gradual del tráfico, aun, en niveles de demanda media (Akcelik, 2004). Por ejemplo, cuando un flujo desbalanceado se hace presente durante un nivel de demanda medio o alto, un flujo alto de alguno de los accesos puede tomar una cuota desigual de la capacidad. Bajo estas condiciones, ya sea volúmenes bajos o medios pueden originar largas demoras, además, en accesos con altos volúmenes puede originar demoras en los accesos aguas abajo con volúmenes medio a altos.

A pesar de existir ciertas pautas del manejo y funcionalidad de un óvalo, la investigación titulada *“Toolbox to Evaluate the Impacts of Roundabouts on a Corridor or Roadway Network”* sugiere en advertir contra la construcción de óvalos en las intersecciones con flujos de tráfico desequilibrados, sin embargo, existen óvalos con tales características en varios lugares de Estados Unidos y otras partes del mundo (Isebrands, Hallmark, Fitzsimmons, & Stroda, 2008).

2.2 Semaforización de óvalos

Los semáforos han sido instalados en óvalos por varias razones. La razón más importante es para mejorar el cruce de peatones, con el fin de reducir la tasa de accidentes y solucionar la congestión vehicular cuando ocurre flujos desbalanceados. Generalmente, los óvalos no se diseñan para tener semáforos, sin embargo, posteriormente son requeridos dado la congestión vehicular y otros problemas anteriormente mencionados (Bolla, 2013).

A pesar de que la semaforización de un óvalo indirectamente atenta contra su propósito por el cual fue creado, todavía provee de varios beneficios subyacentes que proporciona la geometría de este (Stevens, 2005). En principio, la deflexión de vehículos dado la presencia de la isla central o divisoria reduce la velocidad de acceso y elimina las colisiones del ángulo derecho del vehículo. También, un óvalo semaforizado tendrá menores puntos de conflicto en comparación con una intersección semaforizada. No obstante, de acuerdo con la guía *“Roundabouts: An Informational Guide”*, existe varias afirmaciones que indican que los óvalos no deben ser diseñados para semaforizarlo (Federal Highway Administration, 2004).

Sin embargo, la guía también menciona que las demandas inesperadas deberán requerir de semáforos luego que un óvalo haya sido construido y describe tres técnicas de semaforización denominadas; *metering*, semaforización peatonal y semaforización completa a ser considerados dado la problemática vehicular. Una breve descripción de cada técnica será discutida a continuación (Federal Highway Administration, 2004).

2.2.1 *Metering* (medición) de óvalos

El concepto de medición de óvalos es principalmente el mismo como la medición de rampa o su acrónimo en inglés (*ramp meter*), para autopistas donde el tráfico busca tener acceso a una concurrida carretera en el punto de acceso a través de semáforos, cuya finalidad es maximizar la capacidad de la autopista (Bolla, 2013).

En la medición de óvalos, el acceso aguas arriba es controlado usando un semáforo para incrementar la capacidad del acceso aguas abajo dado un volumen vehicular más alto. Consiste en un detector de cola ubicado en el acceso aguas abajo para determinar las colas generadas por la congestión. Cuando una cola ha sido detectada, el semáforo de medición se activa en un acceso aguas arriba, prendiéndose la luz roja para restringir el flujo de tal acceso y permitir que los vehículos fluyan sin mucha demora en el acceso aguas abajo (Bolla, 2013).

Un ejemplo preciso de la aplicación de la medición de óvalos es en Clearwater, ubicado en Florida, Estados Unidos. Dicho óvalo posee un alto congestionamiento vehicular dado los flujos desbalanceados en pocos días de la semana. En efecto, se implementa la semaforización en los accesos y los detectores de cola en otros accesos. El tráfico en el acceso se detuvo por 90 segundos cada vez que se detectó una cola. Su funcionamiento, únicamente abarca por las noches, los sábados al mediodía y domingo por la tarde. Como resultado, se concluye que el método ha sido un éxito (Bolla, 2013).

En la Figura 8, se muestra una imagen del óvalo de Clearwater y en el Figura 9, se muestra cómo ha sido implementado la semaforización.

Figura 8. Vista aérea del óvalo de Clearwater
Fuente: (Bolla, 2013)

Figura 9. Configuración de semáforos en el óvalo Clearwater
Fuente: (Bolla, 2013)

Nota. Según la Figura 9, el óvalo de la izquierda es sin semáforos de medición; donde en horas punta, el tráfico del este fluye continuamente, bloqueando el tráfico que ingresa desde el Norte. Por otro lado, el óvalo de la derecha los semáforos de medición brevemente detienen el tráfico del este para que el acceso Norte pueda ingresar sin problema alguno.

2.2.2 Semáforos peatonales

A pesar de que los óvalos proveen diversos beneficios, hacen más dificultoso la accesibilidad para peatones, particularmente a las personas discapacitadas. Ello ocurre cuando existe un volumen alto de vehículos que ingresan a través de los accesos de un óvalo. Asimismo, también puede causar accidentes durante registros peatonales altos. Como resultado de ello, la semaforización peatonal se introduce para proveer mayor seguridad para los peatones (Bolla, 2013).

2.2.3 Semaforización completa

En este caso, todos los accesos del óvalo se encuentran semaforizados. Esta técnica ha sido usada en ovalo altamente congestionados donde el volumen de tráfico es alto a lo largo del día, y también, cuando el óvalo presenta alta tasa de accidentes de tránsito. Para este tipo de tráfico, los semáforos se sincronizan cuidadosamente para evitar colas en los accesos y en los carriles de circulación al interior del óvalo, así, se asegura una flujo más suavizado y progresivo (Bolla, 2013).

2.3 Semáforos

Son dispositivos de control del tránsito que tienen por finalidad regular y controlar el tránsito vehicular motorizado y no motorizado, y peatonal, a través de las indicaciones de luces de color rojo, verde y amarillo o ámbar. En este sentido, se dispone que el color rojo prohíbe el tránsito en una corriente vehicular o peatonal por un tiempo determinado, el color verde permite el tránsito en una corriente vehicular o peatonal por un tiempo determinado y el color amarillo o ámbar dispone al conductor ceder el paso y detener el vehículo, y no ingresar al cruce o intersección vial (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Asimismo, la regulación y control de la operación de los semáforos se realizan a través de unidades de control de diferentes tipos. Para el caso de un sistema coordinado de semáforos, deberán contar con unidades de control adyacentes o sucesivas interconectadas, que controlan sus funciones básicas a través de una Estación Central o Control Maestro (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

2.3.1 Elementos que componen un semáforo

Un semáforo consta de dos partes; soporte y cabeza (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019), cuyo desarrollo es el siguiente:

- **Soporte**

El soporte es la estructura que sujeta a la cabeza del semáforo de forma que le permita algunos ajustes angulares, verticales y horizontales. Asimismo, por su ubicación en la intersección, al lado o dentro de la vía, el soporte está compuesto por postes, ménsulas cortas, ménsulas largas sujetas a postes laterales, pórticos, cables de suspensión, postes y pedestales en islas (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019). En la Figura 10, se muestran ejemplos de soportes de semáforo tipos poste y ménsula.

Figura 10. Tipos de semáforo: tipo poste y ménsula.

Fuente: (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019)

- **Cabeza**

Es la armadura que contiene las partes visibles del semáforo. Cada cabeza contiene un número determinado de caras orientadas en diferentes direcciones (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019). En la Figura 11, se muestra ejemplos de configuración de cabeza de semáforos.

Figura 11. Configuración de cabeza de semáforos

Fuente: (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019)

Por otro lado, la cara es un elemento principal de la cabeza del semáforo. En este sentido, se puede decir que, la cara es el conjunto de módulos luminosos, viseras y placas de contraste (opcional) que están orientados en la misma dirección. En la Figura 12 se muestra un ejemplo de la cara de un semáforo (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Figura 12. Ejemplo de una cara de semáforo

Fuente: (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019)

No obstante, existe reglamentaciones que regulan la altura de la cara, en el cual la parte inferior de la cara del semáforo tendrá las siguientes alturas libres: (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Para semáforos con soporte tipo poste:

- Altura mínima 3.10 m
- Altura máxima 4.50 m

Para semáforos con soporte tipo ménsula:

- Altura mínima 5.50 m
- Altura máxima 6.00 m

En cuanto al ángulo de colocación, la cara del semáforo se colocará en posición vertical y a 90° con respecto al eje del acceso, tal como se muestra en la Figura 13.

Figura 13. Ángulos de colocación de la cara de un semáforo
 Fuente: (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019)

Asimismo, en los soportes tipo ménsula, debe colocarse con una inclinación de 5° hacia abajo. En cuanto a los accesorios de fijación, se permitirán ajustes verticales y horizontales hasta cualquier ángulo razonable. Cada cara del semáforo se orientará en un ángulo tal que su señal luminosa o lente sea de máxima efectividad para el tránsito que se aproxime en la dirección para la cual está prevista. Cabe resaltar que, en intersecciones que no son en ángulo recto o son de accesos múltiples, deben instalarse semáforos en las posiciones y orientaciones necesarias que demande el tránsito vehicular y deben estar provistos de placas de contraste (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Por otro lado, en cuanto a la señal luminosa o lente del semáforo se refiere, es el componente translúcido del módulo luminoso, que por refracción dirige la luz proveniente de la bombilla y de su reflector en la dirección deseada. Es requisito que todos los lentes o señales luminosas con LED de los semáforos para control vehicular deben ser de forma

circular. De esta manera, se debe cumplir que el diámetro de los lentes sea de 0.20 m o 0.30 m, en cuanto a la instalación de nuevas deben usarse lentes de 0.30 m para asegurar su mejor visibilidad (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Es oportuno resaltar que, las indicaciones provistas por el semáforo deben distinguirse claramente desde una distancia mínima de 300 metros en condiciones atmosféricas normales. En cuanto a las flechas direccionales, estas deben distinguirse desde una distancia mínima de 60 metros (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Finalmente, en cuanto se refiere a la configuración de un semáforo, se encuentra la visera. Este componente va encima o alrededor de cada uno de los módulos luminosos y tiene por finalidad evitar que los rayos del sol incidan sobre estos y den la impresión de estar iluminados. Además, evita que la señal emitida sea vista desde lugares distintos a los que está enfocada (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

En la Figura 14, se muestra un ejemplo de visera de semáforo.

Figura 14. Vista lateral de la visera de un semáforo
Fuente: (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019)

2.3.2 Unidad de control

Es un mecanismo electrónico o electromagnético, que tiene por finalidad controlar los cambios de emisión de señales luminosas, a partir de una programación preestablecida, que se clasifica de la siguiente manera: (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

- a. Tiempo fijo: Controlador por el cual ninguna fase del ciclo se activa por el tránsito.
- b. Semi-accionado: Controlador por el cual algunas de las fases de la intersección se activan por el tránsito.
- c. Totalmente accionado: Controlador por el cual todas las fases de la intersección se activan por el tránsito.

Además, puede realizar las siguientes funciones:

- a. Procesar la información generada por los detectores para ajustar los tiempos a las necesidades de la intersección.
- b. Recibir y enviar información a una base de control o Control Maestro con el fin de optimizar el control del tráfico y su operación.
- c. Conjuguar la implementación de programas o planes predefinidos.
- d. Proveer los elementos que garanticen la seguridad de los usuarios evitando señalizaciones conflictivas y reportar a la base de control el tipo de falla que puede presentar. En la Figura15, se muestra un ejemplo de un tipo de unidad de control de semáforo.

Figura 15. Ejemplo de un tipo de unidad de control de semáforo
Fuente: (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019)

2.3.3 Semáforo inteligente

Se define semáforo inteligente al aparato que permite el paso de vehículos o personas en intersecciones. Posee la capacidad tecnológica de adaptar el flujo vehicular actual y lo analiza constantemente para optimizar el ciclo del semáforo. Es decir, los tiempos de espera varían según la necesidad requerida para cruzar el acceso o el cruce perpendicular de avenidas (Lakhani, 2015).

2.3.4 Detectores inteligentes con semáforos

Son dispositivos capaces de registrar variables del tránsito, tales como; volumen, velocidad, presencia de vehículos, sentido de circulación, tipo de tránsito, intervalos o brechas y otros. Asimismo, estos detectores pueden estar empotrados en el pavimento o en su base, ser fijados a la superficie de un pavimento, también, pueden colocarse en la calzada o a un costado de la vía. Generalmente, estos aparatos electrónicos forman parte integral de los semáforos accionados por el tránsito, que difieren de los no accionados en que estos últimos no necesitan unidades detectoras. También existen detectores con aplicaciones

especiales como los utilizados para peatones, vehículos de emergencia y ferrocarriles (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Por otro lado, los detectores comúnmente accionados por el tránsito son de presión, magnéticos y video-detección. Generalmente, los detectores de presión se instalan en la calzada y funcionan mediante la presión ejercida por las ruedas del vehículo en marcha, pero resultan inoperativas si el vehículo se detiene (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019). En la Figura 16, se muestra un ejemplo de ubicación transversal de detectores de presión.

Figura 16. Ejemplo de ubicación transversal de presión de detectores de tránsito.
Fuente: (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019)

En cuanto a los detectores magnéticos, estos se instalan en la calzada y son accionados por la detección de un campo magnético causado por el paso de un vehículo y son de los tipos compensados y no compensados, es decir, ambos tipos funcionan aun con vehículos estacionados en la zona de influencia. Por último, los detectores de video-detección son accionados por cámaras de detección, y son los que en la actualidad destacan por su versatilidad y precisión, lo cual además de servir para el control automático del tránsito

vehicular, apoyan en aspectos de seguridad vial (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

2.3.5 Sistema de transporte inteligente (ITS)

Los dispositivos de control del tránsito que forman parte de los sistemas inteligentes de transporte deberán contar con toda la infraestructura para su implementación, los cuales deben estar de acuerdo con los estudios de ingeniería de tránsito y seguridad vial. Asimismo estos dispositivos que forman parte de los ITS: son utilizados para las siguientes actividades; sistema de monitoreo y control de tránsito vehicular y peatonal, sistema centralizado de semaforización, sistema de fiscalización electrónica, sistema de comunicación para emergencias en la vía, sistema de información en la vía, sistema de cobro electrónico y otros, que brinden las funciones de gestión, control del tráfico, planificación, dirección, coordinación de las instalaciones y tecnologías para el control, regulación, vigilancia y mejora de la seguridad vial en su entorno así como la participación de todos los actores con responsabilidad en la gestión del tráfico (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

2.4 Comparación de metodologías de semaforización convencionales

2.4.1 Método lineal de Greenshields

Método desarrollado por el investigador e ingeniero Dr. Bruce Douglas Greenshields, el cual centra su estudio en el análisis del flujo vehicular. Su teoría continúa vigente hasta la actualidad demostrando que la velocidad y la densidad vehicular se encuentran íntimamente relacionadas para calcular el flujo vehicular. Concluyó que, la velocidad de un vehículo motorizado que lidera el flujo vehicular restringe la capacidad de movimiento de los

vehículos posteriores (Hernández H. , 2016). La siguiente Ecuación 1, define la relación directa entre densidad vehicular, demanda y velocidad:

Ecuación 1. Método lineal de Greenshields

$$u = u_f \left(1 - \frac{k}{k_j}\right) \quad (1)$$

Fuente: (Hernández H. , 2016)

Donde:

u: velocidad media espacial

u_f: velocidad media espacial de flujo libre

k: densidad vehicular

k_j: densidad de congestión

Diferentes proyectos de infraestructura vial, e implementación de semáforos en intersecciones ha sido producto de la exitosa investigación del Dr. Greenshields dado se encuentran vigentes hasta el día de hoy.

2.4.2 Método de Webster

Este método se caracteriza por calcular el ciclo semafórico óptimo en una determinada intersección, y del mismo modo, determina los tiempos de verde efectivos. A continuación, se presenta la Ecuación 2, el cual detalla las variables del método Webster.

Ecuación 2. Ecuación para calcular el ciclo óptimo según el método de Webster

$$C_o = \frac{1.5l + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\varphi} Y_i} \quad (2)$$

Fuente: (González-Fernández, Ruíz-Caballero, & Castilla-González, 2017)

Donde:

Co: ciclo óptimo (segundos)

L: tiempo total perdido (segundos)

Yi: carril crítico de la fase i

φ: número de fases

En efecto, como bien se mencionó anteriormente, mediante el método de Webster también se puede determinar el tiempo de verde efectivo mediante la siguiente Ecuación 3:

Ecuación 3. Ecuación para calcular el tiempo efectivo de luz verde según el método de Webster

$$gT = C - \sum_{i=1}^{\varphi} (A_i + TR_i) \quad (3)$$

Fuente: (González-Fernández, Ruíz-Caballero, & Castilla-González, 2017)

Donde:

gT: duración de verde efectivo total (segundos)

C: duración real del ciclo semafórico (segundos)

A: duración de ámbar (segundos)

TR: duración de rojo (segundos)

Asimismo, la demora mínima, el periodo efectivo total de luz verde es atribuida entre las diferentes fases relacionadas con el carril crítico, el cual puede ser determinado según cada fase en el estudio de la intersección. A continuación, la Ecuación 4, muestra el cálculo de demora mínima (González-Fernández, Ruíz-Caballero, & Castilla-González, 2017).

Ecuación 4. Ecuación para calcular la demora mínima según el método de Webster

$$g_i = \frac{Y_i}{\sum_{i=1}^{\varphi} Y_i} (gT) Y_i = \frac{qADE_{max} \text{ del carril } i}{S_i} \quad (4)$$

Fuente: (González-Fernández, Ruíz-Caballero, & Castilla-González, 2017)

De acuerdo con (González-Fernández, Ruíz-Caballero, & Castilla-González, 2017), los resultados siguiendo el método de Webster referente al ciclo semafórico óptimo, presenta valores amplios y poco confiables al no un mostrar con precisión los cálculos atribuidos para ciertos casos estudiados. Por otro lado, otra observación salta a la vista en la aplicación del método Webster, ya que existe una gran limitación cuando se calcula el grado de saturación. Según la Ecuación 4, si esta variable “X” alcanza el valor de 1.0 (uno), la demora promedio por ciclo tenderá al infinito convirtiéndose en una operación poco adecuada (González-Fernández, Ruíz-Caballero, & Castilla-González, 2017).

Ecuación 5. Ecuación para calcular la demora promedio por ciclo según el método de Webster

$$d = \frac{C(1 - \frac{g}{c})^2}{2(1 - (\frac{g}{c})X)} + \frac{X^2}{2q(1 - X)} - 0.65(\frac{C}{q^2})^{1/3} X^{2+5(\frac{g}{c})} \quad (5)$$

Fuente: (González-Fernández, Ruíz-Caballero, & Castilla-González, 2017)

Donde:

d: demora promedio por ciclo (segundos/vehículos)

C: tiempo del ciclo semafórico (segundos)

g: duración del tiempo de verde efectivo (segundos)

X: grado de saturación

q: tasa de venidas (vehículos/segundos)

2.5 *Ramp Meter*

Este método se basa en colocar detectores de cola en los accesos principales, en este caso, de un óvalo, el cual están interconectados con los semáforos de las vías secundarias. Al excederse la longitud de cola dispuesta, el dispositivo adherido al pavimento envía una señal al semáforo del acceso anterior a fin de evitar el ingreso de vehículos al acceso por un tiempo determinado. Este procedimiento se repite de manera continua y es actualizado a tiempo real según las condiciones que presenta el tráfico a cada instante (Bolla, 2013).

En este sentido, el sistema *Ramp Meter* beneficia no solo a la entrada más saturada, sino también a las adyacentes, ya que se crean espacios para una mayor libertad de desplazamiento de los vehículos, de acuerdo con un estudio revelado por la Universidad Politécnica de Valencia, se registraron datos mediante simulaciones basadas en el óvalo El Saler, ubicada en la ciudad de Valencia, España. El mencionado estudio sugiere que la implementación de este sistema reduciría hasta en un 60% los tiempos de viaje vehicular y tendría un costo aproximado de 15,000 euros. (UPV Radiotelevisió, 2017)

Asimismo, el *Ramp Meter* es aplicado en diferentes países del globo, siendo Estados Unidos y Australia pioneros en la materia, lo que ha producido resultados significativos al disminuir los tiempos de demora y tiempos de viaje vehicular en ramales de acceso a autopistas. Esta técnica fue aplicada por primera vez a mediados de los años 60's en Chicago, Estados Unidos. Posteriormente, al evaluarse sus grandes beneficios, diferentes ciudades de dicho país decidieron también implementarlo en sus carreteras y autopistas (Bolla, 2013).

Hoy en día, España y el Reino Unido también han empezado a implementar esta medida introduciendo este sistema hasta en óvalos (Federal Highway Administration, 2004).

2.5.1 Medición de semáforos adaptativos basado en brechas promedio (AMS-AG)

En este método, los semáforos son implementados en los diferentes accesos de un óvalo, de acuerdo con las reglas de prioridad previamente definidas. No obstante, las reglas de prioridad dependen del comportamiento del conductor, lo mismo que difícilmente se logra definir la capacidad de entrada, el cual es, el número de vehículos que pueden entrar a los carriles circulantes al interior del óvalo dado un periodo de tiempo determinado. Por lo tanto, solo la tasa de llegada de vehículos, brechas promedio y las tasas de entrada al óvalo son utilizados en conjunto con los detectores de cola el cual deciden si un acceso debe ser controlado y cuando debe ser apagado para el acceso medido (Bolla, 2013).

Figura 17. Configuración de detectores para el funcionamiento del *Ramp Meter*
Fuente: (Bolla, 2013)

En esta ocasión, los semáforos en un acceso de medición utilizan únicamente una luz ámbar y roja. No existe los ciclos semaforicos, ya que los semáforos se activan y desactivan de acuerdo con la estrategia de control. La estrategia de control de este método es seleccionar el acceso controlador basado en detectores de cola y luego medir en uno o dos accesos basados en brechas promedio en frente del mismo acceso inicial (Bolla, 2013).

El procedimiento de este método es explicado mejor líneas abajo:

1. En primer lugar, un acceso controlador es seleccionado en base a los detectores de cola de todos los accesos. Si una cola es detectada en un acceso, entonces dicho acceso será seleccionado como el controlador. Si la cola es detectada en más de un acceso, entonces de los accesos con colas, será escogido aquel que tenga la tasa de llegada de vehículos más alta como el acceso controlador (Bolla, 2013).
2. Luego de seleccionar el acceso controlador, el acceso a el más cercano aguas arriba será seleccionado como el acceso de medición. El semáforo en el acceso de medición se activa e inicia su funcionamiento con luz ámbar por tres segundos y luego cambia a rojo restringiendo el pase de los vehículos por tal acceso (Bolla, 2013).
3. El acceso de medición mantiene la luz roja hasta que la cola en el acceso controlador se haya descargado o hasta que una cola sea detectada en dicho acceso inicial. No obstante, un tiempo mínimo de 20 segundos de luz roja es usado para asegurar el ingreso mínimo de vehículos por el acceso controlador (Bolla, 2013).
4. Durante el tiempo mínimo de rojo, es decir, los 20 segundos, las brechas al frente del acceso controlador son promediados para determinar si se producen brechas suficientes para los vehículos que ingresan por dicho acceso. Si se halla que la brecha promedio es menor a 4 segundos, entonces el segundo acceso más cercano aguas arriba también será medido. El semáforo en este acceso también se activa hasta que la cola haya sido descargada o hasta que la cola en el acceso controlador se haya descargado (Bolla, 2013).
5. Una vez que el semáforo del acceso de medición se haya apagado, un nuevo acceso controlador es seleccionado después de una brecha de 10 segundos. Esta brecha entre cada pase otorgado ayuda a seleccionar el acceso con la demanda vehicular más alta (Bolla, 2013).

A continuación, en la Figura 18 se muestra el algoritmo *AMS-AG* anteriormente descrito:

Figura 18. Algoritmo AMS-AG para el funcionamiento del *Ramp Meter*
Fuente: (Bolla, 2013)

2.6 PTV Vissim 9.0

El *software Vissim 9.0* es una herramienta de simulación empleada para el diseño de sistemas de control de tráfico. Asimismo, es una herramienta que permite la simulación microscópica, ya que emplea un modelo que se centra en cada vehículo como una entidad particular. Lo cual posibilita su aplicación para distintos proyectos de análisis de tráfico como intersecciones, óvalos, etc. Además, este programa es capaz de trabajar con una gran variedad de vehículos tales como autos, camionetas, motos, camiones, buses de transporte público, etc. (Papageorgiou, 2006).

2.6.1 Antecedentes del *software*

Vissim es una herramienta de simulación microscópica y multimodal del tránsito, fue desarrollada por *PTV (Planung Transport Verkehr)* en Karlsruhe, Alemania. El nombre del programa es un acrónimo que deriva del alemán “*Verkehr In Städten-SIMulation*”. Lo cual se traduce como simulación del tránsito en las ciudades. Se desarrolló a inicios de los años 70 en la Universidad de Karlsruhe en Alemania; posteriormente se inicia su comercialización y distribución alrededor del mundo, al punto de ser aplicado por primera vez en 1995 en Estados Unidos (Suarez, 2007). En la actualidad, *PTV Group*, ha lanzado su última y mejorada versión 11.0 del *software*, surtido al mercado a mediados del 2019 (PTV Group, 2016).

2.6.2 Consideraciones del *software*

El programa *Vissim* es un modelo computacional que se basa en los parámetros del seguimiento vehicular, psicofísicos, formulados por Wiedemann. La arquitectura del sistema de *Vissim* consta de dos programas separados, el modelo de flujo de tráfico y el modelo de control de señales (Papageorgiou, 2006).

La animación de la circulación de los vehículos es posibilitada por el modelo de flujo de tráfico. Por otro lado, el modelo de control de señal permite la generación de archivos de salida con acumulación de datos estadísticos como son las longitudes de cola y tiempos de demora (Bloomberg & Dale, 2000).

Las principales áreas de aplicación de *Vissim* son estudios prioritarios de señales de tránsito, y el diseño de intersecciones y operaciones de tráfico (Boxil & Yu, 2000). El funcionamiento del *software Vissim* está ligado al conjunto integrado por el modelo de seguimiento vehicular, de mayor impacto sobre *Vissim*, y el modelo de cambio de carril. En el primer modelo, se ajustará la separación entre vehículos cuando un vehículo de mayor velocidad se aproxime a uno más lento. La forma de actuar del conductor se involucra en esta regulación de la separación entre vehículos, ya que dependerá de la velocidad con la que transita y de la diferencia de distancia entre vehículos. El segundo modelo se verá influenciado por la necesidad del cambio de dirección o ruta de los vehículos (Ahmed, 1999).

Figura 19. Modelo de seguimiento vehicular Wiedemann 74
Fuente: (PTV Group, 2016)

Por otro lado, el conductor también selecciona su posición lateral dentro de un carril, es decir, si se mantiene al margen derecho, izquierdo o central del carril. Lo anterior, siempre y cuando se permita que ciertos vehículos adelante del mismo carril continúan su recorrido uno al lado del otro, como por ejemplo lo hacen las bicicletas (PTV Group, 2016).

Figura 20. Modelo de cambio de carril
Fuente: (PTV Group, 2016)

2.6.3 Componente estático

La infraestructura aplicable a la red de tráfico es ilustrada por estos componentes. Los links y conectores son ejemplos de este tipo de elementos. Los primeros se componen de rutas o carreteras direccionadas con un número determinado de carriles. Por otro lado, los conectores son el medio por el cual se unen los links. Estos permiten los giros y movimientos en el caso de las intersecciones y óvalos que se desee modelar (PTV Group, 2016). Igualmente, existen otros componentes estáticos como las señales de tránsito.

2.6.4 Componente dinámico

Un ejemplo de estos elementos son los semáforos, ya que influyen en el comportamiento de los conductores. Esto repercute considerablemente en el sistema, ya que el nivel de detalle que se requiere en un modelo de simulación microscópico está en relación directa con la

exactitud de este tipo de componentes. Además, estos componentes cambian con el transcurso del tiempo en la circulación del tráfico (Narváez & Zapardiel, 2012).

2.6.5 Infraestructura del modelo

La construcción de un modelo de microsimulación en el *software* computacional *Vissim* depende del fin del análisis que se quiera llevar a cabo. Por ejemplo, si se requiere evaluar una señal lógica de activación de tránsito en una intersección bastará con un esbozo de esta. Por otro lado, si se desea efectuar un análisis de operaciones de tráfico y evaluar su comportamiento será necesario un modelado detallado de la zona de estudio. El mismo que se deberá trabajar a escala y mediante una metodología establecida con el fin de obtener los resultados buscados. Entre las herramientas que se recomiendan para la recolección de datos están: mediciones planos *CAD*, fotografías satelitales, mediciones en campo, etc. (Fellendorf & Vortisch, 2010).

2.6.6 Links y conectores

La red vial está conformada por *links* y conectores, y son de vital importancia en la construcción de la infraestructura del modelo, ya que estos son la base para la representación del sistema de tráfico que se desea trabajar, en este caso un óvalo. Existen algunas situaciones en las cuales es indispensable el uso de estos elementos. La primera de ellas se presenta cuando se necesita realizar un cruce con el modelo. Para lograr este objetivo se requiere emplear tanto *links* como conectores para crear la unión que se necesita. Otra posible situación en la que es indispensable el uso de ambos se presenta cuando un *link* es dividido en dos o más bifurcaciones en el seguimiento de su recorrido y se desea fusionarlos (un conector cumplirá con esta tarea). Otra posible circunstancia, se lleva a cabo cuando en la ruta existen cambios en el número de carriles o en el ancho de las vías. (Fellendorf & Vortisch, 2010).

Figura 21. Ejemplo de configuración de links y conectores en *Vissim* 9.0
Fuente: (PTV Group, 2016)

2.6.7 Otros elementos del modelo

En el *software Vissim* existen otros comandos para incrementar el nivel de detalle de modelo en construcción si se requiere. A continuación, se mencionará algunos de ellos.

En primer lugar, se tiene la opción de crear áreas de reducción de velocidad. Estas pueden ser empleadas en los giros de los vehículos, logrando así mayor similitud entre el modelo y la realidad. Otro elemento para destacar es la prioridad en los usuarios, ya que de esta dependerá la interrelación entre los mismos. Por lo que, se debe realizar la identificación de los vehículos con mayor preferencia a comparación de otros. Esta prioridad se ve reflejada, por ejemplo, en un óvalo en el que la preferencia la tienen los conductores que transitan por el mismo respecto a los que se ubican en los accesos que conectan al óvalo (PTV Group, 2016).

Otro componente importante es la representación de los semáforos en el modelo. Estos son llevados a la realidad al modelo virtual a través de los denominados “*signal head*” (PTV Group, 2016).

2.6.8 Intersecciones semaforizadas

A diferencia de las intersecciones no controladas por semáforos, en las intersecciones semaforizadas rigen los denominados “*signal control*”, que se emplean en el control del funcionamiento de tránsito de la intersección. Los semáforos poseen fases que se presentan, normalmente, por los colores rojo, amarillo y verde. En el modelo, estas características de los semáforos se ingresan a través del uso de grupos de señales. Los semáforos se reconocen en un modelo de simulación microscópica gracias a los llamados “*signal head*”. Estos se colocan en la construcción modelo en los cruces o lugares donde se desee un control semaforizado (Fellendorf & Vortisch, 2010).

2.6.9 Vissim COM (módulo opcional)

Vissim ofrece un módulo adicional que proporciona la funcionalidad *COM* (componente objeto modelo) para el uso de ambientes de programación externos, por ejemplo, en *VBA Microsoft Excel*, *C++* o *Python*. Este modo es posible para automatizar ciertas tareas en *Vissim* al ejecutar los comandos de *COM* desde un programa externo. *Vissim* reconoce los archivos script y acepta las siguientes extensiones; *.VBS, *.JS, *.PYS o *.PY (PTV Group, 2016).

2.6.10 Python como código de programación

Adicionalmente, *Vissim* soporta *Python* además de *VBA/VBS*. *Python* está caracterizado por poseer funciones sumamente cómodas de utilizar. También, esta interface de programación proporciona al usuario una guía adaptada para la configuración de un proyecto en particular. Además, todas las bibliotecas adicionales son programas de código abierto sin ningún confinamiento relacionado con su uso (PTV Group, 2016).

2.6.11 V3DM (módulo opcional)

Vissim ofrece un módulo opcional bajo licencia adquirida llamado *V3DM* (*Vissim 3D Modeler*) para convertir modelos estáticos en 3D y modelos de vehículos de los siguientes formatos; *DWF* (*Design Web Format*), *3DS* (*Autodesk*), and *SKP* (*Sketchup*), al formato *V3D* de *Vissim* (PTV Group, 2016).

Se puede añadir modelos en 3D siguiendo los siguientes formatos de archivo:

*Archivos en *SketchUp* – *.skp puede ser importado, editado y descargado en el programa.

*Los archivos en *SketchUp* requieren ser convertidos vía *V3DM* a archivo *.v3d.

- En *Vissim* 9.0, en versión con 32-bit solamente, se aceptan archivos en versión 2014 hacia adelante (PTV Group, 2016).
- En *Vissim* 9.0, en versión 64-bit, se puede añadir modelos en *SketchUp* de la versión 2015 en adelante (PTV Group, 2016).

2.7 Comparación entre simuladores de tráfico

Hoy en día, el mercado tecnológico ofrece variedad de *software* de simulación de tráfico vehicular, entre ellos se encuentran; *Aimsun*, *Archisim*, *Corsim*, *MatSim*, *MitsimLab*, *Paramics*, *SimTraffic*, *Sumo*, *Transims*, *TransModeler* y *Vissim*. De acuerdo con los autores; Saidallah, El Fergougui & Elalaoui, a través del estudio; “*A Comparative Study of Urban Road Traffic Simulators*”, explican las comparaciones entre los diversos programas de microsimulación de tráfico vehicular que existen hoy en el mercado. A continuación, en la Tabla 9, se muestra una comparación de las características más representativas entre la amplia gama de simuladores disponibles. En la Figura 22, indica la leyenda para las abreviaturas utilizadas (Saidallah, El Fergougui, & Elalaoui, 2016).

Tabla 10. Cuadro comparativo entre programas de microsimulación.

Cuadro Comparativo entre Programas de Microsimulación																												
Simuladores	Modo		Categoría		Sistema		Visualización		Infraestructura								Vehículos y peatones				Área de Alcance			Detectores			GIS	
									Dificultad				Flexibilidad															
	I	E	A	O	C	D	C	2D	3D	E	M	D	F	L	VL	T	D	R	E	O	I	R	O	WD	WL	Y	P	N
Aimsun	X	X	X		X		X	X	X			X	X					X	X	X		X	X	X	X	X		
Archisim	X				X	X		X				X			X					X			X					X
Corsim	X				X	X		X	X						X			X	X		X	X	X					X
Matsim	X						X	X						X						X	X		X			X		
Mitsimlab	X							X						X						X			X					X
Paramics	X				X	X		X	X				X					X	X	X	X	X	X	X	X			
Sim Traffic	X				X			X	X	X				X				X	X		X	X	X					X
Sumo	X						X	X				X			X					X	X		X					
Transims	X	X				X		X							X						X	X	X					
TransModeler	X	X			X			X	X					X					X		X	X	X			X		
Vissim	X				X			X	X	X			X					X	X	X	X	X	X	X	X	X		

Fuente: Adaptación de (Saidallah, El Fergougui, & Elalaoui, 2016)

Criteria		Abbreviation	Signification
Model		I	Microscopic
		E	Mesoscopic
		A	Macroscopic
Category		O	Open-source
		C	Commercial
System		D	Discrete
		C	Continuous
Visualization		2D	Two-dimensional
		3D	Three-dimensional
Infra-structure	Difficulty	E	Easy
		M	Medium
		D	Difficult
	Flexibility	F	Flexible
		L	Limited
		VL	Very Limited
Vehicles and pedestrians		T	Type
		D	Dimension
		R	Priority
		E	Pedestrian
		O	Other vehicles (Bus and Tram)
Scope Area		I	City
		R	Region
		O	Country
Detectors		WD	Wired sensor
		WL	Wireless sensor
GIS		Y	Yes
		P	Partially
		N	No

Figura 22. Nomenclatura de calificación de la Tabla 10

Fuente: (Saidallah, El Fergougui, & Elalaoui, 2016)

Las primeras apreciaciones de esta comparativa es que solamente *Aimsun*, *Transmodeler* y *Vissim* simula hasta tres modelos al mismo tiempo, mientras que otros solamente reproducen simulaciones microscópicas. Un detalle importante es que, los simuladores *Aimsun*, *Vissim* y *Paramics* ofrecen la habilidad de importar imágenes aéreas que pueden ser utilizados como imagen de fondo y como guía para el desarrollo de las vías del sistema. Asimismo, *Vissim* y *Aimsun* además de ofrecer imágenes de fondo, también ofrece vistas en 3 dimensiones (Saidallah, El Fergougui, & Elalaoui, 2016).

Por otro lado, *Vissim* y *SimTraffic* ofrece un código más fácil para la configuración del modelo, por el contrario, *Aimsun*, *Archisim* y *Sumo* requiere de mayor dificultad dado que tiene una codificación más pesada. No obstante, considerando la flexibilidad de la codificación en los diferentes elementos de infraestructura, *Aimsun*, *Paramic* y *Vissim* son más flexibles que otros simuladores (Saidallah, El Fergougui, & Elalaoui, 2016).

En el simulador *Paramics*, los vehículos aparecen sin ninguna distinción característica. Mientras tanto, en *Vissim* y *Aimsun*, los vehículos aparecen con características diferentes, tal es así, que logra diferenciarse entre los vehículos livianos, pesados y de transporte público. En algunos simuladores, los parámetros de conducción vehicular son pagados. No obstante, *Vissim*, ofrece en su versión estudiantil (sin licencia) modelos de microsimulación vehicular, tales como el modelo de seguimiento vehicular y el modelo de cambio de carril. Además, *Vissim* es el único simulador que ofrece el embarque y desembarque de pasajeros en la red de buses de transporte público, y su configuración del número de puertas del bus. Por lo tanto, *Vissim* también permite la creación de paraderos de buses en el lado derecho o lado izquierdo de la calzada, según convenga. Adicionalmente, permite determinar la tasa de ocupación de los buses y otros vehículos de transporte público sobre la vía de circulación (Saidallah, El Fergougui, & Elalaoui, 2016).

No obstante, en cuanto al simulador *Vissim* se refiere, los autores concluyeron que el manejo, publicación y configuración del programa es relativamente fácil. Por otro lado, los resultados de las simulaciones en *Corsim* pueden ser transferidas rápidamente, mientras que la configuración de *Vissim* provee de una interface más “amigable” y arroja los resultados en una carpeta diferente e independiente (Saidallah, El Fergougui, & Elalaoui, 2016).

En cuanto a la calibración del modelo, ambos simuladores, *Vissim* y *Corsim* ofrecen múltiples parámetros de calibración que permiten al sistema reproducir la situación real. En tanto, los autores sugieren que *Vissim* es más apropiado para intersecciones más grandes con tráfico de largo alcance, mientras *Corsim* es bueno para modelar intersecciones no saturadas. En efecto, los resultados de las simulaciones en *Vissim* son más cercanos a la realidad (Saidallah, El Fergougui, & Elalaoui, 2016).

Para finalizar esta comparativa, *Aimsun*, *MatSim*, *TransModeler* y *Vissim* soporta *Gis*, mientras que otros simuladores lo soportan parcialmente o casi nada. En adición, *Vissim* es el único simulador que ofrece la interface de programación *COM*, el cual permite desarrollar e implementar aplicaciones particulares utilizando un lenguaje de programación, tales como, *C++*, *Visual Basic* o *Python* (Saidallah, El Fergougui, & Elalaoui, 2016).

2.8 Microsimulación del tráfico

La microsimulación del tráfico modela el movimiento de los vehículos de manera individual, con la finalidad de evaluar su conducta de tráfico en redes viales, tales como vías urbanas o carreteras. Lo particular de este tipo de modelo es su aleatoriedad, por lo cual se insta a ser simulado “n” cantidad de veces y obtener un determinado nivel de confiabilidad en sus resultados. Del mismo modo, con la intención de obtener una buena simulación de lo real, también debe ser calibrado y validado (FHWA, 2004).

En la actualidad, el modelo de microsimulación ha sido materia de investigación dado la profundidad en el análisis del funcionamiento del tráfico vehicular y planteamiento de propuestas de solución. Lo anterior, debido a la seguridad, bajo costo y menor tiempo de análisis en comparación a las pruebas realizadas *in-situ* (Park & Schneeberger, 2003).

2.9 Fundamentos de la microsimulación vehicular

2.9.1 Mecanismo de actualización del sistema de transporte

Los modelos microscópicos se caracterizan por describir los cambios de estado del sistema en intervalos discretos de tiempo. Es decir, se puede diferenciar entre modelos de tiempo discreto y modelos de evento discreto. En el primero, el sistema se actualiza cada intervalo por un valor fijo de tiempo, por ejemplo, cada segundo, o cada 15 minutos. En el segundo, la variación no se da en el tiempo sino en la longitud entre cada periodo de tiempo de acuerdo con la actualización del sistema, por ejemplo, los cambios en la semaforización (The Institution of Highways & Transportation, 2006).

2.9.2 Generación de vehículos

El primer paso para realizar el modelo de microsimulación es insertar la red de vehículos que circularán en el sistema. Para ello, se determina un volumen estático de vehículos que ingresan en un intervalo de tiempo y aleatoriamente el *software* asume una distribución del desplazamiento entre los mismos vehículos (The Institution of Highways & Transportation, 2006). Acto seguido, se modifica las características de los vehículos y conductores, de acuerdo con los siguientes atributos que los definen. Para el primero; tipo (bus, auto, camión, etc.), longitud, velocidad máxima, aceleración, entre otros. Para el segundo; agresividad, tiempo de reacción, distancia de parada, cambio de carril, seguimiento del vehículo.

2.9.3 Representación de la aleatoriedad

Como ya se ha mencionado anteriormente, se cuenta con dos tipos de modelos según su nivel de aleatoriedad, los determinísticos y los estoestáticos. En el primero, se asume que las características de los conductores y vehículos son fijas. A diferencia del modelo determinístico, el modelo estoestáticos permite asignar características al conductor y vehículo en función de distribuciones probabilísticas empleando valores aleatorios. Se

utiliza una semilla por número aleatorio y de acuerdo con el método particular se le asigna un valor inicial a la semilla. Al modificar el número de semilla, se genera una secuencia de números aleatorios que a su vez reproduce diferentes comportamientos en el conductor y vehículo (The Institution of Highways & Transportation, 2006).

2.9.4 Interacción vehicular

La interacción entre vehículos en un modelo microscópico permite reproducir la teoría de seguimiento vehicular (Wiedemann⁷⁴), cambio de carril y modelo de aceptación de brechas (*Gap Acceptance Models*). No obstante, se sugiere de manera estandarizada que los modelos de seguimiento vehicular y cambio de carril son fundamentales en el análisis de un modelo microscópico (The Institution of Highways & Transportation, 2006). Para ello, estos modelos son investigados a profundidad en el siguiente inciso 2.10.

Asimismo, la teoría de aceptación de brechas depende de la decisión del conductor en cruzar la corriente secundaria dado una brecha ofrecida por la corriente primaria. Es decir, es el espaciamiento mínimo en el tiempo suficiente para que un vehículo pueda entrar a otro flujo de tráfico o cambie de carril (The Institution of Highways & Transportation, 2006).

2.9.5 Intervalos de confianza

Según la (Federal Highway Administration, 2004), existe una relación entre el número de corridas del modelo microscópico y el nivel de confiabilidad de los resultados. En otras palabras, para obtener resultados que se asemejen más a la realidad deberá analizarse tres tipos de información; la desviación estándar de la muestra, el nivel de confianza deseado para el modelo y la longitud del intervalo de confianza. En la siguiente ecuación, se plantea como calcular la desviación estándar de la muestra:

Ecuación 6. Cálculo para obtener la desviación estándar de una muestra

$$S^2 = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1} \quad (6)$$

Fuente: (Triola, 2013)

Donde:

S : desviación estándar

x : resultado del parámetro en una corrida puntual

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

N : número de corridas

Asimismo, el nivel de confianza es la probabilidad de que la media de la muestra esté en el intervalo de confianza objetivo. En esta ocasión, el investigador debe estimar dicho intervalo a fin de encontrar el valor medio real. De acuerdo con un modelo microscópico, suele emplearse un nivel de confianza de 95%, no obstante, no necesariamente tiene que ser así. Cabe mencionar que, si buscamos un nivel de confianza mayor, el número de corridas se incrementará, todo depende del alcance que se desea lograr en la investigación.

Técnicamente es inviable determinar con antelación el número de corridas necesarias para calcular una media, incluso en ninguna otra distribución probabilística. No obstante, se sugiere que luego de la cuarta corrida, el investigador estime una cantidad de corridas adicionales a fin de obtener un mejor resultado estadísticamente fiable. En efecto, el número mínimo de corridas requerido para el modelo se puede determinar de acuerdo con la siguiente Ecuación 7.

Ecuación 7. Cálculo para el número mínimo de corridas

$$N_{\min} = (t_{(1-\alpha/2), N-1} * \frac{S}{e})^2 \quad (7)$$

Fuente: (Triola, 2013)

Donde:

$N_{\min}$: número de corridas mínimo

$t_{(1-\alpha/2), N-1}$: variable estadística “*t*”-student con N-1 grados de libertad, donde N es el número de corridas

e : margen de error

S : desviación estándar

Por lo general, se recomienda realizar por lo menos 10 corridas, cada una con diferente número de semilla. Cabe resaltar que, a mayor número de corridas, se espera obtener resultados más fiables el cual contribuirá para la investigación. Para ello, el paso previo sería analizar si el número de corridas mínimo calculado a partir de la fórmula es superior al escogido (Triola, 2013).

2.9.6 Tiempo de estabilidad (*warm up*)

Es el periodo de tiempo mínimo que requiere el sistema para alcanzar el equilibrio vehicular. A partir de ello, se recomienda iniciar la recolección de datos obtenidos tras las corridas (FHWA, 2004). Según otras investigaciones, se sugiere que el tiempo de estabilidad se encuentre comprendido entre 10 a 20 minutos de simulación, contados desde el inicio de la corrida.

2.10 Modelo de seguimiento vehicular

Describe la manera en que un vehículo interactúa con el vehículo precedente y su respuesta ante determinado contexto. Entre los modelos más utilizados en el campo de la investigación, estos se clasifican en cinco grupos; modelo de distancia segura, modelo lineal, modelo “estimulo – respuesta”, modelo psico – físico y el modelo basado en la lógica difusa (Brackstone & McDonald, 1999).

2.10.1 Modelo de distancia segura

Modelo formulado por los japoneses Kometani y Sasaki en 1959. Está basado en determinar una distancia segura, teniendo en consideración una ineludible colisión entre dos vehículos. Dicho de otro modo, analiza el comportamiento del conductor frente a una situación de peligro, es decir, una colisión, de manera tal que se pueda evitar. Además, este modelo también abarca la situación en la que el conductor del vehículo precedente mantiene un comportamiento imprevisible (van Wageningen-Kessels, van Lint, Vuik, & Hoogendoorn, 2014).

Así, el modelo propuesto inicialmente, plantea una ecuación que calcula la distancia segura en función de la velocidad del vehículo líder ($n - 1$) y el siguiente vehículo (n), así como también el tiempo de reacción del conductor.

Ecuación 8. Aplicación del modelo de distancia segura

$$\Delta x(t - T) = \alpha v_{n-1}^2(t - T) + \beta_1 v_n^2(t) + \beta v_n(t) + b_0 \quad (8)$$

Fuente: (van Wageningen-Kessels, van Lint, Vuik, & Hoogendoorn, 2014)

Donde:

Δx : distancia relativa entre el vehículo ($n - 1$) y el vehículo (n)

T : tiempo de reacción del conductor

v_n : velocidad del vehículo (n)

v_{n-1} : velocidad del vehículo (n – 1)

$D_n(t)$: distancia de seguimiento deseado en el tiempo t

$\alpha, \beta, \beta_1, b_0$: constantes de calibración

Años posteriores de la publicación de Kometani y Sasaki, Gipss, en 1981, mejoró el desarrollo de este modelo, tomando en cuenta el supuesto que el conductor viaja con tal rapidez según la seguridad que desea, así como también de acuerdo con las propias limitaciones mecánicas del vehículo (van Wageningen-Kessels, van Lint, Vuik, & Hoogendoorn, 2014). A diferencia del modelo predecesor de los japoneses, el modelo de Gipps es extensamente aplicado ya que simula un comportamiento más realista de los vehículos. Asimismo, el modelo de Gipps ofrece al investigador un proceso de calibración más simple tomando en cuenta suposiciones básicas del proceder del conductor y que pueden ser examinadas mediante observaciones in-situ (Panwai & Dia, 2005).

2.10.2 Modelo lineal

Helly (1959) propuso un nuevo modelo el cual complementa su teoría al introducir un nuevo término, la aceleración, según si el vehículo líder frena o desacelera. Está basado en la relación entre la aceleración del vehículo siguiente a una distancia de seguimiento esperada, la velocidad del vehículo, la velocidad relativa entre el vehículo líder (n-1) y el vehículo siguiente (n), la distancia relativa y el tiempo de reacción del conductor (Helly, 1995). En la siguiente Ecuación 9, se muestra el planteamiento de Helly:

Ecuación 9. Aplicación del modelo lineal

$$\alpha_n(t) = C_1 \Delta v(t - T) + C_2 \{\Delta x(t - T) - D_n(t)\}, D_n(t) = \alpha + \beta v(t - T) + \gamma \alpha_n(t - T) \quad (9)$$

Fuente: (Helly, 1995)

Donde:

$\alpha_n(t)$: aceleración del vehículo (n) en el tiempo t

$D_n(t)$: distancia de seguimiento deseada en el tiempo t

v : velocidad del vehículo (n)

Δx : distancia relativa entre el vehículo (n) y el vehículo (n-1)

Δv : velocidad relativa entre el vehículo n y el vehículo (n-1)

T : tiempo de reacción del conductor

$\alpha, \beta, \gamma, C_1, C_2$: constantes de calibración

2.10.3 Modelo estímulo – respuesta

Se obtiene a partir de que la aceleración del conductor del vehículo siguiente se limita a su reacción ante 3 estímulos: primero, la velocidad actual del vehículo, el segundo, el espacio, y el tercero, la velocidad relativa respecto del vehículo líder (van Wageningen-Kessels, van Lint, Vuik, & Hoogendoorn, 2014).

Ecuación 10. Aplicación del modelo estímulo-respuesta

$$\text{Respuesta del vehículo siguiente} = \text{Estímulo} \times \text{Sensibilidad} \quad (10)$$

Fuente: (van Wageningen-Kessels, van Lint, Vuik, & Hoogendoorn, 2014)

Donde:

Respuesta: aceleración o desaceleración del vehículo siguiente.

Estímulo: velocidad relativa entre el vehículo líder y el vehículo siguiente.

Sensibilidad: constante o función de la velocidad del vehículo siguiente y del espacio con respecto al vehículo líder.

En los años 50, los estadounidenses Gazis – Herman – Rothery (GHR), elaboraron un modelo basado en el principio de “estímulo – respuesta”, motivo de investigación por la compañía de vehículos General Motors (Brackstone & McDonald, 1999). Su teoría se basa en la siguiente Ecuación 11:

Ecuación 11. Aplicación del modelo estímulo-respuesta

$$\alpha_n(t) = c v_n^m(t) \frac{\Delta v(t - T)}{\Delta x^l(t - T)} \quad (11)$$

Fuente: (Brackstone & McDonald, 1999)

Donde:

$\alpha_n(t)$: aceleración del vehículo (n) en un tiempo t

$v_n(t)$: velocidad del vehículo (n) en un tiempo t

Δv y Δx : velocidad y espacio relativo entre el vehículo (n) y el vehículo (n-1), respectivamente, en un instante anterior a (t – T)

m, l, c : parámetros constantes

No obstante, el modelo desarrollado por GHR posee grandes limitaciones para la aplicación en modelos de microsimulación. Por ejemplo, no existe ningún control respecto a la interacción o respuesta frente al vehículo siguiente cuando la velocidad relativa es cero, para un determinado espacio entre ambos vehículos. Asimismo, en el hipotético caso que la distancia entre ambos vehículos sea bastante grande, el vehículo líder repercute en el vehículo siguiente, ya que limita a que logre su velocidad esperada. Lo anterior, se aleja bastante del comportamiento real de los vehículos (Al-Jameel, 2009).

2.10.4 Modelo psico – físicos

Comúnmente son también denominados modelos de punto de acción (AP). Se basa en la premisa que un conductor realizará una maniobra cuando esté frente a una situación límite. Matemáticamente, está expresado en función de la velocidad relativa entre vehículos y la distancia que los separa. Lo que lo diferencia del resto de modelos, es que este contempla lo variado que puede ser la naturaleza de los conductores, es decir, las diferentes habilidades de manejo, de percepción, de estimación de distancias, deseo de seguridad, velocidades deseadas y distintas prioridades de aceleración y desaceleración. Dicho esto, podría decirse que este modelo se ajusta mejor a la realidad del Perú, dadas las características anteriormente mencionadas (Brackstone & McDonald, 1999).

Para ello, este modelo abarca tres grandes principios. La primera frontera está dada por $d/dt(\sim \Delta v / \Delta x^2)$, cuando se supera este límite, se registra que la desaceleración de los conductores llega hasta que la velocidad relativa entre vehículos es igual a cero. La segunda frontera limita el espaciamiento (Δx), en particular, para diferencias de velocidad en intervalos próximos de tiempo o distancia, tiende a ubicarse inferior a la frontera. Así, para cualquier modificación notoria, Δx , tiene que ser una distancia mínimamente perceptible (JND), con respecto a la variación del ángulo visual. La tercera frontera está basada en el sentido humano de la percepción. Se realiza una prueba con pasajeros dentro de un vehículo, a fin de opinar si las brechas entre ambos vehículos, el líder y el siguiente, fueron reduciéndose o aumentando dentro de un intervalo de tiempo cercano a 1 hora, y tras ello tomar una decisión (Brackstone & McDonald, 1999).

A diferencia de los demás modelos anteriormente descritos, este modelo en particular describe el comportamiento de los conductores bastante semejante a la realidad. Con ello, se tiene dos situaciones; la primera es que el comportamiento del conductor no se ve afectado

por otros vehículos para intervalos de tiempo grande y la segunda es que, para intervalos de tiempo corto, el comportamiento del conductor solamente se verá afectado si la velocidad relativa entre ambos vehículos cambia y si los desplazamientos de los vehículos son lo suficientemente amplios para ser percibidos (van Wageningen-Kessels, van Lint, Vuik, & Hoogendoorn, 2014).

El *software Vissim* 9.0 utiliza el modelo de seguimiento vehicular de Wiedemann 74 para vías urbanas y Wiedemann 99 para vías rápidas como carreteras, y estas a la misma vez componen la familia de los modelos psico – físicos. Este modelo se divide en cuatro componentes fundamentales que describen el comportamiento de los conductores. El primero, es el área de libre movimiento, el segundo es el área de acercamiento, el tercero es el área de seguimiento y el cuarto el área de desaceleración o frenado. El conductor pasa de un área a otra según las fronteras de percepción definidos anteriormente (Menneni, Roca, Sun, & Vortisch, 2009).

En la Figura 23, se ilustra las áreas de las fronteras cuando un conductor ingresa a una red de circulación de tráfico. Estas fronteras son AX, distancia deseada entre la parte frontal del dos vehículos sucesivos en movimiento en una cola estática; BX, distancia mínima de seguimiento; SDV, límite en que la percepción del conductor avisa que se está aproximando a otro vehículo adelante con menor velocidad. CLDV, frontera para simular la desaceleración adicional dada la aplicación de frenos con mayor variación de SDV; OPDV, tiempo de reacción donde los conductores notan que el vehículo delantero está a menor velocidad y este empieza a acelerar nuevamente (Menneni, Roca, Sun, & Vortisch, 2009).

Figura 23. Estados del modelo Wiedemann
Fuente: (PTV Group, 2016)

2.10.5 Modelo de lógica difusa

Se basan en el principio del conjunto difuso, es decir, describe cómo una variable se ajusta de manera adecuada a la descripción de un término. En primera instancia, el modelo separa las entradas elegidas en un número de conjuntos difusos, mientras que las funciones lógicas son aplicadas luego de arrojar resultados de conjuntos difusos de acuerdo con el comportamiento vehicular basado en regla. Sirva de ejemplo; la divergencia de separación entre dos vehículos y la velocidad relativa entre ambos como proceso de toma de decisión.

Una regla difusa comúnmente utilizada en dicho modelo sería: si la divergencia de separación es muy próxima y la velocidad relativa es muy alejada, por lo tanto, la respuesta del conductor será avanzar. Una de las limitaciones en planteamiento de dicho modelo es determinar las tareas de cada miembro, la cual no podría ejecutarse sin antes haberse realizado (Panwai & Dia, 2005).

2.10.6 Modelo de cambio de carril

Los modelos de cambio de carril analizan la conducta del tráfico lateral entre dos carriles contiguos. Según las fronteras de percepción vista en los modelos psico – físicos, podría decirse que el conductor evalúa el riesgo de acceder a cambiar de carril de acuerdo con una brecha dada en el carril adyacente. Esta toma de decisión se calcula según ciertos estímulos que analizan si es posible cambiar de carril tras obtener una diferencia de velocidad relativa prudente entre ambos vehículos (McDonald, Brackstone, & Jeffery, 1994).

Según Steven Jones, experto en aplicación de *software* para la simulación de tráfico de la UTCA (*University Transportation Center of Alabama*), revela que la naturaleza de los algoritmos empleados para determinar los cambios de carril son en esencia la arbitrariedad para combinarse y mezclarse entre sí. De la misma manera, plantea que los cambios de carril suponen maniobras complicadas que ponen a prueba el desempeño y comportamiento del conductor en una red de tráfico (Stevens, 2005).

Generalmente, los cambios de carril son pertinentes cuando se da la existencia de obstáculos en la vía que impiden al vehículo continuar su recorrido o, en el caso que un vehículo decida adelantar a otro con menor velocidad, siempre y cuando se dé un giro discreto. Ambos casos son admisibles todas las veces que no se atente la seguridad del conductor en el carril adyacente (The Institution of Highways & Transportation, 2006).

Obligatorios	<ul style="list-style-type: none">• Carril obstruido• Final de carril• Realizar un giro
Anticipatorios	<ul style="list-style-type: none">• Ceder el paso• Anticipar un posible retraso
Discrecionales	<ul style="list-style-type: none">• Mantener velocidad deseada• Adelantar un vehiculo con menor velocidad

Figura 24. Alternativas de decisión para el cambio de carril
Fuente: (Chura, 2018)

2.11 Fundamentos de la microsimulación peatonal

Anteriormente, cuando se realizaba una investigación en el comportamiento de los peatones, usualmente, se analizaba desde un nivel macroscópico, simulando su libre movimiento al imitar el comportamiento de un gas o líquido dentro de un recipiente, en donde los principales parámetros de evaluación eran el espaciamiento, la velocidad y el flujo. Sin embargo, en la actualidad, nuevos criterios de evaluación detectan ciertas deficiencias encontradas al no considerar que los peatones se desplazan buscando la ruta más rápida y realizando maniobras para esquivar obstáculos presentes en su camino, dado que no es específicamente un crucero peatonal (Cabrera & Dextre, 2014).

A diferencia de los modelos macroscópicos, en un modelo de microsimulación peatonal, los peatones son evaluados como unidad particular y su conducta de manera aislada. Según, la publicación *“Pedestrian Route-Choice and Activity Scheduling Theory and Models”*, cuyos autores señalan que, el comportamiento del peatón se clasifica en tres diferentes niveles; ellos son; estratégico, táctico y operacional (Hoogendoorn & Bovy, 2004)

Figura 25. Niveles en el comportamiento del peatón
Fuente: (Chura, 2018)

2.11.1 Nivel estratégico

En este nivel, se le otorga libertad al peatón en decidir su desplazamiento dado las actividades que debe realizar y la ubicación en la que se encuentra. Además, el individuo discierne en ser peatón (elección de modo). Dicho de otra manera, los peatones no poseen ningún conocimiento de la red o rutas opcionales en este nivel. Asimismo, se considera al nivel estratégico como un proceso de decisión previo al viaje en base a las actividades que demanden rutas de viaje (Sahaleh, 2012).

2.11.2 Nivel táctico

El nivel táctico analiza el comportamiento de los peatones bajo la influencia de factores externos, tales como, la existencia de obstáculos en la misma ruta en la que se desplaza el peatón y se somete a la estimulación del entorno, y, factores personales del peatón como la premura del tiempo o el comportamiento de los demás peatones. Realizando un análisis de las condiciones vehiculares compartidas en el mismo entorno (congestión, velocidades medias), las decisiones de los peatones sirven como dato de entrada para analizar el comportamiento peatonal. Simultáneamente, las crecientes demandas peatonales y el comportamiento colectivo en el desplazamiento de las masas afectan las condiciones de tráfico vehicular (Hoogendoorn & Bovy, 2004).

2.11.3 Nivel operacional

En este nivel, los peatones toman decisiones rápidas y repentinas que influyen las características de desplazamiento de los peatones, tales como, la decisión de caminar rápido o lento, o, parar o avanzar en el cruce de una calle. Estas decisiones se ven ligadas íntimamente a la secuencia de decisiones ejecutadas por los peatones en los niveles anteriormente descritos. Rescatando el ejemplo de un estudio publicado “*Policies for Pedestrian Access: Multimodal Trade-off Analysis Using Micro-Simulation Techniques*”, el

autor afirma que, un peatón acelera su andar para ahorrar tiempo y llegar más rápido a su destino, lo cual, representa una decisión a nivel operacional; y, tomar la preferencia de una ruta u otra que implique el cruce de avenidas corresponde a una decisión a nivel táctico, con la finalidad de llegar a su destino caminando, decisión a nivel estratégico (Ishaque, 2006).

2.12 Modelos de microsimulación peatonal

De acuerdo con una publicación titulada, “*Scenario Analysis of Pedestrian Flow in Public Spaces*”, los autores sugieren que los principales modelos de microsimulación peatonal son tres: modelo de elección directa, modelo autómatas celulares y los modelos de las fuerzas sociales (Sahaleh, 2012).

2.12.1 Modelo de elección discreta

En este modelo se evalúa la experiencia del peatón según un parámetro llamado utilidad. De esta manera, el usuario selecciona la mejor decisión de un conjunto de alternativas dispuestas de manera aleatoria en base a ciertas características de índole socioeconómico relacionado a de la alternativa. En este sentido, en la publicación; “*Discrete Choice Models of Pedestrian Walking Behavior*”, los autores definen a este modelo según cuatro elementos: un conjunto de opciones, una lista de atributos que describen las alternativas, una lista de cualidades socioeconómicas que inducen a la toma de decisiones, y, un término aleatorio asociado al reconocimiento de errores observados (Antonini, Bierlaire, & Weber, 2006).

2.12.2 Modelo de celular autómatas

El término autómatas del modelo se refiere al movimiento mecánico de entes en base a un conjunto de órdenes, y el término celulares, se atribuye a la ocupación de células que se distribuyen de manera ordenada en relación con sus pares. De este modo, este modelo sugiere considerar el factor humana y psicológico de los peatones, en tanto las ecuaciones físicas y matemáticas dejarlas atrás (Sahaleh, 2012).

De acuerdo con un estudio publicado; “*Fundamental of Pedestrian and Evacuation Dynamics*”, el autor establece que el tiempo es discreto, ya que las posiciones de los peatones se actualizan sincronizadamente en intervalos de tiempo delimitados que pertenecen a una escala de tiempo real, por ejemplo, el tiempo de reacción de un individuo. Lo anterior, puede ser utilizado durante la calibración de un modelo, dado que posee la capacidad de predecir valores cuantitativos. Por otro lado, el espacio también es discreto ya que, este modelo estima las densidades máximas peatonales, lo que sugiere que una densidad alta ocasiona un espacio mínimo del peatón (Schadschneider, A y otros, 2009).

2.12.3 Modelo de la fuerza social

Este modelo fue desarrollado por el investigador Dirk Helbing, el cual explica el comportamiento de peatones a través de las fuerzas sociales; de atracción y repulsión, y es resultado de la interacción de los peatones entre sí y de su entorno. Asimismo, este modelo aplica ecuaciones matemáticas para calcular dichas fuerzas de influencia que actúan en simultáneo durante el desplazamiento de los peatones. Esta teoría parte de la premisa que, los peatones en su deseo de llegar a su destino buscan la ruta más cómoda, en cuanto a seguridad y ahorro de tiempo (Cabrera & Dextre, 2014).

Asimismo, los peatones desarrollan fuerzas de atracción hacia otros peatones (amigos, familiares), o también, lugares específicos (negocios, restaurantes, centros comerciales, etc.). Dicho de otro modo, los peatones se comportan de manera que tratan de igualarse entre sí, por lo tanto, se consideran parámetros de variabilidad y fluctuación (Cabrera, 2015).

De acuerdo con la teoría de fuerzas sociales, el peatón atraviesa por un proceso que inicia con la estimulación, el cual, lo induce a la evaluación de decidir un conjunto de alternativas y finalmente, generará en él una reacción. En la Figura 26, se muestra el procedimiento anteriormente descrito:

Figura 26. Proceso de comportamiento de peatones mediante el modelo de fuerza social
Fuente: (Chura, 2018)

2.13 PTV Viswalk 9.0

Es una herramienta del *software Vissim* que permite simular y modelar el comportamiento peatonal a través de un modelo de microsimulación. El comportamiento atribuido a los peatones se encuentra basado en el modelo de la fuerza social establecido por el Dr. Dirk Helbing, quien actualmente se desempeña como investigador de la casa matriz *PTV AG* en Alemania (PTV Viswalk, 2016).

De acuerdo con el manual de uso de *Vissim 9.0*, el modelo de simulación se encuentra configurado de la siguiente manera:

En primer lugar, los parámetros macroscópicos fueron calculados y comparados con datos empíricos, en segundo lugar, se aseguró que los efectos microscópicos como situaciones de formación de línea de contraflujo y formación de bandas en situaciones de cruces de flujos fueran reproducidas, y, en tercer lugar, se buscó una impresión realista de las animaciones resultantes. (PTV Viswalk, 2016, pp. 389-392)

2.13.1 Antecedentes del *software*

En un principio, *Vissim* simulaba a los peatones como “vehículos pequeños” con una extraña forma de conducir, por ello, que surgió la necesidad de mejorar el modelo de comportamiento peatonal con el fin de afinar ciertas variables y obtener un estudio más parecido a la realidad. En tanto, para el año 2006, se empiezan a mostrar las primeras simulaciones de tránsito incluido los peatones en la versión *Vissim* 5.10. Posteriormente, dado la expansión del mercado en busca de simuladores peatonales, en el 2011, la empresa *PTV AG* lanza al mercado su producto *Viswalk*, una herramienta que fue creada para satisfacer los requerimientos del mercado (Lieberman, 2014). En la actualidad, *PTV AG* ha lanzado al mercado mundial su más reciente versión 11.0. (PTV *Viswalk*, 2016).

2.13.2 Consideraciones del *software*

El *software Viswalk* 9.0 se basa en el modelo de fuerzas sociales desarrollado por el investigador Dirk Helbing, el cual permite que los peatones circulen libremente de acuerdo con los niveles anteriormente descritos. Asimismo, una ventaja a considerar es que, no es necesario especificar la trayectoria que los peatones deseen recorrer, por el contrario, de acuerdo con este modelo de fuerzas sociales, ellos son capaces de encontrar el camino más cómodo (PTV AG, 2016). Dicho de otro modo, los peatones son capaces de discernir su movimiento de acuerdo con las dimensiones geométricas del espacio disponible y realizar giros o paradas repentinas. Sin embargo, cuando los flujos y densidades peatonales sobrepasan los límites establecidos, los peatones cambian la naturaleza de su movimiento a más dinámico (PTV *Viswalk*, 2016). A continuación, en la Figura 27 se muestra un esquema del funcionamiento del *software Viswalk* 9.0.

Figura 27. Ejemplo del comportamiento peatonal basado en el modelo de la fuerza social
Fuente: Propia

2.13.3 Aplicaciones del modelo

El *software Viswalk 9.0* es una herramienta de microsimulación muy potente que permite una adecuada planificación urbana, construcción y evaluación de impacto peatonal en diversos tipos de infraestructura vial. Tiene como finalidad, asegurar el flujo equilibrado de peatonal de acuerdo con parámetros de seguridad vial y peatonal. También, para proyectos de construcción de vivienda masiva o centros comerciales, permite un análisis de evacuación ante situaciones de emergencia donde el flujo peatonal se torna caótico (PTV Viswalk, 2016).

Asimismo, este *software* permite evaluar el impacto de los flujos peatonales ante la presencia de vehículos de diferentes clasificaciones, además, admite recrear la presencia peatonal dentro de intersecciones semaforizadas y complejas. De este modo, los resultados que arroja el programa, por ejemplo, los tiempos de espera, es variable indispensable para planificar cruces peatonales o configurar la infraestructura vial acorde a las demandas de los peatones. No obstante, es preciso mencionar que, *Viswalk 9.0* toma en consideración los requerimientos peatonales en la planificación urbana (PTV Viswalk, 2016).

2.14 Estadística inferencial para análisis de muestras

2.15 Inferencias acerca de dos medias: muestras independientes

A continuación, se presentan métodos donde se utilizan datos muestrales de dos muestras independientes para someter a prueba de hipótesis acerca de dos medias poblacionales o para construir estimaciones de intervalos de confianza para la diferencia entre dos medias poblacionales. Para ello, se presentan dos casos; el primero es cuando se desconoce las desviaciones estándar de las dos poblaciones, entre las cuales no se supone igualdad, el segundo; cuando se conocen las dos desviaciones estándar poblacionales (Triola, 2013).

Cabe señalar que; una muestra es independiente si los valores muestrales seleccionados de una población no están relacionados, pareados o asociados de alguna manera con los valores muestrales seleccionados de la otra población. Por el contrario, dos muestras son dependientes, si los valores muestrales están pareados, es decir, cada par de valores muestrales consiste en dos medidas del mismo sujeto (Triola, 2013).

2.15.1 Caso 1: Muestras independientes con σ_1 y σ_2 desconocidos y sin suposición de igualdad

Para la población 1, se denota:

μ_1 = media poblacional

σ_1 = desviación estándar poblacional

n_1 = tamaño de la primera muestra

$\bar{x}_1$ = media muestral

s_1 = desviación estándar muestral

*Las notaciones correspondientes a $\mu_1, \sigma_2, \bar{x}_2, s_2$ y n_2 se aplican a la población 2.

Los requisitos que se deben cumplir para atender este caso son:

- σ_1 y σ_2 se desconocen y no se hace una suposición sobre la igualdad de ambos.
- Las dos muestras son independientes.
- Las dos muestras son aleatorias y simples
- Cualquiera o ambas de estas condiciones se satisfacen: los dos tamaños de muestra son grandes (con $n_1 > 30$ y $n_2 > 30$)

Estadístico de prueba de hipótesis para dos medias para dos muestras independientes:

Ecuación 12. Cálculo del estadístico de prueba “t” con σ_1 y σ_2 desconocidos.

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (12)$$

Fuente: (Triola, 2013)

*(Donde, a menudo se supone que $\mu_1 = \mu_2$ es igual a 0)

Estimación del intervalo de confianza de $\mu_1 - \mu_2$: Muestras independientes

La estimación del intervalo de confianza de la diferencia de $\mu_1 - \mu_2$ es:

Ecuación 13. Ecuación de intervalos de confianza

$$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - E < (\mu_1 - \mu_2) < (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + E \quad (13)$$

Fuente: (Triola, 2013)

Donde:

Ecuación 14. Cálculo del error de muestra

$$E = t_{\alpha/2} \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} \quad (14)$$

Fuente: (Triola, 2013)

Además, el número de grados de libertad (gl) se obtiene; gl= el menor de $n_1 - 1$ y $n_2 - 1$

Por lo tanto, se establece la prueba de hipótesis de la siguiente manera:

Paso 1: La afirmación de que las medias de las dos muestras son iguales se puede expresar como $\mu_1 = \mu_2$.

Paso 2: Si la afirmación original es falsa, entonces $\mu_1 \neq \mu_2$.

Paso 3: La hipótesis alternativa es la expresión que no implica igualdad y la hipótesis nula es una expresión de igualdad, de manera que tenemos:

Ecuación 15. Planteamiento de la prueba de hipótesis nula

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ (afirmación original)} \quad H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \quad (15)$$

Fuente: (Triola, 2013)

Ahora procedemos con la suposición de que $\mu_1 = \mu_2$ o $\mu_1 - \mu_2 = 0$

Paso 4: El nivel de significancia suele usarse $\alpha = 0.05$

Paso 5: Puesto que tenemos dos muestras independientes y sometida a prueba una afirmación acerca de dos medias poblacionales, utilizamos una distribución “*t*”-*student* con el estadístico de prueba indicado anteriormente.

Paso 6: El estadístico de prueba se calcula como sigue:

Ecuación 16. Cálculo del estadístico “*t*”

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (16)$$

Fuente: (Triola, 2013)

Paso 7: Analizar si es el estadístico de prueba se ubica dentro de la campana de Gauss. Se presentan dos posibles casos, si el estadístico de prueba se ubica en la región crítica, se rechaza la hipótesis, caso contrario, si el estadístico de prueba se ubica en la región no crítica, entonces se acepta la hipótesis (Triola, 2013). A continuación, en la Figura 28, se muestra a detalle la campana de Gauss según las condiciones anteriormente mencionadas.

Figura 28. Gráfica de distribución “*t*”- *student*
Fuente: (Triola, 2013)

Nota. Se observa el análisis de dos colas a un nivel de confianza del 95%

2.15.2 Caso 2: Muestras independientes con σ_1 y σ_2 conocidas

En la práctica, las desviaciones estándar poblacionales σ_1 y σ_2 casi siempre se desconocen, pero si es que se conociera, el estadístico de prueba y el intervalo de confianza se basan en una distribución normal y no en una distribución “t” (Triola, 2013).

2.15.3 Caso 2 alternativo: Se supone que $\sigma_1 = \sigma_2$ y se agrupan las varianzas muestrales

Aun cuando los valores específicos de σ_1 y σ_2 se desconozcan, si se puede suponer que tienen el mismo valor, las varianzas muestrales s_1^2 y s_2^2 pueden agruparse para obtener una estimación de la varianza poblacional σ^2 común. La estimación agrupada de σ^2 se denota con s_p^2 y es un promedio ponderado de s_1^2 y s_2^2 (Triola, 2013).

Los requisitos que se deben cumplir para atender este caso son:

- Se desconocen las dos desviaciones estándar poblacionales, pero se supone que son iguales. Es decir, $\sigma_1 = \sigma_2$.
- Las dos muestras son independientes.
- Las dos muestras son aleatorias y simples
- Cualquiera o ambas de estas condiciones se satisfacen: los dos tamaños de muestra son grandes (con $n_1 > 30$ y $n_2 > 30$)

Por lo tanto, se establece la prueba de hipótesis de la siguiente manera:

Estadístico de prueba:

Ecuación 17. Cálculo de la estadística de prueba “t” suponiendo que $\sigma_1 = \sigma_2$

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}}} \quad (17)$$

Fuente: (Triola, 2013)

Donde, la varianza agrupada s_p^2 se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 18. Cálculo de la varianza agrupada

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)} \quad (18)$$

Fuente: (Triola, 2013)

Y el número de grados de libertad viene dado por $gl = n_1 + n_2 - 2$

Estimación del intervalo de confianza de $\mu_1 - \mu_2$

Intervalo de confianza:

Ecuación 19. Ecuación de intervalos de confianza

$$(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - E < (\mu_1 - \mu_2) < (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) + E \quad (19)$$

Fuente: (Triola, 2013)

Donde, se cumple que el error de la muestra se calcula mediante:

Ecuación 20. Cálculo del error de muestra

$$E = t_{\alpha/2} \sqrt{\frac{s_p^2}{n_1} + \frac{s_p^2}{n_2}} \quad (20)$$

Fuente: (Triola, 2013)

En el Anexo 18 se encuentra la tabla de distribución “t”-student.

3 CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

La presente investigación tiene como objetivo principal reducir los tiempos de viaje vehicular en el óvalo Habich, ubicado en el distrito de San Martín de Porres. El estudio se basa en la implementación de un sistema inteligente de semaforización *Ramp Meter*, basado en el algoritmo *AMS-AG*, el cual busca reducir los tiempos de viaje vehicular en el sistema. En tal sentido, se elige el *software Vissim 9.0* como herramienta para modelar una simulación a nivel microscópico.

Posteriormente, se procede con la construcción del modelo. De este modo, se realiza un levantamiento del área de estudio, tales como; la geometría de la intersección, ubicación de paraderos, áreas de conflicto y estacionamientos no autorizados sobre la vía, presencia de señalética vertical y horizontal. En cuanto a la información dinámica, se emplea un dron con videograbadoras, lo cual permita la obtención de la data de campo, tales como, los aforos vehiculares (conteo de tráfico clasificados según el tipo de vehículo), aforos peatonales, tiempos de viaje vehicular y peatonal, el registro de velocidades de los vehículos al ingresar al óvalo, tiempos de control policial, entre otros.

Acto seguido, la información recopilada se analiza y procesa a fin de insertarla como información de entrada en la construcción del modelo con el uso del *software*. La finalidad de dichos modelos de microsimulación será replicar el comportamiento real de los conductores y peatones en la zona de estudio. Luego, se realiza la calibración del modelo, a través de un análisis estadístico de prueba de hipótesis nula $u_1=u_2$, y se determina si los valores analizados pertenecen a la región de No Rechazo en la distribución “*t*”- *student* de la campana de Gauss. Así, la condición requerida cumple para su aprobación.

Para la validación del modelo se inserta un nuevo paquete de datos tomados de campo, en este caso, se utiliza el aforo vehicular del mismo día, pero de la siguiente semana utilizado

para la calibración. Lo anterior, tiene como finalidad comparar los resultados obtenidos del *software* con los valores observados in situ, bajo la premisa que los parámetros analizados sean bastante cercanos en el mismo intervalo de tiempo.

Teniendo el modelo construido, calibrado y validado, se evalúa el funcionamiento de este al implementar el sistema de semaforización inteligente, *Ramp Meter*, con la debida colocación de la red semafórica en los puntos de acceso al óvalo, para luego analizar los parámetros de desempeño bajo este nuevo escenario y se comparan los resultados con la situación actual y así evaluar la hipótesis planteada. Por último, se redactan las conclusiones y recomendaciones basadas en los resultados obtenidos. En síntesis, la metodología de puesta en práctica en la presente investigación es la adecuada y sugerida por la Federal Highway Administration (FHWA, 2004).

Figura 29. Metodología para la elaboración del modelo microscópico del proyecto
Fuente: Adaptación de (FHWA, 2004)

3.1 Materiales y métodos

3.2 Materiales

3.2.1 Población

La población de la presente investigación comprende todos los tipos de vehículos (autos, camionetas, camiones, taxis, motos, buses) y peatones que transitan en los distritos de Lima Norte, entre ellos se encuentran; Carabayllo, Comas, Independencia, Los Olivos, Puente Piedra, San Martín de Porres, siendo este el distrito donde se encuentra la zona de estudio, Ancón y Santa Rosa.

Asimismo, según la Dirección Técnica de Demografía y Estudios Sociales, en cooperación con el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), revela que solo Lima Norte cuenta aproximadamente una población proyectada al año 2020 de 2,353,364 (dos millones trescientos cincuenta y tres mil trescientos sesenta y cuatro) habitantes, los cuales, solamente el distrito de San Martín Porres alberga 516,252 (quinientos dieciséis mil doscientos cincuenta y dos) residentes, lo equivalente al 21,9% de la población total de los distritos que conforman la periferia norte de la ciudad (INEI, 2016).

3.2.2 Muestra

La muestra está definida por todos los vehículos y peatones que circulan hacia los accesos e inmediaciones del óvalo Habich, en la intersección de la Av. Alfredo Mendiola y Av. Eduardo de Habich, en el distrito de San Martín de Porres. Las muestras pertenecen al rango de horarios que comprende la toma de datos en campo, es decir, por el tiempo que requiera realizar el aforo vehicular y peatonal en las horas y días previamente determinados.

3.3 Método

3.3.1 Nivel de investigación

La presente investigación es considerada como exploratoria, descriptiva, cuantitativa y explicativa. Lo anterior, dado que es el producto de un proceso de recojo de fuentes de investigación confiables, recopilación de datos en campo, procesamiento de data, análisis de resultados y aplicación de la tecnología. Asimismo, logran asociarse diferentes variables dependientes e independientes para obtener un producto cuantificable que influya en un grupo de personas o conjunto de vehículos pertenecientes a una red vial.

No obstante, el propósito de esta investigación es predecir hasta qué punto las variables se encuentran interrelacionadas, donde se observa que, en situaciones puntuales, más de dos variables mantienen cierta correlación en sus resultados (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014). En el desarrollo de la investigación, se logra reconocer que las velocidades de acceso al óvalo y los tiempos de viaje vehicular son variables inversamente proporcionales. A medida en que las velocidades de acceso al óvalo incrementan, los tiempos de viaje vehicular disminuyen.

3.3.2 Diseño de investigación

A continuación, en la Tabla 11, se presenta la secuencia de variables estudiadas en la presente investigación:

Tabla 11. *Variables de estudio y operación de la investigación*

Variables de Estudio y Operación				
Variable	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Instrumento de investigación
V: Flujo vehicular	Cantidad de vehículos en un tiempo determinado	Independiente (VI) Cantidad de vehículos en un tiempo determinado	Vehículos por hora (veh/hr)	Aforo manual vehicular
P: Flujo de peatones	Cantidad de peatones en un tiempo determinado	Independiente (VI) Cantidad de peatones en un tiempo determinado	Peatones por hora (peat/hr)	Aforo manual peatonal
B: Flujo de bicicletas	Cantidad de bicicletas en un tiempo determinado	Independiente (VI) Cantidad de bicicletas en un tiempo determinado	Bicicletas por hora (bici/hr)	Aforo manual de bicicletas
VA: Velocidad vehicular de acceso al óvalo	Velocidad en la que los vehículos ingresan al óvalo mediante sus accesos	Dependiente (VD) Velocidad en la que los vehículos ingresan al óvalo mediante sus accesos	Kilómetros por hora (km/hr)	Calculo mediante ecuación física: espacio entre tiempo, basado en datos recopilados en campo
TVP: Tiempos de viaje peatonal	Tiempo que le toma a un peatón desplazarse de un punto a otro dispuesto	Independiente (VI) Tiempo que le toma a un peatón desplazarse de un punto a otro dispuesto	Segundos (s)	Obtenido a través de cálculo en <i>Vissim</i>

Fuente: Propia

3.4 Recolección de información estática

Se busca información relacionada a la zona de estudio: número de carriles del óvalo y accesos, ancho de carriles, geometría, ubicación de paraderos y estacionamientos no autorizados sobre la vía. Esta información es obtenida de mapas digitales (*ArcGis*) y fotografías aéreas (*Google Earth*).

3.5 Videograbación

Dada la extensión que abarca el área de estudio, se optó utilizar un dron para sobrevolar el óvalo a una determinada altura y desde dicho punto registrará la videograbación. Este proceso se repitió tres veces al día; una muestra por la mañana, otra por la tarde y otra por la noche. Este paso se repite para los dos días anteriormente mencionados.

Figura 30. Ubicación del punto de filmación y vista aérea de la intersección tomada con un Dron
Fuente: Propia

3.6 Geometría del sistema

Para la construcción del modelo es necesario definir los datos físicos de la intersección por tal motivo, se realiza un levantamiento geométrico del área de estudio. Este procedimiento tiene como objetivo determinar el ancho de los carriles de los accesos y vías auxiliares, carriles interiores del óvalo, calles aledañas, cruceros y veredas peatonales adyacentes, rampas y puentes peatonales, sardineles entre otros elementos que sean imprescindibles para el modelamiento.

3.7 Listas de verificaciones

Es un mecanismo de control que ayuda a definir de manera organizada los puntos críticos del área de estudio en materia de seguridad vial (Dextre & Cabrera, 2010). Para esta investigación, se aplica como herramienta para verificar los puntos más vulnerables, llamados también puntos negros que afectan directamente el funcionamiento del óvalo. Es un registro donde se anotará las incidencias más relevantes observadas in situ con la finalidad de mejorar la situación en base a la solución planteada.

3.8 Procesamiento de los datos de campo

En el presente inciso se procesan las variables previamente definidas en el inciso 3.3.2, donde en primer lugar, las velocidades vehiculares de acceso al óvalo, aforo vehicular y peatonal, tiempos otorgados dado el control policial y la geometría del sistema, con la finalidad de tener recopiladas la información que serán ingredientes para desarrollar el modelo de microsimulación.

Para la toma de datos se emplea un cronómetro marca *Casio*, modelo *HS-3V-1*, una cinta métrica modelo de fibra de vidrio de 30 metros de alcance, modelo *KM-190*, de la marca *Kamasa*, un cuaderno de notas y un lapicero. En la Figura 31, se puede apreciar los materiales y equipos utilizados para la recopilación de datos en campo.

Figura 31. Materiales empleados para el registro de datos
Fuente: Google Chrome

Teniendo control de los instrumentos necesarios, se procede con la toma de datos en campo. En primer lugar, se organiza la cuadrilla conformada por cuatro integrantes quienes se posicionan cada uno en un acceso del óvalo. La consigna inicial es ubicarse en el lugar más cómodo, seguro y estratégico posible, con la finalidad de no obstaculizar su visión y obtener resultados más confiables para la investigación. Cabe precisar que, durante la toma de datos, se registró una temperatura media de 20°C por la mañana y cielo nublado, 24°C durante el mediodía y soleado y finalmente 22°C por la tarde noche con cielo despejado. Lo

anterior es importante mencionarlo, ya que, bajo condiciones meteorológicas favorables asegura una mejor calidad de la muestra. Asimismo, en el Anexo 3, se muestran los datos registrados de los 70 vehículos contabilizados.

Tabla 12. *Resumen de datos de velocidad vehicular de acceso al óvalo*

Velocidad Vehicular de Acceso al Óvalo (km/h)				
	Acceso Sur	Acceso Este	Acceso Norte	Acceso Oeste
Promedio	18.33	16.95	25.69	23.73
Valor máximo	20.62	18.74	28.10	27.45
Valor mínimo	16.57	14.88	23.58	21.05
Desviación estándar	0.90	0.94	1.03	1.17
$t(1 - \alpha/2). N-1$	1.9957	1.9957	1.9957	1.9957
Error de muestra	1.833	1.695	2.569	2.373
$N_{\text{mínimo}}$	0.96	1.22	0.64	0.97
N_{muestra}	70	70	70	70
¿Cumple con $N_{\text{mín}}$?	Si	Si	Si	Si

Fuente: Propia

4 CAPÍTULO 4: RECONOCIMIENTO DE LA INTERSECCIÓN

4.1 Levantamiento geométrico de la intersección

El plano de la intersección con detalle geométrico a escala 1/1000 se ilustra mejor en el Anexo 19. No obstante, en la Figura 32 se aprecia el levantamiento geométrico de la zona de estudio, y en la Tabla 13, se muestra los accesos del óvalo con sus respectivos carriles y demás vías que componen la intersección.

4.1.1 Configuración de vías de acceso del óvalo

Figura 32. Configuración de vías y acceso de la intersección
Fuente: Propia

4.1.2 Configuración de calles y vías aledañas de la intersección

Asimismo, en la Figura 33, se precisa las dimensiones de calzadas de calles y vías aledañas que configura el alcance de la zona de estudio.

Figura 33. Configuración de calles y vías aledañas de la intersección
Fuente: Propia

A continuación, en la Tabla 12, se presenta las vías y sus respectivas dimensiones que componen el sistema:

Tabla 13. *Configuración de vías que componen la intersección y sus respectivas dimensiones*

Elemento	Origen / Dirección	N. ° de carriles	Ancho de carril (m)	Ancho de calzada (m)
Accesos al óvalo Habich	Sur	2	3.30	6.60
	Este	3	3.50	10.50
	Norte	2	3.50	7.00
	Oeste	3	3.50	10.50
	Sur - Este	2	3.20	6.40
Vías auxiliares Av. Alfredo Mendiola	Este - Norte	2	3.45	6.90
	Norte - Oeste	2	3.00	6.00
	Oeste - Sur	2	3.30	6.60
Óvalo Habich	Antihorario	5	3.50	17.50
	José Granda Oeste - Este	3	3.50	10.50
	José Granda Este - Oeste	4	3.38	13.50
Avenidas aledañas	E. de Habich Oeste - Este	3	3.33	10.00
	E. de Habich Este - Oeste	3	3.33	10.00
	Honorio Delgado 1	2	3.05	6.10
	Honorio Delgado 2	2	3.05	6.10
	Norte - Sur	3	3.50	10.50
Intercambio vial	Sur - Norte	3	3.50	10.50
	Federico Villareal	2	2.48	4.95
	Charles Sutton Sur	2	2.57	5.14
	Charles Sutton Norte	2	3.00	6.00
	Pedro Paulet	2	2.97	5.93
Calles aledañas	Manuel Villar	2	2.82	5.64
	Bartolomé Herrera	1	2.97	2.97
	Matto de Turner	2	3.00	6.00
	José Sabogal	2	2.98	5.95
	Miguel Arenas	2	2.95	5.90

Fuente: Propia

Cabe destacar que, las dimensiones expuestas en la tabla anterior fueron registradas con los materiales y métodos descritos en el inciso 3.1. Así, es importante reconocer estos valores para diseñar el modelo en el *software Vissim 9.0* y asemejar más el diseño a la realidad. Para esta ocasión, dada las limitaciones de las herramientas de medición, se considera dos cifras significativas en las mediciones realizadas.

4.2 Determinación de la señalética de la intersección

Determinar la señalética de una intersección es importante al momento de analizar las implicancias que cobra en el presente caso de estudio. En primer lugar, se puede evaluar el impacto en cuanto a su funcionalidad, es decir, si se encuentran instaladas las señales de tránsito adecuadas para la intersección. Por otro lado, cuando se pretende realizar cambios al diseño inicial, por ejemplo, rediseño geométrico o implementación de semáforos, se evalúa la colocación de nuevas señales de tránsito, sean horizontales o verticales.

En la Figura 34, se presenta el plano de la intersección a nivel de detalle de señaléticas, proporcionado por EMAPE (Empresa Municipal Administradora de Peajes de Lima, 2018). Se contempla en el plano el diseño inicial de la intersección, por ende, se aprecia las ubicaciones reales que hoy en día se presenta en el área de estudio.

Figura 34. Plano de intersección a nivel de detalle de señaléticas
Fuente: (Empresa Municipal Administradora de Peajes de Lima, 2018)

4.2.1 Señalética horizontal

- **Señalética horizontal proyectada**

De acuerdo con la Figura 35 mostrada anteriormente, se logra identificar las siguientes señalizaciones horizontales en el plano proporcionado por EMAPE:

Figura 35. Conjunto de señalizaciones horizontales tomadas del plano de intersección
Fuente: (Empresa Municipal Administradora de Peajes de Lima, 2018)

- **Señalética horizontal existente - validación**

En la Figura 36, se puede apreciar las flechas de giro se encuentran presentes, sin embargo, su estado actual es calamitoso. Muchas de ellas se encuentran despintadas y algunas casi se han borrado del pavimento.

Figura 36. Estado de la situación actual de la señalética horizontal en la intersección
Fuente: Propia

Figura 37. Estado de la situación actual de la señalética horizontal en la intersección
Fuente: Propia

Nota. Por otro lado, en la Figura 37, se puede visualizar las líneas divisorias entre carriles, así como la franja blanca de “pare” se hallan en condiciones críticas de visibilidad. Asimismo, casi no se distingue la señal “despacio”, por lo mismo que los conductores no toman las consideraciones adecuadas.

Figura 38. Estado de la situación actual de la señalética horizontal en la intersección
Fuente: Propia

Nota. Otro ejemplo, se muestra en la Figura 38, donde los cruces peatonales logran distinguirse mejor en contraste con las demás señales y marcas pintadas en el pavimento. No obstante, se encuentran próximos a desgastarse completamente. Asimismo, se pudo apreciar el cruce exclusivo para bicicletas en similar estado.

En resumen, las señaléticas horizontales proyectadas al inicio de su construcción se han encontrado en muchos casos. Por ejemplo, las fechas de giro, cruces peatonales tipo cebr, las líneas divisorias entre carriles, el cajón delimitado para buses de transporte público, así como otras señales preventivas e informativas para los conductores. Sin embargo, todas las anteriores se encuentran en un estado crítico que requiere ser atendido con urgencia por parte

de las autoridades. Es decir, la poca visibilidad y desgaste de estas, preciso por el uso y condiciones meteorológicas, son las principales causas de accidentes y desorientación entre vehículos y peatones.

4.2.2 Señalética vertical

- **Señalética vertical proyectada**

De acuerdo con la Figura 34 mostrada anteriormente, se logra identificar las siguientes señaléticas verticales en el plano proporcionado por EMAPE:

Figura 39. Conjunto de señaléticas verticales tomadas del plano de intersección
Fuente: (Empresa Municipal Administradora de Peajes de Lima, 2018)

- Señalética vertical existente - validación

Figura 40. Estado actual de la señalización vertical en la intersección
Fuente: Propia

En resumen, las señaléticas verticales proyectadas, en muchos casos coinciden con las observadas durante el recorrido en campo. Por ejemplo; las señales se pueden clasificar según su función; preventivas, que por lo general tienen forma de diamante, señales informativas, que suelen tener forma rectangular; y, por último, señales reguladoras que carecen de forma definida, entre ellos se encuentra la señal de “ceda el paso” o, alturas y velocidades máximas restrictivas. Asimismo, también se encuentran paneles informativos de mayor dimensión que indican las posibles rutas que los vehículos pueden tomar a partir de su posición.

No obstante, estas señales de tránsito se encuentran en un estado de abandono, si bien, se encuentran en mejores condiciones que la señalética horizontal, es pertinente citar la intervención de las autoridades para remover la suciedad y realizar trabajos de mantenimiento continuo. En algunos casos, se observó que ciertas señales habían sido sustraídas quedando únicamente parantes oxidados. Asimismo, la autoridad municipal edil ha instalado nuevas señales de tránsito en el último año, motivo por el cual se reconoce dicha labor.

4.3 Lista de verificaciones

De acuerdo con el inciso 3.7 del Capítulo 3: Metodología, la lista de verificaciones es una herramienta importante para describir las condiciones actuales de seguridad con la finalidad de determinar quiénes son los agentes más vulnerables y cuáles son las situaciones más críticas. Asimismo, este proyecto se divide en los siguientes aspectos a evaluar: entorno y accesos, circulación y cruces peatonales, circulación vehicular, estacionamientos y señalización de tránsito. Los resultados se detallan en el Anexo 6.

4.3.1 Accesos y entorno

Figura 41. Condiciones presentes en accesos y entorno de la intersección

Fuente: Propia

Nota. En la Figura 41, se puede apreciar que los accesos y salidas vehiculares no se encuentran separados de los peatones. Ello genera conflicto con los transeúntes quienes ponen en peligro su integridad física para desplazarse de un punto a otro.

Figura 42. Condiciones presentes en accesos y entorno de la intersección

Fuente: Propia

Nota. En la Figura 42, se aprecia a una persona miccionando en la vía pública. Es un caso muy frecuente dado la escasa presencia de baños públicos. Por otro lado, se observa una caseta de vigilancia de la Municipalidad de Lima, el cual no basta para brindar resguardo, ya que es zona altamente comercial.

Figura 43. Condiciones presentes en accesos y entorno de la intersección
Fuente: Propia

Nota. Asimismo, en la Figura 43, se observa el estrechamiento de vía de la Panamericana Norte con la auxiliar Av. Alfredo Mendiola, frente a la Municipalidad de San Martín de Porres. Se cumple que el ancho de calzada y número de carriles no es constante, lo que produce un abrupto cuello de botella y alta congestión vehicular.

4.3.2 Circulación y cruces peatonales

Figura 44. Condiciones presentes en circulación y cruces peatonales
Fuente: Propia

Nota. En la Figura 44, se observa el conflicto entre peatones y vehículos. En principio los vehículos no ceden la prioridad a los peatones, por lo mismo que estos últimos suelen esperar más de 5 minutos para cruzar, o en su defecto cruzan a través de los vehículos detenidos. Ello genera hacinamiento en el área de espera y reduce la fluidez peatonal.

Figura 45. Condiciones presentes en circulación y cruces peatonales
Fuente: Propia

Nota. En la Figura 45 se visualiza la presencia de comercio ambulatorio en la zona. En muchos casos, los vendedores ocupan una porción considerable de vereda, lo cual interrumpe la fluidez peatonal y atrae mayor inseguridad a la zona. Además, los puestos ambulatorios de comida despachan en condiciones insalubres a sus comensales.

Figura 46. Condiciones presentes en circulación y cruces peatonales
Fuente: Propia

Nota. En la Figura 46, se aprecia que los bolardos en los cruces peatonales han sido derribados. Estos bloques de seguridad tienen como función resguardar al peatón ante posibles descarrilamientos o accidentes de tránsito que puedan invadir el área de espera. Sin duda, los peatones se encuentran en estado de vulnerabilidad ante este escenario.

Figura 47. Condiciones presentes en circulación y cruces peatonales
Fuente: Propia

Nota. En la Figura 47, se puede constatar que un alto número de peatones arriesgan sus vidas al cruzar la vía no por los cruces peatonales debidamente establecidos. Esta imagen corrobora que los accidentes de tránsito en el país, por lo general, no solamente suelen ser por falta de los conductores que hayan infringido las normas, sino, en buena medida por la irresponsabilidad de los peatones en cruzar la vía de esta manera. Por otro lado, según el Modelo de las fuerzas sociales de Helbing, un peatón establece su desplazamiento de acuerdo con el trayecto más corto y que le ahorre más tiempo.

4.3.3 Circulación vehicular

Figura 48. Condiciones presentes en cuanto a circulación vehicular
Fuente: Propia

Nota. En la Figura 48, se aprecia la presencia combinada de vehículos interurbanos y vehículos urbanos. En esta ocasión, los camiones y buses de transporte público entran en conflicto con los vehículos más livianos quienes se ven restringidos por su volumen y velocidad. Asimismo, los peatones sufren las mismas inclemencias.

Figura 49. Condiciones presentes en cuanto a circulación vehicular
Fuente: Propia

Nota. En la Figura 49, ilustra la existencia de paraderos de buses de transporte público informales. Así, se observa a un bus irrumpir en medio de la vía para recoger pasajeros situados en una esquina. Los vehículos que emergen por la calle transversal entran en conflicto al no poder realizar el giro respectivo.

Figura 50. Condiciones presentes en cuanto a circulación vehicular
Fuente: Propia

Nota. En la Figura 50, se visualiza un forado sobre la vía, está se ubica en uno de los carriles interiores del óvalo. Se observa que, en determinados puntos de la calzada, se hallan agrietamientos y hendiduras a nivel estructural en cuanto a la conformación de la base del pavimento.

4.3.4 Estacionamientos

Figura 51. Condiciones presentes en cuanto a estacionamientos
Fuente: Propia

Nota. En la Figura 51, dado que la zona de estudio es altamente comercial, la demanda de estacionamientos no logra ser atendida por la escasez de estacionamiento disponibles, por lo tanto, los usuarios invaden un carril de la vía para tal fin. Esta problemática aumenta la congestión vehicular al reducirse la capacidad de la vía, de 3 a 2 carriles por calzada.

4.3.5 Señalización de tránsito

Figura 52. Condiciones presentes en cuanto la señalización de tránsito
Fuente: Propia

Nota. En la Figura 52, se aprecia una desgastada marca de bicicleta en la vereda. Esta situación genera que los peatones invadan el área destinada al flujo de bicicletas, lo cual, en un momento dado sin advertencia, podría generar accidentes moderados. Por otro lado, el desplomo de un parante oxidado sin señalética, sobre la vereda, puede ocasionar hasta la muerte de cualquier transeúnte.

A continuación, en la Figura 53, de manera demostrativa se detalla la lista de verificaciones del entorno y accesos, los demás aspectos se visualizan en el Anexo 6.

	ITEM	SI	NO	N.A.	OBSERVACIONES	FIGURA
1	ENTORNO Y ACCESOS					
1.1	¿El área que abarca la zona de estudio es predominantemente comercial?	X			Entre lo más destacados se encuentra la Municipalidad de San Martín de Porres, el Banco BBVA Continental, la Reniec, Mercado Santa Rosa, restaurantes, y negocios varios.
1.2	¿Los accesos vehiculares se encuentran separados de los peatonales?	X			Las veredas peatonales adyacentes, así como los cruces peatonales se encuentran a un nivel diferente de la calzada.
1.3	¿Los accesos y salidas del óvalo tienen un ancho de carril constante?	X			Los accesos Norte y Sur tienen dos carriles, mientras que los accesos Este y Oeste tienen tres carriles. No obstante, todas las salidas del óvalo tienen 3 carriles con un ancho de 3.50m.
1.4	¿Los carriles del óvalo tienen un ancho de carril constante mayor a 3.00 metros?	X			El ancho de los carriles interiores del óvalo es 3.50m, lo que en suma se obtiene una calzada con ancho de 17.50m.
1.5	¿La publicidad presente en la zona de estudio distrae al usuario mientras conduce?			X	Es preciso realizar un muestreo a través de encuestas dirigidas a los usuarios; peatones y vehículos.
1.6	¿Las vías auxiliares tienen un ancho de carril igual a los accesos principales del óvalo?		X		Por lo general, el ancho de carril de los accesos principales es mayor que el ancho de carril de las vías auxiliares.
1.7	¿Están las vías auxiliares separadas de los peatones?	X			Las veredas peatonales adyacentes, así como los cruces peatonales se encuentran a un nivel diferente de la calzada.

Figura 53. Evaluación de entorno y accesos según la lista de verificaciones
Fuente: Propia

4.4 Datos procesados de las videograbaciones

Los datos de entrada para el desarrollo y calibración del modelo se realizan con los datos tomados en campo y los obtenidos de la filmación del lunes 04 de noviembre. Para la validación, se utiliza el paquete de datos de la filmación del lunes 11 de noviembre del 2019. A continuación, en la Tabla 14 se sintetiza la organización de las videograbaciones de acuerdo con los días, turnos y horarios de uso, así como también su aplicación en el modelo:

Tabla 14. Programación de vuelo del dron

Turno	Dron	Accesos	Inicio	Fin	Duración	Calibración	Validación
Mañana	1	Todos	7:00 am	8:00 am	1 hr	Lunes 04 de	Lunes 11 de
Mediodía	2	Todos	12:00 pm	13:00 pm	1 hr	noviembre del	noviembre del
Noche	3	Todos	18:00 pm	19:00 pm	1 hr	2019	2019

Fuente: Propia

4.5 Aforo vehicular

Para determinar el aforo vehicular se clasifican los vehículos que circulan en el área de estudio, según categoría. En la Figura 54 se muestran los vehículos de mayor frecuencia de circulación en el sistema.

Figura 54. Tipos de vehículos que circulan a través de la intersección
Fuente: Propia

A partir del aforo realizado el lunes 04 de noviembre del 2019, se obtiene los flujogramas vehiculares de cada acceso del óvalo. Se distingue por colores, mediante el cual, la línea

segmentada de color rojo son las rutas hacia el Norte, las de color amarillo son las rutas hacia el Oeste, las de color verde son las rutas hacia el Este y las de color celeste son las rutas hacia el Sur.

Figura 55. Rutas vehiculares según acceso
Fuente: Propia

4.6 Composición vehicular – Desarrollo del modelo

Durante la realización del aforo vehicular, se observa dos criterios de evaluación; la primera es la composición vehicular del acceso en general; y la segunda, es la composición vehicular relativa según ruta realizada, para cada uno los cuatros accesos al óvalo. A continuación, se presentan las siguientes gráficas que ilustra la clasificación realizada.

4.6.1 Acceso Sur

- Composición vehicular del acceso

Figura 56. Composición vehicular en el acceso Sur
Fuente: Propia

- Composición vehicular según ruta realizada

Figura 57. Composición vehicular por ruta en el acceso Sur
Fuente: Propia

4.6.2 Acceso Este

- Composición vehicular del acceso

Figura 58. Composición vehicular en el acceso Este
Fuente: Propia

- Composición vehicular según ruta realizada

Figura 59. Composición vehicular por ruta en el acceso Este
Fuente: Propia

4.6.3 Acceso Norte

- Composición vehicular del acceso

Figura 60. Composición vehicular en el acceso Norte
Fuente: Propia

- Composición vehicular según ruta realizada

Figura 61. Composición vehicular por ruta en el acceso Norte
Fuente: Propia

4.6.4 Acceso Oeste

- Composición vehicular del acceso**

Figura 62. Composición vehicular en el acceso Oeste
Fuente: Propia

- Composición vehicular según ruta realizada**

Figura 63. Composición vehicular por ruta en el acceso Oeste
Fuente: Propia

4.7 Velocidad de vehículos – Desarrollo del modelo

El *software Vissim 9.0* ofrece ciertos tipos de vehículos motorizados predeterminados, no obstante, no satisface los demás tipos de vehículos presentes en la zona de estudio, tales como el mototaxi, la *coaster* y combi. De esta manera, se hace indispensable determinar la distribución de velocidades deseadas, dado que, de acuerdo con la intersección presentan una naturaleza diferente al que ofrece los vehículos predefinidos del programa. Es preciso mencionar que, se determina una distribución por cada tipo de vehículo, es decir, se obtendrán 7 gráficos diferentes.

Para calcular las velocidades se delimita 4 tramos en las cuatro diferentes vías de acceso que contempla la intersección. Cabe mencionar que, estos tramos delimitados deberán carecer de obstáculos sobre la vía con la finalidad de obtener datos más certeros. Así, con la ayuda de un cronómetro, previamente definido en el inciso 3.8, se miden los tiempos que tardan en atravesar dichas longitudes establecidas en cada uno de los tramos, para ello, se considera una velocidad constante. Los tramos definidos se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. *Tramos definidos para la evaluación de velocidad vehicular de acceso*

Tramo	Dirección / Sentido	Longitud del tramo
		(metros)
Av. Alfredo Mendiola	Sur - Norte	15.00
Av. Eduardo de Habich	Este - Oeste	15.00
Av. Alfredo Mendiola	Norte - Sur	15.00
Av. José Granda	Oeste - Este	15.00

Fuente: Propia

Utilizando el formato para registrar las mediciones, se calcula la velocidad de todos los vehículos analizados según la ecuación básica de cinemática, distancia entre tiempo igual a velocidad instantánea. Posteriormente, se elabora una tabla de frecuencias acumuladas de

las velocidades previamente calculadas para tipo de vehículo. Para citar un caso conciso, se escoge a los taxis como criterio de evaluación, luego, se registran los tiempos de 60 vehículos tipo “taxi”, se determina las velocidades y de acuerdo con la muestra se dividen en 7 intervalos de amplitud 5.46 km/h.

Las tablas respectivas a las diferentes clasificaciones de vehículos se ilustran en el Anexo 3, y en la Figura 64, se observa las distribuciones acumuladas de velocidades deseadas para los 7 tipos de vehículos presentes en la zona de estudio; autos/SUV, taxis, motos lineales, mototaxis, camiones/tráiler/buses interprovinciales, ómnibus, coasters y combis.

Figura 64. Velocidad deseada según tipo de vehículo en la zona de estudio
Fuente: Propia

4.8 Aforo peatonal – Desarrollo del modelo

Para el registro de datos del aforo peatonal en la intersección, primero se disponen los puntos de inicio de los recorridos que los peatones para cruzar las vías que componen la intersección. En la Tabla 16, se detalla la configuración de los recorridos peatonales y en la Figura 65 se muestra en el mapa la ubicación de los recorridos.

Tabla 16. Configuración de los recorridos peatonales presentes en la intersección

Crucero Peatonal	Punto de partida	Punto de llegada
Sur	Oeste (a)	Este (b)
	Este (b)	Oeste (a)
Este	Norte (1)	Sur (2)
	Sur (2)	Norte (1)
Norte	Oeste (x)	Este (y)
	Este (y)	Oeste (x)
Oeste	Norte (*)	Sur (+)
	Sur (+)	Norte (*)

Fuente: Propia

Figura 65. Mapa de ubicación de los recorridos peatonales
Fuente: Propia

4.9 Velocidad peatonal – Desarrollo del modelo

La velocidad peatonal es calculada para cada cruce peatonal, ya que las distancias son conocidas, la velocidad de un peatón se considera como el resultado de dividir la distancia

entre el tiempo que le tardar en desplazarse a través de dicho tramo (Talero, Organista, Barbosa, & Mora, 2013). El muestreo está sujeto a 60 personas para cada cruce, estos datos se ilustran en el Anexo 4, así como las tablas de frecuencias acumuladas respectivas.

Figura 66. Velocidad deseada peatonal en la zona de estudio
Fuente: Propia

4.10 Tiempos de control policial de tránsito – Desarrollo del modelo

Dada la congestión vehicular en la zona de estudio, la presencia de agentes policiales para controlar el tránsito se torna imprescindible a fin de reducir los estragos ocasionados por el tráfico. En su defecto, son tres agentes policiales quienes controlan el tráfico en los diferentes puntos de la intersección en determinados horarios del día. En la Tabla 17, se muestra la distribución de los agentes policiales de tránsito y sus respectivos puntos de control.

Tabla 17. Distribución de agentes policiales de tránsito y sus respectivos puntos de control

Agente Policial de Tránsito	Puntos de Control	Tiempo promedio rojo (segundos)	Tiempo promedio verde (segundos)	Periodo de tiempo analizado
1	Acceso Norte	850	50	7:00 – 8:00 am
	Ovalo - Norte	1er rojo: 50 2do rojo: 200	1er verde: 200 2do verde: 400	
2	Acceso Oeste	300	300	
	Óvalo - Oeste	300	300	
3	Panamericana Norte / Sentido Norte-Sur	180	720	
	Auxiliar Av. Alfredo Mendiola / Sentido Norte-Sur	720	180	

Fuente: Propia

A continuación, en la Figura 67, se aprecia el ciclo semafórico generado a partir de los tiempos promedios de “rojo” y “verde” asignados por los agentes policiales de tránsito.

Figura 67. Ciclo semafórico generado a partir de los tiempos promedios asignados por los agentes policiales.
Fuente: Propia

4.11 Velocidad vehicular de acceso al óvalo – Calibración

En esta sección se determina los valores para calcular la velocidad instantánea de los vehículos cuando ingresan al óvalo en los cuatro diferentes accesos. Asimismo, la clasificación por vehículos no será tomado en cuenta, por lo mismo que se tomará la velocidad promedio genérica vehicular. Como primer paso para determinar la velocidad instantánea de un vehículo, se selecciona un tramo del acceso cuya longitud es conocida y dispuesta, con la finalidad de calcular el tiempo que tarda el vehículo en atravesar dicha longitud. Mediante una ecuación básica de cinemática, se logra obtener la velocidad instantánea del vehículo en el punto límite de ingreso al óvalo.

A continuación, en la Tabla 18, se detalla los tramos seleccionados y su respectiva longitud de análisis de acuerdo con el acceso.

Tabla 18. *Tramos seleccionados y sus respectivas longitudes para fines de calibración del modelo*

Acceso	Tramo	Longitud (m)
Sur	a - b	12.20
Este	c - d	8.75
Norte	e - f	10.15
Oeste	g - h	11.35

Fuente: Propia

Nota. De acuerdo con los valores mostrados en la Tabla 18, el primer tramo (a - b) se ubica en la Av. Alfredo Mendiola hacia el acceso Sur del óvalo y tiene una longitud de 12.2 m, el segundo (c - d), se ubica la Av. Eduardo de Habich en dirección al acceso Este del óvalo, cuya longitud es 8.75 m, el tercer tramo (e - f) se ubica en la Av. Alfredo Mendiola en dirección al acceso Norte y posee 10.15 m. de longitud, y finalmente, el cuarto tramo (g - h) se ubica en la Av. José Granda hacia el acceso Oeste del óvalo, cuenta con una longitud de 11.35 m. Para cada tramo, se registran 50 vehículos, el cual se detalla en el Anexo 7.

A continuación, de la Figura 68 a la Figura 71 se aprecian los tramos y sus longitudes.

- **Acceso Sur**

Figura 68. Longitud evaluada en el acceso Sur
Fuente: Propia

- **Acceso Este**

Figura 69. Longitud evaluada en el acceso Este
Fuente: Propia

- **Acceso Norte**

Figura 70. Longitud evaluada en el acceso Norte
Fuente: Propia

- **Acceso Oeste**

Figura 71. Longitud evaluada en el acceso Oeste
Fuente: Propia

En la Tabla 19, se muestra un resumen de los datos registrados en campo, de acuerdo con el número mínimo de muestras que atienda a la Ecuación 6. Por otro lado, es preciso mencionar que, el error admitido para la presente investigación es de 10% del promedio de los datos, considerando un nivel de confianza del 95%.

Tabla 19. Resumen de datos de velocidad vehicular de acceso al óvalo

Velocidad Vehicular de Acceso al Óvalo (km/h)				
	Acceso Sur	Acceso Este	Acceso Norte	Acceso Oeste
Promedio	18.33	16.95	25.69	23.73
Valor máximo	20.62	18.74	28.10	27.45
Valor mínimo	16.57	14.88	23.58	21.05
Desviación estándar	0.90	0.94	1.03	1.17
$t(1 - \alpha/2). N-1$	1.9957	1.9957	1.9957	1.9957
Error de muestra	1.833	1.695	2.569	2.373
$N_{\text{mínimo}}$	0.96	1.22	0.64	0.97
N_{muestra}	70	70	70	70
¿Cumple con $N_{\text{mín}}$?	Si	Si	Si	Si

Fuente: Propia

Nota. A partir de los resultados mostrados en la Tabla 19, se puede apreciar que el número mínimo de muestras es menor al número de muestras que se tomaron en campo, y ello se cumple para todos los accesos del óvalo. Dada la baja desviación de estándar del muestreo, es preciso realizar un número mínimo reducido.

4.12 Tiempo de viaje peatonal – Calibración

De igual manera que el acápite anterior 4.11, se registran los tiempos de viaje peatonal en los cuatro (4) cruces peatonales que contempla la intersección, Asimismo, para esta ocasión no será considerado la clasificación por tipos de peatones, de modo tal que, la velocidad peatonal será genérica. Para determinar los tiempos de viaje se selecciona un tramo del cruce peatonal cuya longitud es conocida mediante el uso de instrumentos de medición en campo y posteriormente, se procede a registrar con la ayuda de un cronómetro digital los tiempos medidos. A continuación, en la Tabla 20, se detalla los tramos seleccionados y su respectiva longitud de análisis de acuerdo con el crucero peatonal.

Tabla 20. *Tramos seleccionados y su respectiva longitud de análisis*

Crucero Peatonal	Tramo	Longitud (m)
Sur	1 - 2	86.25
Este	3 - 4	71.88
Norte	5 - 6	86.42
Oeste	7 - 8	84.80

Fuente: Propia

Nota. De acuerdo con los valores mostrados en la Tabla 18, el primer tramo (1 - 2) cruza la Av. Alfredo Mendiola, y tiene una longitud de 86.25 m, el segundo (3 - 4), interseca la Av. Eduardo de Habich, cuya longitud es 71.88 m, el tercer tramo (5-6) corta perpendicularmente a la Av. Alfredo Mendiola y posee 86.42 m. de longitud, y finalmente, el cuarto tramo (7 - 8) interseca en la Av. José Granda, cuenta con una longitud de 84.80 m. Para cada tramo, se registran 30 peatones, el cual se presentan con mayor detalle en el Anexo 8.

- **Crucero Peatonal Sur**

Figura 72. Longitud evaluada en el crucero peatonal Sur
Fuente: Propia

- **Crucero Peatonal Este**

Figura 73. Longitud evaluada en el crucero peatonal Este
Fuente: Propia

- **Crucero Peatonal Norte**

Figura 74. Longitud evaluada en el cruceo peatonal Norte
Fuente: Propia

- **Crucero Peatonal Oeste**

Figura 75. Longitud evaluada en el cruceo peatonal Oeste
Fuente: Propia

En la Tabla 21, se muestra un resumen de los datos registrados en campo, de acuerdo con el número mínimo de muestras que atienda a la Ecuación 6. Asimismo, nuevamente se considera que, el error admitido para la presente investigación es de 10% del promedio de los datos, considerando un nivel de confianza del 95%.

Tabla 21. Resumen de datos de tiempos de viaje peatonal en los cruces peatonales del óvalo

Calibración del Modelo según datos de Campo - Tiempos de Viaje Peatonal (seg)								
	Cruce Peatonal Sur		Cruce Peatonal Este		Cruce Peatonal Norte		Cruce Peatonal Oeste	
	Oeste - Este	Este - Oeste	Norte - Sur	Sur - Norte	Oeste - Este	Este - Oeste	Norte - Sur	Sur - Norte
Promedio	72.18	71.44	53.75	58.04	71.25	61.43	67.33	72.41
Valor máximo	73.90	75.70	57.80	59.80	72.80	67.50	70.10	77.20
Valor mínimo	70.70	70.10	51.60	55.40	69.70	59.50	65.10	70.00
Desviación estándar	0.80	1.18	1.39	1.16	0.92	1.46	1.27	1.44
$t(1 - \alpha/2).N-1$	2.0452	2.0452	2.0452	2.0452	2.0452	2.0452	2.0452	2.0452
Error de muestra	7.22	7.14	5.38	5.80	7.13	6.14	6.73	7.24
$N_{\text{mínimo}}$	0.05	0.11	0.28	0.17	0.07	0.24	0.15	0.17
N_{muestra}	30	30	30	30	30	30	30	30
¿Cumple con $N_{\text{mín}}$?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Fuente: Propia

Nota. A partir de los resultados mostrados en la Tabla 21, se puede apreciar que el número mínimo de muestras es menor al número de muestras que se tomaron en campo, y ello se cumple para todos los accesos del óvalo. Debido a que la desviación estándar de la muestra es baja, el número mínimo de muestreo también será reducido.

4.13 Aforo vehicular - Validación

De acuerdo con lo mencionado en el inciso 4.4 del presente capítulo, el paquete de datos para la validación fue registrado del lunes 11 de noviembre del 2019. Así, este registro se realiza igualmente para la determinación del aforo vehicular para el desarrollo del modelo. Los valores completos del aforo vehicular se presentan en el Anexo 1. A partir de ello, se genera el flujograma vehicular para la validación del modelo, mostrado en la Figura 76.

Figura 76. Flujograma vehicular de los accesos del óvalo para la validación del modelo
Fuente: Propia

4.14 Composición vehicular – Validación

4.14.1 Acceso Sur

- Composición vehicular del acceso

Figura 77. Composición vehicular en el acceso Sur
Fuente: Propia

- **Composición vehicular según ruta realizada**

Figura 78. Composición vehicular por ruta en el acceso Sur
Fuente: Propia

4.14.2 Acceso Este

- **Composición vehicular del acceso**

Figura 79. Composición vehicular en el acceso Este
Fuente: Propia

- **Composición vehicular según ruta realizada**

Figura 80. Composición vehicular por ruta en el acceso Este
Fuente: Propia

4.14.3 Acceso Norte

- **Composición vehicular del acceso**

Figura 81. Composición vehicular en el acceso Norte
Fuente: Propia

- **Composición vehicular según ruta realizada**

Figura 82. Composición vehicular por ruta en el acceso Norte
Fuente: Propia

4.14.4 Acceso Oeste

- **Composición vehicular del acceso**

Figura 83. Composición vehicular en el acceso Oeste
Fuente: Propia

- **Composición vehicular según ruta realizada**

Figura 84. Composición vehicular por ruta en el acceso Oeste
Fuente: Propia

4.15 Aforo peatonal - Validación

Los pasos por seguir para calcular el aforo peatonal para la validación son similares al flujo peatonal calculado para el desarrollo del modelo. Las tablas respectivas a este procedimiento se ilustran en el Anexo 2.

Figura 85. Flujograma peatonal para la validación del modelo
Fuente: Propia

5 CAPÍTULO 5: CONSTRUCCIÓN DEL MODELO, CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DEL PROYECTO

En este capítulo se desarrolla el segundo y tercer ítem de la metodología para la elaboración del modelo microscópico del proyecto, de acuerdo con la Figura 29. Lo anterior consiste en la construcción, verificación, calibración y validación del modelo a través del *software Vissim 9.0 y Viswalk 9.0*.

En primer lugar, para la construcción del modelo, la información de entrada consta del plano de la intersección y de los datos obtenidos en campo y posteriormente procesados en el inciso 4.4, para la construcción del modelo. Luego, se procede con la verificación, el cual consiste en corroborar que los datos de entrada sean los adecuados y que la simulación refleje el comportamiento real de los vehículos y peatones presentes en la zona de estudio. Posteriormente, con los datos obtenidos en el inciso 4.4 para la calibración, se corre el programa con parámetros de simulación diferentes hasta que se encuentre calibrado.

Finalmente, se procede con la validación del modelo, el cual consta en evaluar el sistema ante diferentes datos de entrada, mostrados en el inciso 4.4, como datos para la validación. Lo anterior, tiene como finalidad verificar que se obtengan resultados similares de campo acorde al parámetro de eficiencia seleccionado. A continuación, se precisa el procedimiento a seguir.

5.1 Construcción del modelo

5.1.1 Imagen de fondo (*Background*)

Se incorpora una imagen o plano de fondo, el cual es opcional ya que, el programa cuenta con un mapa georreferenciado del mundo (vista satelital) y se puede identificar las intersecciones y trabajar sobre ellas. No obstante, se identificó la zona de estudio con buena resolución y por ende se optó trabajar con ella, como se muestra en la Figura 86.

Figura 86. Zona de estudio analizada mediante mapa georreferenciado del programa
Fuente: Propia

5.2 Creación de vehículos atípicos en Vissim 9.0

El *Vissim* tiene predeterminado los vehículos motorizados presentes en la zona de estudio. No obstante, existen ciertos vehículos atípicos que poseen características muy particulares y no se encuentran predeterminados, tales como; microbús modelo *coaster*, una camioneta rural modelo van, popularmente conocido como ‘combi’, y la ‘mototaxi’ que se caracteriza por ser un vehículo de tres ruedas. Casualmente los tres son vehículos motorizados destinados al servicio del transporte público y cuya participación en la zona de estudio es representativa. En este sentido, se procede con la construcción del modelo en 3D, para ello se emprende la búsqueda en la biblioteca virtual, *3D Warehouse*, de *SketchUp*. Luego de realizar las modificaciones pertinentes se inserta al programa y se le asigna los parámetros de velocidad y aceleración deseadas. A continuación, se detalla el procedimiento para incluir el vehículo atípico; *coaster*, como ejemplo ilustrativo para los demás casos.

5.2.1 Construcción de un modelo en SketchUp

No se obtuvo resultados positivos durante la búsqueda de un vehículo con características similares a las de una *coaster* en *3D Warehouse*. Sin embargo, se encontró un vehículo que

es base para la construcción del modelo a través del *software SketchUp* 2019, y que luego de ciertas modificaciones se logra una mejor similitud. Es oportuno mencionar que para insertar un modelo al *Vissim 9.0*, es imprescindible que el objeto desarrollado en *SketchUp* sea guardado en una versión menor o igual al del 2014.

Figura 87. Modelo base de una *coaster*
Fuente: Propia

Luego, utilizando las herramientas del *software SketchUp*, se procede a modificar la puerta ubicada al lado izquierdo del vehículo y trasladarla al lado derecho, de acuerdo con la normativa del Perú. Luego, se le añade las franjas de colores representativos: amarillo y naranja, ubicado a media altura del chasis, según lo observado en campo. Finalmente, se añade textos en la parte lateral del vehículo indicando los destinos que ofrece el vehículo de transporte público. En la Figura 88 se muestra el resultado del modelo en 3D de una *coaster*.

Figura 88. Modelo modificado de una *coaster*
Fuente: Propia

5.2.2 Inclusión del vehículo en *Vissim 9.0*

La *coaster* es un vehículo de transporte público que no se encuentra predeterminado en *Vissim*, ya que se considera un vehículo atípico. No obstante, es pertinente tomarlo en

consideración debido a que forma parte de la composición vehicular registrada en la zona de estudio. Asimismo, se utiliza el programa *V3DM*, el cual es un submódulo que exclusivamente sirve para editar e insertar vehículos y objetos estáticos a *Vissim*.

5.2.3 Importación del vehículo a *V3DM*

En primer lugar, se crea un nuevo proyecto en el programa *V3DM*, luego se ingresa a la opción *New* del archivo *File*; posteriormente, en el cuadro de diálogo llamado *Create new project*, se inserta el nombre del proyecto y el tipo, en este caso se selecciona vehículo. En consecuencia, de la carpeta *Model State – Standard*, situada en la franja izquierda de la interface, con clic derecho se selecciona el ícono *Base model* y se inserta el objeto desde el archivo que se generó en el inciso 5.2.1 en formato *.skp. El nuevo modelo creado en *V3DM* está compuesto por varios objetos, se seleccionan todos para luego unirlos en un solo componente.

Figura 89. Procedimiento para configurar las propiedades de un vehículo en *V3DM*

Fuente: Propia

Después de insertar el vehículo a *V3DM*, se desplaza para que el *software Vissim 9.0* pueda reconocer sus dimensiones correctamente, es decir, reconozca la parte delantera y trasera del vehículo. Para ello, se verifica que el modelo se encuentre alineado sobre el lado positivo del eje x (centrado), pero apuntando la parte delantera hacia el eje x negativo.

Cabe resaltar que, para realizar el paso anterior, se debe utilizar la herramienta *Align object*, situada en el recuadro superior central de la interface. Posteriormente, en la parte inferior izquierda de la ventana se selecciona el ícono de ‘martillo’ para editar la posición y sentido del vehículo haciendo clic en la función *Transform*. A continuación, se ilustra el procedimiento a realizar en la Figura 90.

Figura 90. Procedimiento para configurar las propiedades de un vehículo en *V3DM*
Fuente: Propia

Acto seguido, se asigna los atributos correspondientes a los vehículos, para lo cual se ingresa el botón *Vehicle* ubicado en la paleta *Edit*; y en el cuadro de diálogo de propiedades de vehículos se definen las posiciones de los ejes frontal y posterior. En la Figura 91 se detalla el procedimiento.

Figura 91. Procedimiento para configurar las propiedades de un vehículo en V3DM
Fuente: Propia

Finalmente, se exporta el vehículo en extensión .v3d seleccionando el botón *Export* de la ficha *File*.

Figura 92. Procedimiento para exportar un vehículo generado en V3DM
Fuente: Propia

De la misma manera, se procede para crear los siguientes tipos de vehículos atípicos:

Combi

Mototaxi

Taxi

Taxi

Figura 93. Tipos de vehículos generados en el programa *V3DM*
Fuente: Propia

5.2.4 Creación del vehículo en *Vissim* 9.0

Luego de exportar el modelo en 3D con extensión *v3d*, se procede a importar el vehículo en *Vissim*. En primera instancia, luego de abrir el programa, se abre la lista de modelos en la opción *2D/3D Models* ubicado en la pestaña *Base Data*, en ese cuadro de trabajo, con clic derecho se agrega el modelo desarrollado mediante la selección del archivo guardado.

Figura 94. Procedimiento para crear un nuevo vehículo en *Vissim*
Fuente: Propia

En segundo lugar, se agrega la distribución de velocidad deseada graficada previamente en la Figura 95, para lo cual se ingresa a la ficha *Base Data*, y se selecciona la opción *Desired Speed*, ubicada en *Distributions*.

Figura 95. Configuración de propiedades de velocidad de los vehículos en Vissim
Fuente: Propia

Finalmente, se crea un nuevo tipo de vehículo ingresando a *Vehicle Type* en la ficha *Base Data*, donde se selecciona el modelo que se importó mediante el proceso presentado en la Figura 92, y en la pestaña *Static*, se seleccionan las funciones de velocidad asignado según la Figura 93 en la pestaña *Functions & Distributions*.

Figura 96. Configuración de propiedades de velocidad de los vehículos en Vissim
Fuente: Propia

5.2.5 Creación de vías y conectores

Se representa los carriles vehiculares mediante el uso de links y conectores. Para ello, se selecciona la herramienta *Links* y se dibujan las vías que contempla la zona de estudio. Luego, conforme al sentido de viaje, se le asigna el número de carriles y el ancho de cada

uno de estos de acuerdo con la Tabla 12 en el inciso 4.1.2. Se finaliza con conectar las vías creadas mediante el arrastre con clic derecho desde el final del carril de origen hasta el inicio del carril de destino.

5.2.6 Creación de obstáculos

La creación de obstáculos se realiza para restringir el movimiento de los peatones y vehículos por áreas donde hay obstrucción. Los elementos observados dentro de la intersección que impiden el flujo continuo de los peatones son los postes de luz ubicados sobre las veredas o cruceros peatonales y comercio ambulatorio. Para el caso de los vehículos motorizados, los elementos que impiden el flujo continuo son los vehículos estacionados en paralelo sobre la misma vía. Para ello, se utiliza la herramienta *Obstacle* de *Viswalk* 9.0 y con clic derecho se delimita las áreas que restringirán movimientos de vehículos y/o peatones.

5.2.7 Definición de velocidades deseadas vehiculares y peatonales

En el inciso 4.5 del Capítulo 4, se determina la clasificación vehicular presente en la intersección, así, se definen 8 tipos de vehículos; autos/suv, taxis, motos lineales, ‘mototaxis’, camiones/tráiler/buses interprovinciales, ómnibus, *coaster* y ‘combi’. Posteriormente, se ingresa al *Vissim* 9.0 la gráfica de distribución de velocidad deseada, de acuerdo con los valores tomados en campo.

De la misma manera, se realiza la gráfica de velocidades deseadas para los peatones. En esta oportunidad, se considera una velocidad genérica para cualquier clasificación de peatón realizada.

5.2.8 Inclusión de parámetros de los vehículos atípicos

Los microbuses de transporte público, también conocidos popularmente como *coasters*, desataca por su reducido tamaño y su capacidad de transportar pasajeros en situaciones

complejas. Asimismo, este vehículo posee alto índice de presencia en la zona de estudio, y, por ende, sus parámetros vehiculares no se encuentran predeterminados en el programa. No obstante, tras haber realizado los estudios previos en la determinación de velocidades vehiculares para los diferentes tipos de vehículos, se logra establecer las funciones de velocidad deseada.

De la misma manera, se procede a insertar las velocidades deseadas para los demás vehículos atípicos determinados, tales como, las combis, taxis y mototaxis.

Figura 97. Gráfica de distribución de velocidad deseada de un vehículo tipo *coaster*
Fuente: Propia

5.2.9 Composición vehicular

La proporción de vehículos generada para cada acceso han sido establecidos mediante el procesamiento de datos recogidos de campo. Estos valores se insertan al *Vissim 9.0* a través de la opción *Vehicle Compositions* situado en la herramienta *Traffic*. Luego, se le atribuye un nombre a cada acceso y se le añade la clasificación de vehículos analizados según su respectiva velocidad de circulación previamente definida en el inciso 4.7 y su porcentaje relativo de flujo.

Figura 98. Procedimiento para ingresar las composiciones vehiculares relativas en *Vissim*
Fuente: Propia

5.2.10 Ingreso de aforos vehiculares y peatonales

Mediante la herramienta *Vehicle Inputs* y *Pedestrian Inputs*, se ingresan los volúmenes vehiculares y peatonales respectivamente. Cabe mencionar que los aforos vehiculares para los accesos de calles y avenidas aledañas han sido determinadas mediante una estimación. La misma situación ocurre con los aforos peatonales de las veredas adyacentes y paraderos de transporte público. Lo anterior, ya que no es prioridad para el análisis de la intersección.

Figura 99. Procedimiento para ingresar los aforos vehiculares en *Vissim*
Fuente: Propia

Count	No.	Name	Area	Volume(0)	PedComp(0)
1	30	Peatones Paradero FedericoVillareal_1	276	25.0	43: Peatones_vBus
2	31	Peatones Paradero FedericoVillareal_2	279	45.0	43: Peatones_vBus
3	32	Peatones Paradero FedericoVillareal_3	280	15.0	43: Peatones_vBus
4	33	Peatones Paradero PuenteTrompeta_1	287	25.0	43: Peatones_vBus
5	34	Peatones Paradero PuenteTrompeta_2	288	25.0	43: Peatones_vBus
6	35	Peatones Paradero PuenteTrompeta_3	289	85.0	43: Peatones_vBus
7	36	Peatones Paradero BartoloméHerrera_3	297	65.0	43: Peatones_vBus
8	37	Peatones Paradero BartoloméHerrera_2	298	55.0	43: Peatones_vBus
9	38	Peatones Paradero BartoloméHerrera_1	299	15.0	43: Peatones_vBus
10	39	Peatones Paradero HonorioDelgado_2	309	35.0	43: Peatones_vBus
11	40	Peatones Paradero HonorioDelgado_1	310	20.0	43: Peatones_vBus
12	41	Peatones Norte a Oeste	339	60.0	23: Peatones_vSecundarias
13	42	Peatones Oeste a Norte	370	40.0	23: Peatones_vSecundarias
14	43	Peatones Oeste a Sur	371	70.0	23: Peatones_vSecundarias
15	44	Peatones Parque de la Bandera	430	15.0	23: Peatones_vSecundarias
16	45	Peatones Sur a Este	510	105.0	23: Peatones_vSecundarias
17	46	Peatones Este a Sur	431	160.0	23: Peatones_vSecundarias
18	47	Peatones Este a Norte	514	150.0	23: Peatones_vSecundarias
19	48	Peatones Norte a Este	582	145.0	23: Peatones_vSecundarias
20	49	Crucero Peatonal Norte a Sur (Ala Oeste)	583	45.0	23: Peatones_vSecundarias
21	50	Cruce Peatonal Sur a Norte (Ala Oeste)	589	45.0	23: Peatones_vSecundarias
22	53	Peatones Paradero Habich_2	603	15.0	43: Peatones_vBus
23	54	Peatones Paradero Habich_1	602	20.0	43: Peatones_vBus
24	55	Peatones Paradero Habich_B	617	35.0	43: Peatones_vBus
25	56	Peatones Paradero Habich_A	616	25.0	43: Peatones_vBus
26	57	Peatones Paradero José Granda_B	622	20.0	43: Peatones_vBus
27	58	Peatones Paradero José Granda_A	623	20.0	43: Peatones_vBus
28	59	Peatones Paradero José Granda_C	626	15.0	43: Peatones_vBus
29	60	Peatones Paradero Informal Habich	628	80.0	43: Peatones_vBus

Figura 100. Procedimiento para ingresar los aforos peatonales en Vissim
Fuente: Propia

5.2.11 Solución de zonas de conflicto

Mediante la utilización de la herramienta *Conflict Areas*, se establece reglas de prioridad en los entrecruzamientos entre vehículos y entre vehículos y peatones. Por citar un ejemplo, en el cruce peatonal, la tendencia del comportamiento vehicular es no ceder el paso a los peatones, por ende, se les otorga prioridad a los vehículos por encima de los peatones. En este sentido, al activar dicha opción se somborean con amarillo todas las zonas de conflicto y luego para restringir ciertos movimientos se activan haciendo clic derecho sobre la zona de conflicto y se somborean bloques de color rojo y verde, siendo verde la vía que tiene prioridad sobre la vía sombreada de color rojo.

Figura 101. Configuración de las zonas de conflicto en Vissim
Fuente: Propia

5.2.12 Creación de vías peatonales

El desplazamiento de los peatones en el área de estudio se realiza a través de cruceros peatonales (flechas de color rojo) el cual cruzan avenidas para completar su destino y veredas peatonales adyacentes (flechas de color celeste) que complementan el recorrido del peatón. Para ello, se utiliza las herramientas *Links* y *Areas*, el cual tienen procedimientos diferentes, sin embargo, se obtiene el mismo resultado.

Figura 102. Procedimiento para la creación de vías peatonales en *Vissim*
Fuente: Propia

Es preciso mencionar que, es factible realizar el modelamiento de peatones utilizando cualquiera de estas dos herramientas. A continuación, se detalla el procedimiento según la herramienta escogida.

Mediante el uso de la herramienta *Links*:

Figura 103. Procedimiento para la crear vías peatonales mediante el uso de la herramienta *Links* en *Vissim*
Fuente: Propia

Figura 104. Procedimiento para crear vías peatonales mediante el uso de la herramienta *Links* en *Vissim*
Fuente: Propia

Así, mediante la herramienta *Vehicle Inputs*, se inserta el volumen vehicular correspondiente al aforo peatonal. Luego, se ingresa a *Vehicle Compositions* en la ficha *Traffic* y haciendo clic derecho sobre el cuadro de diálogo se crea una nueva composición vehicular para los cruceros peatonales. Así, se modifica el tipo de vehículo a peatones y se edita el flujo relativo de acuerdo con la incidencia del tipo de usuario: hombre, mujer, niño o ciclista, y su respectiva velocidad deseada, ambos según lo observado en campo. Cabe señalar que, estos volúmenes peatonales varían de acuerdo con el horario analizado.

Figura 105. Procedimiento para crear de vías peatonales mediante el uso de la herramienta *Links* en *Vissim*
Fuente: Propia

Figura 106. Cruceo peatonal este creado mediante uso de la herramienta *Links* en *Vissim*
Fuente: Propia

Mediante el uso de la herramienta *Areas*:

Figura 107. Procedimiento para la creación de cruceo peatonal mediante la herramienta *Areas* en *Vissim*
Fuente: Propia

Mediante la herramienta *Areas*, se selecciona la opción *Polygon* para iniciar con el trazo que constituirá la vereda peatonal adyacente. Existe también la opción *Rectangular*, sin embargo, aplica mejor para trazos rectos. Posteriormente, a través de *Pedestrian Inputs*, haciendo clic derecho se inserta la ubicación de partida de los peatones, luego, se abre un cuadro de diálogo para ingresar el volumen peatonal. Finalmente, mediante *Pedestrian Routes*, y la opción *Static*, se otorga las rutas de circulación de los peatones. Cabe señalar que, las rutas peatonales fueron predeterminadas para que el peatón recorra de extremo a extremo.

Figura 108. Procedimiento para la creación de cruceo peatonal mediante la herramienta *Areas* en *Vissim*
Fuente: Propia

Figura 109. Cruceo peatonal este creado mediante la herramienta *Areas* en *Vissim*
Fuente: Propia

Nota. La Figura 109 muestra el resultado del procedimiento a través de la herramienta *Areas*. Se obtuvo las veredas peatonales adyacentes según se muestra de color amarillo. Estas vías peatonales no guardan relación directa en el comportamiento del óvalo Habich, sin embargo, se encuentra dentro del área de estudio y es motivo suficiente para ser considerado con fines ilustrativos.

5.2.13 Creación de paraderos y rutas de transporte público

En primer lugar, se selecciona la herramienta *Public Transport Stops* y luego haciendo clic derecho se inserta la opción *Add New Public Transport Stop*. Posteriormente, se abre un cuadro de dialogo para insertar algunos datos del paradero. En la pestaña *Base data*, se configura el nombre del paradero, y en la pestaña *Boarding Passenger*; haciendo clic derecho sobre la parte blanca se añade el abordo de pasajeros. En seguida, se selecciona la opción *Add platform edge right* para generar las áreas de espera y abordaje de peatones.

Figura 110. Procedimiento para la creación de paraderos de transporte público en Vissim

Fuente: Propia

Ahora, se inserta el volumen de pasajeros en el área de abordaje utilizando la herramienta *Pedestrian Inputs*, luego con la herramienta *Pedestrian Routes – Static* se genera dos rutas por cada paradero, la primera para el abordaje de pasajeros al bus, y la segunda para el

descenso de pasajeros al paradero. Cabe resaltar que, el volumen de pasajeros varía de acuerdo con el horario analizado y a la línea de transporte.

Figura 111. Procedimiento para la creación de rutas de transporte público en Vissim
Fuente: Propia

En seguida, se configura que los buses realicen sus respectivas paradas. Para ello, en el cuadro de diálogo abierto de la herramienta *Public Transport Lines*, se selecciona la ruta del bus y en simultáneo el paradero utilizando el cuadro combinado con *Line stops*. Una vez seleccionado ambos, haciendo clic derecho se selecciona la opción *Edit* e inmediatamente aparece un cuadro de diálogo para activar y configurar ciertas características importantes de los buses.

Figura 112. Procedimiento para la configuración de buses de transporte público en Vissim
Fuente: Propia

En principio, si se desea que el bus descienda pasajeros en cierto paradero, se activa dando un *check* al casillero *PT stop active*. Luego, en *Alighting composition*, se selecciona el tipo de pasajero, previamente configurado en *Pedestrian Types*, y en *Alighting location*, se selecciona *Rear*, indicando que los pasajeros desciendan por la puerta trasera del bus. Finalmente, se activa los casilleros *right* de *Alighting posible* y *Boarding posible*, ello indica que las puertas del bus se encuentran a la derecha, de acuerdo con la normativa que rige el transporte público en Perú.

En este sentido, los pasos anteriores se repiten para cada línea (empresa) de transporte que interviene en la zona de estudio, así como también, las rutas respectivas. Por otro lado, es preciso mencionar que, el comportamiento vehicular del transporte público varía según el horario analizado; en cantidad de vehículos y en incidencia de llegada al paradero.

5.2.14 Creación de rampas y escaleras

Los puentes peatonales presentes en la zona de estudio se encuentran constituidos por una rampa helicoidal que asciende desde la superficie hasta un nivel más alto, para luego conectarse con un tablero recto que atraviesa perpendicularmente la Panamericana Norte hasta finalmente descender en el otro extremo a través de una rampa similar. Asimismo, el puente elevado del intercambio vial Habich se conecta a través de dos rampas vehiculares.

De esta manera, para la creación de las rampas peatonales y vehiculares se utiliza la herramienta *Links*. En ella, se abre un cuadro de diálogo y se selecciona la pestaña *Display*, luego se atribuye un valor en *Z-offset(start)*, como la altura de inicio, y *Z-offest(end)* como la altura final, así, se genera la pendiente deseada. En la pestaña *Lanes*, se configura el ancho y número de carriles que constituirá el recorrido de la rampa.

Figura 113. Procedimiento para la creación de rampas mediante el uso de *Links* en *Vissim*
Fuente: Propia

Figura 114. Creación del puente peatonal Trompeta en *Vissim*
Fuente: Propia

Figura 115. Creación del puente peatonal Honorio Delgado en *Vissim*
Fuente: Propia

Figura 116. Creación del intercambio elevado Panamericana Norte – Habich en *Vissim*
Fuente: Propia

Por otro lado, los peatones que transitan por las veredas adyacentes suelen cruzan la vía para llegar de una acera a otra, para ello, es necesario que las veredas que se encuentran a un nivel +0.15m conecten con la pista que yace a un nivel de +0.00. En efecto, con la finalidad de realizar el desplazamiento deseado, se inserta una escalera de una grada para conectar el nivel de la pista con el nivel de la vereda. De este modo, el programa reconoce la trayectoria del peatón sin ningún inconveniente; caso contrario, al realizarse la simulación el sistema arroja “error”.

Para la creación de escaleras, se utiliza la herramienta *Ramps&Stairs*. Haciendo clic derecho sobre el *Network Editor*, se genera un rectángulo cuyas dimensiones pueden ser variadas de acuerdo con la proyección en planta de la escalera que se desea construir. Luego de crear el elemento, se abre un cuadro de diálogo y se selecciona *Stairway* como primer paso para la configuración de la escalera. Posteriormente, se modifica los niveles de inicio y fin anteriormente predeterminados. Por último, en la pestaña *Design*, se inserta el número de peldaños de la escalera, en este caso, un peldaño es suficiente para subir +0.15m.

Figura 117. Procedimiento para la creación de escaleras en *Vissim*
Fuente: Propia

Figura 118. Procedimiento para la creación de escaleras en *Vissim*
Fuente: Propia

5.2.15 Creación de señalética vertical y horizontal

La señalética vertical y horizontal es importante al momento de diseñar el modelo. Un paso previo, es el reconocimiento de la zona de estudio para determinar cuáles son las señaléticas a insertar y en que ubicación se encuentran.

Para insertar las señales verticales, se utiliza la herramienta *3D Traffic Signals*. Haciendo clic derecho en la ubicación deseada sobre el *Network Editor*, se abre un cuadro de diálogo de configuración. En la opción *Mast height* se edita la altura del parante; en *Mast diameter*, el diámetro y; en *Mast style*, se selecciona la opción *Round*. Posteriormente, a través de la opción *Add Sign* se agrega la imagen que corresponde a la señal de tránsito,

[illegible]

Figura 119. Procedimiento para la creación de señalética vertical en *Vissim*
Fuente: Propia

Del mismo modo, se repite el procedimiento anterior para crear las demás señales verticales. Cabe mencionar que, la señalética vertical insertada en el modelo fue previamente determinada en el Capítulo 4, inciso 4.2.2

Figura 120. Señalética vertical creada en *Vissim*
Fuente: Propia

Nota. En la Figura 120, se aprecia el resultado del procedimiento descrito líneas arriba. La señal vertical se encuentra ubicada sobre el sardinel central de la calzada e informa la proximidad de un óvalo, en este caso, el óvalo Habich.

En cuanto a la señalética horizontal, esta se encuentra sobre la superficie del asfalto, usualmente pintadas de color blanco de alto tránsito. Estas suelen indicar, por ejemplo, la presencia de peatones, el cruce peatonal tipo cebra, las flechas de giros permitidos, las líneas divisorias entre carriles de una vía, restricción de velocidad máxima vehicular, entre otros.

De esta manera, para insertar las señales horizontales se selecciona la herramienta *Pavement Markings*. Luego, haciendo clic derecho sobre el *Network Editor* se abre inmediatamente el cuadro de diálogo de configuración. En ella, se escoge el tipo de marca a utilizar, entre ellas se encuentra; *Zebra Crossing* para el cruce peatonal tipo cebra y *Arrow* para las flechas de giro permitido.

Figura 121. Procedimiento para la creación de señalética horizontal en *Vissim*
Fuente: Propia

Figura 122. Cruce peatonal tipo cebra creado en *Vissim*
Fuente: Propia

Figura 123. Flecha de giro permitido creado en *Vissim*
Fuente: Propia

Figura 124. Líneas divisorias entre carriles creado en *Vissim*
Fuente: Propia

5.2.16 Creación de semáforos

Se utiliza la herramienta *3D Traffic Signals* para la creación de señales de control, es decir, semáforos. En esta ocasión, se desea generar en el modelo un semáforo que emita luz en ámbar intermitente, de acuerdo con lo observado en campo.

Figura 125. Procedimiento para la creación de semáforos en *Vissim*
Fuente: Propia

Para tal fin, primero, haciendo clic derecho sobre el *Network Editor*, se configura las características del semáforo a través del cuadro de diálogo abierto. Al insertarse el parante, se editan sus dimensiones, tales como su diámetro y altura. Luego, se selecciona la opción *Add Signal*, y en *Type* se modifica el tipo de semáforo; si es vehicular, peatonal o de transporte público. Del mismo modo, en la opción *Alignment*, se configura su posición, sea horizontal o vertical. Posteriormente, en la opción *Layout* se selecciona el tipo de configuración del semáforo; en esta oportunidad se considera la opción *1-Lens Amber Circular*, según lo solicitado.

Figura 126. Semáforo de luz ámbar intermitente creado en *Vissim*
Fuente: Propia

Para activar la luz del semáforo, primero, se selecciona la pestaña *Signal Control* del menú principal y a su vez *Signal Controllers*. En la parte superior izquierda del cuadro de diálogo abierto, se selecciona el icono de ‘lápiz’ para editar la duración del ciclo del semáforo. Así, se abre una nueva ventana en donde se selecciona la opción *Edit Signal Control* para configurar el tiempo del ciclo. Cabe mencionar que, para este caso, la duración del ciclo es arbitraria, ya que al ser solamente luz ámbar intermitente no genera diferencia. Únicamente se realiza este último procedimiento para que el programa pueda activar la luz durante la simulación.

Figura 127. Procedimiento para la creación del ciclo semafórico en Vissim
Fuente: Propia

Por otro lado, para insertar el control policial dentro del modelo, se repite el procedimiento anterior. No obstante, en este caso particular, no es necesario generar el modelo 3D del semáforo, basta con generar el ciclo semafórico para representar la intervención policial de manera que los vehículos puedan detenerse y avanzar dentro de los tiempos establecidos. Así, se determina la presencia de 3 puntos con control policial ubicados en la zona de estudio.

Figura 128. Ubicación de los agentes policiales de tránsito en *Vissim*
Fuente: Propia

El ciclo semafórico propuesto consta de 900 segundos o 15 minutos, desplegados en 6 diferentes grupos, que a su vez cada grupo se encuentra ubicado en una posición diferente, acorde a la numeración detallada en la imagen que se muestra a continuación:

Figura 129. Ciclos de control policial de tránsito creados en *Vissim*
Fuente: Propia

En efecto, utilizando la herramienta *Signal Heads*, al seleccionar con clic derecho sobre el *Network Editor*, una marca roja denota los carriles que están sometidos al control semafórico. En simultáneo, se abre un cuadro de diálogo y a través de la opción *SC – Signal group*, se configura el grupo al que pertenece el control semafórico. Así, dependiendo de la ubicación en la que se encuentre el carril bajo control policial, se atribuye el grupo de control al que pertenece, de acuerdo con al ciclo semafórico propuesto.

Figura 130. Procedimiento para compatibilizar el ciclo semafórico y la estructura de semáforo en *Vissim*
Fuente: Propia

5.2.17 Creación de objetos estáticos 3D

Luego de definidos los obstáculos en el inciso 5.1.3, se procede a colocar los elementos 3D con el fin brindar más realismo al entorno. Este procedimiento se realiza mediante el empleo de la herramienta *Static 3D Models* y clic derecho sobre las zonas de obstáculos creadas. Si bien, hay objetos 3D en la biblioteca de *Vissim*, no se encuentran todos los necesarios para completar la construcción del modelo. Por tal motivo, se realiza una búsqueda en *3D Warehouse* y en caso no se encuentre los elementos en 3D, se elaboran a través de *SketchUp*. Los objetos estáticos 3D más representativos que se utilizaron para la construcción del modelo fueron los siguientes.

Figura 131. Objetos 3D más representativos creados en *Vissim*
Fuente: Propia

A continuación, se ilustra en la Figura 132 y Figura 133, el resultado de la construcción del modelo con la circulación de vehículos y peatones respectivamente.

Figura 132. Circulación vehicular tras iniciar la simulación
Fuente: Propia

Figura 133. Aspecto de la situación peatonal tras iniciar la simulación
Fuente: Propia

5.3 Verificación del modelo

La verificación del modelo consiste en corroborar, en primer lugar, si los datos de entrada son los correctos, dicho de otro modo, si se encuentran conforme a lo recopilado en campo, en segundo lugar, correr el modelo para constatar que el comportamiento vehicular y peatonal sean similares a las videograbaciones obtenidas en la zona de estudio.

5.4 Calibración del modelo

Luego de terminado la construcción del modelo en *software Vissim 9.0*, se procede con la calibración, procedimiento por el cual se realizan ciertas modificaciones a los parámetros de Wiedemann, con la finalidad de que los resultados arrojados por el *software* sean lo más parecido posible a los recopilados en campo, lo anterior con un nivel de confianza del 95% y un margen de error aceptado del 10% del promedio de la muestra.

En la presente investigación se establece a la velocidad vehicular de acceso al óvalo y los tiempos de viaje peatonal como parámetros de eficiencia a evaluar. De esta manera, para la calibración vehicular se establecen tramos de evaluación a través de la herramienta *Data Collection Points* y se le asignan las barras de medición a cada carril que compone el acceso analizado. Por otro lado, en la calibración peatonal mediante la herramienta *Vehicle Travel*

Times, se le asigna la distancia para lo cual se tomaron los tiempos de viaje en la recopilación de datos en campo. En la Figura 134 y Figura 135 se ilustra el procedimiento para definir los tramos de evaluación vehicular y peatonal, respectivamente.

Figura 134. Tramos seleccionados para evaluar las velocidades vehiculares de acceso al óvalo en *Vissim*
Fuente: Propia

Figura 135. Cruceiro peatonal Sur seleccionado para evaluar los tiempos de viaje peatonal en *Vissim*
Fuente: Propia

Los resultados de los parámetros de eficiencia adoptados para la presente investigación, velocidad vehicular de acceso al óvalo y tiempos de viaje peatonal, se consideran luego de un tiempo de estabilización (*warm up*) de 600 segundos o 10 minutos, previamente definido en el enciso 2.9.6 del Capítulo 2, y, cada simulación constará de un tiempo total de 3600 segundos lo equivalente a una (1) hora. Estos requerimientos se insertan a través de la opción *Configuration* de la ficha *Evaluation*, donde se activa la información a recolectar.

Previamente al inicio de la simulación, se definen los parámetros de simulación vehicular, dicho de otro modo, el número inicial de semilla, el número de corridas, el incremento del número de semilla y la velocidad de la simulación. Estos valores se insertan en el cuadro de diálogo *Simulation parameters*, el cual se activa luego de seleccionar la opción *Simulation/Parameters*. En la Figura 136, se ilustra la configuración de los parámetros de la simulación anteriormente mencionados.

Figura 136. Procedimiento para configuración de parámetros de la simulación en *Vissim*
Fuente: Propia

En este sentido, el número de semilla inicial seleccionado es 250, el número de corridas es 20, el incremento es 1 y la velocidad de simulación es la máxima, es decir 10 pasos/segundo de simulación. La primera corrida del modelo se realiza con los parámetros establecidos por defecto en el programa, para el comportamiento vehicular y peatonal. Se puede acceder a estos parámetros mediante la selección de las opciones *Driving Behavior* y *Pedestrian Behavior*, hallados en la opción *Base Data*. A continuación, en la Figura 137 y Figura 138 se observa los cuadros de diálogo abiertos para la configuración del comportamiento vehicular y peatonal respectivamente.

Driving Behaviors															
Select layout...															
Coun	No	Name	ObsrvdVehs	StandDistIsFix	StandDist	CarFellowModType	W74bxAdd	W74bxMult	LnChgRule	AdvMerg	DesLatPos	OvtLDef	OvtRDef	LatDistDrvDef	LatDistStandDef
1	1	Urban (motorized)	4	☐	3.00	Wiedemann 74	0.50	0.50	Free lane selection	☒	Any	☒	☒	2.00	2.00
2	2	Right-side rule (motorized)	2	☐	2.00	Wiedemann 99	2.00	3.00	Slow lane rule	☒	Middle of lane	☐	☐	1.00	0.20
3	3	Freeway (free lane selection)	2	☐	2.00	Wiedemann 99	2.00	3.00	Free lane selection	☒	Middle of lane	☐	☐	1.00	0.20
4	4	Footpath (no interaction)	2	☐	2.00	No interaction	2.00	3.00	Free lane selection	☒	Any	☐	☐	1.00	0.20
5	5	Cycle-Track (free overtaking)	2	☐	2.00	Wiedemann 99	2.00	3.00	Free lane selection	☒	Right	☒	☒	0.30	0.10
6	6	Urban (motorized)	4	☐	0.45	Wiedemann 74	1.20	3.25	Free lane selection	☒	Any	☐	☐	1.00	0.20

Figura 137. Configuración de parámetros vehiculares en *Vissim*

Fuente: Propia

Walking Behaviors												
Select layout...												
Coun	No	Name	Tau	ReactToN	ASocIso	BSocIso	Lambda	ASocMean	BSocMean	VD	Noise	SidePref
1	1	Default	0.100	8	2.720	0.200	0.650	0.400	2.800	3.000	1.200	None
2	2	Elevator (In Cab)	0.400	8	2.720	0.200	0.176	0.400	2.800	3.000	0.300	None
3	3	Elevator (Alighting)	0.200	8	2.040	0.300	0.176	0.400	2.800	3.000	1.200	None
4	4	Default	0.100	8	2.720	0.200	0.650	0.400	2.800	3.000	1.200	None

Figura 138. Configuración de parámetros peatonales en *Vissim*

Fuente: Propia

En cuanto al comportamiento vehicular, se varían los parámetros de seguimiento vehicular de Wiedemann 74, previamente definidos en el inciso 2.10.4 en el Capítulo 2, las cuales son la distancia promedio de parada ax que por defecto es 2.0; y los valores que definen la distancia de seguridad deseada, bx_{add} y bx_{mult} , que en un inicio son 2.0 y 3.0 respectivamente.

No obstante, en cuanto al comportamiento peatonal se refiere, se varían los parámetros que definen su conducta; estos son; tau (tiempo de reacción) y lambda (factor de anisotropía), cuyos valores iniciales son 0.4 y 0.176, respectivamente. En este sentido, es preciso definir que Tau es un parámetro que guarda relación con la aceleración o reacción de los peatones, en tanto, un menor valor es igual a una mayor aceleración y la densidad peatonal también se incrementa y así viceversa. Por otro lado, lambda, es un parámetro que se encuentra definido bajo la influencia del resto de peatones sobre uno en particular. Dicho de otro modo, a medida que se incrementa el valor de lambda, su velocidad relativa también aumenta y por ende el flujo peatonal también se incrementa.

Posteriormente, para visualizar los resultados obtenidos tras configurar los parámetros de eficiencia seleccionados, se ingresa a la opción *Results* de la opción *Lists*, donde se seleccionan *Data Collection Results* para los resultados de la calibración vehicular y *Vehicle Travel Time Results*, para los resultados de la calibración peatonal. A continuación, en la Figura 139, se muestra el procedimiento a realizar en el programa.

Figura 139. Procedimiento para visualizar los resultados de la simulación en Vissim
Fuente: Propia

5.4.1 Calibración vehicular

Para la calibración vehicular, el parámetro de eficiencia analizado es la velocidad vehicular de acceso al óvalo y el número de corridas de la microsimulación es 20. En cada corrida se ingresan parámetros de Wiedemann distintos, así, para la primera corrida se establece por defecto los valores predeterminados del *software*. No obstante, dado las condiciones que presenta el modelo y de acuerdo con la realidad del comportamiento de los conductores en Lima, el valor principal ax (distancia promedio de parada) es modificado. Luego de un total de 20 evaluaciones, se obtuvo la calibración del modelo para valores de ax , bx_{add} y bx_{mult} , igual a 0.45, 1.20 y 3.25 respectivamente.

Con los valores de velocidad vehicular de acceso al óvalo hallados, y que se encuentran a mayor detalle en el Anexo 7, se verifica si el número de corridas ejecutados (20) cumple con ser mayor al número de corridas mínimo de acuerdo con la Ecuación 7.

De esta manera, la tabla de análisis resumida muestra los siguientes valores; la media de la muestra, la desviación estándar del promedio de la muestra, el valor máximo y mínimo, el margen de error aceptado que, para la presente investigación, se ha definido como el 10% de la media, la variable estadística “*t*”-student equivalente a 2.0930 con 19 grados de libertad (*Vissim*) y 1.9957 para un grado de libertad de 69 (campo), el número mínimo de corridas, el tamaño de la muestra y finalmente la diferencia de medias entre lo obtenido en campo y el programa.

Tabla 22. Resumen de datos de velocidad vehicular de acceso al óvalo (km/h)

Velocidad Vehicular de Acceso al Óvalo (km/h)								
	Acceso Sur		Acceso Este		Acceso Norte		Acceso Oeste	
	Vissim	Campo	Vissim	Campo	Vissim	Campo	Vissim	Campo
Promedio	18.06	18.33	17.02	16.95	25.65	25.69	23.62	23.73
Valor máximo	-	20.62	-	18.74	-	28.10	-	27.45
Valor mínimo	-	16.57	-	14.88	-	23.58	-	21.05
Desviación estándar	3.76	0.90	3.55	0.94	4.25	1.03	2.82	1.17
$t(1 - \alpha/2), N-1$	2.0930	1.9957	2.0930	1.9957	2.0930	1.9957	2.0930	1.9957
Error de muestra	1.806	1.833	1.702	1.695	2.565	2.569	2.362	2.373
$N_{\text{mínimo}}$	18.94	0.96	19.03	1.22	12.02	0.64	6.23	0.97
N_{muestra}	20	70	20	70	20	70	20	70
¿Cumple con $N_{\text{mín}}$?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Fuente: Propia

Nota. Según la Tabla 22, se aprecia que el número de corridas mínimo satisface el número de corridas realizadas en la microsimulación. Tras ello, procedemos a realizar la prueba de hipótesis con la finalidad de evaluar la igualdad de medias entre ambas muestras con un nivel de confianza del 95%.

De acuerdo con la teoría de estadística inferencial para el análisis de dos medias muestrales, visto en el inciso 2.14 del Capítulo 2, se tiene que:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ (afirmación original)} \quad H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \quad (15)$$

Ahora procedemos con la suposición de que $\mu_1 = \mu_2$ o $\mu_1 - \mu_2 = 0$

Tabla 23. Prueba de hipótesis de dos medias utilizando distribución "t"- student para la calibración vehicular

Análisis Estadístico - Prueba de Hipótesis de Dos Medias Utilizando Distribución T-Student					
Item	Expresión	Acceso Sur	Acceso Este	Acceso Norte	Acceso Oeste
1	X_1 (Campo)	18.33	16.95	25.69	23.73
2	X_2 (Vissim)	18.06	17.02	25.65	23.62
3	N_1 (Campo)	70	70	70	70
4	N_2 (Vissim)	20	20	20	20
5	S_1 (Campo)	0.90	0.94	1.03	1.17
6	S_2 (Vissim)	3.76	3.55	4.25	2.82
7	Nivel de confianza	95%	95%	95%	95%
8	Grados de libertad	88	88	88	88
9	$X_1 - X_2$	0.28	-0.07	0.04	0.11
10	$N_1 - 1$	69	69	69	69
11	$N_2 - 1$	19	19	19	19
12	$N_1 + N_2$	90	90	90	90
13	S_1^2	0.81	0.88	1.06	1.37
14	S_2^2	14.10	12.57	18.05	7.94
15	$1/N_1$	0.014	0.014	0.014	0.014
16	$1/N_2$	0.050	0.050	0.050	0.050
17	$1/N_1 + 1/N_2$	0.064	0.064	0.064	0.064
18	$(N_1 - 1)*S_1^2 + (N_2 - 1)*S_2^2$	15030.04	14500.69	25168.43	14293.52
19	S_p^2	170.80	164.78	286.00	162.43
20	$t_{(1-\alpha/2, N_1+N_2-2)}$	1.9877	1.9877	1.9877	1.9877
21	Error	6.59	6.47	8.52	6.42
22	Extremo negativo: "9" - "21"	-6.31	-6.54	-8.48	-6.31
23	Extremo positivo: "9" + "21"	6.86	6.40	8.57	6.53
	¿La hipótesis es válida?	Si	Si	Si	Si

Fuente: Propia

Nota. Tal como se observa en la Tabla 23; para el caso del Acceso Sur, el extremo negativo es -6.31 y el positivo 6.86, mientras que la diferencia de medias es 0.28, en tal sentido, se acepta la hipótesis. Para el caso del Acceso Este, el extremo negativo es -6.54 y el extremo positivo es 6.40, mientras que la diferencia de medias es -0.07, en tal sentido se acepta la hipótesis. Para el caso del Acceso Norte, el extremo negativo es -8.48 y el extremo positivo es 8.57, mientras que la diferencia de medias es 0.04, en tal sentido se acepta la hipótesis. Para el caso del Acceso Oeste, el extremo negativo es -6.31 y el extremo positivo es 6.53, mientras que la diferencia de medias es 0.11, por lo tanto, se acepta la hipótesis.

Por lo tanto, la hipótesis nula se acepta para los cuatro diferentes accesos al óvalo, dado que los intervalos de confianza contienen al valor correspondiente a la diferencia de medias.

5.4.2 Calibración peatonal

De igual modo al procedimiento realizado para la calibración vehicular, el parámetro de eficiencia empleado en esta ocasión es el tiempo de viaje peatonal, y para ello se realizaron 20 corridas de microsimulación el *software Vissim 9.0* y *Viswalk 9.0*. No obstante, los parámetros a modificar es el tiempo de reacción (τ) y el factor de anisotropía (λ). Si bien, la primera corrida se ejecuta con los valores predeterminados que muestra el programa para el comportamiento peatonal.

Para ello, la iteración de corridas se realiza en simultáneo a la calibración vehicular, por lo mismo que se realizó 20 corridas en total hasta hallar los valores de τ y λ adecuados para lograr la calibración del modelo. Estos valores son; 0.1 y 0.65 respectivamente.

Los tiempos de viaje peatonal obtenidos tras la calibración, se encuentran en el Anexo 8 a mayor detalle, y son 30 para cada sentido en un cruce peatonal, es decir, en total, se tiene 240 muestras, considerando que cada cruce peatonal tiene dos sentidos de evaluación. Por lo tanto, considerando las tablas completas mostradas en el Anexo 8, se afirma que son

similares al de la calibración vehicular y la variable “*t*”-*student* adquiere un valor diferente, dado que el número de muestra varía. En tal sentido, se tiene que, para 29 grados de libertad, el valor “*t*”-*student* es igual a 2.0452.

Asimismo, mediante una prueba de hipótesis nula de igualdad de medias con un nivel de confianza del 95%, se analiza la validez de la hipótesis, así como se aplicó para la calibración vehicular. Para finalizar, se comprueba que la diferencia de medias de los dos grupos de muestras (campo y *Vissim*) para los mismos tramos de evaluación se encuentra dentro de la zona de no rechazo, y se verifica que el modelo peatonal se encuentra calibrado para los parámetros anteriormente mencionados.

Tabla 24. *Resumen de datos de tiempos de viaje peatonal para la calibración peatonal*

Calibración del Modelo según datos de Campo - Tiempos de Viaje Peonato (seg)								
	Cruce Peonato Sur		Cruce Peonato Este		Cruce Peonato Norte		Cruce Peonato Oeste	
	Oeste - Este	Este - Oeste	Norte - Sur	Sur - Norte	Oeste - Este	Este - Oeste	Norte - Sur	Sur - Norte
Promedio	72.18	71.44	53.75	58.04	71.25	61.43	67.33	72.41
Valor máximo	73.90	75.70	57.80	59.80	72.80	67.50	70.10	77.20
Valor mínimo	70.70	70.10	51.60	55.40	69.70	59.50	65.10	70.00
Desviación estándar	0.80	1.18	1.39	1.16	0.92	1.46	1.27	1.44
$t(1 - \alpha/2).N-1$	2.0452	2.0452	2.0452	2.0452	2.0452	2.0452	2.0452	2.0452
Error de muestra	7.22	7.14	5.38	5.80	7.13	6.14	6.73	7.24
$N_{\text{mínimo}}$	0.05	0.11	0.28	0.17	0.07	0.24	0.15	0.17
N_{muestra}	30	30	30	30	30	30	30	30
¿Cumple con N_{min} ?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Fuente: Propia

De igual manera que para el proceso de calibración vehicular, se establece que:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ (afirmación original)} \quad H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \quad (15)$$

Ahora procedemos con la suposición de que $\mu_1 = \mu_2$ o $\mu_1 - \mu_2 = 0$

Tabla 25. Prueba de hipótesis de dos medias utilizando distribución “t”- student para la calibración peatonal

Análisis Estadístico - Prueba de Hipótesis de Dos Medias Utilizando Distribución T-Student									
Item	Expresión	Cruce Peatonal Sur		Cruce Peatonal Este		Cruce Peatonal Norte		Cruce Peatonal Oeste	
		Oeste - Este	Este - Oeste	Norte - Sur	Sur - Norte	Oeste - Este	Este - Oeste	Norte - Sur	Sur - Norte
1	X_1 (Campo)	72.18	71.44	53.75	58.04	71.25	61.43	67.33	72.41
2	X_2 (Vissim)	72.61	71.50	54.19	59.05	71.86	62.74	67.25	72.32
3	N_1 (Campo)	30	30	30	30	30	30	30	30
4	N_2 (Vissim)	20	20	20	20	20	20	20	20
5	S_1 (Campo)	0.80	1.18	1.39	1.16	0.92	1.46	1.27	1.44
6	S_2 (Vissim)	2.50	3.24	2.47	2.62	2.05	3.12	2.81	3.13
7	Nivel de confianza	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
8	Grados de libertad	48	48	48	48	48	48	48	48
9	$X_1 - X_2$	-0.43	-0.06	-0.44	-1.02	-0.61	-1.31	0.08	0.09
10	$N_1 - 1$	29	29	29	29	29	29	29	29
11	$N_2 - 1$	19	19	19	19	19	19	19	19
12	$N_1 + N_2$	50	50	50	50	50	50	50	50
13	S_1^2	0.65	1.39	1.93	1.35	0.85	2.13	1.62	2.08
14	S_2^2	6.25	10.50	6.10	6.86	4.20	9.73	7.90	9.80
15	$1/N_1$	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
16	$1/N_2$	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
17	$1/N_1 + 1/N_2$	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083
18	$(N_1 - 1) * S_1^2 + (N_2 - 1) * S_2^2$	2230.89	8052.12	6483.24	5123.32	1964.31	11403.18	7029.89	11210.75
19	S_P^2	46.48	167.75	135.07	106.74	40.92	237.57	146.46	233.56
20	$t_{(1-\alpha/2, N1+N2-2)}$	2.0111	2.0111	2.0111	2.0111	2.0111	2.0111	2.0111	2.0111
21	Error	3.96	7.52	6.75	6.00	3.71	8.95	7.03	8.87
22	Extremo negativo: "9" - "21"	-4.39	-7.58	-7.19	-7.01	-4.32	-10.26	-6.95	-8.78
23	Extremo positivo: "9" + "21"	3.53	7.45	6.31	4.98	3.11	7.64	7.11	8.96
	¿La hipótesis es válida?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Fuente: Propia

Nota. En la Tabla 25, para el cruce peatonal Sur, sentido Oeste - Este, la diferencia de medias es -0.43, en tal sentido, se acepta la hipótesis. En el mismo cruce peatonal pero sentido Este – Oeste, la diferencia de medias es -0.44, por lo tanto, dicho valor cae en el rango de aceptación. Para el cruce peatonal Este, en el sentido Norte – Sur, la diferencia de medias es -0.44, por lo tanto, cae en la zona de no rechazo. En dicho cruce, pero en sentido Sur – Norte, la diferencia de medias es -1.02. En el cruce peatonal Norte, en sentido Oeste - Este, la diferencia de medias es -0.61, en tal sentido se acepta la hipótesis. Para el mismo cruce peatonal, pero en sentido Este – Oeste, la diferencia de medias es -1.31, en tal sentido se acepta la hipótesis. Para el caso del cruce peatonal Oeste, en sentido Norte - Sur, la diferencia de medias es 0.08, por lo tanto, se acepta la hipótesis, y por último para el mismo cruce peatonal, pero sentido Sur – Norte, la diferencia de medias es 0.09, por ende, cae en la zona de aceptación.

5.5 Validación del modelo

Tras haber calibrado el modelo, se evalúa el comportamiento vehicular y peatonal al insertar un nuevo paquete de datos, la cual se encuentra detallado en el inciso 4.13 del Capítulo 4. Utilizando este nuevo paquete de datos, se le atribuye los parámetros de comportamiento vehicular y peatonal hallados en el proceso de calibración. Nuevamente, se ejecutan 20 corridas; las velocidades vehiculares de acceso al óvalo y los tiempos de viaje peatonal obtenido de cada corrida se ilustran en el Anexo 8. Luego de analizar los resultados arrojados por el programa, se evalúa si el número de corridas supera al número mínimo de corridas. Posteriormente, se verifica una vez más mediante análisis estadístico, si el modelo desarrollado en el programa satisface un comportamiento similar a lo observado en campo.

5.5.1 Validación vehicular

El parámetro de eficiencia, al igual que en la calibración, son las velocidades vehiculares de acceso al óvalo en los tramos definidos anteriormente. El resumen de los 20 datos obtenidos para cada tramo se muestra en el Anexo 9. Asimismo, para cada tramo se realiza la prueba de hipótesis con la data de campo y la data arrojada por el programa.

Tabla 26. Resumen de datos de velocidad vehicular de acceso al óvalo para la validación vehicular

	Velocidad Vehicular de Acceso al Óvalo (km/h)							
	Acceso Sur		Acceso Este		Acceso Norte		Acceso Oeste	
	Vissim	Campo	Vissim	Campo	Vissim	Campo	Vissim	Campo
Promedio	17.97	18.02	17.28	16.95	24.98	25.21	23.41	23.73
Valor máximo	19.83	20.34	20.17	18.74	26.50	26.98	27.45	27.45
Valor mínimo	16.91	16.17	16.26	14.88	23.47	22.57	21.25	21.05
Desviación estándar	0.58	0.95	0.51	0.98	0.65	1.04	0.22	1.28
$t(1 - \alpha/2), N-1$	2.0930	1.9957	2.0930	1.9957	2.0930	1.9957	2.0930	1.9957
Error de muestra	1.797	1.802	1.728	1.695	2.498	2.521	2.341	2.373
$N_{\text{mínimo}}$	0.45	1.11	0.38	1.32	0.30	0.68	0.04	1.16
N_{muestra}	20	70	20	70	20	70	20	70
¿Cumple con $N_{\text{mínimo}}$?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Fuente: Propia

Nota. En la Tabla 26, la diferencia de medias se encuentra dentro de la región de no rechazo, por consiguiente, el modelo se encuentra validado. Se comprueba que el número mínimo de corridas es menor a las ejecutadas.

Para validar el modelo, nuevamente establecemos una prueba de hipótesis, que se define:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ (afirmación original)} \quad H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Ahora procedemos con la suposición de que $\mu_1 = \mu_2$ o $\mu_1 - \mu_2 = 0$

Tabla 27. Prueba de hipótesis de dos medias utilizando distribución "t"- student para la validación vehicular

Análisis Estadístico - Prueba de Hipótesis de Dos Medias Utilizando Distribución T-Student					
Item	Expresión	Acceso Sur	Acceso Este	Acceso Norte	Acceso Oeste
1	X_1 (Campo)	18.02	17.87	25.21	23.93
2	X_2 (Vissim)	17.97	17.28	24.98	23.41
3	N_1 (Campo)	70	70	70	70
4	N_2 (Vissim)	20	20	20	20
5	S_1 (Campo)	0.95	0.98	1.04	1.28
6	S_2 (Vissim)	0.58	0.51	0.65	0.22
7	Nivel de confianza	95%	95%	95%	95%
8	Grados de libertad	88	88	88	88
9	$X_1 - X_2$	0.05	0.59	0.23	0.53
10	$N_1 - 1$	69	69	69	69
11	$N_2 - 1$	19	19	19	19
12	$N_1 + N_2$	90	90	90	90
13	S_1^2	0.91	0.95	1.09	1.63
14	S_2^2	0.33	0.26	0.43	0.05
15	$1/N_1$	0.014	0.014	0.014	0.014
16	$1/N_2$	0.050	0.050	0.050	0.050
17	$1/N_1 + 1/N_2$	0.064	0.064	0.064	0.064
18	$(N_1 - 1) * S_1^2 + (N_2 - 1) * S_2^2$	396.05	324.17	609.20	102.11
19	S_p^2	4.50	3.68	6.92	1.16
20	$t_{(1-\alpha/2, N1+N2-2)}$	1.9877	1.9877	1.9877	1.9877
21	Error	1.07	0.97	1.33	0.54
22	Extremo negativo: "9" - "21"	-1.02	-0.37	-1.09	-0.02
23	Extremo positivo: "9" + "21"	1.12	1.56	1.56	1.07
	¿La hipótesis es válida?	Si	Si	Si	Si

Fuente: Propia

5.5.2 Validación peatonal

Del mismo modo que para la calibración, se utiliza la prueba de hipótesis para corroborar que la diferencia de medias entre lo observado en campo y los valores arrojados por el programa se encuentren dentro de la zona de aceptación. Esta evaluación se realiza para los valores de tau y lambda previamente establecidos durante el procedimiento de calibración.

En el Anexo 10 se ilustra el resumen de los tiempos de viaje peatonal obtenidos en la validación.

Tabla 28. Resumen de datos de tiempos de viaje peatonal para la validación peatonal

Calibración del Modelo según Vissim 9.0 y Campo - Tiempos de Viaje Peval (seg)																
	Cruce Peatonal Sur				Cruce Peatonal Este				Cruce Peatonal Norte				Cruce Peatonal Oeste			
	Oeste - Este		Este - Oeste		Norte - Sur		Sur - Norte		Oeste - Este		Este - Oeste		Norte - Sur		Sur - Norte	
	Vissim	Campo	Vissim	Campo	Vissim	Campo	Vissim	Campo	Vissim	Campo	Vissim	Campo	Vissim	Campo	Vissim	Campo
Promedio	72.03	71.88	75.60	75.02	55.22	52.85	60.99	60.09	73.08	79.10	63.74	70.13	75.32	80.29	74.10	87.43
Valor máximo	75.05	74.40	86.38	76.70	57.30	55.60	74.49	62.30	77.75	81.20	75.81	72.60	86.78	82.60	83.41	91.50
Valor mínimo	68.33	70.00	69.76	72.40	52.79	50.50	57.71	56.50	66.97	76.20	60.50	62.50	69.16	76.30	64.36	83.20
Desviación estándar	1.68	1.00	4.02	1.14	1.34	1.41	3.45	1.17	2.48	1.43	3.85	1.90	3.67	1.54	3.91	1.74
$t(1 - \alpha/2), N-1$	2.093	2.0452	2.093	2.0452	2.093	2.0452	2.093	2.0452	2.093	2.0452	2.093	2.0452	2.093	2.0452	2.093	2.0452
Error de muestra	7.20	7.19	7.56	7.50	5.52	5.29	6.10	6.01	7.31	7.91	6.37	7.01	7.53	8.03	7.41	8.74
$N_{\text{mínimo}}$	0.24	0.08	1.24	0.10	0.26	0.30	1.40	0.16	0.50	0.14	1.60	0.31	1.04	0.15	1.22	0.17
N_{muestra}	20	30	20	30	20	30	20	30	20	30	20	30	20	30	20	30
¿Cumple con $N_{\text{mínimo}}$?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Fuente: Propia

Nota. De acuerdo con la Tabla 28, se comprueba que el número de corridas mínimo satisface el número de corridas ejecutadas.

En las pruebas realizadas para los cuatro cruces peatonales y sus respectivos sentidos de circulación, se verifica que la diferencia de medias se encuentra dentro de la zona de aceptación, por consiguiente, se puede afirmar el modelo vehicular se encuentra validado.

De la misma manera que se procede con la validación vehicular, se establece una prueba de hipótesis según lo siguiente:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ (afirmación original)} \quad H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Ahora procedemos con la suposición de que $\mu_1 = \mu_2$ o $\mu_1 - \mu_2 = 0$

Tabla 29. Prueba de hipótesis de dos medias utilizando distribución “t”- student para la validación peatonal

Análisis Estadístico - Prueba de Hipótesis de Dos Medias Utilizando Distribución T-Student									
Item	Expresión	Cruce Peatonal Sur		Cruce Peatonal Este		Cruce Peatonal Norte		Cruce Peatonal Oeste	
		Oeste - Este	Este - Oeste	Norte - Sur	Sur - Norte	Oeste - Este	Este - Oeste	Norte - Sur	Sur - Norte
1	X_1 (Campo)	71.88	75.02	52.85	60.09	79.10	70.13	80.29	87.43
2	X_2 (Vissim)	72.03	75.60	55.22	60.99	73.08	63.74	75.32	74.10
3	N_1 (Campo)	30	30	30	30	30	30	30	30
4	N_2 (Vissim)	20	20	20	20	20	20	20	20
5	S_1 (Campo)	1.00	1.14	1.41	1.17	1.43	1.90	1.54	1.74
6	S_2 (Vissim)	1.68	4.02	1.34	3.45	2.48	3.85	3.67	3.91
7	Nivel de confianza	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
8	Grados de libertad	48	48	48	48	48	48	48	48
9	$X_1 - X_2$	-0.15	-0.58	-2.36	-0.90	6.01	6.39	4.97	13.33
10	$N_1 - 1$	29	29	29	29	29	29	29	29
11	$N_2 - 1$	19	19	19	19	19	19	19	19
12	$N_1 + N_2$	50	50	50	50	50	50	50	50
13	S_1^2	1.01	1.31	1.98	1.37	2.04	3.61	2.37	3.04
14	S_2^2	2.83	16.13	1.80	11.88	6.13	14.84	13.45	15.25
15	$1/N_1$	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033	0.033
16	$1/N_2$	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
17	$1/N_1 + 1/N_2$	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083
18	$(N_1 - 1) * S_1^2 + (N_2 - 1) * S_2^2$	1572.27	11618.81	1971.21	8978.76	6872.32	29525.51	17564.76	25545.98
19	S_p^2	32.76	242.06	41.07	187.06	143.17	615.11	365.93	532.21
20	$t_{(1-\alpha/2, N_1+N_2-2)}$	2.0111	2.0111	2.0111	2.0111	2.0111	2.0111	2.0111	2.0111
21	Error	3.32	9.03	3.72	7.94	6.95	14.40	11.11	13.39
22	Extremo negativo: "9" - "21"	-3.47	-9.61	-6.08	-8.84	-0.93	-8.00	-6.13	-0.07
23	Extremo positivo: "9" + "21"	3.17	8.45	1.36	7.04	12.96	20.79	16.08	26.72
	¿La hipótesis es válida?	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

Fuente: Propia

Nota. De acuerdo con la Tabla 29, se comprueba que el número de corridas mínimo satisface el número de corridas ejecutadas.

6 CAPÍTULO 6: PROPUESTA DE MEJORA

6.1 Implementación del *Ramp Meter*, basado en el algoritmo *AMS-AG*

Para la implementación del sistema de semaforización inteligente *Ramp Meter*, basado en el algoritmo *AMS-AG*, se requiere de la utilización de tres herramientas básicas, aplicados en el modelo desarrollado en *Vissim 9.0*.

6.1.1 Detectores de cola

Activando la herramienta *Queue Counters* del menú principal, y haciendo clic derecho en la ubicación deseada sobre el modelo, se selecciona la opción *Add New Queue Counter* para crear un nuevo detector de cola. Posteriormente, se repite este paso 4 veces hasta concluir con los cuatro detectores de colas que estarán ubicados a una distancia no menor de 20 metros -medidos a partir del inicio de la rampa del cruce peatonal del acceso que conduce al óvalo-. Asimismo, haciendo clic derecho sobre la herramienta *Queue Counter*, y seleccionando la opción *Show List*, se podrá visualizar el cuadro de diálogo donde figura todos los detectores de colas creados, y sus respectivas posiciones de acuerdo con el *Link* donde ha sido instalado. En la Figura 140, se muestra el procedimiento a realizar:

Figura 140. Procedimiento para configurar los detectores de cola en *Vissim*
Fuente: Propia

Posteriormente, para visualizar los resultados que arroja el programa, se realiza el siguiente procedimiento; en la pestaña *Evaluation* del menú principal, se selecciona la opción *Result Lists*, luego, en la ventana abierta, se selecciona la opción *Queue Results* para finalmente abrirse el cuadro de diálogo donde se muestran los resultados registrados. Es preciso mencionar que, el programa arroja la longitud de cola en unidades de metros, y la lectura de resultados se evalúan según los vehículos detenidos a partir del detector de cola previamente instalado y hacia atrás. Por otro lado, los resultados son actualizados en intervalos de dos (2) segundos con la finalidad de que el semáforo controlado pueda tener un análisis más minucioso y a tiempo real.

Figura 141. Procedimiento para visualizar los resultados de longitud de cola en Vissim
Fuente: Propia

Finalmente, en la Tabla 30, se observa las posiciones en las que han sido instalados los detectores de cola.

Tabla 30. Posición de los detectores de cola en los accesos en Vissim

Ubicación	Detector	Posición (m)	Nro. de carriles analizados	Equivalencia UCP
Acceso Sur	1	20.50	2	5 c/carril
Acceso Este	2	21.30	3	
Acceso Norte	3	22.50	2	
Acceso Oeste	4	21.80	3	

Fuente: Propia

En la Figura 142, se observa el resultado de la aplicación de detectores de cola en el modelo.

Figura 142. Ubicación de los detectores de cola en el modelo de *Vissim*
Fuente: Propia

6.1.2 Detectores de flujo vehicular de llegada

Activando la herramienta *Data Collection Points*, del menú principal, y haciendo clic derecho en la ubicación deseada sobre el modelo, se selecciona la opción *Add New Data Collection Point* para crear un nuevo detector de vehículos. Posteriormente, se repite este paso 4 veces hasta concluir con los cuatro detectores de flujo vehicular que estarán ubicados a una distancia no menor de 150 metros -medidos a partir del inicio de la rampa del cruceo peatonal del acceso que conduce al óvalo-. Asimismo, haciendo clic derecho sobre la herramienta *Data Collection Point*, y seleccionando la opción *Show List*, se podrá visualizar el cuadro de diálogo donde figura todos los detectores de vehículos creados.

Por otro lado, el programa instala los detectores por carril por defecto, no obstante, a través de la herramienta *Data Collection Measurement*, ubicado en la opción *Measurement Definition* de la pestaña *Evaluation*, del menú principal, se logra agrupar los carriles de la vía evaluada en una sola medición y luego promediadas a fin de obtener una medición única del acceso. En la Figura 143, se muestra el procedimiento a realizar:

Figura 143. Procedimiento para configurar los detectores de flujo vehicular en *Vissim*
Fuente: Propia

Luego, para visualizar los resultados que arroja el programa, se realiza el siguiente procedimiento; en la pestaña *Evaluation* del menú principal, se selecciona la opción *Result Lists*, luego, en la ventana abierta, se selecciona la opción *Data Collection Results* para finalmente abrirse el cuadro de diálogo donde se muestran los resultados registrados. Es preciso mencionar que, el programa contabiliza a los vehículos a partir del contador instalado y a su vez se actualiza cada 30 segundos. Lo anterior, con la finalidad de que el algoritmo pueda generar oportunidad de asignar el rojo o verde a los demás accesos según los flujos vehiculares de llegada. En la Figura 144, se muestra el procedimiento a realizar.

Figura 144. Procedimiento para visualizar los resultados de conteo de flujos vehiculares en *Vissim*
Fuente: Propia

Finalmente, en la Tabla 31, se observa las distancias en las que han sido instalados los detectores de flujo vehicular, medidos a partir de la rampa vehicular que atraviesa el cruceo peatonal hacia atrás.

Tabla 31. Posiciones de los detectores de flujo vehicular en los accesos en *Vissim*

Ubicación	Contador	Posición (m)	Nro. de carriles
			analizados
Acceso Sur	1	162.5	2
Acceso Este	2	152.3	3
Acceso Norte	3	150.5	2
Acceso Oeste	4	158.7	3

Fuente: Propia

En la Figura 145, se observa el resultado de la aplicación de detectores de flujo vehicular de llegada.

Figura 145. Ubicación de los detectores de flujo vehicular en el modelo en *Vissim*
Fuente: Propia

6.1.3 Detectores de brechas

A través de la herramienta *Detectors* del menú principal, y haciendo clic derecho en la ubicación deseada sobre el modelo, se selecciona la opción *Add New Detector* para crear un nuevo detector de vehículos. Posteriormente, se repite este paso 4 veces hasta concluir con los cuatro detectores de vehículos que estarán ubicados frente a cada acceso, en los tres carriles centrales del óvalo. Asimismo, haciendo clic derecho sobre la herramienta *Detectors*, y seleccionando la opción *Show List*, se podrá visualizar el cuadro de diálogo donde figura todos los detectores de vehículos creados, y sus respectivas posiciones de acuerdo con el *Link* donde ha sido instalado. En la Figura 146, se muestra el procedimiento a realizar:

Figura 146. Procedimiento para configurar los detectores de brechas en *Vissim*
Fuente: Propia

Por otro lado, es importante citar la numeración de cada detector, puesto que cuando se codifique a través del algoritmo, es preciso saber el orden y posición en la que se encuentra ubicados los detectores a lo largo de todo el óvalo. Se inicia con el detector número 1, aquel que se encuentra frente al Acceso Sur, en el carril central más próximo a dicho acceso.

Luego, la numeración se dirige en sentido antihorario, siendo el detector número 2, aquel que se encuentra frente al Acceso Este, igualmente en el carril central más cercano a dicho acceso. Así, hasta completar 12 detectores y ocupar los tres carriles centrales del óvalo.

Lo anterior se da ya que, de acuerdo con la lógica del algoritmo *AMS-AG*, el segundo semáforo controlador se activa cuando el detector arroja como resultado un tiempo de brecha promedio de los tres carriles analizados superior a 4 segundos. En tal sentido, es preciso conocer cual detector es el que se ha activado y por ende se le distingue a través de una numeración exclusiva. En la Figura 147, se muestra la ventana de configuración de un detector, donde se inserta la numeración correspondiente.

Figura 147. Procedimiento para configurar las propiedades de un detector de brecha en *Vissim*
Fuente: Propia

En la Tabla 32, se muestra la numeración de detectores de brechas instalados en el modelo:

Tabla 32. *Ubicación y numeración de los detectores de brechas en Vissim*

Ubicación	Detector de brecha	Carril del óvalo
Frente al Acceso Sur	1	3°
	5	2°
	9	1°
Frente al Acceso Este	2	3°
	6	2°
	10	1°
Frente al Acceso Norte	3	3°
	7	2°
	11	1°
Frente al Acceso Oeste	4	3°
	8	2°
	12	1°

Fuente: Propia

En la Figura 148, se observa el resultado de la aplicación de detectores de brechas:

Figura 148. Ubicación de los detectores de brechas en el modelo *Vissim*
Fuente: Propia

6.1.4 Codificación del algoritmo *AMS-AG* en *Python*

En el inciso 2.5.1 del Capítulo 2, se determinó la estructura del algoritmo *AMS-AG*, acrónimo de *Adaptive Metering Signals Based on Average Gap*, el cual traducido al español significa ‘Medición de Semáforos Adaptativos Basado en Brechas’. Esta tecnología es también conocida como el diseño conceptual del sistema de semaforización inteligente *Ramp Meter*.

A continuación, en la Figura 149, se muestra el diagrama flujo del algoritmo *AMS-AG*, en el cual se han realizado ciertos arreglos, principalmente, se le ha añadido más líneas que conducen a entender mejor la lógica; no obstante, la esencia de su funcionamiento permanece igual.

Figura 149. Adaptación del algoritmo *AMS-AG*
Fuente: Propia

En este sentido, se codifica la estructura del diagrama de flujo en lenguaje de programación *Python*, y, además, se emplea las funciones que otorga la herramienta *VissimCOM*, previamente estudiado en el inciso 2.6.9 del Capítulo 2. La codificación completa se encuentra en el Anexo 17 para mayor detalle.

Figura 150. Procedimiento para abrir un archivo en el programa Python
Fuente: Elaboración propia

- **Función para leer colas en los accesos**

```
## Funcion para leer colas en los accesos
def leer_queue():
    for x in range(4):
        Qlen[x]=Vissim.Net.QueueCounters.ItemByKey(x+1).AttValue('QLen(Current,Last)')
    for x in range(4):
        if Qlen[x]>10:
            Q[x]=1
        else:
            Q[x]=0
    return Q,Qlen
```

Figura 151. Función para leer colas en los accesos de la programación en *Python*
Fuente: Propia

- **Función para determinar el flujo de llegada en los accesos**

```
## Funcion para determinar el arrival flow rate de cada acceso
def leer_arrival_FR():
    for n in range(4):
        D[n]=Vissim.Net.DataCollectionMeasurements.ItemByKey(n+1).AttValue('Vehs(Current,Last,All)')
    return D
```

Figura 152. Función para determinar el flujo de llegada en los accesos de la programación en *Python*
Fuente: Propia

- **Función para determinar cuál acceso registra cola**

```
## Funcion para determinar que acceso tiene cola
def verificacion_colas_accesos():
    for x in range(4):
        if Q[x]==1:
            QL.append(x+1)
```

Figura 153. Función para determinar cuál acceso registra cola de la programación en *Python*
Fuente: Propia

- Función para determinar el acceso de control y el acceso de medición

```
## Funcion para determinar el acceso de control y el acceso medido
def seleccion_CA_MA():
    QLARGE1=0
    QLARGE2=0
    if QLARGE1>10 and QLARGE2>10:
        print('DEMASIADA COLA ACCESO SUR')
        print(QL)
        CA=1
        MA1=4
    if QLARGE1>10 and QLARGE2<10:
        print('DEMASIADA COLA ACCESO SUR')
        print(QL)
        CA=1
        MA1=4
    if QLARGE1<10 and QLARGE2>10:
        print('DEMASIADA COLA ACCESO NORTE')
        print(QL)
        CA=3
        MA1=2
    if QLARGE1<10 and QLARGE2<10:
        if len(QL)==0:
            print('NO HAY COLA')
            print(QL)
            CA=0
            MA1=0
        elif len(QL)==1:
            print('HAY UNA COLAS')
            CA=QL[0]
            MA1=QL[0]-1
            print(QL[0])
        elif len(QL)==2:
            print('HAY DOS COLAS')
            if D[QL[0]-1]>D[QL[1]-1]:
                CA=QL[0]
                MA1=QL[0]-1
            elif D[QL[0]-1]<D[QL[1]-1]:
                CA=QL[1]
                MA1=QL[1]-1
            else:
                if Vin[QL[0]-1] > Vin[QL[1]-1]:
                    CA=QL[0]
                    MA1=QL[0]-1
                else:
                    CA=QL[1]
                    MA1=QL[1]-1
        elif len(QL)==3:
            print('HAY TRES COLAS')
            if D[QL[0]-1]>D[QL[1]-1] and D[QL[0]-1]>D[QL[2]-1]:
                CA=QL[0];
                MA1=CA-1;
                print(QL[0])
            elif D[QL[1]-1]>D[QL[2]-1]:
                CA=QL[1];
                MA1=CA-1;
            else:
                CA=QL[2];
                MA1=CA-1;
        elif len(QL)==4:
            print('HAY CUATRO COLAS')
            if D[QL[0]-1]>D[QL[1]-1] and D[QL[0]-1]>D[QL[2]-1] and D[QL[0]-1]>D[QL[3]-1]:
                CA=QL[0];
                MA1=CA-1;
            elif D[QL[1]-1]>D[QL[2]-1] and D[QL[1]-1]>D[QL[3]-1]:
                CA=QL[1];
                MA1=CA-1;
            elif D[QL[2]-1]>D[QL[3]-1]:
                CA=QL[2];
                MA1=CA-1;
            else:
                CA=QL[3];
                MA1=CA-1;
    if MA1==0:
        MA1=4
    return CA,MA1
```

Figura 154. Función para determinar el acceso de control y el acceso de medición en *Python*
Fuente: Propia

- **Función para determinar la brecha promedio frente al acceso de control**

```
## Funcion para determinar el gap promedio frente al acceso de control
def gap_prom():
    Gil=[]
    Gi2=[]
    Gi3=[]
    Gt1=[]
    Gt2=[]
    Gt3=[]
    Vissim.Simulation.RunSingleStep()
    J=Vissim.Net.SignalControllers.ItemByKey(1).Detectors.GetMultiAttValues('GapTm')
    Gil.append(J[CA-1][1])
    Gi2.append(J[CA-1+4][1])
    Gi3.append(J[CA-1+8][1])
    for i in range(200):
        Vissim.Simulation.RunSingleStep()
        J=Vissim.Net.SignalControllers.ItemByKey(1).Detectors.GetMultiAttValues('GapTm')
        Gil.append(J[CA-1][1])
        Gi2.append(J[CA-1+4][1])
        Gi3.append(J[CA-1+8][1])
        if Gil[i+1]<Gil[i]:
            Gt1.append(Gil[i])
        if Gi2[i+1]<Gi2[i]:
            Gt2.append(Gi2[i])
        if Gi3[i+1]<Gi3[i]:
            Gt3.append(Gi3[i])
    if len(Gt1)!=0:
        Gp1=promediarLista(Gt1)
    else:
        Gp1=0

    if len(Gt2)!=0:
        Gp2=promediarLista(Gt2)
    else:
        Gp2=0

    if len(Gt3)!=0:
        Gp3=promediarLista(Gt3)
    else:
        Gp3=0

    Gp=(Gp1)
    return Gp,Gt1,Gil
```

Figura 155. Función para determinar la brecha promedio frente al acceso de control en *Python*
Fuente: Propia

- **Función para encender el segundo semáforo de medición**

```
## Funcion para encender el segundo acceso medido
def encender_control(MA2):
    Vissim.Net.SignalControllers.ItemByKey(1).SGs.ItemByKey(MA2).SetAttValue("SigState", "AMBER")
    for i in range(30):
        Vissim.Simulation.RunSingleStep()
    Vissim.Net.SignalControllers.ItemByKey(1).SGs.ItemByKey(MA2).SetAttValue("SigState", "RED")
    for i in range(100):
        Vissim.Simulation.RunSingleStep()
```

Figura 156. Función para encender el segundo semáforo de medición en *Python*
Fuente: Propia

- **Función para verificar las colas en los accesos medidos**

```
## Funcion para verificar las colas en los accesos medidos
def verificarCola_EM():
    (Q,Qlen)=leer_queue()
    print('ACCESO MEDIDO 1: ', MA1)
    cola_AM1=Q[MA1-1]
    if AM2_ON==1:
        cola_AM2=Q[MA2-1]
    else:
        cola_AM2=0
    return cola_AM1,cola_AM2

def delay():
    for i in range(100):
        Vissim.Simulation.RunSingleStep()
```

Figura 157. Función para verificar las colas en los accesos medidos en *Python*
Fuente: Propia

6.2 Implementación de semáforos

De acuerdo con el inciso 2.3 del Capítulo 2, se implementa el semáforo acorde a lo estipulado en el Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. En este sentido, son en total 8 semáforos, tipo base, instalados, dos en cada acceso, y uno separado del otro a una distancia de 5 metros en el mismo acceso. Lo anterior ya que, se observó que ciertos vehículos se detienen en el punto intermedio antes de ingresar al óvalo. A continuación, en la Figura 158 se observa los semáforos vehiculares instalados en el programa:

Figura 158. Ubicación de semáforos en el modelo *Vissim*
Fuente: Propia

Por otro lado, como parte de la propuesta de mejora, se sugiere añadir semáforos peatonales que emitan luz ámbar intermitente para que, de manera preventiva, alerte al peatón y ciclista al momento de desplazarse a través del cruceo peatonal. Si bien es cierto, en determinados momentos la luz “roja” del semáforo de un acceso se activa, ello garantiza durante un tiempo mínimo de 20 segundos que los peatones no entren en conflicto con los vehículos. Caso contrario, cuando el semáforo se encuentre en luz “verde” -al igual que en las salidas del óvalo-, y dada las condiciones del flujo vehiculares, los peatones y ciclistas cruzarán cautelosamente.

Figura 159. Ubicación de semáforos peatonales en el modelo *Vissim*
Fuente: Propia

También, se propone la implementación de semáforos que emitan luz ámbar intermitente con la finalidad de advertir a los conductores antes de ingresar a una vía; en los puntos de giro en “U” y también en el punto de convergencia del intercambio elevado Panamericana Norte con la auxiliar Av. Alfredo Mendiola. A continuación, se muestran las ubicaciones donde se pretende implementar estos semáforos.

Figura 160. Ubicación de semáforos de luz ámbar intermitente en los giros en “U” y punto de convergencia en el modelo *Vissim*

Fuente: Propia

6.3 Eliminación de paraderos no autorizados

Se observó durante las visitas a campo, que los peatones se dirigen a zonas no autorizadas para el recojo y desembarco de pasajeros de transporte público. Luego de haber revisado las videograbaciones, se observa que estos paraderos son generadores de tráfico dado su ubicación próxima a las zonas de conflicto, también llamados “puntos negros”. De esta manera, al sugerir la eliminación de paraderos informales se logra mayor fluidez vehicular y garantiza que los peatones sean recogidos de manera segura en los paraderos autorizados. En esta ocasión, los paraderos no autorizados eliminados serían los siguientes:

- **Auxiliar Av. Alfredo Mendiola (Sur–Norte) – Puente Peatonal Honorio Delgado**

Situación actual

Propuesta de mejora

Figura 161. Propuesta de eliminación del paradero no autorizado “Honorio Delgado” en el modelo *Vissim*
Fuente: Propia

- **Puente Peatonal Trompeta – Auxiliar Av. Alfredo Mendiola (Norte – Sur)**

Situación actual

Propuesta de mejora

Figura 162. Propuesta de eliminación del paradero no autorizado “Trompeta” en el modelo *Vissim*
Fuente: Propia

- **Av. Eduardo de Habich - Acceso Este del óvalo**

Figura 163. Propuesta de eliminación del paradero no autorizado “Acceso Este” en el modelo *Vissim*
Fuente: Propia

6.4 Eliminación de estacionamientos no autorizados

Dado que la zona de estudio es altamente comercial, con presencia de negocios, restaurantes y mercados, un significativo número de vehículos estacionan de manera informal sobre la vía pública. Este escenario se repite a lo largo de la Av. Eduardo de Habich en ambos sentidos, al igual que en otras partes de la intersección. En consecuencia, al ocupar un carril de los dos o tres que compone la calzada, su capacidad vial se ve reducida, lo que genera mayor congestionamiento vehicular. Por otro lado, esta situación obliga y pone en peligro a los peatones que esperan sobre la vía el transporte público. A continuación, en la Figura 164 se observa la propuesta de mejora planteada.

- **Av. Eduardo de Habich (Oeste – Este)**

Figura 164. Propuesta de eliminación de estacionamientos no autorizados Av. E. Habich (Oeste – Este) en el modelo *Vissim*
Fuente: Propia

- **Av. Eduardo de Habich (Este – Oeste)**

Situación actual

Propuesta de mejora

Figura 165. Propuesta de eliminación de estacionamientos no autorizados Av. E. de Habich (Este – Oeste) en el modelo *Vissim*
Fuente: Propia

6.5 Restricción de carriles según tipo de vehículo

La restricción de carriles según el tipo de vehículo es una práctica común por diferentes autoridades viales cuando se trata de un flujo vehicular altamente combinado, es decir, se observa la combinación de vehículos urbanos e interurbanos.

Esta medida se sugiere aplicar para el flujo vehicular que transite a través de la vía elevada del intercambio Panamericana Norte - Habich, en sus dos direcciones. Cabe mencionar que la calzada, en ambos sentidos de dicha vía, constituye 3 carriles y posee un ancho de carril de 3.50 m. La restricción se realiza para los vehículos pesados, tales como, camiones, tráiler y buses interprovinciales las cuales se recomiendan que circulen por el carril interior izquierdo, mientras que el carril central se alude al uso exclusivo de vehículos de transporte público, tales como ómnibus y microbuses (Gutarra, 2020). Por último, en el carril exterior derecho se propone la circulación única de vehículos livianos, tales como autos, camionetas particulares, taxis y motos lineales.

De acuerdo con la entrevista realizada al Ing. Edilberto Gutarra Mena, Ingeniero de Transporte y experto en temas viales, sugiere que esta medida de reordenamiento agilizaría

el tráfico vehicular en el punto de convergencia entre la Panamericana Norte y la vía auxiliar (Gutarra, 2020). Según la afirmación anterior, esta medida sugiere que el tercer carril exterior de la calzada pueda generar mayor brecha o espacio suficiente para que los vehículos ingresantes por la vía auxiliar puedan tener menor complicación durante su acceso, lo anterior, al permitir la circulación exclusiva de vehículos livianos, de menores dimensiones y diferentes características de velocidad y aceleración.

Simultáneamente, al trasladar la circulación de vehículos pesados al carril interior izquierdo, siendo este el más alejado del punto de convergencia, se evita la formación del denominado “efecto cortina”. Lo anterior, mediante el cual se forma una barrera o “cortina” de vehículos pesados que circulan a una misma velocidad e imposibilitan la interacción de los vehículos de carriles aledaños que pretenden realizar cambios de carril o maniobras similares (Gutarra, 2020). Asimismo, respecto a la circulación de vehículos de transporte público, también se recomienda restringir su circulación al carril central, ya que ciertos vehículos, como los ómnibus, poseen características similares a los vehículos pesados, dadas sus dimensiones y su comportamiento vehicular. A continuación, en la Figura 166 se observa la propuesta de mejora planteada.

- **Intercambio elevado Panamericana Norte / Av. Alfredo Mendiola**

Figura 166. Propuesta de restricción de carriles según tipo de vehículo sobre el intercambio elevado Panamericana Norte - Habich
Fuente: Propia

Asimismo, se pretende colocar una adecuada señalización vertical con la finalidad de advertir a los conductores de realizar el cambio de carril sugerido, a una distancia anticipada de 500 metros. La restricción aplica para el tramo elevado.

Figura 167. Propuesta de señalética vertical dada la restricción de carriles según tipos de vehículos
Fuente: Propia

Para finalizar, esta propuesta de mejora se sugiere aplicar ya que, al mejorarse las condiciones de flujo en determinado punto de embotellamiento, el tráfico mejoraría sustancialmente en los accesos e interior del óvalo. Es preciso comentar que, el congestionamiento vehicular producido en las inmediaciones de la intersección estudiada se debe al tráfico que genera el estrechamiento vial que arrastra largas colas hasta el óvalo, posteriormente, todo el sistema se altera.

6.6 Restricción de flujo vehicular por velocidad

De acuerdo con un minucioso análisis realizado tras varias visitas a campo, se puede recomendar restringir la velocidad vehicular en el intercambio elevado de la Panamericana Norte, en sus dos direcciones. Esta medida sugiere instalar un velocímetro que regule la velocidad de los vehículos hasta 30 km/h, sin distinguir ninguna tipología. Según comenta el Ing. Edilberto Gutarra, en varios puntos de la capital se han instalado cámaras de control de velocidad, citando un caso, en el Callao, para reducir el número de accidentes de tránsito y prevenir futuros atascos en intersecciones próximas (Gutarra, 2020).

De esta manera, se pretende replicar los beneficios en la aplicación de un dispositivo de control de velocidad para el caso de investigación. En esta oportunidad, se parte de la premisa de que la Panamericana Norte es una vía diseñada para una velocidad de circulación máxima de 80 km/h, en condiciones no saturadas, no obstante; se plantea reducir la velocidad de conducción a 30 km/h por dos motivos. La primera razón radica en que, al circular con velocidad controlada por la vía principal, generaría mayor brecha disponible para aquellos vehículos ingresantes por la vía secundaria, y puedan acceder en condiciones de mayor seguridad y confort. En segundo lugar, al reducirse la velocidad, previene y reduce también los accidentes de tránsito que puedan ocurrir en el cuello de botella. A continuación, en la Figura 168 se observa la situación actual y la propuesta de mejora, respectivamente.

- **Convergencia Panamericana Norte – Auxiliar Av. Alfredo Mendiola**

Figura 168. Implementación del sensor de velocidad en el modelo *Vissim*
Fuente: Propia

Asimismo, los dispositivos de control de velocidad yacen sobre el parante aéreo que atraviesa la calzada. El funcionamiento de este dispositivo se basa; al detectar una velocidad superior a la permitida, captura una fotografía a la matrícula del vehículo infractor. Posteriormente, la computadora procesa la información y lo redirige a la policía de tránsito respectiva, mediante el SAT (Servicio de Administración Tributaria de Lima), quien se encarga de emitir las denominadas “fotopapeletas” a los usuarios.

Figura 169. Funcionamiento del sensor de velocidad aplicado en el punto de convergencia
Fuente: Portal SAT y Propia

6.7 Implementación de señalética vertical

Todas las anteriores propuestas de mejora deben ir acompañadas de una adecuada señalización con la finalidad de informar al usuario, sea conductor o peatón de las modificaciones realizadas. A continuación, se detalla a través de las siguientes imágenes la señalética vertical insertada en algunos escenarios.

- **Implementación del sistema de semaforización inteligente *Ramp Meter***

Figura 170. Señalética vertical adecuada para la implementación de semáforos
Fuente: Propia

- **Señal de proximidad de semáforo (P-55)**

Esta señal advierte al conductor sobre la proximidad de una intersección controlada por semáforos. Asimismo, esta señal debe colocarse a una distancia mínima de 200 m antes de la indicada intersección controlada por semáforos (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Figura 171. Señal P-55
Fuente: Propia

- **Señal de peligro proximidad de semáforo (P-3)**

Esta señal establece la proximidad de una intersección aislada o tramo con la circulación regulada por semáforos (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Figura 172. Señal P-3
Fuente: Propia

- **Eliminación de paraderos no autorizados**

Figura 173. Señalética vertical adecuada para la eliminación de paraderos no autorizados
Fuente: Propia

- **Señal de paradero de buses (I-6)**

Esta señal informa al conductor el lugar autorizado como paradero de “buses” (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Figura 174. Señal I-6
Fuente – Propia

- **Señal de prohibido paradero (R-44)**

Esta señal prohíbe al conductor de un vehículo de servicio público, recoger o dejar pasajeros en lugares no autorizados para tales fines. Su no colocación, no autoriza al conductor incumplir la indicada restricción (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Figura 175. Señal R-44
Fuente: Propia

- **Restricción de flujo vehicular por velocidad**

Figura 176. Señalética vertical adecuada para la propuesta de restricción de flujo vehicular por velocidad
Fuente: Propia

- **Señal de velocidad máxima permitida (R-30)**

Esta señal establece la velocidad máxima de operación en kilómetros por hora (km/h) a la que puede circular un vehículo en determinado carril, tramo o sector de una vía. Los límites máximos de velocidad deben ser expresados en múltiplos de 10 km/h (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Figura 177. Señal R-30
Fuente: Propia

- **Señal de control de velocidad en autopista (I-4A)**

Señal de poste de lámina tipo IV y para señales elevadas las de tipo XI. (EG-vigente). Para señales de poste ubicadas al lazo izquierdo de la vía el tipo de lámina debería ser como mínimo del tipo XI debido a que la cantidad de luz disponible en esta ubicación es alrededor del 20% (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Figura 178. Señal I-4A
Fuente: Propia

- **Eliminación de estacionamientos no autorizados**

Figura 179. Señalética vertical adecuada para la propuesta de eliminación de estacionamiento no autorizados
Fuente: Propia

- **Señal de prohibido estacionar (R-27)**

Esta señal prohíbe el estacionamiento de vehículos en determinadas áreas de una vía. Debe complementarse con marcas en el pavimento con una línea amarilla continua al margen derecho o izquierdo de la zona de restricción, en el sardinel o borde de la vereda (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Figura 180. Señal R-27
Fuente: Propia

- **Señal de prohibido estacionar zona de remolque (R-27A)**

Esta señal prohíbe el estacionamiento de vehículos en determinadas áreas de una vía y en caso de estacionarse, el vehículo será remolcado. Debe complementarse con marcas en el pavimento con una línea amarilla continua al margen derecho o izquierdo de la zona de restricción, en el sardinel o borde de la vereda (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Figura 181. Señal R-27A
Fuente: Propia

- **Señal de prohibido detenerse (R-28)**

Esta señal prohíbe al conductor detener un vehículo en determinada longitud o área de una vía. De ser el caso, se complementará con otra señal similar al lado izquierdo de la vía (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Figura 182. Señal R-28
Fuente: Propia

- **Restricción de carriles según tipo de vehículo**

Figura 183. Señalética vertical adecuada para la propuesta de restricción de carriles según tipo de vehículo
Fuente: Propia

- **Señal de tránsito pesado a la izquierda (R-23)**

Esta señal establece que los vehículos de transporte pesado deben circular por el carril extremo derecho (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Figura 184. Señal R-23
Fuente: Propia

- **Señal vía segregada para buses (R-55B)**

Esta señal establece los carriles o vías exclusivas para el tránsito de buses. Debe instalarse al lado derecho de la vía. Además, debe complementarse con marcas en el pavimento que indique “solo buses”, y otros dispositivos para una adecuada operación de la vía (Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, 2019).

Figura 185. Señal R-55B
Fuente: Propia

6.8 Reparación de calzadas y veredas

Se recomienda realizar un mantenimiento preventivo de la calzada en toda la intersección, ya que se observa huecos, hundimientos y agrietamientos del pavimento dada la presencia del alto flujo de vehículos pesados. Esta situación afecta a la velocidad deseada de los vehículos y además es causante de accidentes de tránsito, ya que obliga al conductor a realizar maniobras con el fin de esquivarlos. Por otro lado, las veredas también requieren de mantenimiento y pintado de bordes y sardineles. Los huecos en las veredas pueden causar la caída estrepitosa de algún peatón o ciclista, por lo que se sugiere como propuesta de mejora ser atendidas lo más pronto posible.

7 CAPÍTULO 7: ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

7.1 Evaluación de la propuesta

Las propuestas de mejora planteadas se dirigen a reducir los tiempos de viaje vehicular y también mejorar las condiciones de circulación de los peatones, en lo que respecta a seguridad y desplazamiento. Por ende, si los parámetros vehiculares y peatonales de la situación actual presentan mejora, se podrá determinar si son adecuadas o no las propuestas de mejora planteadas en la Capítulo 6. Es preciso comentar que, se evalúan los resultados para los diferentes escenarios del día, es decir, por la Mañana, Mediodía, Noche, de acuerdo con los aforos vehiculares realizados previamente, asimismo, se estima el escenario Noche Futuro con proyección a 15 años. Los resultados obtenidos se detallan del Anexo 11 al Anexo 15.

7.2 Parámetros de circulación vehicular

7.2.1 Tiempos de viaje vehicular

Condición AM (Mañana)

En términos generales, durante la mañana, los tiempos de viaje vehicular se reducen sustancialmente, lo cual brinda beneficios a los conductores. Es preciso acotar que, durante la mañana, la naturaleza de la congestión vehicular se genera producto de la problemática del tramo correspondiente al estrechamiento de carriles. Si bien, la implementación del *Ramp Meter*, reduce los tiempos de viaje vehicular, dada la secuencia sincronizada de tiempos que regula el algoritmo *AMS-AG* y en su defecto brinda mayor fluidez vehicular a diferentes accesos congestionados. Además, sustituye la presencia del control policial de tránsito observado en la situación actual, que, por lo general, suele detener el tránsito en ciertas ocasiones hasta por 15 minutos. A continuación, se desglosa el análisis de evaluación de acuerdo con las rutas generadas desde determinados accesos del óvalo.

- **Acceso Sur**

Tabla 33. *Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Sur para la condición AM*

Evaluación de Propuesta - Tiempos de Viaje Vehicular (seg) en el Acceso Sur							
Situación Actual				Propuesta de Mejora			
Sur a Norte	Sur - Sur (Vuelta en U)	Sur - Este	Sur - Oeste	Sur a Norte	Sur - Sur (Vuelta en U)	Sur - Este	Sur - Oeste
76.95	347.78	37.93	100.31	64.83	702.53	29.68	58.68
	¿Existe mejora?			Si	No	Si	Si
	Tiempo ahorrado (seg.)			12.12	-	8.25	41.63
	Tiempo ahorrado (min.)			0.20	-	0.14	0.69
	% de reducción			15.75%	-	21.74%	41.50%

Fuente: Propia

Nota. A partir de la Tabla 33, se puede observar que, en el acceso Sur, la ruta más beneficiada son los vehículos que se dirigen de Sur a Oeste, es decir, los vehículos aquellos que vienen del Sur y se dirigen hacia la Av. José Granda en el distrito de San Martín de Porres. Tras la implementación de la propuesta de mejora, los usuarios ahorrarían en promedio hasta casi 42 segundos de su tiempo, lo equivalente al 41.50% de reducción respecto a la situación actual. No obstante, la ruta Sur – Sur, es decir aquellos que vienen del Sur y deciden realizar el giro en “U”, no se produce ninguna reducción del tiempo de viaje vehicular, por el contrario, su aumento supera el 100% del tiempo estimado para la situación actual. Analizando esta última situación, el aumento se debe principalmente a la saturación inexorable del estrechamiento de la vía auxiliar Av. Alfredo Mendiola en dirección al Sur.

- **Acceso Este**

Tabla 34. *Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Este para la condición AM*

Evaluación de Propuesta - Tiempos de Viaje Vehicular (seg) en el Acceso Este							
Situación Actual				Propuesta de Mejora			
Este - Oeste	Este - Este (Vuelta en U)	Este - Norte	Este - Sur	Este - Oeste	Este - Este (Vuelta en U)	Este - Norte	Este - Sur
92.02	113.03	38.57	639.21	53.50	32.91	33.83	571.69
	¿Existe mejora?			Si	Si	Si	Si
	Tiempo ahorrado (seg.)			38.52	80.12	4.74	67.52
	Tiempo ahorrado (min.)			0.64	1.34	0.08	1.13
	% de reducción			41.86%	70.88%	12.28%	10.56%

Fuente: Propia

Nota. En relación con la Tabla 34, se puede decir que, tras implementarse la propuesta de mejora, se reduciría los tiempos de viaje vehicular en todas las rutas sugeridas que atraviesan los cuatro accesos del óvalo. En este sentido, la ruta más beneficiada es la de Este – Este, aquellos quienes realizan el giro en “U” provenientes del Este, ahorrándose en promedio hasta aproximadamente 1.30 min de su tiempo, lo que equivale a una reducción del 70.88% en contraste con la situación actual. No obstante, es preciso mencionar que estos vehículos en

realidad se dirigen hacia el Sur; sin embargo, deciden evadir el óvalo para cortar camino doblando a la derecha por la Ca. Charles Sutton Sur para luego desembocar por la Ca. Federico Villareal y posteriormente girar en “U” en dirección al Sur. Esta problemática se repite todas las mañanas dado que la alta demanda vehicular en tal horario obliga a realizar estas maniobras con la finalidad de ahorrar tiempo.

- **Acceso Norte**

Tabla 35. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Norte para la condición AM

Evaluación de Propuesta - Tiempos de Viaje Vehicular (seg) en el Acceso Norte							
Situación Actual				Propuesta de Mejora			
Norte - Sur	Norte - Norte (Vuelta en U)	Norte - Oeste	Norte - Este	Norte - Sur	Norte - Norte (Vuelta en U)	Norte - Oeste	Norte - Este
2377.46	876.12	74.13	1782.31	434.35	15.03	42.14	71.24
¿Existe mejora?				Si	Si	Si	Si
Tiempo ahorrado (seg.)				1943.10	861.09	32.00	1711.07
Tiempo ahorrado (min.)				32.39	14.35	0.53	28.52
% de reducción				81.73%	98.28%	43.16%	96.00%

Fuente: Propia

Nota. En cuanto a la Tabla 35, se puede apreciar se producen mejoras sustanciales en el orden del 100% de reducción en contraste con la situación actual. Destacándose por sobre las demás rutas, los vehículos que parten del Norte y se dirigen hacia el Sur. Cabe mencionar que, el acceso Norte es el más castigado, ya que, en condiciones normales, se encuentra bajo control policial de tránsito que en muchas ocasiones detiene el flujo de vehículos hasta por 15 minutos en dicho acceso. No obstante, tras implementarse la propuesta de mejora, los tiempos de viaje vehicular se reducirían en promedio hasta en un 98.28% en dicha ruta, lo equivalente en tiempo ahorrado a 33 minutos. Esta mejora sustancial reflejaría en los usuarios un mayor ahorro de combustible lo que se traduce en menor contaminación ambiental, reduciría las incidencias de enfermedades y mejoraría el rendimiento laboral.

- **Acceso Oeste**

Tabla 36. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Oeste para la condición AM

Evaluación de Propuesta - Tiempos de Viaje Vehicular (seg) en el Acceso Oeste							
Situación Actual				Propuesta de Mejora			
Oeste - Este	Oeste - Oeste (Vuelta en U)	Oeste - Norte	Oeste - Sur	Oeste - Este	Oeste - Oeste (Vuelta en U)	Oeste - Norte	Oeste - Sur
100.30	60.31	110.49	409.26	55.72	69.67	70.66	474.74
¿Existe mejora?				Si	No	Si	No
Tiempo ahorrado (seg.)				44.57	-	39.84	-
Tiempo ahorrado (min.)				0.74	-	0.66	-
% de reducción				44.44%	-	36.05%	-

Fuente: Propia

Nota. En la Tabla 36, se observa que la mejora se daría parcialmente en ciertas rutas y en otras sucedería lo contrario. Para el caso de la ruta Oeste – Este, es decir, aquellos que provienen de la Av. José Granda y se dirigen a la Av. Eduardo de Habich en dirección hacia la Universidad Nacional de Ingeniería ahorraría su tiempo de viaje vehicular hasta aproximadamente 45 segundos, lo equivalente al 44.44% con el tiempo requerido que demanda la situación actual. Asimismo, la ruta Oeste – Norte también presentaría mejora si se implementara la propuesta planteada. No obstante, las rutas Oeste – Sur y Oeste – Oeste (vuelta en “U”) no presentaría mejoras, ya que la vía auxiliar Av. Alfredo Mendiola, en dirección al Sur, se encuentra saturada a consecuencia de la convergencia abrupta observada.

Condición M (Mediodía)

A rasgos generales, dada la condición del Mediodía, se lograría reducir los tiempos de viaje vehículos en varias rutas desde diferentes accesos del óvalo estudiado. Los resultados obtenidos se asemejan a los que se analizaron anteriormente en la condición AM, lo anterior ya que, ambas condiciones comparten la misma problemática y poseen similares composiciones de rutas vehiculares. Así, nuevamente el congestionamiento vehicular nace del punto de estrechamiento de carriles entre la auxiliar Av. Alfredo Mendiola e intercambio elevado Panamericana Norte, ambos en dirección al Sur. Por otro lado, es oportuno mencionar que, en este horario también es común visualizar el control policial de tránsito, no obstante, los tiempos asignados a los diferentes accesos tienen menor duración.

- **Acceso Sur**

Tabla 37. *Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Sur para la condición M*

Evaluación de Propuesta - Tiempos de Viaje Vehicular (seg) en el Acceso Sur							
Situación Actual				Propuesta de Mejora			
Sur a Norte	Sur - Sur (Vuelta en U)	Sur - Este	Sur - Oeste	Sur a Norte	Sur - Sur (Vuelta en U)	Sur - Este	Sur - Oeste
91.58	298.68	42.16	159.29	81.30	314.59	30.10	74.61
	¿Existe mejora?			Si	No	Si	Si
	Tiempo ahorrado (seg.)			10.28	-	12.06	84.69
	Tiempo ahorrado (min.)			0.17	-	0.20	1.41
	% de reducción			11.22%	-	28.60%	53.16%

Fuente: Propia

Nota. Según la Tabla 37, la ruta menos beneficiada es la que provienen del Sur y deciden realizar el giro en U hacia la misma dirección de origen. No obstante, el aumento del tiempo de viaje vehicular se produce hasta en un 15% más respecto a la situación actual. Por otro lado, la ruta con mayor mejora es la de los vehículos que provienen del Sur y se dirigen hacia el Oeste, en tanto, se generaría una reducción promedio de hasta 85 segundos de tiempo de viaje vehicular en dicha ruta, lo equivalente al 54% menos, en contraste con el tiempo requerido bajo las condiciones actuales.

- **Acceso Este**

Tabla 38. *Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Este para la condición M*

Evaluación de Propuesta - Tiempos de Viaje Vehicular (seg) en el Acceso Este							
Situación Actual				Propuesta de Mejora			
Este - Oeste	Este - Este (Vuelta en U)	Este - Norte	Este - Sur	Este - Oeste	Este - Este (Vuelta en U)	Este - Norte	Este - Sur
132.84	127.15	54.10	696.97	85.98	52.98	36.67	442.45
¿Existe mejora?				Si	Si	Si	Si
Tiempo ahorrado (seg.)				46.86	74.16	17.43	254.52
Tiempo ahorrado (min.)				0.78	1.24	0.29	4.24
% de reducción				35.28%	58.33%	32.21%	36.52%

Fuente: Propia

Nota. De acuerdo con la Tabla 38, todas las rutas originadas a partir del acceso Este presentan mejoras sustanciales al reducir los tiempos de viaje vehicular en el orden del 40% en promedio de todas las rutas que configuran dicho acceso. Asimismo, es oportuno mencionar que la ruta que más se beneficiaría, nuevamente, es la de los vehículos que provienen del Este y giran en “U” para dirigirse nuevamente hacia el Este, con un ahorro de tiempo promedio de hasta 1.24 minutos, lo que equivale a una reducción del 59% del tiempo de viaje vehicular, en comparación de la situación actual. Este panorama de mejora alienta a que los vehículos puedan desarrollar un desplazamiento más rápido y con mayor confort.

- **Acceso Norte**

Tabla 39. *Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Norte para la condición M*

Evaluación de Propuesta - Tiempos de Viaje Vehicular (seg) en el Acceso Norte							
Situación Actual				Propuesta de Mejora			
Norte - Sur	Norte - Norte (Vuelta en U)	Norte - Oeste	Norte - Este	Norte - Sur	Norte - Norte (Vuelta en U)	Norte - Oeste	Norte - Este
809.57	138.25	46.01	306.51	530.60	69.24	39.32	185.60
¿Existe mejora?				Si	Si	Si	Si
Tiempo ahorrado (seg.)				278.97	69.02	6.69	120.91
Tiempo ahorrado (min.)				4.65	1.15	0.11	2.02
% de reducción				34.46%	49.92%	14.54%	39.45%

Fuente: Propia

Nota. En cuanto a la Tabla 39 se refiere, se puede decir que la ruta que se dirige del Norte hacia el Sur sigue siendo la más congestionada, sin embargo, tras implementarse la semaforización Ramp Meter, lograría reducir considerablemente en un 35% menos de tiempo de viaje vehicular, lo equivalente a 4.65 minutos de ahorro de combustible y mayor tiempo que los usuarios puedan destinarle a la realización de otras actividades. Asimismo, es válido afirmar que el acceso Norte presenta mejoras en todas sus rutas posibles, siendo así, generaría un ahorro de tiempo promedio en el orden del 34.5% en general.

- **Acceso Oeste**

Tabla 40. *Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Oeste para la condición M*

Evaluación de Propuesta - Tiempos de Viaje Vehicular (seg) en el Acceso Oeste							
Situación Actual				Propuesta de Mejora			
Oeste - Este	Oeste - Oeste (Vuelta en U)	Oeste - Norte	Oeste - Sur	Oeste - Este	Oeste - Oeste (Vuelta en U)	Oeste - Norte	Oeste - Sur
185.94	102.43	214.11	330.42	163.28	99.21	187.05	839.69
¿Existe mejora?				Si	Si	Si	No
Tiempo ahorrado (seg.)				22.66	3.22	27.05	-
Tiempo ahorrado (min.)				0.38	0.05	0.45	-
% de reducción				12.19%	3.14%	12.64%	-

Fuente: Propia

Nota. Según la Tabla 40, el acceso Oeste en el horario del mediodía, tras implementarse la propuesta de mejora, reduciría los tiempos de viaje vehicular de tres de sus cuatro rutas posibles. En tanto, las rutas; Oeste – Este, Oeste – Oeste (vuelta en “U”) y Oeste Norte, generaría un ahorro de tiempo promedio de hasta 9.32% en las rutas anteriormente descritas. Si bien el ahorro de tiempo no es sustancial, sin embargo, dichos minutos permiten seguir brindándole al usuario una mejor calidad de vida. No obstante, la ruta, Oeste – Sur se vería seriamente afectada al incrementarse en un 60% el tiempo de viaje vehicular correspondiente. Lo anterior se da, dado que, dicha ruta aguas abajo se encuentra altamente saturada debido al congestionamiento latente en el estrechamiento vial anteriormente mencionado.

- **Condición PM (Noche)**

A diferencia de las condiciones anteriores, el horario nocturno no satisface resultados positivos si se implementara la propuesta de mejora. En tal sentido, se observa que únicamente el acceso Sur presenta mejoras significativas, mientras que, en los accesos Este, Norte y Oeste se aumentaría en promedio los tiempos de viaje vehicular. Si bien, a partir de las 18:00 pm, el acceso con mayor flujo vehicular es el Sur y seguidamente el Oeste, por

ende, la lógica del *Ramp Meter* atribuye prioridad al acceso que haya detectado en primera instancia una cola o en segundo lugar tenga el flujo de llegada más alto en comparación de los demás accesos. Por ende, al atribuirle prioridad, se activa el semáforo de medición en el acceso aguas arriba más cercano, es decir, se activa el semáforo ubicado en el acceso Oeste. En consecuencia, se genera un bucle continuo entre ambos accesos, siendo el acceso Oeste quien activará con mayor frecuencia la luz “roja”.

Asimismo, el escenario descrito líneas arriba afecta colateralmente a los demás accesos, Este y Norte quienes se verán obligados a activar sus luces frecuentemente; no obstante, dado su bajo flujo vehicular, no muestran resultados tan drásticos, tales como los observados en el acceso Oeste.

- **Acceso Sur**

Tabla 41. *Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Sur para la condición PM*

Evaluación de Propuesta - Tiempos de Viaje Vehicular (seg) en el Acceso Sur							
Situación Actual				Propuesta de Mejora			
Sur a Norte	Sur - Sur (Vuelta en U)	Sur - Este	Sur - Oeste	Sur a Norte	Sur - Sur (Vuelta en U)	Sur - Este	Sur - Oeste
137.75	60.94	50.12	102.20	109.94	55.26	29.90	99.62
¿Existe mejora?				Si	Si	Si	Si
Tiempo ahorrado (seg.)				27.81	5.68	20.22	2.58
Tiempo ahorrado (min.)				0.46	0.09	0.34	0.04
% de reducción				20.19%	9.32%	40.35%	2.53%

Fuente: Propia

Nota. En la Tabla 41, se puede apreciar que el acceso Sur lograría valiosas mejoras tras implementarse la propuesta de mejora, en tanto las rutas Sur – Este y Sur – Norte desarrollarían mejorar al reducir los tiempos de viaje vehicular en un 40.35% y 20.19%, respectivamente. Asimismo, se puede inferir bajo las condiciones que dicta el horario analizado, el presente acceso es el de mayor congestionamiento vehicular, precisamente por el flujo de llegada que ingresan por dicho acceso, lo cual se transforman posteriormente en colas y demoras. No obstante, si se implementara esta propuesta, se podrían visualizar un progreso en términos relativo si es que lo que se busca es reducir los tiempos que demanda atravesar el óvalo mediante dicho acceso.

- **Acceso Este**

Tabla 42. *Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Este para la condición PM*

Evaluación de Propuesta - Tiempos de Viaje Vehicular (seg) en el Acceso Este							
Situación Actual				Propuesta de Mejora			
Este - Oeste	Este - Este (Vuelta en U)	Este - Norte	Este - Sur	Este - Oeste	Este - Este (Vuelta en U)	Este - Norte	Este - Sur
61.48	39.38	38.14	99.66	71.87	52.96	41.61	107.86
¿Existe mejora?				No	No	No	No
Tiempo ahorrado (seg.)				-10.39	-13.58	-3.47	-8.19
Tiempo ahorrado (min.)				-0.17	-0.23	-0.06	-0.14
% de reducción				-16.90%	-34.47%	-9.10%	-8.22%

Fuente: Propia

Nota. De acuerdo con la Tabla 42, correspondiente a los resultados del acceso Este, se puede afirmar que, si bien no presenta mejoras al reducir los tiempos de viaje vehicular; sin embargo, los aumentos generados muestran poca importancia, al considerarse que 14 segundos es el tiempo máximo que se generaría tras implementarse la propuesta de mejora. En síntesis, podría decirse que estos valores arrojados podrían considerarse como resultados neutros. No obstante, es oportuno citar que el congestionamiento vehicular al interior del óvalo es nulo, sin embargo, la frecuente activación de luz “roja” en determinados semáforos de medición y de manera simultánea, hace que los vehículos ralenticen sus desplazamientos y, por ende, los tiempos de viaje vehicular aumenten, ya que ambos se encuentran íntimamente ligados.

- **Acceso Norte**

Tabla 43. *Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Norte para la condición PM*

Evaluación de Propuesta - Tiempos de Viaje Vehicular (seg) en el Acceso Norte							
Situación Actual				Propuesta de Mejora			
Norte - Sur	Norte - Norte (Vuelta en U)	Norte - Oeste	Norte - Este	Norte - Sur	Norte - Norte (Vuelta en U)	Norte - Oeste	Norte - Este
97.54	22.75	41.56	59.64	100.90	27.27	42.05	74.54
¿Existe mejora?				No	No	No	No
Tiempo ahorrado (seg.)				-3.37	-4.52	-0.49	-14.90
Tiempo ahorrado (min.)				-0.06	-0.08	-0.01	-0.25
% de reducción				-3.45%	-19.85%	-1.18%	-24.99%

Fuente: Propia

Nota. Según la Tabla 43, el acceso Norte desarrollaría similares resultados que los observados en el acceso Este. Asimismo, el tiempo gastado en promedio es 5.82 segundos para todas las rutas que abarca dicho acceso, lo que equivale al 12.6% de tiempo aumentado con respecto a la situación actual. En otras palabras, la implementación de la propuesta de mejora sugiere resultados neutros el cual no modificarían sustancialmente

los tiempos de viaje vehicular en las rutas generadas a partir de dicho acceso. Por otro lado, cabe mencionar que, el acceso Norte para dicho horario de análisis contempla el menor el flujo vehicular de la intersección.

- **Acceso Oeste**

Tabla 44. *Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Oeste para la condición PM*

Evaluación de Propuesta - Tiempos de Viaje Vehicular (seg) en el Acceso Oeste							
Situación Actual				Propuesta de Mejora			
Oeste - Este	Oeste - Oeste (Vuelta en U)	Oeste - Norte	Oeste - Sur	Oeste - Este	Oeste - Oeste (Vuelta en U)	Oeste - Norte	Oeste - Sur
47.74	18.30	61.53	67.79	157.48	85.14	173.16	85.17
	¿Existe mejora?			No	No	No	No
	Tiempo ahorrado (seg.)			-109.75	-66.84	-111.64	-17.39
	Tiempo ahorrado (min.)			-1.83	-1.11	-1.86	-0.29
	% de reducción			-229.89%	-365.22%	-181.44%	-25.65%

Fuente: Propia

Nota. De acuerdo con la Tabla 44 el acceso Oeste no presentaría ninguna reducción en los tiempos de viaje vehicular. Por el contrario, se generaría un aumento de 1.27 minutos en el tiempo de viaje que demandaría todas las rutas que parten de dicho acceso, lo equivalente al 200% más respecto a la situación actual. Esto se debe primordialmente a que el acceso Oeste es el segundo con mayor flujo de llegada vehicular, por consiguiente, será el primer acceso de medición que se activaría la luz “roja” y de manera frecuente, con la finalidad de distribuir los flujos vehiculares de manera balanceada hacia los demás accesos. No obstante, si bien otorgaría más tiempo de espera a dicho acceso, la mejora se daría al intentar balancear los flujos de llegada hacia el óvalo.

- **Condición PM Futuro (+15% del volumen vehicular actual)**

Para esta condición, se evalúan los resultados de la implementación de la propuesta de mejora a futuro, es decir, a un mediano plazo de 15 años, en el cual se ha estimado un crecimiento del parque automotor y crecimiento poblacional del 15% (INEI, 2016). Es pertinente realizar este estudio, ya que se desea determinar si es rentable en el tiempo. En las tablas mostradas a continuación, se distingue el análisis según las rutas que nacen de los diferentes accesos del óvalo y se obtiene como resultado que la propuesta de mejora no satisface la intención de reducir los tiempos de viaje vehicular. En tal sentido, se puede afirmar que la propuesta de mejora planteada pierde valor a medida que los flujos vehiculares se vuelven relativamente grandes y a su vez desbalanceados.

- **Acceso Sur**

Tabla 45. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Sur para la condición PM (+15)

Evaluación de Propuesta - Tiempos de Viaje Vehicular (seg) en el Acceso Sur							
Situación Actual				Propuesta de Mejora			
Sur a Norte	Sur - Sur (Vuelta en U)	Sur - Este	Sur - Oeste	Sur a Norte	Sur - Sur (Vuelta en U)	Sur - Este	Sur - Oeste
126.94	67.06	63.46	109.84	107.10	191.79	29.89	96.83
	¿Existe mejora?			Si	No	Si	Si
	Tiempo ahorrado (seg.)			19.84	-	33.57	13.01
	Tiempo ahorrado (min.)			0.33	-	0.56	0.22
	% de reducción			15.63%	-	52.90%	11.84%

Fuente: Propia

- **Acceso Este**

Tabla 46. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Este para la condición PM (+15)

Evaluación de Propuesta - Tiempos de Viaje Vehicular (seg) en el Acceso Este							
Situación Actual				Propuesta de Mejora			
Este - Oeste	Este - Este (Vuelta en U)	Este - Norte	Este - Sur	Este - Oeste	Este - Este (Vuelta en U)	Este - Norte	Este - Sur
63.64	37.29	38.76	111.72	72.06	52.91	40.14	217.10
	¿Existe mejora?			No	No	No	No
	Tiempo ahorrado (seg.)			-8.42	-15.61	-1.38	-105.38
	Tiempo ahorrado (min.)			-0.14	-0.26	-0.02	-1.76
	% de reducción			-13.23%	-41.86%	-3.56%	-94.32%

Fuente: Propia

- **Acceso Norte**

Tabla 47. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Norte para la condición PM (+15)

Evaluación de Propuesta - Tiempos de Viaje Vehicular (seg) en el Acceso Norte							
Situación Actual				Propuesta de Mejora			
Norte - Sur	Norte - Norte (Vuelta en U)	Norte - Oeste	Norte - Este	Norte - Sur	Norte - Norte (Vuelta en U)	Norte - Oeste	Norte - Este
112.04	24.00	42.47	64.08	219.28	27.44	42.14	79.62
	¿Existe mejora?			No	No	No	No
	Tiempo ahorrado (seg.)			-107.24	-3.44	0.33	-15.54
	Tiempo ahorrado (min.)			-1.79	-0.06	0.01	-0.26
	% de reducción			-95.71%	-14.34%	0.79%	-24.25%

Fuente: Propia

- **Acceso Oeste**

Tabla 48. Evaluación de propuesta respecto a los tiempos de viaje vehicular del acceso Oeste para la condición PM (+15)

Evaluación de Propuesta - Tiempos de Viaje Vehicular (seg) en el Acceso Oeste							
Situación Actual				Propuesta de Mejora			
Oeste - Este	Oeste - Oeste (Vuelta en U)	Oeste - Norte	Oeste - Sur	Oeste - Este	Oeste - Oeste (Vuelta en U)	Oeste - Norte	Oeste - Sur
87.22	43.98	105.77	74.51	191.52	111.61	208.75	216.33
¿Existe mejora?				No	No	No	No
Tiempo ahorrado (seg.)				-104.30	-67.63	-102.98	-141.82
Tiempo ahorrado (min.)				-1.74	-1.13	-1.72	-2.36
% de reducción				-119.58%	-153.78%	-97.36%	-190.34%

Fuente: Propia

7.2.2 Tiempos de demora vehicular

El tiempo de demora promedio vehicular es el tiempo que tarda un vehículo en completar su recorrido en condiciones normales menos el tiempo que tarda el mismo vehículo en completar su recorrido en condiciones libres de tráfico ni obstáculos presentes en la vía (PTV Group, 2016). En tal sentido, este parámetro vehicular revela qué tan fluido se encuentra el sistema en general, y, el programa *Vissim* 9.0 nos brinda dicho valor calculado. A continuación, se presenta la evaluación de los tiempos de demora promedio vehicular tras implementarse la propuesta de mejora. En el Anexo 15 se visualizan a detalle los resultados.

- **Condición AM**

Tabla 49. Evaluación de propuesta de demora promedio vehicular del sistema para la condición AM

Condición AM (Mañana)		
Demora Promedio Vehicular (seg/veh)	Situación Actual	Propuesta de Mejora
	110.07	47.97

Fuente: Propia

Nota. En la Tabla 49, se puede observar que, tras la implementación de la propuesta de mejora, se reduciría en poco más de 1 minuto, el tiempo de demora promedio vehicular en el sistema durante el horario de la mañana, lo equivalente a una mejora del 56.4% respecto a la situación actual. Lo anterior, brinda numerosos beneficios para los conductores y usuarios que diariamente padecen las consecuencias del congestionamiento vehicular.

- **Condición M**

Tabla 50. Evaluación de propuesta de demora promedio vehicular del sistema para la condición M

Condición M (Mediodía)		
	Situación Actual	Propuesta de Mejora
Demora Promedio Vehicular (seg/veh)	181.15	103.73

Fuente: Propia

Nota. En la Tabla 50, se puede observar que en la condición M, se lograría reducir en poco más de 1.30 minutos, el tiempo de demora promedio vehicular en el sistema, lo que es igual a una reducción del 43% respecto a las condiciones actuales. Este resultado brinda cuantiosos beneficios que se traduciría en una mejor calidad de vida los ciudadanos, al poseer más tiempo disponible para dedicarle a otros aspectos importantes.

- **Condición PM**

Tabla 51. Evaluación de propuesta de demora promedio vehicular del sistema para la condición PM

Condición PM (Noche)		
	Situación Actual	Propuesta de Mejora
Demora Promedio Vehicular (seg/veh)	63.54	76.92

Fuente: Propia

Nota. En la Tabla 51, se puede observar que, tras implementarse la propuesta de mejora en la condición PM, el tiempo de demora promedio vehicular aumentaría en 13 segundos, lo que equivale al 17% más del tiempo que se genera en la situación actual.

- **Condición PM Futuro (+15% del volumen vehicular actual)**

Tabla 52. Evaluación de propuesta de demora promedio vehicular del sistema para la condición PM (+15)

Condición PM Futuro (Noche)		
	Situación Actual	Propuesta de Mejora
Demora Promedio Vehicular (seg/veh)	72.91	92.98

Fuente: Propia

Nota. En la Tabla 52, se puede observar que, en la condición PM Futuro, el tiempo de demora promedio vehicular aumentaría en 20 segundos luego de implementarse la propuesta de solución, lo que equivalente a 21% más del tiempo que se genera en la situación actual.

7.3 Parámetros de circulación peatonal

Si bien es cierto, la presente investigación se centra en atender los tiempos de viaje vehicular generados a partir de los accesos al óvalo, no obstante, es importante también considerar los parámetros de circulación peatonal, mediante el cual se garantice a estos agentes vulnerables brindar mejoras en su desplazamiento en cuanto a seguridad y confort se refiere.

En tal sentido, analizando estos parámetros de circulación peatonal, se observa que el parámetro de densidad peatonal es 0.05 para los diferentes escenarios estudiados; AM, M, PM y PM Futuro, lo cual indica que el área peatonal es adecuada. En esta ocasión, el valor no es cuestionable, ya que fue corroborado a través de las corridas en la microsimulación, que el hacinamiento de personas es mínimo y casi nulo en determinados instantes de tiempo. En cuanto a la velocidad promedio de los peatones, la media actual es 4.5 km/h y en ciertas ocasiones mejorara hasta en 0.2 km/h, una diferencia no muy alta; sin embargo, este valor puede considerarse como una mejora en el sistema en términos estadísticos. A continuación, se muestran los diferentes escenarios y los parámetros analizados; el primero, densidad promedio peatonal del sistema, y el segundo, la velocidad promedio peatonal del sistema. En el Anexo 16 de detalla los resultados.

▪ Condición AM

Tabla 53. *Evaluación de propuesta de los parámetros de circulación peatonal del sistema para la condición AM*

Condición AM (Mañana)		
Parámetros	Situación Actual	Propuesta de Mejora
Densidad Promedio Peatonal (peat/h/m)	0.0054	0.0052
Velocidad Promedio Peatonal (km/h)	4.48	4.51

Fuente: Propia

▪ **Condición M**

Tabla 54. Evaluación de propuesta de los parámetros de circulación peatonal del sistema para la condición M

Condición M (Mediodía)		
Parámetros	Situación Actual	Propuesta de Mejora
Densidad Promedio Peatonal (peat/h/m)	0.0051	0.0054
Velocidad Promedio Peatonal (km/h)	4.61	4.50

Fuente: Propia

▪ **Condición PM**

Tabla 55. Evaluación de propuesta de los parámetros de circulación peatonal del sistema para la condición PM

Condición PM (Noche)		
Parámetros	Situación Actual	Propuesta de Mejora
Densidad Promedio Peatonal (peat/h/m)	0.0047	0.0048
Velocidad Promedio Peatonal (km/h)	4.50	4.43

Fuente:

Propia

▪ **Condición PM Futuro (+15% del volumen vehicular actual)**

Tabla 56. Evaluación de propuesta de los parámetros de circulación peatonal del sistema para la condición PM (+15)

Condición PM Futuro (Noche)		
Parámetros	Situación Actual	Propuesta de Mejora
Densidad Promedio Peatonal (peat/h/m)	0.0055	0.0056
Velocidad Promedio Peatonal (km/h)	4.48	4.41

Fuente: Propia

Asimismo, se evaluó el tiempo que tarda un peatón que presente alguna discapacidad física para desplazarse a través de los cruces peatonales. Según estudios, un peatón con discapacidad motora se desplaza a razón de la mitad de la velocidad promedio de una persona en óptimas condiciones físicas, es decir, 1.9 km/h o 0.53 m/s (Kisters & Montes, 2013)

En la mayoría de los accesos del óvalo Habich, existe la interacción conflictiva entre flujos vehiculares y flujos peatonales, es predominante que el peatón no es prioridad cuando los vehículos ceden el pase. Por otro lado, la longitud del cruce peatonal más extenso presente en la zona de estudio logra asemejarse con el ancho de calzada de la vía de mayor número de carriles, en este caso 3 carriles cuyo ancho de carril promedio es de 3.50 metros. Por consiguiente, el cruce peatonal más crítico se halla con 10.50 metros de longitud.

En este sentido, se dispone a calcular el tiempo mínimo necesario que un peatón con discapacidad física necesita para desplazarse a través del cruce peatonal. De acuerdo con los cálculos, este requiere 19.89 segundos como mínimo para efectuar su desplazamiento sin conflicto con el flujo vehicular, sabiendo que estos se encuentran detenidos mientras que el semáforo tenga activada la luz roja. Este resultado nos demuestra que el tiempo mínimo de rojo que ofrece el algoritmo *AMS-AG* cuando se activa un acceso de medición, también beneficia a los peatones, en este caso, se considera al tipo de peatón más vulnerable que se pueda presentar en la realidad. No obstante, de acuerdo con las particularidades en el funcionamiento del algoritmo, este tiempo de rojo puede tender a incrementarse dependiendo de las condiciones de brecha disponibles al interior del óvalo, lo cual, de ser el caso, beneficiaría aún más la circulación de los peatones, al otorgarle mayor tiempo de rojo.

A continuación, en la Tabla 57, se puede apreciar los tiempos mínimos que requiere un peatón con estas características, según el cruce peatonal que desee atravesar.

Tabla 57. *Evaluación de vulnerabilidad de peatones con discapacidad física en el modelo*

Evaluación de Vulnerabilidad de Peatones con Discapacidad Física					
Crucero Peatonal	Ubicación	Tiempo de rojo mínimo del semáforo (s)	Longitud (m)	Tiempo mínimo requerido (s)	¿Cumple con lo requerido?
Sur	Auxiliar Av. Alfredo Mendiola	20	6.60	12.50	Si
Este	Av. Eduardo de Habich	20	10.50	19.90	Si
Norte	Auxiliar Av. Alfredo Mendiola	20	7.00	13.26	Si
Oeste	Av. José Granda	20	10.50	19.90	Si

Fuente: Propia

7.4 Evaluación económica de la propuesta

Es preciso realizar una evaluación de costos y beneficios que genera la propuesta de mejora sugerida. En Tabla 58, se muestra los costos que generaría la implementación de la propuesta de mejora, los costos incluyen IGV, estimando un costo total ascendente a S/. 940.668.40.

Tabla 58. *Costo total que requiere la implementación de la propuesta de mejora*

Componente	Descripción	Inversión
1.00	Implementación Propuesta de Mejora	S/ 507,473.80
2.00	Desarrollo y Transferencia de Capacidades en el Área de Transporte y Seguridad Vial	S/ 75,000.00
3.00	Capacitación y Sensibilización	S/ 67,500.00
	Total Costo Directo	S/ 649,973.80
	Gastos Generales	S/ 64,997.38
	Utilidad (8.5%)	S/ 55,247.77
	Subtotal (A)	S/ 770,218.95
	Impuesto IGV (18%)	S/ 138,639.41
	Subtotal (B)	S/ 908,858.36
	Supervisión (2.5%)	S/ 22,721.46
	Expediente Técnico (1%)	S/ 9,088.58
	Presupuesto Total del Proyecto	S/ 940,668.40

Fuente: Propia

A continuación, se desglosa los componentes que constituyen el presupuesto total del proyecto.

- **Componente 1.00: Implementación de la propuesta de mejora**

PRESUPUESTO DE EJECUCION DE OBRA				
PRESUPUESTO: OBRAS IMPLEMENTACIÓN PROPUESTA DE MEJORA - SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE RAMP METER CLIENTE: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SAN MARTÍN DE PORRES LUGAR: LIMA - LIMA - SAN MARTÍN DE PORRES MONEDA: SOLES (S/.)				COSTOS AL 1/1/20
ITEM	DESCRIPCIÓN	UND.	METRADO	PRECIO S/.
1	ACTIVIDADES PRELIMINARES			S/38,937.29
1.1	OBRAS PROVISIONALES			S/19,403.39
1.1.1	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE MAQUINARIAS Y EQUIPOS	gfb	1.00	S/3,389.83
1.1.2	ALMACÉN DE OBRA, OFICINA Y VESTUARIOS PROVISIONALES	gfb	1.00	S/2,118.64
1.1.3	ALQUILER DE SSHH PORTÁTILES, AGUA, LUZ Y TELÉFONO	mes	3.00	S/1,694.92
1.1.4	SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL	gfb	1.00	S/4,276.27
1.1.5	MANTENIMIENTO DE TRÁNSITO, DESVIACIONES, SEÑALIZACIÓN Y SEGURIDAD VIAL	gfb	1.00	S/3,389.83
1.1.6	TRAZO Y REPLANTEO INICIAL	m2	450.00	S/2.54
2	MOVIMIENTO DE TIERRAS			S/16,254.24
2.1	DEMOLICIÓN DE PAVIMENTO	m2	75.00	S/6.78
2.2	DEMOLICIÓN DE VEREDA PEATONAL DE CONCRETO DE 0.10m	m2	160.00	S/8.47
2.3	DEMOLICIÓN DE SARDINEL PERALTADO	m	25.00	S/8.47
2.4	ELIMINAR JARDINERÍA	Und.	1.00	S/169.49
2.5	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE CON VOLQUETE (V=10M3, D=10KM)	m3	105.00	S/76.27
3	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA DE MEJORA			S/468,536.51
3.1	TRABAJOS PRELIMINARES			S/2,288.14
3.1.1	CORTE CON DISCO EN VEREDA DE CONCRETO e=4.6"	m	50.00	S/10.17
3.1.2	DEMOLICIÓN DE VEREDAS DE e=0.10m	m2	50.00	S/8.47
3.1.3	ENCAVACIÓN PARA CIMIENTO DE ZAPATAS EN TERRENO NATURAL	m3	60.00	S/8.47
3.1.4	CARQUEO Y ELIMINACIÓN DE DESMONTE	m3	10.00	S/84.75
3.2	CONCRETO ARMADO			S/8,584.75
3.2.1	ESTRUCTURA METÁLICA EN ZAPATA PARA PEDESTAL	Und.	4.00	S/271.19
3.2.2	CONCRETO PREMEZCLADO PARA ZAPATA f _c =175kg/cm2 PARA PEDESTAL	m3	10.00	S/203.90
3.2.3	CONCRETO PREMEZCLADO PARA ZAPATA f _c =210kg/cm2 PARA PEDESTAL	m3	10.00	S/381.36
3.2.4	ENCOFRADO DE ZAPATAS	Und.	15.00	S/110.17
3.3	ESTRUCTURA DE FIERRO PARA SEMAFORIZACIÓN			S/38,135.59
3.3.2	POSTE PEDESTAL PARA SEMAFORO VEHICULAR Y/O PEATONAL	Und.	30.00	S/1,271.19
3.4	TRASLADO E INSTALACIÓN DE ESTRUCTURAS PARA SEMAFORIZACIÓN			S/4,576.27
3.4.1	INSTALACIÓN DE POSTE PEDESTAL (INCLUYE TRANSPORTE)	Und.	30.00	S/152.54
3.5	SEMAFOROS DE POLICARBONATO DE 300mm			S/34,576.80
3.5.1	SEMAFORO VEHICULAR (1CARA.-3LUCES) DE BASE CON LEDS	Und.	8.00	S/1,250.00
3.5.2	SEMAFORO VEHICULAR (1CARA.-3LUCES) DE BASE CON LEDS	Und.	18.00	S/512.00
3.5.3	SEMAFORO PEATONAL DE (1CARA.-1LUCES) DE BASE CON LEDS	Und.	30.00	S/512.00
3.6	DETECTORES DE TRÁNSITO			S/84,745.76
3.6.1	DETECTORES DE COLA	Und.	4.00	S/4,237.29
3.6.2	DETECTORES DE FLUJO VEHICULAR	Und.	4.00	S/4,237.29
3.6.3	DETECTORES DE BRICHAS	Und.	12.00	S/4,237.29
3.7	CABLES (SUMINISTRO E INSTALACIÓN)			S/3,389.83
3.7.1	CABLE DE CONTROL (4x1.31MM2-NYY)	m	200.00	S/6.78
3.7.2	CABLE DE CONTROL (3x1.31MM2-NYY)	m	180.00	S/5.08
3.7.3	CABLE DE CONTROL (2x1.31MM2-NYY)	m	110.00	S/5.08
3.7.4	CABLE DE CONTROL (2x3.11MM2-NYY)	m	50.00	S/5.08
3.7.5	CABLE ELÉCTRICO 1.6MM2	m	60.00	S/5.08
3.8	CANALIZACIÓN (EXCAVACIÓN Y RESANE)			S/43,220.34
3.8.1	CANALIZACIÓN EN PISTA DE ASFALTO, DUCTO DE 1 VÍA	m	80.00	S/381.36
3.8.2	CANALIZACIÓN EN VERED DE CONCRETO, DUCTO DE 1 VÍA (3")	m	60.00	S/211.86
3.9	CAJAS DE PASO (EXCAVACIÓN Y RESANE)			S/2,542.37
3.9.1	CAJA DE PASO TIPO CE-2	Und.	5.00	S/508.47
3.10	CONTROLADOR DE TRÁFICO (SUMINISTRO E INSTALACIÓN)			S/38,135.59
3.10.1	CONTROL DE TRÁFICO INTELIGENTE	Und.	1.00	S/38,135.59
3.11	SUMINISTRO DE FEEE (CON MURETE)			S/677.97
3.11.1	OPCION TARIFERIA BT-5B	Und.	1.00	S/677.97
3.12	POZO A TIERRA (SUMINISTRO E INSTALACIÓN)			S/1,652.54
3.12.1	KIT POZO A TIERRA CON VARILLA DE COBRA DE 3/8", ACCESORIOS, CAJA PREFABRICADA	Und.	1.00	S/1,652.54
3.13	SEÑALÉTICA VERTICAL			S/39,132.20
3.13.1	SEÑALES REGLAMENTARIAS R-28 (INC. POSTE Y CIMENTO)	Und.	14.00	S/406.78
3.13.2	SEÑALES REGLAMENTARIAS R-2 (INC. POSTE Y CIMENTO)	Und.	8.00	S/406.78
3.13.3	SEÑALES REGLAMENTARIAS R-44 (INC. POSTE Y CIMENTO)	Und.	10.00	S/406.78
3.13.4	SEÑALES REGLAMENTARIAS R-27A (INC. POSTE Y CIMENTO)	Und.	13.00	S/406.78
3.13.5	SEÑALES REGLAMENTARIAS P-55 (INC. POSTE Y CIMENTO)	Und.	8.00	S/406.78
3.13.6	SEÑALES REGLAMENTARIAS P-3 (INC. POSTE Y CIMENTO)	Und.	8.00	S/406.78
3.13.7	SEÑALES REGLAMENTARIAS I-4A (INC. POSTE Y CIMENTO)	Und.	5.00	S/406.78
3.13.8	SEÑALES REGLAMENTARIAS R-30 (INC. POSTE Y CIMENTO)	Und.	8.00	S/406.78
3.13.9	SEÑALES REGLAMENTARIAS I-6 (INC. POSTE Y CIMENTO)	Und.	4.00	S/406.78
3.13.10	SEÑALES REGLAMENTARIAS R-27 (INC. POSTE Y CIMENTO)	Und.	10.00	S/406.78
3.13.11	SEÑALES REGLAMENTARIAS R-23	Und.	2.00	S/305.08
3.13.12	SEÑALES REGLAMENTARIAS R-55B	Und.	2.00	S/305.08
3.13.13	SEÑALES REGLAMENTARIAS R-35	Und.	3.00	S/305.08
3.13.14	SEÑALES REGLAMENTARIAS R-30	Und.	4.00	S/300.00
3.14	SEÑALÉTICA HORIZONTAL			S/24,745.76
3.14.1	PINTURA DE TRÁFICO PARA LÍNEAS CONTINUAS Y DISCONTINUAS	m	1,500.00	S/8.47
3.14.2	PINTURA DE TRÁFICO PARA PASES PEATONALES, SÍMBOLOS, FLECHAS DIRECCIONALES Y LÍNEAS DE RETENCIÓN	m2	200.00	S/17.80
3.14.3	PINTURA DE TRÁFICO AMARILLO PARA SARDINELES	m	1,000.00	S/8.47
3.15	VEREDAS			S/6,991.53
3.15.1	BASE GRANULAR e=0.10M COMPACTADA CON EQUIPO LIVIANA	m2	150.00	S/10.17
3.14.2	CONCRETO PREMEZCLADO f _c =175kg/cm2, e=0.10M (INC. SARDINAL, ENCOFRADO, BRUNADO Y PROTACHADO)	m2	150.00	S/36.44
3.16	SARDINELES			S/2,288.14
3.16.1	SARDINEL PEALTADO f _c =210kg/cm2 de 0.15x0.50M (INC. ENCOFRADO Y ACERO)	m	60.00	S/38.14
3.17	CONTROL DE VELOCIDAD			S/92,372.88
3.17.1	SENSOR DE VELOCIDAD (INC. DISPOSITIVO + CAMARÁ FOTOGRÁFICA)	Und.	3.00	S/21,186.44
3.17.2	PANELES DE MENSAJE VARIABLE (INDICADOR DE VELOCIDAD)	Und.	3.00	S/6,779.66
3.17.3	PÓRICO DE ESTRUCTURA DE ACERO TUBULAR PARA INSTALACIÓN DE VELOCIMETRO CON LUZ=11M	Und.	1.00	S/8,474.58
3.18	OTROS			S/40,480.85
3.18.1	PÓRICO DE ESTRUCTURA DE ACERO TUBULAR PARA SEÑAL INFORMATIVA CON LUZ=11M	Und.	2.00	S/8,474.58
3.18.2	SEMBRADO DE GRASS	m2	76.74	S/8.47
3.18.3	DEMOLICIÓN DE BOLARDOS EXISTENTES	Und.	60.00	S/25.42
3.18.4	BOLARDOS PEATONALES (CONCRETO f _c =175kg/cm2)	Und.	84.00	S/254.24
TOTAL COSTO DIRECTO (COMPONENTE 1.00)				S/ 507,473.80
GASTOS GENERALES 10%				S/ 50,747.38
UTILIDAD 8.5%				S/ 43,135.27
SUBTOTAL				S/ 601,356.45
IMPUESTO IGV 18%				S/ 108,244.16
PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO				S/ 709,600.61

Figura 186. Componente 1.00 del presupuesto total del proyecto
Fuente: Propia

- **Componente 2.00: Transferencias y Desarrollo de Capacidades**

Tabla 59. *Componente 2.00 del presupuesto total del proyecto*

Transferencias y Desarrollo de Capacidades	Unidad	Cantidad	Meses	Precio Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Gerencia de Transporte, Tránsito y Seguridad Vial					
Área de Profesionales y Funcionarios					S/15,000.00
Contratación de Especialista en Planificación del Tránsito Urbano	mes	1	3	S/2,500.00	S/7,500.00
Contratación de Especialista en Reglamento y Seguridad Vial	mes	1	3	S/2,500.00	S/7,500.00
Área de Técnicos y Personal de Campo					S/60,000.00
Contratación de Especialista en Señalización de Vías	mes	1	3	S/2,500.00	S/7,500.00
Contratación de Especialista en Control del Tránsito y Seguridad Vial	mes	1	3	S/2,500.00	S/7,500.00
Inspectores de Tránsito (Reglamento de Tránsito y Seguridad Vial)	mes	10	3	S/1,500.00	S/45,000.00
Total (Componente 2.00)					S/75,000.00

Fuente: Propia

- **Componente 3.00: Capacitación y Sensibilización**

Tabla 60. *Componente 3.00 del presupuesto total del proyecto*

Capacitación y Sensibilización	Unidad	Cantidad	Meses	Precio Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Choferes de Transporte Público					
Capacitación sobre Reglamento Nacional de Tránsito y multas de tránsito	mes	5	3	S/1,500.00	S/22,500.00
Capacitación seguridad vial y atención al usuario	mes	5	3	S/1,500.00	S/22,500.00
Público en General					S/22,500.00
Charla de sensibilización sobre seguridad vial y prevención de accidentes de tránsito	mes	5	3	S/1,500.00	S/22,500.00
Total (Componente 3.00)					S/67,500.00

Fuente: Propia

Nota. En la Tabla 60 se considera contratar a 5 orientadores de tránsito que laboren por un periodo de 3 meses capacitando a los usuarios en campo.

7.4.1 Análisis de beneficios

De acuerdo con los criterios de evaluación de la metodología del Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP), establece que el ahorro del tiempo de hora-hombre y el ahorro de uso de combustible corresponden al análisis de beneficios de una propuesta (MEF, 2020).

7.4.2 Ahorro en el uso de combustible

Para obtener el ahorro del combustible primero debe definirse ciertos parámetros antes de empezar a calcular. En primer lugar, en la Tabla 61, se determina el tiempo promedio ahorrado de acuerdo con los tres escenarios de análisis luego de implementarse la propuesta de mejora y en contraste con la situación actual.

Tabla 61. *Tiempo de ahorro promedio tras implementarse la propuesta de mejora*

Tiempo de demora promedio vehicular del sistema			
Resultados Vissim 9.0	Situación actual (s) (A)	Propuesta de mejora (s) (B)	Tiempo ahorrado (s) (A) - (B)
AM	110.07	47.97	62.1
M	181.15	103.73	77.42
PM	63.54	76.92	-13.38
		Promedio	42.05

Fuente: Propia

Nota. Según la Tabla 61, se aprecia que en promedio el sistema ahorra 42.05 segundos a lo largo del día.

Posteriormente, se calcula el ahorro de combustible en soles por año de acuerdo con criterios investigados y valores promedio estimados.

Tabla 62. *Análisis de ahorro de combustible en el sistema*

Análisis de ahorro de combustible en el sistema		
Precio promedio combustible 90 octanos	13	soles/galón
Tiempo de demora vehicular ahorrado (Resultados Vissim)	0.012	horas
Combustible ahorrado promedio por hora	0.15	galones/hora
Cantidad de vehículos promedio que circulan en una hora	2,500	vehículos/hora
Ahorro de combustible por hora	380	soles/hora
Horas que tiene un año	8760	horas/año
Ahorro de combustible en soles en un año	S/ 3,325,190.56	soles
Emisión de CO ₂ promedio de un vehículo en condiciones de tráfico	2.3	kg/galón/veh
Ahorro de emisión de CO ₂ promedio en un año	588,303	kg/año

Fuente: Propia

Nota. Según la Tabla 62, se ha considerado que el precio promedio de combustible de 90 octanos es 13 soles/galón, según el diario Gestión. Posteriormente, tras la implementación de la propuesta de mejora se obtiene un ahorro del uso de combustible de S/. 3, 325,190.56 al año y un ahorro de emisión de 588 toneladas de kg de CO₂ anual.

7.4.3 Ahorro hora-hombre de usuarios

Aplicando el mismo procedimiento utilizado en el inciso 7.4.2 para el ahorro del uso de combustible, ahora se procede a calcular el ahorro de hora-hombre de los usuarios que circulan a través de la zona de estudio.

Tabla 63. *Análisis de ahorro hora-hombre en el sistema*

Análisis de ahorro hora - hombre en el sistema			
Máximo sueldo mensual promedio de un trabajador	S/	4,000.00	
Mínimo sueldo mensual promedio de un trabajador	S/	930.00	soles
Suelo mensual promedio de un trabajador	S/	2,465.00	
Días laborables del mes		24	días
Horas laborables del mes		192	horas
HH promedio de un trabajador	S/	12.84	soles/hora
1 año laboral		2304	horas
Tiempo ahorrado promedio del sistema por hora (Resultados Vissim)		0.018	adimensional
Cantidad de pasajeros promedio que viajan en transporte publico		25	
Cantidad de pasajeros promedio que viajan en vehículos particulares		2.5	personas
Cantidad promedio de pasajeros que viaja en vehículos de transporte público por hora y que laboran		5,468.75	
Cantidad promedio de pasajeros que viajan en vehículos particulares por hora y que laboran		390.63	vehículos
HH promedio ahorrado en personas que viajan en transporte público en un año y que laboran	S/	2,952,129.04	
HH promedio ahorrado personas que viajan en vehículos particulares en un año y que laboran	S/	210,866.36	soles/año
HH ahorrado total	S/	3,162,995.40	

Fuente: Propia

Nota. Para los cálculos efectuados en la Tabla 63, el salario promedio de un trabajador se ha tomado en cuenta el salario mínimo por ley y el salario máximo genérico. Asimismo, se ha considerado que los vehículos de transporte público constituyen un 35%, mientras que los vehículos particulares (máxima ocupación de 4 personas) es de 25%, de la composición vehicular promedio presente en la intersección. Por otro lado, se considera que los usuarios que laboran constituyen un 25% del total de usuarios que viajan a través de los vehículos presentes en la zona de estudio. Finalmente, se obtiene que el ahorro promedio es de S/. 3,162,995.40 en hora-hombre al año, dada la implementación de la propuesta de mejora.

7.4.4 Análisis de Costos

Asimismo, para el análisis de costos también se aplica los criterios de evaluación impuestos por el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP), de acuerdo con los costos de inversión y costos de operación y mantenimiento (MEF, 2020).

7.4.5 Costos de inversión

Los costos de inversión son todos aquellos que involucra la ejecución del proyecto en cuanto la implementación de la propuesta de mejora se refiere, es decir, la implementación del sistema de semaforización inteligente *Ramp Meter*, equipamiento e instalación de sensores de velocidad, instalación de nuevas señaléticas adecuadas a la propuesta de mejora y reparación de veredas y calzadas. En la Figura 186 del inciso 7.4 se puede visualizar el presupuesto detallado.

7.4.6 Costos de operación y mantenimiento

Asimismo, con fines de que el proyecto mantenga su operatividad, es necesario considerar ciertos costos básicos para garantizar el adecuado funcionamiento de los equipos y sistema a implementarse. A continuación, en la Tabla 64 y Tabla 65 se presentan los costos de operación y mantenimiento si la situación actual se mantiene vigente y tras implementarse la propuesta de mejora, respectivamente.

- **Sin la implementación de la propuesta de mejora**

Tabla 64. *Costos de operación y mantenimiento a generarse sin la implementación de la propuesta de mejora*

Sin Implementación de la Propuesta de Mejora					
Concepto	Unidad	Cantidad	Meses	Precio Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Costos de Operación					S/90,144.00
Policías de tránsito (dos turnos; AM y M)	mes	120	12	S/60.00	S/86,400.00
Combustible (gasolina de 90) para tres motos	mes	24	12	S/13.00	S/3,744.00
Costos de Mantenimiento					S/20,600.00
Mantenimiento de 8 semáforos	año	1	1	S/5,600.00	S/5,600.00
Pintado de señales viales	año	1	1	S/15,000.00	S/15,000.00
Total					S/110,744.00

Fuente: Propia

Nota. Según la Tabla 64, se puede observar que, en el escenario si se mantiene las condiciones actuales de la zona de estudio, se generaría al año un costo de operación y mantenimiento alrededor de S/. 110,774.00. En este sentido, se puede afirmar que gran parte de estos costos están destinados al pago de 3 policías de tránsito quienes se encuentran controlando el tráfico en diferentes puntos de la zona de estudio en dos turnos; por la mañana y mediodía.

- **Con la implementación de la propuesta de mejora**

Tabla 65. *Costos de operación y mantenimiento a generarse tras implementarse la propuesta de mejora*

Con Implementación de Propuesta de Mejora					
Concepto	Unidad	Cantidad	Meses	Precio Unitario (S/.)	Costo Total (S/.)
Costos de Operación					S/60,344.00
Inspectores de control de tránsito	mes	10	3	S/1,500.00	S/45,000.00
Energía eléctrica que consume los semáforos	año	1	1	S/14,000.00	S/14,000.00
Energía eléctrica central	año	1	1	S/1,344.00	S/1,344.00
Costos de Mantenimiento					S/104,000.00
Mantenimiento de semáforos	año	1	1	S/39,200.00	S/39,200.00
Mantenimiento de conexiones	año	1	1	S/28,000.00	S/28,000.00
Mantenimiento de central	año	1	1	S/16,800.00	S/16,800.00
Pintado de señales viales	año	1	1	S/20,000.00	S/20,000.00
Total					S/164,344.00

Fuente: Propia

Nota. En la Tabla 65, se puede observar que, tras implementarse la propuesta de mejora, se reduciría notablemente los costos de operación al ser retirados el control policial, no obstante, al instalarse cerca de 56 semáforos adicionales, el consumo de energía eléctrica aumentaría, al igual que costos del mantenimiento anual que se le debe realizar a los semáforos y conexiones para su adecuado funcionamiento. En efecto, los costos de operación y mantenimiento en el escenario si se implementara la propuesta de mejora asciende la suma de S/. 164,344.00 al año, lo equivalente al 6% del presupuesto total de la ejecución del proyecto.

7.4.7 Análisis de Beneficio – Costo

El análisis beneficio – costo es una herramienta financiera que mide la relación que existe entre los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión, con la finalidad de conocer su rentabilidad (Kojima, 2019). Asimismo, dentro de sus alcances, se encuentra la relación beneficio-costos (B/C), también conocida como índice neto de rentabilidad, la cual es el resultado de dividir el valor presente de los beneficios entre el valor presente de los costos asociados a la inversión (Kojima, 2019).

En este sentido, se realiza el análisis de beneficio – costo asociado al proyecto de inversión de la implementación de la propuesta de mejora anteriormente planteada, con la finalidad de conocer su rentabilidad en un periodo de evaluación de 15 años y considerando una tasa de actualización del 10%.

Tabla 66. Análisis de Beneficio – Costo tras la implementación de la propuesta de mejora

Año	Beneficios						Valor Presente Beneficios	Costos			Valor Presente Costos	Valor Presente del Proyecto	Beneficio - Costo			
	Ahorro de combustible		Ahorro en H-H		Total	O&M		Ejecución	Total							
0	S/	-	S/	-	S/	-	S/	-	S/	164,344.00	S/	940,668.40	S/	1,105,012.40	S/	1,105,012.40
1	S/	831,297.64	S/	790,748.85	S/	1,622,046.49	S/	1,474,587.72	S/	104,000.00	S/	104,000.00	S/	94,545.45	S/	1,380,042.26
2	S/	1,662,595.28	S/	1,581,497.70	S/	3,244,092.98	S/	2,681,068.58	S/	104,000.00	S/	104,000.00	S/	85,950.41	S/	2,595,118.16
3	S/	2,493,892.92	S/	2,372,246.55	S/	4,866,139.47	S/	3,656,002.61	S/	104,000.00	S/	104,000.00	S/	78,136.74	S/	3,577,865.87
4	S/	3,325,190.56	S/	3,162,995.40	S/	6,488,185.96	S/	4,431,518.31	S/	104,000.00	S/	104,000.00	S/	71,033.40	S/	4,360,484.91
5	S/	3,325,190.56	S/	3,162,995.40	S/	6,488,185.96	S/	4,028,653.01	S/	104,000.00	S/	104,000.00	S/	64,575.82	S/	3,964,077.19
6	S/	3,325,190.56	S/	3,162,995.40	S/	6,488,185.96	S/	3,662,411.83	S/	104,000.00	S/	104,000.00	S/	58,705.29	S/	3,603,706.54
7	S/	3,325,190.56	S/	3,162,995.40	S/	6,488,185.96	S/	3,329,465.30	S/	104,000.00	S/	104,000.00	S/	53,368.44	S/	3,276,096.85
8	S/	3,325,190.56	S/	3,162,995.40	S/	6,488,185.96	S/	3,026,786.63	S/	104,000.00	S/	104,000.00	S/	48,516.77	S/	2,978,269.87
9	S/	3,325,190.56	S/	3,162,995.40	S/	6,488,185.96	S/	2,751,624.21	S/	104,000.00	S/	104,000.00	S/	44,106.15	S/	2,707,518.06
10	S/	3,325,190.56	S/	3,162,995.40	S/	6,488,185.96	S/	2,501,476.56	S/	104,000.00	S/	104,000.00	S/	40,096.50	S/	2,461,380.05
11	S/	3,325,190.56	S/	3,162,995.40	S/	6,488,185.96	S/	2,274,069.60	S/	104,000.00	S/	104,000.00	S/	36,451.37	S/	2,237,618.23
12	S/	3,325,190.56	S/	3,162,995.40	S/	6,488,185.96	S/	2,067,336.00	S/	104,000.00	S/	104,000.00	S/	33,137.61	S/	2,034,198.39
13	S/	3,325,190.56	S/	3,162,995.40	S/	6,488,185.96	S/	1,879,396.36	S/	104,000.00	S/	104,000.00	S/	30,125.10	S/	1,849,271.27
14	S/	3,325,190.56	S/	3,162,995.40	S/	6,488,185.96	S/	1,708,542.15	S/	104,000.00	S/	104,000.00	S/	27,386.45	S/	1,681,155.70
15	S/	3,325,190.56	S/	3,162,995.40	S/	6,488,185.96	S/	1,553,220.13	S/	104,000.00	S/	104,000.00	S/	24,896.77	S/	1,528,323.36

Fuente: Propia

Nota. Según la Tabla 66, los beneficios anteriormente evaluados; ahorro en uso de combustible y ahorro de hora-hombre representan cuantitativamente mayores ingresos que los egresos de los costos de ejecución del proyecto y costos de operación y mantenimiento. En este sentido, en la columna ‘Beneficio – Costo’ se observa el resultado del planteamiento anteriormente mencionado. Es preciso mencionar que, los valores de beneficios y costos han sido traídos al presente dada su evaluación en el tiempo de 15 años.

Tabla 67. Escenarios analizados según diferentes tasas de actualización

Escenarios según diferentes tasas de actualización				
	9%	E.E. (10%)	12%	15%
Valor Presente de los Beneficios	41,026,159	40,231,093	32,236,318	26,250,328
Valor Presente de los Costos	1,896,045	1,782,866	1,619,056	1,489,686
Valor Presente del Proyecto	39,130,114	38,448,227	30,617,262	24,760,642
Relación Beneficio - Costo	21.6	22.6	19.9	17.6
Tasa Interna de Retorno	246.58%			

Fuente: Propia

Nota. La Tabla 67 muestra los resultados obtenidos para diferentes tasas de actualización, también conocidas como tasas de interés según diversas fuentes de inversión. En este sentido, se observa que para una tasa de actualización del 10%, se obtiene un (B/C) igual a 22.6. Lo anterior equivale a decir que, por cada sol invertido, se recupera 22.6 soles proyectados a 15 años, mientras que para una tasa de actualización del 15%, se obtiene una relación de (B/C) menor equivalente a 17.6, además, se observa que, para los diferentes escenarios planteados, el proyecto es rentable en los próximos 15 años. Por otro lado, con los resultados anteriores, se obtiene una tasa interna de retorno (TIR) igual al 246.58%, lo que permite afirmar que el proyecto es viable desde el punto de vista económico, tomando en cuenta que los beneficios son retribuidos de manera indirecta a los usuarios.

8 CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

De acuerdo con lo señalado y los resultados demostrados, se comprueba la hipótesis planteada que la implementación del sistema de semaforización inteligente *Ramp Meter*, en el óvalo de la Av. Alfredo Mendiola – Av. Eduardo de Habich en el distrito de San Martín de Porres, mejora las condiciones de circulación vehicular y también peatonal.

En cuanto a la reducción de tiempos de viaje vehicular de los accesos del óvalo, los resultados más sustanciales se desarrollan en la hora pico “mañana” con una reducción promedio del 52% en todas las rutas posibles de todos los accesos, y la hora pico “mediodía”, con una disminución media del 13% en todas las rutas posibles de todos los accesos, mientras que en la hora pico “noche” la situación presenta mejoras parciales solo en ciertos accesos, al igual que en el escenario proyectado a 15 años y con volúmenes incrementados del 15%.

Referente a la circulación peatonal, se logró que la intersección se encuentre más preparada para recibir a personas vulnerables; aquellos con alguna discapacidad física, adultos mayores y también público en general. Al respecto, se verifica que el tiempo mínimo requerido de un peatón con estas características, es menor al tiempo de “rojo” asignado tras su activación en los accesos controlados por semáforos, con la finalidad que puedan desplazarse de manera segura a través del crucero peatonal correspondiente. En contraste, en la situación actual los peatones cruzan de acuerdo con las brechas disponibles y a los tiempos que le permitan completar su recorrido de manera segura.

Asimismo, como parte de una propuesta de mejora integral, se sugiere la eliminación de paraderos no autorizados, la eliminación de estacionamientos no autorizados, la restricción por carriles según tipos de vehículos que circulan a través del intercambio elevado de la Panamericana Norte en dirección al Sur, así como la restricción de velocidad aplicada en

dicho tramo y, por último, la instalación de una adecuada implementación de señalética ante las modificaciones sugeridas. Lo anterior, contribuye a mejorar los resultados obtenidos.

Con respecto a la aplicación del algoritmo *AMS-AG*, se puede afirmar que su secuencia lógica permite al controlador semafórico mejorar la circulación vehicular de una intersección con flujos desbalanceados en sus accesos y en diferentes horarios, como es el caso del óvalo estudiado. En el presente caso de investigación, permite que los accesos de control más congestionados mejoren su fluidez vehicular asignándole luz “verde”, en tanto, los accesos de medición con menos tráfico esperen en luz “roja” hasta que el tráfico haya sido descargado aguas abajo. En efecto, la actualización del control semafórico a tiempo real permite la optimización de los accesos y la eliminación de zonas de conflicto generados al interior del óvalo.

En relación con la aplicación del *software Vissim 9.0* y *Viswalk 9.0*, se ratifica que han sido los programas idóneos, en conjunto, para simular el comportamiento dual de las características tanto vehiculares como peatonales de la realidad. Sin duda, la configuración de parámetros que atribuyen la agresividad de conducción del conductor permite imitar las condiciones de la realidad peruana. Además, la capacidad de modificar los parámetros de circulación peatonal permite que el modelo logre una mejor calibración y, por ende, resultados más certeros.

Finalmente, se afirma que el proyecto es viable en términos económicos, ya que, luego de realizar el análisis de beneficio-costos proyectado a 15 años y con una tasa de actualización del 10% se obtiene una relación (B/C) de 22.6 y un TIR equivalente al 246%. Por otro lado, tras reducirse los tiempos de viaje vehicular, se calcula que se produciría un ahorro anual de S/. 3,325,190.56 y S/. 3,162,995.40 en uso de combustible y hora-hombre, respectivamente. En este sentido, no solamente se generaría mejoras en el ámbito socioeconómico, también,

permitiría proteger el medio ambiente al reducirse la emisión de gases de efecto invernadero y brindar mejor calidad de vida a los usuarios al tener más tiempo del día para dedicarlo a otras actividades personales.

8.2 Recomendaciones

En cuanto a la calibración del modelo vehicular y peatonal, se sugiere utilizar todas las herramientas posibles que ofrece el programa *Vissim 9.0* y *Viswalk 9.0*, respectivamente. En tanto, se recomienda un adecuado ingreso de aforos vehiculares y peatonales, la asignación de reglas de prioridad entre vehículos y entre vehículos y peatones, designar correctamente las rutas de transporte público y sus respectivos paraderos que se generan a partir de las necesidades de los usuarios, realizar un correcto registro de los tiempos de control policial de tránsito, insertar las velocidades en las que se movilizan los vehículos y peatones, dan como resultado una adecuada calibración y resultados más precisos a la realidad.

Asimismo, se recomienda que todas las medidas que contemplan la implementación de la propuesta de mejora tengan un periodo de prueba denominado “marcha blanca”. Lo anterior tiene como finalidad que los usuarios se informen de los cambios generados y a partir de ello empiecen a acatarlo. Cabe mencionar que, todos los proyectos de infraestructura vial cuentan con dicho periodo de prueba cuyo objetivo es evaluar su impacto en los resultados generados (Tapia, 2020). De esta manera, se sugiere contar con el apoyo de fiscalizadores y orientadores de tránsito capacitados que logren transmitir las modificaciones realizadas y sobre todo que busquen sensibilizar a los usuarios de los efectos positivos que traería consigo.

En cuanto a las condiciones de circulación peatonal, se sugiere que, para un futuro estudio relacionado al tema de investigación, se considere la realización de cruces peatonales subterráneos, que, con una mayor inversión económica, se generarían efectos altamente

positivos para la seguridad del peatón. Asimismo, en los que se refiere a las condiciones de circulación vehicular, también se recomienda evaluar la posibilidad de analizar el rediseño geométrico en el tramo de transición de ingreso de la auxiliar Av. Alfredo Mendiola hacia la Panamericana Norte, ambos en dirección al Sur. En el presente estudio, se ha constatado que la problemática real del óvalo no yace en las inmediaciones de sus accesos, por el contrario, se genera en dicho “cuello de botella”.

Por otro lado, en cuanto a la aplicación del algoritmo *AMS-AG*, es pertinente proponer a futuros estudios su aplicación y evaluación en intersecciones perpendiculares no semaforizadas, dado que, en esta ciudad, existe una amplia gama de intersecciones con problemáticas particulares que deben ser atendidas. Sería importante también evaluar hasta qué punto la aplicación de este algoritmo es óptimo para la realidad peruana, sabiendo que, por lo general, existe una escasa cultura vial y una inapropiada manera de conducir.

En cuanto a la inversión que demanda el proyecto, S/. 940,668.40 con IGV, al considerarse una cifra relativamente baja, se sugiere sea asumida por los gobiernos municipales, tal es el caso de la Municipalidad de San Martín de Porres o en su defecto la Concesión Vial Lima Expresa quien tiene adjudicado actualmente dicho tramo. Lo anterior, se recomienda tal sugerencia ya que, cuando un proyecto es asumido por una entidad gubernamental más pequeña, las gestiones burocráticas para la realización también se ven reducidas (Tapia, 2020). Asimismo, el costo de la inversión es generalmente viable en contraste al presupuesto anual que manejan dichas entidades.

9 BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed, K. (1999). Modeling driver's acceleration and lane changing behavior. *Massachusetts Institute of Technology*, pp. 26-34.
- Akcelik, R. (2004). Roundabouts with unbalanced flow patterns. *Institute of Transportation Engineers, Annual Meeting*.
- Alcalá, M. (2016). *Microsimulación del tráfico de la intersección de las avenidas Bolívar, Córdova y calle Andalucía empleando el software Vissim 6.0*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Al-Jameel, H. (2009). Examining and improving the limitations of Gazis-Herman-Rothery car following modelo. *Research Institue: The Built and Human Enviroment*.
- Antonini, G., Bierlaire, M., & Weber, M. (2006). Discrete choice models of pedestrian walking behavior. *Transportation Research Part B: Methodological*, pp. 667-687.
- Avila, G., Castañeda, L., Minaya, C., & Aguilar, O. (2016). *Mejoramiento de la competitividad en Lima Norte con la reduccion del caos vehicular, implementando un terminal terrestre interprovincial con interconexión vial futura al metro de Lima y corredor complementario*. Lima.
- Bloomberg, L., & Dale, J. (2000). A comparison of the Vissim and Corsim traffic simulations models. *Institute of Transportation Engineers Annual Meeting*, pp. 3-5.
- Bolla, V. (2013). *An investigation of adaptative metering singal control for circular intersections with unbalanced flows*. Ohio: Universidad de Akron.
- Boxil, S., & Yu, L. (2000). An evaluation of traffic simulation models for supporting ITS development. *Center for Transportation Training and Research: Texas Southern University*, pp. 55-56.
- Brackstone, M., & McDonald, M. (1999). Car-following: a historical review. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behavior*, pp. 181-196.
- Cabrera, F. (2015). Microsimulación de vehículos y peatones. *Revista Civilízate*, pp. 33-34.
- Cabrera, F., & Dextre, J. (2014). Using the Social Force Model to Represent the Behavior of Pedestrians at Chaotic Intersections of Developing Countries: The Case of Peru. *Springer International Publishing*, pp. 1039-1049.

- Chura, S. (2018). *Rediseño y microanálisis de la intersección de los jirones Oquendo, Tacna, Los Incas y Av. La Torre, Puno*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Dextre, J., & Cabrera, F. (2010). Uso de las listas de chequeo y microsimulación para mejorar la seguridad de los usuarios vulnerables en zonas urbanas. *II Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial*. Buenos Aires.
- Díaz, L. (2018). El 72% de limeños se estresa a causa de tráfico en su ciudad, según estudio. *La República*.
- Empresa Municipal Administradora de Peajes de Lima. (2018). *Oficina de proyectos*.
- Federal Highway Administration. (2004). Traffic analysis toolbox Vol.III Guidelines for applying traffic microsimulation modeling software. *McLean: U.S Department of Transportation*, pp. 110-121.
- Fellendorf, M., & Vortisch, P. (2010). Microscopic traffic flow simulator Vissim. In Fundamentals of Traffic Simulation. *International Series in Operation Research and Management Science, Ied. Vol. 145*, pp. 63-94.
- FHWA. (2004). *Traffic analysis toolbox* (Vol. III: Guidelines for applying traffic microsimulation modelling software). Washington: FHWA-HRT-04-040.
- González-Fernández, H., Ruíz-Caballero, P., & Castilla-González, A. (2017). Análisis funcional de la intersección Calvario-Aguilera para disminuir los riesgos de accidentes en la circulación vehicular y peatonal. *Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba*, pp.68-77.
- Gutarra, E. (2020). Aplicación de velocímetro. (E. Mariluz, Entrevistador)
- Helly, W. (1995). Simulation of bottlenecks in single lane traffic flow. En *Proceedings of the symposium on theory of traffic flow* (págs. pp. 207-238).
- Hernández, H. (2016). Modelo de Greenshields, un estudio de la capacidad de tráfico (1935) 80 años de la ecuación fundamental del flujo vehicular. *Boletín Técnico PITRA-LanammeUCR Volumen 7 No.1*, pp. 1-2.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, L. (2014). *Metodología de la Investigación*. México DF: McGraw-Hill Interamericana Editores S.A.

- Hoogendoorn, S., & Bovy, P. (2004). Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models. *Transportation Research Part B: Methodological*, 38(2), pp. 169-190.
- Huang, Y., Weng, Y., Wu, W., & Chen, B. (2016). *Control strategies for solving the problem of traffic congestion*. Volumen 10, Issue 10.
- INEI. (2016). *Flujo vehicular a nivel nacional aumentó en 11,9%*. Obtenido de Nota de Prensa: <https://www.inei.gob.pe/>
- Isebrands, H., Hallmark, S., Fitzsimmons, & Stroda, J. (2008). Toolbox to evaluate the impacts of roundabouts on a corridor or roadway network. *Local Road Research Board*, pp. 220-235.
- Ishaque, M. (2006). *Policies for pedestrian access: multi-modal trade-off analysis using micro-simulation techniques*. London: University of London.
- Jacquemart, G. (1998). Modern Roundabout Practice in the United States. *National Cooperative Highway Research Program. Synthesis of Highway Practice 264*.
- Kisters, C., & Montes, M. (2013). Peatones y vehículos, una coexistencia necesaria. Accesibilidad y modalidades de coexistencia de peatones y vehículos. Buenos Aires.
- Kojima, A. (2019). *¿Qué es el análisis costo-beneficio?* Obtenido de CreceNegocios: <https://www.crecenegocios.com/analisis-costo-beneficio/>
- Lakhani, R. (2015). Sistema inteligente de detección y aviso de infracciones en semáforos mediante smartphones. *La Laguna: Universidad de la Laguna*.
- Lieberman, E. (2014). Brief History of Traffic Simulation. In. Traffic and Transportation Simulation. *Transportation Research Board*, pp. 15-30.
- Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras. (2019). Obtenido de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3730.pdf
- McDonald, M., Brackstone, M., & Jeffery, D. (1994). Data Requirements and sources for the calibration of microscopic motorway simulation models. *Vehicle Navigation & Information Systems Conference Proceedings*, pp. 230-235.

- MEF. (2020). *Ministerio de Economía y Finanzas*. Obtenido de <https://www.mef.gob.pe/es/aplicativos-invierte-pe?id=5455>
- Méndez, R. (13 de Marzo de 2019). *Soluciones para el congestionamiento vial*. Obtenido de <https://www.nacion.com/opinion/foros/soluciones-para-el-congestionamiento-vial/5Q4LYHQVWRFTRCD6IQDKOJBF2Q/story/>
- Menneni, S., Roca, V., Sun, C., & Vortisch, P. (2009). Calibración de parámetros de comportamiento con algoritmos evolutivos en la simulación microscópica de flujos de tránsito. *Andinatraffic Issue 5*, pp. 21-27.
- Narváez, R., & Zapardiel, A. (2012). *Modelación del tránsito vehicular en el sector bomba El Ampari-Sao La Plazuela, Cartagena por medio del software PTV Vissim*. Cartagena: Universidad de Cartagena.
- Nikitin, N., Patskan, V., & Savina, I. (2016). Efficiency analysis of roundabout with traffic signals. *Transportation Research Procedia. 12th International Conference "Organization and Traffic Safety Management in large cities"*.
- Panwai, S., & Dia, H. (2005). Comparative evaluation of microscopic car-following behavior. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems Vol.6 No.3*, pp. 314-325.
- Papageorgiou, G. (2006). A microscopic traffic simulation model for transportation planning in Cyprus. *International Conference on Intelligent Systems and Computing: Theory and Applications*, pp. 159-172.
- Park, B., & Schneeberger, J. (2003). Microscopic simulation model calibration and validation: case study of Vissim simulation model for a coordinated actuated signal system. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Issue 1856*, pp. 185-192.
- PTV Group. (2016). *Manual de Vissim 9.0*. Obtenido de <https://www.ptvgroup.com/en/>
- PTV Viswalk. (2016). *Simulación de Peatones*. Obtenido de <http://vision-traffic.ptvgroup.com>
- Sahaleh, A. y. (2012). Scenario analysis of pedestrian flow in public spaces. *12th Swiss Transport Research Conference. Lausanne: Transport and Mobility Laboratory*.

- Saidallah, M., El Fergougui, A., & Elalaoui, A. (2016). A comparative study of urban road traffic simulators. *MATEC Web Conferences*, pp 4-5.
- Schadschneider, A y otros. (2009). Fundamentals of pedestrian and evacuation dynamics. *Multi-Agent Systems for Traffic and Transportation Engineering*, pp. 120-150.
- Stevens, C. (2005). Signals and meters at roundabouts. *Mid-Continent Transportation Research Symposium*, pp. 124-142.
- Suarez, L. (2007). *Análisis y evaluación operacional de intersecciones urbanas mediante microsimulación*. Medellin: Universidad Nacional de Colombia.
- Talero, P., Organista, O., Barbosa, L., & Mora, C. (2013). Velocidades: media, promedio e instantánea en el movimiento uniforme acelerado, algunos comentarios pedagógicos. *Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada del Instituto Politécnico Nacional*, pp. 433-435.
- Tapia, J. (2020). Burocracia gubernamental en proyectos de infraestructura vial en Perú. (E. Mariluz, Entrevistador)
- The Institution of Highways & Transportation. (2006). Traffic micro-simulation modelling. *The Institution of Highways & Transportation*, pp. 3-5.
- Triola, M. (2013). *Estadística*. Juárez: Pearson Education Inc.
- UPV Radiotelevisió. (2017). Ramp meter, sistema para evitar atascos en las rotondas.
- van Wageningen-Kessels, F., van Lint, H., Vuik, K., & Hoogendoorn, S. (2014). Genealogy of traffic flow models. *Euro Journal on Transportation and Logistics*, pp. 445-473.

10 ANEXOS

Anexo 1. Aforos vehiculares Fuente: Propia

- Fecha: lunes 04 de noviembre del 2019 - horario pico “mañana”

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Mañana (7:00 - 8:00 am)																							
Aforador	Jesús Gallardo																							
ACCESO SUR																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO			TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus		Coaster			Combi			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
7:00 - 7:15	60	0	28	25	1	18	3	0	1	1	0	2	3	0	5	43	0	0	27	0	0	1	0	0
7:15 - 7:30	75	2	25	22	0	22	8	0	1	1	0	0	3	0	7	39	0	0	33	0	0	1	0	3
7:30 - 7:45	60	5	25	50	2	20	1	1	2	0	2	2	2	0	8	47	0	1	25	1	0	2	0	0
7:45 - 8:00	80	4	40	16	3	25	0	3	7	0	1	2	5	0	5	42	0	1	30	1	0	5	0	1
Subtotal 1	275	11	118	113	6	85	12	4	11	2	3	6	13	0	25	171	0	2	115	2	0	9	0	4
Subtotal 2	404			204			27			11			38			173			117			13		
Total	987

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Mañana (7:00 - 8:00 am)																							
Aforador	Clara Pantoja León																							
ACCESO ESTE																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO									TRANSPORTE PESADO						TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
7:00 - 7:15	15	52	8	15	24	0	0	3	1	1	5	3	0	0	0	0	1	0	0	17	2	0	1	0
7:15 - 7:30	22	51	12	8	16	0	2	3	0	0	7	2	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
7:30 - 7:45	40	65	15	20	25	4	7	10	3	3	7	5	1	0	0	0	0	0	23	0	0	0	2	0
7:45 - 8:00	32	51	4	15	25	4	5	5	0	0	5	6	3	0	0	0	1	0	20	0	1	0	2	0
Subtotal 1	109	219	39	58	90	8	14	21	4	4	24	16	4	0	0	0	2	0	43	37	3	0	5	0
Subtotal 2	367			156			39			44			4			2			83			5		
Total	700

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Mañana (7:00 - 8:00 am)																							
Aforador	Verónica Cerrón Carranza																							
ACCESO OESTE																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO			TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
7:00 - 7:15	22	9	7	12	5	3	2	2	3	2	0	1	3	3	0	1	0	0	8	0	0	0	1	0
7:15 - 7:30	60	48	42	15	17	12	3	6	2	3	0	0	6	10	2	1	0	0	22	0	0	0	0	0
7:30 - 7:45	43	42	32	18	19	16	8	7	4	6	1	0	5	5	6	1	0	0	10	0	0	0	0	0
7:45 - 8:00	51	15	33	16	8	14	5	6	6	5	0	3	8	2	10	0	0	0	20	0	0	0	2	0
Subtotal 1	176	114	114	61	49	45	18	21	15	16	1	4	22	20	18	3	0	0	60	0	0	0	0	0
Subtotal 2	404			155			54			21			60			3			60			0		
Total	757																							

- Fecha: lunes 04 de noviembre del 2019 - horario pico “mediodía”

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Mediodía (12:00 - 13:00 pm)																							
Aforador	Jesús Gallardo																							
ACCESO SUR																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO			TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
12:00 - 12:15	50	7	45	28	1	25	1	0	5	3	0	2	10	0	25	40	0	2	28	1	1	2	0	0
12:15 - 12:30	45	4	30	35	0	27	6	0	15	2	1	2	16	2	20	51	0	2	25	1	0	1	0	0
12:30 - 12:45	49	5	40	33	6	22	5	0	12	2	4	3	14	0	18	38	0	0	24	0	0	0	0	2
12:45 - 13:00	52	3	37	32	3	38	5	0	5	1	2	4	8	0	32	42	0	4	22	0	0	1	0	1
Subtotal 1	196	19	152	128	10	112	17	0	37	8	7	11	48	2	95	171	0	8	99	2	1	4	0	3
Subtotal 2	367			250			54			26			145			179			102			7		
Total	1130

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Mediodía (12:00 - 13:00 pm)																							
Aforador	Clara Pantoja León																							
ACCESO ESTE																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO			TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
12:00 - 12:15	18	55	3	18	24	4	1	3	0	3	7	0	0	1	1	4	0	0	0	24	0	0	3	0
12:15 - 12:30	25	57	4	12	22	5	2	2	1	2	10	0	0	1	1	1	0	0	0	18	0	0	2	1
12:30 - 12:45	38	75	4	8	23	3	3	0	0	4	3	0	0	1	2	0	0	0	10	0	1	1	0	
12:45 - 13:00	22	69	6	13	25	5	0	1	0	5	12	0	0	1	2	1	0	0	0	22	1	2	2	0
Subtotal 1	103	256	17	51	94	17	6	6	1	14	32	0	0	4	6	6	0	0	0	74	1	3	8	1
Subtotal 2	376			162			13			46			10			6			75			12		
Total	700

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Mediodía (12:00 - 13:00 pm)																							
Aforador	Celestina Flores Núñez																							
ACCESO NORTE																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO			TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
12:00 - 12:15	88	12	0	43	1	0	10	0	0	0	0	0	25	0	0	38	0	0	24	0	0	2	0	0
12:15 - 12:30	122	0	0	45	0	2	18	0	2	1	0	1	22	0	0	35	0	0	23	0	0	2	0	0
12:30 - 12:45	131	0	0	32	0	1	12	0	1	2	0	3	18	0	0	37	0	0	25	0	0	1	0	0
12:45 - 13:00	112	0	0	41	0	1	19	0	3	1	0	2	23	0	0	46	0	0	22	0	0	1	0	0
Subtotal 1	453	12	0	161	1	4	59	0	6	4	0	6	88	0	0	156	0	0	94	0	0	6	0	0
Subtotal 2	465			166			65			10			88			156			94			6		
Total	1050																							

	"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"																							
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Mediodía (12:00 - 13:00 pm)																							
Aforador	Verónica Cerrón Carranza																							
ACCESO OESTE																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO			TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
12:00 - 12:15	75	3	45	25	2	20	8	0	8	9	0	5	10	1	7	1	0	0	12	0	0	0	0	0
12:15 - 12:30	92	2	65	52	4	33	6	0	10	10	0	2	8	0	12	1	0	0	15	0	0	0	0	0
12:30 - 12:45	83	1	66	43	3	21	12	0	5	7	0	0	6	1	10	1	0	0	21	1	0	0	0	0
12:45 - 13:00	78	3	42	55	2	18	16	0	9	9	0	3	5	2	7	0	0	0	16	0	0	0	0	1
Subtotal 1	328	9	218	175	11	92	42	0	32	35	0	10	29	4	36	3	0	0	64	1	0	0	0	1
Subtotal 2	555			278			74			45			69			3			65			1		
Total	1090																							

- Fecha: lunes 04 de noviembre del 2019 - horario pico “noche”

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Noche (18:00 - 19:00 pm)																							
Aforador	Jesús Gallardo																							
ACCESO SUR																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO			TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
18:00 - 18:15	125	5	50	68	4	40	6	0	6	0	0	3	25	2	30	32	0	1	27	1	0	13	0	1
18:15 - 18:30	122	2	42	52	5	36	3	0	4	0	0	3	20	0	28	28	0	1	30	2	0	8	0	0
18:30 - 18:45	118	1	98	51	2	55	4	0	2	3	0	5	22	0	16	31	0	2	28	1	0	12	0	0
18:45 - 19:00	195	4	43	53	3	13	5	0	5	0	0	6	26	0	16	29	0	0	41	1	0	24	0	0
Subtotal 1	560	12	233	224	14	144	18	0	17	3	0	17	93	2	90	120	0	4	126	5	0	57	0	1
Subtotal 2	805			382			35			20			185			124			131			58		
Total	1740																							

	"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"																							
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Noche (18:00 - 19:00 pm)																							
Aforador	Clara Pantoja León																							
ACCESO ESTE																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO			TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
18:00 - 18:15	22	83	6	12	35	3	3	6	5	4	10	2	1	1	1	0	0	0	0	18	0	2	1	0
18:15 - 18:30	35	81	5	11	30	2	2	3	3	5	12	0	3	2	0	3	0	0	0	20	0	1	3	0
18:30 - 18:45	47	115	7	18	48	4	4	4	1	3	5	1	0	5	3	2	0	0	0	15	0	0	0	0
18:45 - 19:00	28	109	5	10	51	3	3	5	6	4	9	1	3	4	2	1	0	0	0	23	1	3	1	0
Subtotal 1	132	388	23	51	164	12	12	18	15	16	36	4	7	12	6	6	0	0	0	76	1	6	5	0
Subtotal 2	543			227			45			56			25			6			77			11		
Total	990

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Noche (18:00 - 19:00 pm)																							
Aforador	Celestina Flores Núñez																							
ACCESO NORTE																								
Horario	Auto/SUV			TRANSPORTE LIVIANO						TRANSPORTE PESADO						TRANSPORTE PÚBLICO								
	Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi					
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
18:00 - 18:15	78	9	0	30	4	1	5	2	1	0	0	0	12	1	0	19	0	0	22	0	0	1	0	0
18:15 - 18:30	58	1	0	32	1	2	6	0	3	3	1	1	3	0		17	0	0	10	0	0	4	0	0
18:30 - 18:45	42	0	1	22	2	3	8	1	0	4	1	0	3	0	0	22	0	0	19	0	0	3	0	0
18:45 - 19:00	55	5	1	28	1	4	3	0	1	1	1	0	7	1	0	23	0	0	15	0	0	1	0	0
Subtotal 1	233	15	2	112	8	10	22	3	5	8	3	1	25	2	0	81	0	0	66	0	0	9	0	0
Subtotal 2	250			130			30			12			27			81			66			9		
Total	605

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Noche (18:00 - 19:00 pm)																							
Aforador	Verónica Cerrón Carranza																							
ACCESO OESTE																								
Horario	Auto/SUV			TRANSPORTE LIVIANO						TRANSPORTE PESADO						TRANSPORTE PÚBLICO								
				Taxi			Moto lineal									Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
18:00 - 18:15	99	5	80	32	0	40	7	1	10	5	0	5	12	1	6	1	0	0	25	0	1	1	0	0
18:15 - 18:30	95	3	58	31	0	5	12	0	6	8	0	2	8	5	5	1	0	0	20	0	0	0	0	0
18:30 - 18:45	121	8	72	49	2	39	6	0	16	8	0	3	4	3	2	2	0	0	27	0	0	2	0	0
18:45 - 19:00	112	5	64	50	3	35	4	0	4	5	0	6	5	2	4	1	0	0	16	0	0	0	0	0
Subtotal 1	427	21	274	162	5	119	29	1	36	26	0	16	29	11	17	5	0	0	88	0	1	3	0	0
Subtotal 2	722			286			66			42			57			5			89			3		
Total	1270																							

- Fecha: lunes 11 de noviembre del 2019 - horario pico “mañana”

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Mañana (7:00 - 8:00 am)																							
Aforador	Jesús Gallardo																							
ACCESO SUR																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO			TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
7:00 - 7:15	67	1	26	27	1	15	1	0	2	2	0	2	5	0	6	41	0	1	30	0	0	3	0	0
7:15 - 7:30	81	1	33	29	0	24	3	0	2	3	0	2	4	0	11	40	0	0	31	0	0	3	0	3
7:30 - 7:45	73	3	28	44	1	17	1	2	4	3	2	5	5	0	6	45	0	1	22	0	0	5	0	0
7:45 - 8:00	87	4	40	13	2	20	0	2	12	3	3	3	8	0	7	47	0	2	28	0	0	10	0	1
Subtotal 1	308	9	127	113	4	76	5	4	20	11	5	12	22	0	30	173	0	4	111	0	0	21	0	4
Subtotal 2	444			193			29			28			52			177			111			25		
Total	1059

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Mañana (7:00 - 8:00 am)																							
Aforador	Clara Pantoja León																							
ACCESO ESTE																								
Horario	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			TRANSPORTE PÚBLICO								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Omnibus			Coaster			Combi		
7:00 - 7:15	18	52	6	11	25	0	0	5	1	1	6	5	0	0	0	0	0	0	0	19	1	1	3	0
7:15 - 7:30	30	58	11	12	18	0	1	5	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0
7:30 - 7:45	41	68	10	18	29	0	5	12	2	2	5	4	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	1	
7:45 - 8:00	38	55	5	20	27	0	2	8	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	16	0	2	2	3	
Subtotal 1	127	233	32	61	99	0	8	30	3	3	21	13	0	0	0	0	0	0	41	41	3	3	7	
Subtotal 2	392			160			41			37			0			0			85			10		
Total	725

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Mañana (7:00 - 8:00 am)																							
Aforador	Celestina Flores Núñez																							
ACCESO NORTE																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO			TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
7:00 - 7:15	27	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	2	0	0	11	0	0	2	0	0	2	0	0
7:15 - 7:30	64	6	0	2	0	0	10	0	0	0	0	0	3	0	0	25	0	0	9	0	0	1	0	0
7:30 - 7:45	31	0	0	1	0	0	3	0	0	0	0	0	5	0	0	13	0	0	5	0	0	1	0	0
7:45 - 8:00	13	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	10	0	0	1	0	0	1	0	0
Subtotal 1	135	10	0	3	0	0	21	0	0	0	0	0	11	0	0	59	0	0	17	0	0	5	0	0
Subtotal 2	145			3			21			0			11			59			17			5		
Total	261

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Mañana (7:00 - 8:00 am)																							
Aforador	Verónica Cerrón Carranza																							
ACCESO OESTE																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO			TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer			Omnibus			Coaster			Combi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
7:00 - 7:15	38	8	9	17	1	11	1	1	2	1	0	0	1	5	0	1	0	0	14	0	0	0	0	0
7:15 - 7:30	69	58	42	17	13	9	4	8	1	4	0	1	6	8	3	1	0	0	31	0	0	0	1	0
7:30 - 7:45	60	59	33	19	19	20	11	7	9	3	0	3	6	7	4	2	0	0	17	0	0	0	0	0
7:45 - 8:00	55	17	41	19	13	16	3	6	4	4	0	2	6	1	8	2	0	0	27	0	0	0	0	0
Subtotal 1	222	142	125	72	46	56	19	22	16	12	0	6	19	21	15	6	0	0	89	0	0	0	1	0
Subtotal 2	489			174			57			18			55			6			89			1		
Total	889																							

- Fecha: lunes 11 de noviembre del 2019 - horario pico “mediodía”

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Mediodía (12:00 - 13:00 pm)																							
Aforador	Jesús Gallardo																							
ACCESO SUR																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO			TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
12:00 - 12:15	60	9	41	31	1	28	2	0	4	3	1	1	11	0	28	45	0	1	30	1	1	3	0	0
12:15 - 12:30	57	2	32	41	1	31	5	0	11	2	1	3	18	1	28	53	0	3	31	1	0	3	0	1
12:30 - 12:45	55	6	46	31	5	33	4	0	9	2	5	4	15	0	21	44	0	1	31	1	0	1	0	3
12:45 - 13:00	59	5	43	29	4	45	8	0	9	1	1	4	6	0	37	46	0	2	27	0	0	2	0	5
Subtotal 1	231	22	162	132	11	137	19	0	33	8	8	12	50	1	114	188	0	7	119	3	1	9	0	9
Subtotal 2	415			280			52			28			165			195			123			18		
Total	1276

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																								
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2010																								
Turno	Hora Pico Mediodía (12:00 - 13:00 pm)																								
Aforador	Clara Pantoja León																								
ACCESO ESTE																									
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO			TRANSPORTE PÚBLICO									
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
12:00 - 12:15	22	66	5	20	31	3	2	4	0	4	9	0	0	1	2	3	0	0	0	29	0	1	6	0	
12:15 - 12:30	25	64	7	13	25	2	2	4	1	1	7	0	0	1	0	0	0	0	0	19	0	0	1	1	
12:30 - 12:45	45	87	6	10	28	4	5	0	0	5	5	0	0	0	1	0	0	0	0	10	0	0	0	1	
12:45 - 13:00	19	75	8	11	32	3	2	3	0	3	10	0	0	2	2	0	0	0	0	17	2	2	1	0	
Subtotal 1	111	292	26	54	116	12	11	11	1	13	31	0	0	4	5	3	0	0	0	75	2	3	8	2	
Subtotal 2	429			182			23			44			9			3			77			13			
Total	780

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Mediodía (12:00 - 13:00 pm)																							
Aforador	Celestina Flores Núñez																							
ACCESO NORTE																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO			TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
12:00 - 12:15	93	12	0	43	1	0	10	0	0	0	0	0	28	0	0	40	0	0	26	0	0	3	0	0
12:15 - 12:30	138	0	0	47	0	0	21	0	0	1	0	0	23	0	0	38	0	0	29	0	0	3	0	0
12:30 - 12:45	141	0	0	39	0	0	15	0	0	2	0	0	21	0	0	41	0	0	26	0	0	2	0	0
12:45 - 13:00	130	0	0	49	0	0	24	0	0	1	0	0	25	0	0	51	0	0	29	0	0	3	0	0
Subtotal 1	502	12	0	178	1	0	70	0	0	4	0	0	97	0	0	170	0	0	110	0	0	11	0	0
Subtotal 2	514			179			70			4			97			170			110			11		
Total	1155																							

	"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"																							
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Mediodía (12:00 - 13:00 pm)																							
Aforador	Verónica Cerrón Carranza																							
ACCESO OESTE																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO			TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
12:00 - 12:15	88	2	49	28	1	25	5	0	6	7	0	3	6	1	7	1	0	0	15	0	0	0	0	0
12:15 - 12:30	105	1	74	49	2	40	8	0	6	5	0	2	7	0	14	1	0	0	18	0	0	0	0	0
12:30 - 12:45	94	2	77	50	1	29	15	0	8	9	0	1	4	1	13	1	0	0	25	1	0	0	0	0
12:45 - 13:00	87	2	51	45	0	26	13	0	7	7	0	2	10	2	5	1	0	0	18	0	0	0	0	1
Subtotal 1	374	7	251	172	4	120	41	0	27	28	0	8	27	4	39	4	0	0	76	1	0	0	0	1
Subtotal 2	632			296			68			36			70			4			77			1		
Total	1184																							

- Fecha: lunes 11 de noviembre del 2019 - horario pico “noche”

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Noche (18:00 - 19:00 pm)																							
Aforador	Jesús Gallardo																							
ACCESO SUR																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO			TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
18:00 - 18:15	130	4	52	76	3	45	5	0	7	0	0	2	30	3	30	35	0	1	25	1	0	15	0	1
18:15 - 18:30	116	1	50	57	2	34	2	0	3	0	3	2	22	0	28	30	0	1	28	2	0	12	0	0
18:30 - 18:45	128	0	104	59	1	60	3	0	1	1	0	3	25	0	16	38	0	2	27	1	0	10	0	0
18:45 - 19:00	211	2	46	60	6	16	3	0	2	0	0	4	31	0	16	37	0	0	43	1	0	20	0	0
Subtotal 1	585	7	252	252	12	155	13	0	13	1	3	11	108	3	90	140	0	4	123	5	0	57	0	1
Subtotal 2	844			419			26			15			201			144			128			58		
Total	1835

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Noche (18:00 - 19:00 pm)																							
Aforador	Clara Pantoja León																							
ACCESO ESTE																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO			TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus		Coaster			Combi			
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
18:00 - 18:15	24	86	4	14	39	2	2	5	4	3	7	0	0	1	0	0	0	0	22	0	1	1	0	0
18:15 - 18:30	38	91	6	16	34	1	1	4	4	2	8	0	3	4	0	2	0	0	23	0	0	2	0	0
18:30 - 18:45	51	129	4	16	51	3	3	2	1	2	7	0	0	3	2	1	0	0	22	0	0	1	0	0
18:45 - 19:00	31	112	6	14	55	3	3	6	2	6	13	0	1	3	1	2	0	0	19	1	2	0	0	0
Subtotal 1	144	418	20	60	179	9	9	17	11	13	35	0	4	11	3	5	0	0	86	1	3	4	0	0
Subtotal 2	582			248			37			48			18			5			87			7		
Total	1032

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2010																							
Turno	Hora Pico Noche (18:00 - 19:00 pm)																							
Aforador	Celestina Flores Núñez																							
ACCESO NORTE																								
Horario	TRANSPORTE LIVIANO									TRANSPORTE PESADO						TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
18:00 - 18:15	89	7	0	33	3	0	8	1	0	3	0	0	9	0	0	22	0	0	25	0	0	2	0	0
18:15 - 18:30	65	0	0	29	0	0	8	0	0	2	0	0	2	0	0	21	0	0	14	0	0	3	0	0
18:30 - 18:45	49	0	0	27	0	0	6	0	0	3	1	0	5	0	0	28	0	0	24	0	0	2	0	0
18:45 - 19:00	62	0	0	32	0	0	4	0	0	1	0	0	6	0	0	24	0	0	19	0	0	3	0	0
Subtotal 1	265	7	0	121	3	0	26	1	0	9	1	0	22	0	0	95	0	0	82	0	0	10	0	0
Subtotal 2	272			124			27			10			22			95			82			10		
Total	642

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)																										
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2010																										
Turno	Hora Pico Noche (18:00 - 19:00 pm)																										
Aforador	Verónica Cerrón Carranza																										
ACCESO OESTE																											
Horario	TRANSPORTE LIVIANO												TRANSPORTE PESADO						TRANSPORTE PÚBLICO								
	Auto/SUV			Taxi			Moto lineal			Mototaxi			Camión/Trailer/Bus Interprovincial			Omnibus			Coaster			Combi					
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
18:00 - 18:15	116	3	83	38	0	47	9	0	13	7	0	3	8	1	5	1	0	0	30	0	1	0	0	0			
18:15 - 18:30	104	4	60	40	0	0	9	0	7	6	0	3	5	4	3	1	0	0	25	0	0	0	0	0			
18:30 - 18:45	140	6	80	53	1	42	5	0	13	8	0	1	3	2	4	0	0	0	28	0	0	1	0	0			
18:45 - 19:00	121	7	78	54	1	43	5	0	3	7	0	1	4	1	7	0	0	0	21	0	0	0	0	0			
Subtotal 1	481	20	301	185	2	132	28	0	36	28	0	8	20	8	19	2	0	0	104	0	1	1	0	0			
Subtotal 2	802			319			64			36			47			2			105			1					
Total	1376																										

Anexo 2. Aforo peatonal
Fuente: Propia

- Fecha: lunes 04 de noviembre del 2019 - horario pico “mañana”

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Mañana (7:00 - 8:00 am)							
Aforador	Jesus Huaman Espinoza							
CRUCERO PEATONAL SUR								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
7:00 - 7:15	7	17	8	15	2	3	2	2
7:15 - 7:30	10	22	9	23	1	2	2	2
7:30 - 7:45	15	26	14	25	4	5	1	1
7:45 - 8:00	18	33	19	32	1	1	1	2
Subtotal 1	50	98	50	95	8	11	6	7
Subtotal 2	148		145		19		13	
Total	325

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Mañana (7:00 - 8:00 am)							
Aforador	Martha Castillo Barboza							
CRUCERO PEATONAL ESTE								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
7:00 - 7:15	22	7	21	9	1	2	1	1
7:15 - 7:30	26	10	25	9	2	3	1	2
7:30 - 7:45	31	15	32	13	3	4	2	1
7:45 - 8:00	35	19	34	20	2	2	2	3
Subtotal 1	114	51	112	51	8	11	6	7
Subtotal 2	165		163		19		13	
Total	360

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Mañana (7:00 - 8:00 am)							
Aforador	Alamiro Diaz Alvites							
CRUCERO PEATONAL NORTE								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
7:00 - 7:15	2	2	1	3	1	0	1	0
7:15 - 7:30	4	2	5	3	0	1	0	1
7:30 - 7:45	5	5	6	6	2	1	1	0
7:45 - 8:00	8	7	7	8	1	1	1	0
Subtotal 1	19	16	19	20	4	3	3	1
Subtotal 2	35		39		7		4	
Total	85

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Mañana (7:00 - 8:00 am)							
Aforador	Janeth Julca Rosario							
CRUCERO PEATONAL OESTE								
Horario	Hombres		Mujeres		Niño/Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
7:00 - 7:15	4	2	5	3	3	1	1	0
7:15 - 7:30	11	3	9	5	3	0	0	0
7:30 - 7:45	10	4	12	4	5	1	2	1
7:45 - 8:00	14	8	13	8	6	1	2	1
Subtotal 1	39	17	39	20	17	3	5	2
Subtotal 2	56		59		20		7	
Total	142							

- Fecha: lunes 04 de noviembre del 2019 - horario pico “mediodía”

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Mediodía (12:00 - 13:00 pm)							
Aforador	Jesus Huaman Espinoza							
CRUCERO PEATONAL SUR								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
12:00 - 12:15	10	17	11	15	4	5	2	2
12:15 - 12:30	12	25	13	24	3	4	3	2
12:30 - 12:45	16	24	15	25	5	5	4	1
12:45 - 13:00	20	35	21	36	2	3	2	2
Subtotal 1	58	101	60	100	14	17	11	7
Subtotal 2	159		160		31		18	
Total	368

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Mediodía (12:00 - 13:00 pm)							
Aforador	Martha Castillo Barboza							
CRUCERO PEATONAL ESTE								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
12:00 - 12:15	27	10	26	11	4	4	1	1
12:15 - 12:30	30	12	28	10	5	6	1	2
12:30 - 12:45	33	17	34	18	7	5	2	1
12:45 - 13:00	37	21	38	20	5	4	2	3
Subtotal 1	127	60	126	59	21	19	6	7
Subtotal 2	187		185		40		13	
Total	425

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Mediodía (12:00 - 13:00 pm)							
Aforador	Alamiro Díaz Alvites							
CRUCERO PEATONAL NORTE								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
12:00 - 12:15	3	4	2	3	2	1	2	0
12:15 - 12:30	5	6	6	7	3	2	1	1
12:30 - 12:45	7	8	8	6	2	3	2	0
12:45 - 13:00	10	9	9	10	4	3	2	0
Subtotal 1	25	27	25	26	11	9	7	1
Subtotal 2	52		51		20		8	
Total	131

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Mediodía (12:00 - 13:00 pm)							
Aforador	Janeth Julca Rosario							
CRUCERO PEATONAL OESTE								
Horario	Hombres		Mujeres		Niño/Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
12:00 - 12:15	5	4	6	3	5	4	2	2
12:15 - 12:30	12	6	13	5	4	3	1	3
12:30 - 12:45	14	7	16	8	7	6	3	2
12:45 - 13:00	18	10	15	12	8	9	2	3
Subtotal 1	49	27	50	28	24	22	8	10
Subtotal 2	76		78		46		18	
Total	218							

- Fecha: lunes 04 de noviembre del 2019 - horario pico “noche”

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Noche (18:00 - 19:00 pm)							
Aforador	Jesus Huaman Espinoza							
CRUCERO PEATONAL SUR								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
18:00 - 18:15	15	17	13	18	2	2	2	3
18:15 - 18:30	19	21	21	22	3	3	2	3
18:30 - 18:45	24	27	22	29	2	3	3	4
18:45 - 19:00	33	35	34	36	1	2	4	5
Subtotal 1	91	100	90	105	8	10	11	15
Subtotal 2	191		195		18		26	
Total	430

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Noche (18:00 - 19:00 pm)							
Aforador	Martha Castillo Barboza							
CRUCERO PEATONAL ESTE								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
18:00 - 18:15	13	18	12	19	2	2	3	2
18:15 - 18:30	13	18	14	20	3	2	3	1
18:30 - 18:45	16	24	17	23	4	3	4	3
18:45 - 19:00	25	30	23	29	3	2	5	4
Subtotal 1	67	90	66	91	12	9	15	10
Subtotal 2	157		157		21		25	
Total	360

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Noche (18:00 - 19:00 pm)							
Aforador	Alamiro Díaz Alvites							
CRUCERO PEATONAL NORTE								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
18:00 - 18:15	5	4	6	5	1	2	1	2
18:15 - 18:30	7	4	8	6	2	2	1	1
18:30 - 18:45	8	6	6	5	2	3	0	1
18:45 - 19:00	9	7	11	9	3	2	0	1
Subtotal 1	29	21	31	25	8	9	2	5
Subtotal 2	50		56		17		7	
Total	130							

	"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"							
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Noche (18:00 - 19:00 pm)							
Aforador	Janeth Julca Rosario							
CRUCERO PEATONAL OESTE								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
18:00 - 18:15	3	6	5	5	0	0	1	1
18:15 - 18:30	6	8	5	7	0	0	0	0
18:30 - 18:45	8	9	7	10	0	1	0	1
18:45 - 19:00	10	12	8	13	1	1	1	1
Subtotal 1	27	35	25	35	1	2	2	3
Subtotal 2	62		60		3		5	
Total	130							

- Fecha: lunes 11 de noviembre del 2019 - horario pico “mañana”

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Mañana (7:00 - 8:00 am)							
Aforador	Jesus Huaman Espinoza							
CRUCERO PEATONAL SUR								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
7:00 - 7:15	8	14	7	13	2	4	1	2
7:15 - 7:30	13	19	12	17	3	5	2	1
7:30 - 7:45	17	26	16	25	4	6	2	3
7:45 - 8:00	18	33	20	34	2	6	3	2
Subtotal 1	56	92	55	89	11	21	8	8
Subtotal 2	148		144		32		16	
Total	340

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Mañana (7:00 - 8:00 am)							
Aforador	Martha Castillo Barboza							
CRUCERO PEATONAL ESTE								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
7:00 - 7:15	18	9	17	10	4	5	1	2
7:15 - 7:30	25	14	24	11	8	9	4	3
7:30 - 7:45	24	19	27	20	10	12	3	4
7:45 - 8:00	33	25	31	22	14	16	2	4
Subtotal 1	100	67	99	63	36	42	10	13
Subtotal 2	167		162		78		23	
Total	430

"PROPUESTA DEREDUCCIÓN DELOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Mañana (7:00 - 8:00 am)							
Aforador	Alamiro Díaz Alvites							
CRUCERO PEATONAL NORTE								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
7:00 - 7:15	4	6	3	5	3	2	1	0
7:15 - 7:30	3	5	5	3	2	3	1	0
7:30 - 7:45	6	4	5	4	3	4	1	0
7:45 - 8:00	8	2	7	3	3	3	0	1
Subtotal 1	21	17	20	15	11	12	3	1
Subtotal 2	38		35		23		4	
Total	100

"PROPUESTA DEREDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Mañana (7:00 - 8:00 am)							
Aforador	Janeth Julca Rosario							
CRUCERO PEATONAL OESTE								
Horario	Hombres		Mujeres		Niño/Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
7:00 - 7:15	7	2	5	3	1	2	0	2
7:15 - 7:30	4	2	5	2	2	1	0	0
7:30 - 7:45	6	3	8	2	0	2	0	0
7:45 - 8:00	8	4	6	4	1	0	2	1
Subtotal 1	25	11	24	11	4	5	2	3
Subtotal 2	36		35		9		5	
Total	85							

- Fecha: lunes 11 de noviembre del 2019 - horario pico “mediodía”

"PROPUESTA DEREDUCCIÓN DELOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICHA TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Mediodía (12:00 - 13:00 pm)							
Aforador	Jesus Huaman Espinoza							
CRUCERO PEATONAL SUR								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
12:00 - 12:15	8	10	9	8	2	3	2	2
12:15 - 12:30	10	12	11	15	1	4	0	4
12:30 - 12:45	16	14	19	17	3	6	2	3
12:45 - 13:00	18	21	17	22	4	5	3	4
Subtotal 1	52	57	56	62	10	18	7	13
Subtotal 2	109		118		28		20	
Total	275

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Mediodía (12:00 - 13:00 pm)							
Aforador	Martha Castillo Barboza							
CRUCERO PEATONAL ESTE								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
12:00 - 12:15	5	3	7	5	2	2	2	0
12:15 - 12:30	8	9	10	9	4	3	2	0
12:30 - 12:45	12	10	15	12	3	4	0	2
12:45 - 13:00	16	14	18	16	3	5	3	1
Subtotal 1	41	36	50	42	12	14	7	3
Subtotal 2	77		92		26		10	
Total	205

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICHA A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Mediodía (12:00 - 13:00 pm)							
Aforador	Alamiro Díaz Alvites							
CRUCERO PEATONAL NORTE								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
12:00 - 12:15	3	2	2	2	1	1	1	0
12:15 - 12:30	3	4	4	3	2	1	1	0
12:30 - 12:45	1	2	3	2	0	0	0	0
12:45 - 13:00	4	3	3	4	1	0	1	1
Subtotal 1	11	11	12	11	4	2	3	1
Subtotal 2	22		23		6		4	
Total	55							

	"PROPUESTA DE DEREDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"							
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Mediodía (12:00 - 13:00 pm)							
Aforador	Janeth Julca Rosario							
CRUCERO PEATONAL OESTE								
Horario	Hombres		Mujeres		Niño/Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
12:00 - 12:15	1	0	2	3	2	1	1	0
12:15 - 12:30	0	1	1	0	2	2	1	0
12:30 - 12:45	3	3	3	2	1	1	0	2
12:45 - 13:00	2	4	1	4	3	1	2	1
Subtotal 1	6	8	7	9	8	5	4	3
Subtotal 2	14		16		13		7	
Total	50							

- Fecha: lunes 11 de noviembre del 2019 - horario pico "noche"

	"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICHA A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"							
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Noche (18:00 - 19:00 pm)							
Aforador	Jesus Huaman Espinoza							
CRUCERO PEATONAL SUR								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
18:00 - 18:15	22	17	23	18	3	2	2	1
18:15 - 18:30	25	21	24	22	3	2	3	2
18:30 - 18:45	27	25	28	26	4	3	3	2
18:45 - 19:00	31	28	33	27	4	1	5	3
Subtotal 1	105	91	108	93	14	8	13	8
Subtotal 2	196		201		22		21	
Total	440

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Noche (18:00 - 19:00 pm)							
Aforador	Martha Castillo Barboza							
CRUCERO PEATONAL ESTE								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
18:00 - 18:15	15	19	14	21	2	1	1	1
18:15 - 18:30	18	26	19	25	3	2	3	2
18:30 - 18:45	22	28	23	27	1	0	2	1
18:45 - 19:00	26	31	25	32	2	2	4	2
Subtotal 1	81	104	81	105	8	5	10	6
Subtotal 2	185		186		13		16	
Total	400

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Noche (18:00 - 19:00 pm)							
Aforador	Alamiro Díaz Alvites							
CRUCERO PEATONAL NORTE								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
18:00 - 18:15	3	2	4	1	1	1	0	1
18:15 - 18:30	6	3	4	5	0	0	1	1
18:30 - 18:45	8	5	9	6	0	1	0	2
18:45 - 19:00	12	6	11	5	1	1	0	0
Subtotal 1	29	16	28	17	2	3	1	4
Subtotal 2	45		45		5		5	
Total	100

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)							
Fecha	Lunes, 11 de noviembre del 2019							
Turno	Hora Pico Noche (18:00 - 19:00 pm)							
Aforador	Janeth Julca Rosario							
CRUCERO PEATONAL OESTE								
Horario	Hombre		Mujer		Niño / Niña		Bicicleta	
	1	2	1	2	1	2	1	2
18:00 - 18:15	6	4	4	3	0	1	1	0
18:15 - 18:30	8	6	10	5	0	0	0	1
18:30 - 18:45	11	9	10	7	1	0	1	0
18:45 - 19:00	13	10	12	12	1	1	1	2
Subtotal 1	38	29	36	27	2	2	3	3
Subtotal 2	67		63		4		6	
Total	140							

Anexo 3. Velocidad de vehículos presentes en la zona de estudio
Fuente: Propia

• **Tipo de vehículo: Auto/SUV**

Tipo de Vehículo: Auto/SUV							
Nº Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Nº Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)
1	1.55	15	34.8	31	1.47	15	36.7
2	1.38	15	39.1	32	1.12	15	48.2
3	2.10	15	25.7	33	1.78	15	30.3
4	1.45	15	37.2	34	1.64	15	32.9
5	1.36	15	39.7	35	1.52	15	35.5
6	2.05	15	26.3	36	1.33	15	40.6
7	1.78	15	30.3	37	1.46	15	37.0
8	1.59	15	34.0	38	1.21	15	44.6
9	1.15	15	47.0	39	1.36	15	39.7
10	1.75	15	30.9	40	1.57	15	34.4
11	1.24	15	43.5	41	1.25	15	43.2
12	2.15	15	25.1	42	1.23	15	43.9
13	1.35	15	40.0	43	2.47	15	21.9
14	2.17	15	24.9	44	1.35	15	40.0
15	1.66	15	32.5	45	1.17	15	46.2
16	1.24	15	43.5	46	1.92	15	28.1
17	1.35	15	40.0	47	1.34	15	40.3
18	1.63	15	33.1	48	1.52	15	35.5
19	1.36	15	39.7	49	1.65	15	32.7
20	1.84	15	29.3	50	1.35	15	40.0
21	1.65	15	32.7	51	1.45	15	37.2
22	1.43	15	37.8	52	1.24	15	43.5
23	1.24	15	43.5	53	1.75	15	30.9
24	1.74	15	31.0	54	1.68	15	32.1
25	1.20	15	45.0	55	1.87	15	28.9
26	1.25	15	43.2	56	1.45	15	37.2
27	1.45	15	37.2	57	1.95	15	27.7
28	1.34	15	40.3	58	1.32	15	40.9
29	1.12	15	48.2	59	1.45	15	37.2
30	1.24	15	43.5	60	1.71	15	31.6
							$\mu=$ 36.6
							$\sigma=$ 6.40

Leyenda	
	Acceso Sur
	Acceso Este
	Acceso Norte
	Acceso Oeste

Parámetros	
n	60
Min	21.9
Max	48.21
Rango	26.35
K (#grupos)	7
W(amplitud)	3.76

Grupo	Límite Inferior	Límite Superior	MC	fi	Fi	hi	Hi
1	21.9	25.63	23.74	8	8	0.13	0.13
2	25.63	29.39	27.51	13	21	0.22	0.35
3	29.39	33.16	31.27	8	29	0.13	0.48
4	33.16	36.92	35.04	12	41	0.20	0.68
5	36.92	40.69	38.80	8	49	0.13	0.82
6	40.69	44.45	42.57	6	55	0.10	0.92
7	44.45	48.21	46.33	5	60	0.08	1.00

60

1

- Tipo de vehículo: Taxi

Tipo de Vehículo: Auto/SUV							
Nº Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Nº Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)
1	1.55	15	34.8	31	1.47	15	36.7
2	1.38	15	39.1	32	1.12	15	48.2
3	2.10	15	25.7	33	1.78	15	30.3
4	1.45	15	37.2	34	1.64	15	32.9
5	1.36	15	39.7	35	1.52	15	35.5
6	2.05	15	26.3	36	1.33	15	40.6
7	1.78	15	30.3	37	1.46	15	37.0
8	1.59	15	34.0	38	1.21	15	44.6
9	1.15	15	47.0	39	1.36	15	39.7
10	1.75	15	30.9	40	1.57	15	34.4
11	1.24	15	43.5	41	1.25	15	43.2
12	2.15	15	25.1	42	1.23	15	43.9
13	1.35	15	40.0	43	2.47	15	21.9
14	2.17	15	24.9	44	1.35	15	40.0
15	1.66	15	32.5	45	1.17	15	46.2
16	1.24	15	43.5	46	1.92	15	28.1
17	1.35	15	40.0	47	1.34	15	40.3
18	1.63	15	33.1	48	1.52	15	35.5
19	1.36	15	39.7	49	1.65	15	32.7
20	1.84	15	29.3	50	1.35	15	40.0
21	1.65	15	32.7	51	1.45	15	37.2
22	1.43	15	37.8	52	1.24	15	43.5
23	1.24	15	43.5	53	1.75	15	30.9
24	1.74	15	31.0	54	1.68	15	32.1
25	1.20	15	45.0	55	1.87	15	28.9
26	1.25	15	43.2	56	1.45	15	37.2
27	1.45	15	37.2	57	1.95	15	27.7
28	1.34	15	40.3	58	1.32	15	40.9
29	1.12	15	48.2	59	1.45	15	37.2
30	1.24	15	43.5	60	1.71	15	31.6
							$\mu=$ 36.6
							$\sigma=$ 6.40

Leyenda	
	Acceso Sur
	Acceso Este
	Acceso Norte
	Acceso Oeste

Parámetros	
n	60
Min	16.9
Max	55.10
Rango	38.23
K (#grupos)	7
W(amplitud)	5.46

Grupo	Límite Inferior	Límite Superior	MC	fi	Fi	hi	Hi
1	16.9	22.34	19.61	7	7	0.12	0.12
2	22.34	27.80	25.07	17	24	0.28	0.40
3	27.80	33.26	30.53	17	41	0.28	0.68
4	33.26	38.72	35.99	6	47	0.10	0.78
5	38.72	44.18	41.45	6	53	0.10	0.88
6	44.18	49.64	46.91	4	57	0.07	0.95
7	49.64	55.10	52.37	3	60	0.05	1.00

60

1

- Tipo de vehículo: Moto lineal

Tipo de Vehículo: Moto lineal							
Nº Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Nº Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)
1	1.75	15	30.9	31	1.12	15	48.2
2	1.12	15	48.2	32	1.24	15	43.5
3	1.24	15	43.5	33	1.38	15	39.1
4	0.95	15	56.8	34	1.45	15	37.2
5	1.17	15	46.2	35	1.34	15	40.3
6	1.30	15	41.5	36	1.28	15	42.2
7	1.27	15	42.5	37	1.10	15	49.1
8	1.56	15	34.6	38	1.34	15	40.3
9	1.37	15	39.4	39	1.25	15	43.2
10	1.10	15	49.1	40	1.38	15	39.1
11	1.29	15	41.9	41	1.29	15	41.9
12	1.28	15	42.2	42	1.14	15	47.4
13	1.47	15	36.7	43	1.38	15	39.1
14	1.35	15	40.0	44	1.45	15	37.2
15	1.82	15	29.7	45	1.20	15	45.0
16	1.25	15	43.2	46	1.39	15	38.8
17	1.11	15	48.6	47	1.57	15	34.4
18	1.69	15	32.0	48	1.54	15	35.1
19	1.38	15	39.1	49	1.32	15	40.9
20	1.67	15	32.3	50	1.95	15	27.7
21	1.68	15	32.1	51	1.25	15	43.2
22	1.38	15	39.1	52	1.84	15	29.3
23	1.32	15	40.9	53	1.20	15	45.0
24	1.12	15	48.2	54	1.35	15	40.0
25	1.54	15	35.1	55	1.28	15	42.2
26	1.68	15	32.1	56	1.37	15	39.4
27	1.47	15	36.7	57	1.52	15	35.5
28	1.05	15	51.4	58	1.67	15	32.3
29	1.25	15	43.2	59	1.21	15	44.6
30	1.38	15	39.1	60	1.36	15	39.7
							$\mu=$ 40.3
							$\sigma=$ 5.89

Leyenda	
	Acceso Sur
	Acceso Este
	Acceso Norte
	Acceso Oeste

Parámetros	
n	60
Min	27.7
Max	56.84
Rango	29.15
K (#grupos)	7
W(amplitud)	4.16

Grupo	Límite Inferior	Límite Superior	MC	fi	Fi	hi	Hi
1	27.7	31.86	29.77	16	16	0.27	0.27
2	31.86	36.02	33.94	16	32	0.27	0.53
3	36.02	40.19	38.10	12	44	0.20	0.73
4	40.19	44.35	42.27	7	51	0.12	0.85
5	44.35	48.51	46.43	7	58	0.12	0.97
6	48.51	52.68	50.60	1	59	0.02	0.98
7	52.68	56.84	54.76	1	60	0.02	1.00

60

1

- Tipo de vehículo: Mototaxi

Tipo de Vehículo: Mototaxi							
Nº Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Nº Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)
1	1.67	15	32.3	31	2.15	15	25.1
2	1.75	15	30.9	32	1.74	15	31.0
3	1.85	15	29.2	33	2.18	15	24.8
4	1.69	15	32.0	34	1.78	15	30.3
5	1.56	15	34.6	35	1.69	15	32.0
6	1.62	15	33.3	36	2.10	15	25.7
7	1.79	15	30.2	37	2.27	15	23.8
8	1.84	15	29.3	38	2.05	15	26.3
9	1.90	15	28.4	39	1.98	15	27.3
10	1.74	15	31.0	40	2.14	15	25.2
11	1.81	15	29.8	41	1.78	15	30.3
12	1.64	15	32.9	42	1.69	15	32.0
13	1.68	15	32.1	43	2.15	15	25.1
14	1.75	15	30.9	44	2.28	15	23.7
15	1.87	15	28.9	45	1.62	15	33.3
16	2.14	15	25.2	46	1.47	15	36.7
17	2.29	15	23.6	47	1.69	15	32.0
18	2.31	15	23.4	48	1.75	15	30.9
19	1.56	15	34.6	49	1.45	15	37.2
20	2.18	15	24.8	50	1.36	15	39.7
21	2.54	15	21.3	51	1.24	15	43.5
22	1.87	15	28.9	52	1.37	15	39.4
23	1.45	15	37.2	53	1.29	15	41.9
24	2.10	15	25.7	54	1.26	15	42.9
25	1.93	15	28.0	55	1.38	15	39.1
26	2.14	15	25.2	56	1.36	15	39.7
27	2.29	15	23.6	57	1.45	15	37.2
28	2.15	15	25.1	58	1.78	15	30.3
29	2.24	15	24.1	59	1.34	15	40.3
30	1.78	15	30.3	60	1.64	15	32.9
							$\mu=$ 30.8
							$\sigma=$ 5.54

Leyenda	
	Acceso Sur
	Acceso Este
	Acceso Norte
	Acceso Oeste

Parámetros	
n	60
Min	21.3
Max	43.55
Rango	22.29
K (#grupos)	7
W(amplitud)	3.18

Grupo	Límite Inferior	Límite Superior	MC	fi	Fi	hi	Hi
1	21.3	24.44	22.85	9	9	0.15	0.15
2	24.44	27.63	26.04	17	26	0.28	0.43
3	27.63	30.81	29.22	16	42	0.27	0.70
4	30.81	34.00	32.40	11	53	0.18	0.88
5	34.00	37.18	35.59	4	57	0.07	0.95
6	37.18	40.36	38.77	2	59	0.03	0.98
7	40.36	43.55	41.96	1	60	0.02	1.00

60

1

- **Tipo de vehículo: Camión/Tráiler/Bus Interprovincial**

Tipo de Vehículo: Camión/Tráiler/Bus Interprovincial							
N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)
1	1.55	15	34.8	31	1.78	15	30.3
2	2.45	15	22.0	32	1.65	15	32.7
3	2.14	15	25.2	33	1.45	15	37.2
4	1.70	15	31.8	34	1.68	15	32.1
5	1.65	15	32.7	35	1.54	15	35.1
6	1.78	15	30.3	36	1.45	15	37.2
7	1.64	15	32.9	37	1.62	15	33.3
8	1.48	15	36.5	38	1.37	15	39.4
9	1.79	15	30.2	39	1.76	15	30.7
10	1.38	15	39.1	40	1.62	15	33.3
11	1.49	15	36.2	41	1.58	15	34.2
12	1.58	15	34.2	42	1.56	15	34.6
13	1.47	15	36.7	43	1.43	15	37.8
14	1.67	15	32.3	44	1.36	15	39.7
15	1.75	15	30.9	45	2.10	15	25.7
16	2.10	15	25.7	46	1.85	15	29.2
17	1.48	15	36.5	47	1.37	15	39.4
18	1.37	15	39.4	48	1.74	15	31.0
19	1.70	15	31.8	49	1.45	15	37.2
20	1.46	15	37.0	50	1.39	15	38.8
21	1.37	15	39.4	51	1.42	15	38.0
22	1.58	15	34.2	52	1.75	15	30.9
23	1.32	15	40.9	53	1.61	15	33.5
24	1.37	15	39.4	54	1.78	15	30.3
25	2.15	15	25.1	55	1.47	15	36.7
26	1.96	15	27.6	56	1.68	15	32.1
27	1.65	15	32.7	57	1.39	15	38.8
28	2.10	15	25.7	58	1.47	15	36.7
29	1.78	15	30.3	59	1.98	15	27.3
30	1.65	15	32.7	60	1.78	15	30.3
							μ= 33.5
							σ= 4.44

Leyenda	
	Acceso Sur
	Acceso Este
	Acceso Norte
	Acceso Oeste

Parámetros	
n	60
Min	22.0
Max	40.91
Rango	18.87
K (#grupos)	7
W(amplitud)	2.70

Grupo	Límite Inferior	Límite Superior	MC	fi	Fi	hi	Hi
1	22.0	24.74	23.39	6	6	0.10	0.10
2	24.74	27.43	26.08	20	26	0.33	0.43
3	27.43	30.13	28.78	12	38	0.20	0.63
4	30.13	32.82	31.47	7	45	0.12	0.75
5	32.82	35.52	34.17	9	54	0.15	0.90
6	35.52	38.21	36.87	4	58	0.07	0.97
7	38.21	40.91	39.56	2	60	0.03	1.00

60

1

- Tipo de vehículo: Ómnibus

Tipo de Vehículo: Ómnibus							
Nº Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Nº Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)
1	1.45	15	37.2	31	1.49	15	36.2
2	1.59	15	34.0	32	1.24	15	43.5
3	1.35	15	40.0	33	1.56	15	34.6
4	1.27	15	42.5	34	1.24	15	43.5
5	1.21	15	44.6	35	1.38	15	39.1
6	1.24	15	43.5	36	1.57	15	34.4
7	1.35	15	40.0	37	1.34	15	40.3
8	1.15	15	47.0	38	1.36	15	39.7
9	1.47	15	36.7	39	1.19	15	45.4
10	1.68	15	32.1	40	1.75	15	30.9
11	1.62	15	33.3	41	1.34	15	40.3
12	1.49	15	36.2	42	1.76	15	30.7
13	1.27	15	42.5	43	1.87	15	28.9
14	1.23	15	43.9	44	1.94	15	27.8
15	1.45	15	37.2	45	1.58	15	34.2
16	1.38	15	39.1	46	1.45	15	37.2
17	1.49	15	36.2	47	1.35	15	40.0
18	1.05	15	51.4	48	1.54	15	35.1
19	1.15	15	47.0	49	1.87	15	28.9
20	1.24	15	43.5	50	1.14	15	47.4
21	1.53	15	35.3	51	1.27	15	42.5
22	1.24	15	43.5	52	1.45	15	37.2
23	1.25	15	43.2	53	1.78	15	30.3
24	1.28	15	42.2	54	1.37	15	39.4
25	1.75	15	30.9	55	1.61	15	33.5
26	1.34	15	40.3	56	1.47	15	36.7
27	1.80	15	30.0	57	1.87	15	28.9
28	1.70	15	31.8	58	1.80	15	30.0
29	1.90	15	28.4	59	1.14	15	47.4
30	1.45	15	37.2	60	1.21	15	44.6
							$\mu =$ 38.0
							$\sigma =$ 5.79

Leyenda	
	Acceso Sur
	Acceso Este
	Acceso Norte
	Acceso Oeste

Parámetros	
n	60
Min	27.8
Max	51.43
Rango	23.59
K (#grupos)	7
W(amplitud)	3.37

Grupo	Límite Inferior	Límite Superior	MC	fi	Fi	hi	Hi
1	27.8	31.21	29.52	5	5	0.17	0.17
2	31.21	34.58	32.89	8	13	0.27	0.43
3	34.58	37.95	36.26	5	18	0.17	0.60
4	37.95	41.32	39.63	4	22	0.13	0.73
5	41.32	44.69	43.00	4	26	0.13	0.87
6	44.69	48.06	46.37	2	28	0.07	0.93
7	48.06	51.43	49.74	2	30	0.07	1.00

30

1

- Tipo de vehículo: *Coaster*

Tipo de Vehículo: <i>Coaster</i>							
Nº Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Nº Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)
1				31			
2				32			
3				33			
4				34			
5				35			
6				36			
7				37			
8				38			
9				39			
10				40			
11				41			
12				42			
13				43			
14				44			
15				45			
16	1.51	15	35.8	46	2.10	15	25.7
17	1.42	15	38.0	47	1.56	15	34.6
18	1.87	15	28.9	48	2.14	15	25.2
19	1.96	15	27.6	49	1.26	15	42.9
20	2.12	15	25.5	50	1.89	15	28.6
21	1.47	15	36.7	51	1.47	15	36.7
22	1.68	15	32.1	52	1.98	15	27.3
23	1.94	15	27.8	53	1.37	15	39.4
24	1.62	15	33.3	54	1.45	15	37.2
25	1.27	15	42.5	55	1.67	15	32.3
26	1.35	15	40.0	56	1.40	15	38.6
27	1.45	15	37.2	57	1.27	15	42.5
28	1.92	15	28.1	58	1.68	15	32.1
29	1.34	15	40.3	59	1.64	15	32.9
30	1.74	15	31.0	60	1.32	15	40.9
							$\mu =$ 34.1
							$\sigma =$ 5.59

Leyenda	
	Acceso Sur
	Acceso Este
	Acceso Norte
	Acceso Oeste

Parámetros	
n	30
Min	25.2
Max	42.86
Rango	17.62
K (#grupos)	7
W(amplitud)	2.52

Grupo	Límite Inferior	Límite Superior	MC	fi	Fi	hi	Hi
1	25.2	27.75	26.49	6	6	0.20	0.20
2	27.75	30.27	29.01	5	11	0.17	0.37
3	30.27	32.79	31.53	7	18	0.23	0.60
4	32.79	35.30	34.05	5	23	0.17	0.77
5	35.30	37.82	36.56	2	25	0.07	0.83
6	37.82	40.34	39.08	3	28	0.10	0.93
7	40.34	42.86	41.60	2	30	0.07	1.00

30

1

- Tipo de vehículo: *Combi*

Tipo de Vehículo: Combi							
Nº Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	Nº Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)
1				31			
2				32			
3				33			
4				34			
5				35			
6				36			
7				37			
8				38			
9				39			
10				40			
11				41			
12				42			
13				43			
14				44			
15				45			
16	1.40	15	38.6	46	1.31	15	41.2
17	1.21	15	44.6	47	1.56	15	34.6
18	1.58	15	34.2	48	1.25	15	43.2
19	1.65	15	32.7	49	1.76	15	30.7
20	1.74	15	31.0	50	1.89	15	28.6
21	1.64	15	32.9	51	1.57	15	34.4
22	1.58	15	34.2	52	1.98	15	27.3
23	1.45	15	37.2	53	1.37	15	39.4
24	1.38	15	39.1	54	1.55	15	34.8
25	1.45	15	37.2	55	1.67	15	32.3
26	1.47	15	36.7	56	1.44	15	37.5
27	1.78	15	30.3	57	1.37	15	39.4
28	1.38	15	39.1	58	1.68	15	32.1
29	1.64	15	32.9	59	1.64	15	32.9
30	1.40	15	38.6	60	1.32	15	40.9
							$\mu=$ 35.6
							$\sigma=$ 4.28

Leyenda	
	Acceso Sur
	Acceso Este
	Acceso Norte
	Acceso Oeste

Parámetros	
n	30
Min	27.3
Max	44.63
Rango	17.36
K (#grupos)	7
W(amplitud)	2.48

Grupo	Límite Inferior	Límite Superior	MC	fi	Fi	hi	Hi
1	27.3	29.75	28.51	6	6	0.20	0.20
2	29.75	32.23	30.99	5	11	0.17	0.37
3	32.23	34.71	33.47	9	20	0.30	0.67
4	34.71	37.19	35.95	4	24	0.13	0.80
5	37.19	39.67	38.43	3	27	0.10	0.90
6	39.67	42.15	40.91	2	29	0.07	0.97
7	42.15	44.63	43.39	1	30	0.03	1.00

30

1

Anexo 4. Velocidad de peatones presentes en la zona de estudio
Fuente: Propia

• **Cruce Peatonal Sur**

Cruce Peatonal Sur							
N° Peatón	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)
1	3.24	5	5.6	31	4.10	5	4.4
2	4.42	5	4.1	32	3.85	5	4.7
3	3.58	5	5.0	33	3.46	5	5.2
4	4.51	5	4.0	34	4.12	5	4.4
5	3.85	5	4.7	35	3.78	5	4.8
6	3.42	5	5.3	36	4.27	5	4.2
7	3.67	5	4.9	37	3.67	5	4.9
8	4.21	5	4.3	38	3.25	5	5.5
9	4.36	5	4.1	39	3.84	5	4.7
10	3.56	5	5.1	40	3.62	5	5.0
11	3.49	5	5.2	41	3.47	5	5.2
12	4.12	5	4.4	42	3.58	5	5.0
13	3.74	5	4.8	43	3.14	5	5.7
14	4.62	5	3.9	44	3.10	5	5.8
15	3.89	5	4.6	45	3.56	5	5.1
16	3.31	5	5.4	46	3.46	5	5.2
17	4.25	5	4.2	47	4.57	5	3.9
18	3.65	5	4.9	48	3.83	5	4.7
19	4.23	5	4.3	49	3.94	5	4.6
20	3.27	5	5.5	50	3.82	5	4.7
21	3.91	5	4.6	51	4.16	5	4.3
22	4.24	5	4.2	52	3.27	5	5.5
23	3.56	5	5.1	53	3.61	5	5.0
24	3.78	5	4.8	54	3.45	5	5.2
25	4.15	5	4.3	55	3.81	5	4.7
26	3.17	5	5.7	56	3.49	5	5.2
27	3.43	5	5.2	57	3.24	5	5.6
28	3.24	5	5.6	58	3.10	5	5.8
29	3.78	5	4.8	59	3.68	5	4.9
30	4.21	5	4.3	60	3.48	5	5.2
							μ= 4.9
							σ= 0.51

Leyenda		Parámetros	
	Oeste - Este	n	60
	Este - Oeste	Min	3.9
		Max	5.81
		Rango	1.91
		K (#grupos)	7
		W(amplitud)	0.27

Grupo	Límite Inferior	Límite Superior	MC	fi	Fi	hi	Hi
1	3.9	4.17	4.03	8	8	0.13	0.13
2	4.17	4.44	4.31	13	21	0.22	0.35
3	4.44	4.71	4.58	8	29	0.13	0.48
4	4.71	4.99	4.85	12	41	0.20	0.68
5	4.99	5.26	5.12	8	49	0.13	0.82
6	5.26	5.53	5.40	6	55	0.10	0.92
7	5.53	5.81	5.67	5	60	0.08	1.00

60

1

- **Cruce Peatonal Este**

Cruce Peatonal Este							
N° Peatón	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)
1	3.21	5	5.6	31	4.02	5	4.5
2	4.53	5	4.0	32	3.58	5	5.0
3	3.49	5	5.2	33	3.74	5	4.8
4	4.41	5	4.1	34	4.22	5	4.3
5	3.96	5	4.5	35	3.85	5	4.7
6	3.33	5	5.4	36	4.24	5	4.2
7	3.58	5	5.0	37	3.45	5	5.2
8	4.32	5	4.2	38	3.53	5	5.1
9	4.47	5	4.0	39	3.91	5	4.6
10	3.58	5	5.0	40	3.25	5	5.5
11	3.51	5	5.1	41	3.64	5	4.9
12	4.21	5	4.3	42	3.62	5	5.0
13	3.47	5	5.2	43	3.24	5	5.6
14	4.73	5	3.8	44	3.20	5	5.6
15	3.58	5	5.0	45	3.65	5	4.9
16	2.61	5	6.9	46	3.65	5	4.9
17	4.36	5	4.1	47	4.25	5	4.2
18	3.70	5	4.9	48	3.95	5	4.6
19	3.33	5	5.4	49	3.74	5	4.8
20	3.38	5	5.3	50	3.44	5	5.2
21	4.05	5	4.4	51	3.82	5	4.7
22	4.35	5	4.1	52	3.16	5	5.7
23	3.56	5	5.1	53	3.55	5	5.1
24	2.88	5	6.3	54	3.20	5	5.6
25	3.25	5	5.5	55	3.12	5	5.8
26	4.17	5	4.3	56	3.27	5	5.5
27	3.44	5	5.2	57	2.65	5	6.8
28	3.42	5	5.3	58	3.15	5	5.7
29	3.87	5	4.7	59	3.59	5	5.0
30	4.31	5	4.2	60	3.67	5	4.9

$\mu =$ 5.0
 $\sigma =$ 0.64

Leyenda	
	Oeste - Este
	Este - Oeste

Parámetros	
n	60
Min	3.8
Max	6.90
Rango	3.09
K (#grupos)	7
W(amplitud)	0.44

Grupo	Límite Inferior	Límite Superior	MC	fi	Fi	hi	Hi
1	3.8	4.25	4.03	8	8	0.13	0.13
2	4.25	4.69	4.47	13	21	0.22	0.35
3	4.69	5.13	4.91	8	29	0.13	0.48
4	5.13	5.57	5.35	12	41	0.20	0.68
5	5.57	6.01	5.79	8	49	0.13	0.82
6	6.01	6.45	6.23	6	55	0.10	0.92
7	6.45	6.90	6.68	5	60	0.08	1.00

60

1

- **Cruce Peatonal Norte**

Cruce Peatonal Norte							
N° Peatón	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)
1	2.25	5	8.0	31	3.25	5	5.5
2	3.47	5	5.2	32	3.58	5	5.0
3	3.28	5	5.5	33	3.52	5	5.1
4	4.37	5	4.1	34	4.16	5	4.3
5	3.56	5	5.1	35	3.96	5	4.5
6	3.21	5	5.6	36	4.37	5	4.1
7	3.28	5	5.5	37	3.64	5	4.9
8	4.25	5	4.2	38	3.25	5	5.5
9	4.43	5	4.1	39	3.94	5	4.6
10	3.47	5	5.2	40	3.14	5	5.7
11	3.28	5	5.5	41	3.58	5	5.0
12	4.31	5	4.2	42	3.31	5	5.4
13	3.57	5	5.0	43	3.25	5	5.5
14	4.65	5	3.9	44	3.65	5	4.9
15	3.42	5	5.3	45	3.21	5	5.6
16	4.21	5	4.3	46	3.64	5	4.9
17	3.65	5	4.9	47	4.13	5	4.4
18	3.45	5	5.2	48	3.98	5	4.5
19	3.17	5	5.7	49	3.54	5	5.1
20	3.28	5	5.5	50	3.47	5	5.2
21	4.15	5	4.3	51	3.25	5	5.5
22	4.35	5	4.1	52	3.14	5	5.7
23	3.49	5	5.2	53	3.64	5	4.9
24	2.93	5	6.1	54	3.31	5	5.4
25	3.25	5	5.5	55	3.68	5	4.9
26	4.27	5	4.2	56	3.98	5	4.5
27	3.54	5	5.1	57	3.21	5	5.6
28	3.81	5	4.7	58	3.65	5	4.9
29	3.67	5	4.9	59	3.17	5	5.7
30	3.52	5	5.1	60	3.81	5	4.7
							$\mu=$ 5.1
							$\sigma=$ 0.66

Leyenda	
	Oeste - Este
	Este - Oeste

Parámetros	
n	60
Min	3.9
Max	8.00
Rango	4.13
K (#grupos)	7
W(amplitud)	0.59

Grupo	Límite Inferior	Límite Superior	MC	fi	Fi	hi	Hi
1	3.9	4.46	4.17	8	8	0.13	0.13
2	4.46	5.05	4.76	13	21	0.22	0.35
3	5.05	5.64	5.35	8	29	0.13	0.48
4	5.64	6.23	5.94	12	41	0.20	0.68
5	6.23	6.82	6.53	8	49	0.13	0.82
6	6.82	7.41	7.12	6	55	0.10	0.92
7	7.41	8.00	7.71	5	60	0.08	1.00

60

1

- **Cruce Peatonal Oeste**

Cruce Peatonal Oeste							
N° Peatón	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)	N° Vehículo	Tiempo (s)	Distancia (m)	Velocidad (km/h)
1	3.15	5	5.7	31	3.05	5	5.9
2	3.27	5	5.5	32	2.94	5	6.1
3	3.68	5	4.9	33	3.16	5	5.7
4	3.47	5	5.2	34	3.28	5	5.5
5	3.24	5	5.6	35	3.54	5	5.1
6	3.04	5	5.9	36	3.64	5	4.9
7	3.17	5	5.7	37	3.27	5	5.5
8	4.35	5	4.1	38	3.45	5	5.2
9	4.21	5	4.3	39	4.12	5	4.4
10	3.71	5	4.9	40	3.67	5	4.9
11	3.28	5	5.5	41	3.51	5	5.1
12	4.15	5	4.3	42	3.29	5	5.5
13	4.21	5	4.3	43	3.54	5	5.1
14	3.62	5	5.0	44	3.64	5	4.9
15	3.95	5	4.6	45	3.15	5	5.7
16	3.27	5	5.5	46	3.56	5	5.1
17	3.94	5	4.6	47	4.06	5	4.4
18	3.61	5	5.0	48	4.01	5	4.5
19	3.64	5	4.9	49	3.21	5	5.6
20	3.15	5	5.7	50	3.34	5	5.4
21	3.74	5	4.8	51	3.67	5	4.9
22	3.61	5	5.0	52	3.64	5	4.9
23	3.06	5	5.9	53	3.11	5	5.8
24	2.97	5	6.1	54	3.73	5	4.8
25	3.17	5	5.7	55	3.68	5	4.9
26	3.58	5	5.0	56	3.39	5	5.3
27	3.67	5	4.9	57	3.40	5	5.3
28	3.45	5	5.2	58	3.65	5	4.9
29	3.70	5	4.9	59	3.29	5	5.5
30	3.31	5	5.4	60	3.81	5	4.7
							$\mu=$ 5.2
							$\sigma=$ 0.48

Leyenda		Parámetros	
	Oeste - Este	n	60
	Este - Oeste	Min	4.1
		Max	6.12
		Rango	1.98
		K (#grupos)	7
		W(amplitud)	0.28

Grupo	Límite Inferior	Límite Superior	MC	fi	Fi	hi	Hi
1	4.1	4.42	4.28	8	8	0.13	0.13
2	4.42	4.70	4.56	13	21	0.22	0.35
3	4.70	4.99	4.85	8	29	0.13	0.48
4	4.99	5.27	5.13	12	41	0.20	0.68
5	5.27	5.56	5.41	8	49	0.13	0.82
6	5.56	5.84	5.70	6	55	0.10	0.92
7	5.84	6.12	5.98	5	60	0.08	1.00

60

1

Anexo 5. Tiempos asignados del control policial
Fuente: Propia

• Control policial – horario pico “mañana”

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección		Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)										
Fecha		Lunes, 04 de noviembre del 2019										
Turno		Hora Pico Mañana (7:00 - 8:00 am)										
Aforador		Eduardo Mariluz / Patricio Luna / Mauricio Mariluz										
HORARIO	ACCESO NORTE (1)	OVALO - NORTE (2)	ACCESO OESTE (3)	OVALO - OESTE (4)	PANAMERICANA (5)	AUXILIAR PANAMERICANA (6)						
7:00 - 7:01	0.85	0.83										
7:01 - 7:02	13.50		5.30	5.30	11.70	11.70						
7:02 - 7:03		4.55										
7:03 - 7:04												
7:04 - 7:05												
7:05 - 7:06												
7:06 - 7:07												
7:07 - 7:08		3.60	5.30	5.30								
7:08 - 7:09												
7:09 - 7:10												
7:10 - 7:11												
7:11 - 7:12												
7:12 - 7:13			4.60	4.60								
7:13 - 7:14		6.50			3.50	3.50						
7:14 - 7:15	0.75											
7:15 - 7:16	14.40		5.20	5.20	12.60	12.60						
7:16 - 7:17		0.60										
7:17 - 7:18												
7:18 - 7:19												
7:19 - 7:20		3.85										
7:20 - 7:21			5.10	5.10								
7:21 - 7:22												
7:22 - 7:23												
7:23 - 7:24												
7:24 - 7:25		3.00	4.00	4.00								
7:25 - 7:26												
7:26 - 7:27												
7:27 - 7:28												
7:28 - 7:29												
7:29 - 7:30	1.05				3.20	3.20						
7:30 - 7:31	13.85	7.10	4.80	4.80	11.20	11.20						
7:31 - 7:32												
7:32 - 7:33												
7:33 - 7:34												
7:34 - 7:35		0.80										
7:35 - 7:36			5.30	5.30								
7:36 - 7:37		4.30										
7:37 - 7:38												
7:38 - 7:39												
7:39 - 7:40												
7:40 - 7:41		3.30	5.10	5.10								
7:41 - 7:42												
7:42 - 7:43												
7:43 - 7:44												
7:44 - 7:45	0.80				2.90	2.90						
7:45 - 7:46	14.90	6.40	5.20	5.20	12.50	12.50						
7:46 - 7:47												
7:47 - 7:48												
7:48 - 7:49												
7:49 - 7:50												
7:50 - 7:51		1.10										
7:51 - 7:52			5.00	5.00								
7:52 - 7:53		4.60										
7:53 - 7:54												
7:54 - 7:55												
7:55 - 7:56												
7:56 - 7:57		3.40	5.00	5.00								
7:57 - 7:58												
7:58 - 7:59												
7:59 - 8:00	0.70	1.70			2.40	2.40						
PROMEDIO (min.)		14.16	1er	0.83		5.00		5.00		3.00		12.00
		0.83	1er	4.33		5.00		5.00		12.00		3.00
			2do	3.33								
			2do	6.67								

- Control policial – horario pico “mediodía”

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA INTELIGENTE RAMP METER"
Intersección	Av. Eduardo de Habich / Av. Alfredo Mendiola (Panamericana Norte Km. 8)											
Fecha	Lunes, 04 de noviembre del 2019											
Turno	Hora Pico Mediodía (12:00 - 13:00 pm)											
Aforador	Eduardo Mariluz / Patricio Luna / Mauricio Mariluz											
HORARIO	ACCESO NORTE (1)	OVALO - NORTE (2)	ACCESO OESTE (3)	OVALO - OESTE (4)	PANAMERICANA (5)	AUXILIAR PANAMERICANA (6)						
7:00 - 7:01	4.40	2.30	5.10	5.10	8.30	8.30						
7:01 - 7:02												
7:02 - 7:03												
7:03 - 7:04	5.30	2.55	4.45	4.45	3.20	3.20						
7:04 - 7:05												
7:05 - 7:06												
7:06 - 7:07	5.40	2.40	5.50	5.50	8.10	8.10						
7:07 - 7:08												
7:08 - 7:09												
7:09 - 7:10	4.25	2.60	5.25	5.25	3.45	3.45						
7:10 - 7:11												
7:11 - 7:12												
7:12 - 7:13	4.90	5.55	4.40	4.40	6.20	6.20						
7:13 - 7:14												
7:14 - 7:15												
7:15 - 7:16	4.40	2.55	5.40	5.40	2.50	2.50						
7:16 - 7:17												
7:17 - 7:18												
7:18 - 7:19	4.75	5.80	5.20	5.20	7.30	7.30						
7:19 - 7:20												
7:20 - 7:21												
7:21 - 7:22	4.65	2.50	4.70	4.70	3.30	3.30						
7:22 - 7:23												
7:23 - 7:24												
7:24 - 7:25	4.80	5.40	4.60	4.60	8.70	8.70						
7:25 - 7:26												
7:26 - 7:27												
7:27 - 7:28	5.50	2.60	4.80	4.80	2.20	2.20						
7:28 - 7:29												
7:29 - 7:30												
7:30 - 7:31	5.40	2.75	4.80	4.80	2.90	2.90						
7:31 - 7:32												
7:32 - 7:33												
7:33 - 7:34	5.30	2.25	4.80	4.80	2.20	2.20						
7:34 - 7:35												
7:35 - 7:36												
7:36 - 7:37	5.50	2.25	4.80	4.80	2.20	2.20						
7:37 - 7:38												
7:38 - 7:39												
7:39 - 7:40	4.75	2.25	5.40	5.40	2.50	2.50						
7:40 - 7:41												
7:41 - 7:42												
7:42 - 7:43	5.35	2.60	4.70	4.70	3.30	3.30						
7:43 - 7:44												
7:44 - 7:45												
7:45 - 7:46	4.60	5.40	4.60	4.60	8.70	8.70						
7:46 - 7:47												
7:47 - 7:48												
7:48 - 7:49	5.50	2.60	4.80	4.80	2.20	2.20						
7:49 - 7:50												
7:50 - 7:51												
7:51 - 7:52	5.40	2.75	4.80	4.80	2.90	2.90						
7:52 - 7:53												
7:53 - 7:54												
7:54 - 7:55	5.30	2.25	4.80	4.80	2.20	2.20						
7:55 - 7:56												
7:56 - 7:57												
7:57 - 7:58	5.50	2.25	4.80	4.80	2.20	2.20						
7:58 - 7:59												
7:59 - 8:00												
PROMEDIO (min.)		5.00	1er	2.50		5.00		5.00		3.00		7.00
		5.00	1er	2.50		5.00		5.00		7.00		3.00
			2do	0.00								
			2do	5.00								

Anexo 6. Lista de verificaciones presentes en la zona de estudio
Fuente: Propia

"PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS TIEMPOS DE VIAJE VEHICULAR EN EL ÓVALO UBICADO EN LA INTERSECCIÓN DE LA AV. ALFREDO MENDIOLA - AV. EDUARDO DE HABICH A TRAVÉS DEL SISTEMA DE SEMAFORIZACIÓN INTELIGENTE RAMP METER"			
ITEM	DESCRIPCIÓN	SI	NO	N.A.	OBSERVACIONES
1	ENTORNO Y ACCESOS				
1.1	¿El área que abarca la zona de estudio es predominantemente comercial?	X			Entre lo más destacados se encuentra la Municipalidad de San Martín de Porres, el Banco BBVA Continental, la Reniec, Mercado Santa Rosa, restaurantes, y negocios varios.
1.2	¿Los accesos vehiculares se encuentran separados de los peatonales?	X			Las veredas peatonales adyacentes, así como los cruceros peatonales se encuentran a un nivel diferente de la calzada.
1.3	¿Los accesos y salidas del óvalo tienen un ancho de carril constante?	X			Los accesos Norte y Sur tienen dos carriles, mientras que los accesos Este y Oeste tienen tres carriles. No obstante, todas las salidas del óvalo tienen 3 carriles con un ancho de 3.50m.
1.4	¿Los carriles del óvalo tienen un ancho de carril constante mayor a 3.00 metros?	X			El ancho de los carriles interiores del óvalo es 3.50m, lo que en suma se obtiene una calzada con ancho de 17.50m.
1.5	¿La publicidad presente en la zona de estudio distrae al usuario mientras conduce?			X	Es preciso realizar un muestreo a través de encuestas dirigadas a los usuarios; peatones y vehículos.
1.6	¿Las vías auxiliares tienen un ancho de carril igual a los accesos principales del óvalo?		X		Por lo general, el ancho de carril de los accesos principales es mayor que el ancho de carril de las vías auxiliares.
1.7	¿Están las vías auxiliares separadas de los peatones?	X			Las veredas peatonales adyacentes, así como los cruceros peatonales se encuentran a un nivel diferente de la calzada.
2	CIRCULACIÓN Y CRUCES PEATONALES				
2.1	¿Es el ancho de las veredas adecuado para la demanda peatonal?			X	En promedio, el ancho de las veredas y cruces peatonal es de 5 metros y resulta insuficiente para flujos peatonales altos en ciertos horarios. Sin embargo, estos flujos suelen ser desbalanceados lo que origina cruces peatonales con bajo tránsito.
2.2	¿Existen rampas peatonales en la zona de estudio?	X			Las rampas peatonales se ubican en las esquinas de las veredas.
2.3	Si la respuesta anterior es afirmativa; ¿Son adecuadas para la circulación de usuarios con discapacidad?	X			Las rampas peatonales tienen la pendiente mínima que asegura la circulación de un individuo con silla de ruedas.
2.4	¿Las veredas y cruces peatonales se encuentran libre de obstáculos (árboles, postes, letreros, etc) para que los peatones no se vean obligados a transitar por la calzada?		X		Por lo general, los postes de alumbrado público obstruye el flujo de peatones. También, ciertos negocios de comida suelen instalar sus letreros en medio de la vereda para atraer la atención del peatón.
2.5	¿Existen vendedores ambulantes en los espacios peatonales?	X			
2.6	¿Existe ciclovía sobre las veredas y cruces peatonales?	X			
2.7	Si la respuesta anterior es afirmativa; ¿Se respeta el espacio segregado para ciclistas?		X		Por lo general, peatones y ciclistas comparten el mismo espacio destinado para el tránsito peatonal, a pesar de existir un carril con demarcación segregada para ciclistas.
2.8	¿Existen puentes peatonales en la zona de estudio?	X			
2.9	¿La superficie de las veredas se encuentran en buen estado?	X			
2.10	¿Se estacionan vehículos motorizados sobre los espacios peatonales?		X		
2.11	¿Se encuentra los cruceros peatonales a nivel de la calzada?		X		
2.12	¿Existen áreas de espera y encuentro?	X			
2.13	¿Existe conflicto entre peatones y vehículos en el sistema?	X			Los vehículos que intervienen en el sistema, por lo general, no ceden el paso a los peatones que aguardan sobre la línea de cebra. Los peatones suelen esperar hasta por 5 minutos para cruzar la calzada.
2.14	¿La ubicación de las líneas de cebra corresponde a las líneas de deseo de los peatones?		X		Los peatones suelen desviar su recorrido por la ruta más corta. Es decir, en un crucero peatonal, realizan su ruta en diagonal en vez de realizar el movimiento siguiendo las líneas de cebra.
2.15	Si los vehículos se encuentran detenidos, ¿cruzan los peatones entre los vehículos?	X			Es muy común ver esta escena en los accesos Norte y salida Sur, cuando se generan grandes atascos dado el congestionamiento vehicular.
2.16	En el tiempo de espera antes de cruzar la vía ¿se acumula bastantes peatones en un crucero peatonal?	X			En el horario pico, suele acumularse hasta 10 usuarios entre peatones y ciclistas, en cada lado del crucero peatonal.
2.17	¿Los peatones arriesgan sus vidas al cruzar la vía no por los cruces peatonales?	X			Realizan esta temeraria maniobra sin considerar la velocidad en la que ciertos vehículos circulan.
2.18	¿El desplazamiento de los peatones es fluido en el sistema?			X	Los cruceros peatonales ubicados en los accesos y salidas de mayor flujo vehicular por lo general relentizan el desplazamiento de peatones. Caso contrario, el desplazamiento se torna fluido en los accesos de menor demanda.

3 CIRCULACIÓN VEHICULAR					
3.1	¿El asfalto se encuentra en buen estado físico?	X			
3.2	¿Se presentan conflictos entre los tipos de vehículos?	X			Mayormente el conflicto se genera entre los vehículos pesados, como; camiones y buses de transporte público con los vehículos livianos.
3.3	¿Se encuentran obstáculos sobre la calzada?	X			Es común ver a cualquier horario vehículos estacionados sobre la calzada. Estos ocupan carriles ilegalmente obstaculizando el tránsito fluido de vehículos.
3.4	¿Existe vehículos de transporte pesado?	X			
3.5	¿Existe presencia de paraderos informales?	X			En el acceso Este del óvalo antes del cruce peatonal se ha generado un paradero informal de coasters. Los fiscalizadores de tránsito suelen estar interviniendo constantemente para desalojar tales vehículos.
3.6	¿Los anchos y número de carriles son idóneos para el flujo y composición vehicular?		X		Al existir un alto volumen de transporte pesado; estos requieren de un radio de giro y ancho de carril mayor al existente.
3.7	¿Circulan ciclistas sobre las vías?	X			Con poca frecuencia, pero suelen observarse indistintamente del horario.
3.8	¿La velocidad de los vehículos es uniforme a lo largo de su recorrido?		X		Los vehículos que ingresan al óvalo, por lo general, realizan maniobras de aceleración y desaceleración muy abruptas.
3.9	¿Los conductores respetan la normativa de tránsito para circular a través de un óvalo?		X		En la ciudad de Lima y en casi todo el Perú, la cultura de tránsito y civismo es muy pobre entre los usuarios. Además, el nivel de agresividad durante el manejo es alto.
3.10	¿Los paraderos de transporte público son lo suficientemente grandes para albergar a los usuarios que esperan el bus?		X		En determinadas horas "pico", existe asinamiento de usuarios sobre los paraderos. Al encontrarse el tránsito detenido por el congestionamiento vehicular, los buses tardan más en arivar al paradero y poder recoger pasajeros.
3.11	¿Existe conflicto vehicular en la inmediaciones de un paradero de transporte público?	X			Además de permanecer largos minutos esperando que suban más pasajeros, se suma la acción irresponsable de adelantar y ocupar carriles no destinados a paraderos.
3.12	¿Existen puntos "negros" generadores de accidentes de tránsito al interior del óvalo?	X			Existen cuatro puntos "negros" al interior del óvalo. Esto se ubican en las intersecciones del flujo circulante por los carriles interiores del óvalo y el flujo que ingresa por los accesos.
3.13	¿Existe con frecuencia vehículos averiados o que hayan sufrido un desperfecto mecánico sobre la calzada?		X		
3.14	¿Los conductores dan pase a los peatones?		X		
3.15	¿Existen vendedores ambulantes sobre la calzada?		X		
4 ESTACIONAMIENTOS					
4.1	¿Existen estacionamientos en la zona estudiada?		X		
4.2	Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿Son estacionamientos perpendiculares, diagonal o paralelos? Indicar en observaciones el tipo de estacionamiento.				
4.3	Si la respuesta es negativa del ítem 4.1 es negativa; ¿invaden carriles de las vías analizadas?	X			Los comercios son los principales focos que atraen vehículos para estacionarse. Al no existir estacionamientos, utilizan un carril de la calzada para que ocupen los vehículos. Esta situación se repite a cualquier hora.
4.4	Si la pregunta anterior es afirmativa; ¿ocupan los carriles como estacionamiento por más de una hora?	X			
4.5	¿Los vehículos estacionados sobre la calzada llegan a bloquear los espacios reservados para el transporte público?	X			Los peatones se ven obligados a ubicarse sobre la vía, ya que, al encontrarse bloqueado los paraderos, los buses recogen pasajeros sobre el carril en el que se encuentran.
4.6	¿Se han producido robos a los vehículos estacionados sobre la calzada?	X			
4.7	¿La ocupación de carriles como estacionamiento genera congestión vehicular?	X			Aumenta el congestionamiento vehicular dado que al reducirse un carril, la capacidad de la vía disminuye y ello genera más colas.
5 SEÑALIZACIÓN DE TRÁNSITO					
5.1	¿Las señales de tránsito verticales se encuentran en buen estado?	X			
5.2	¿Las señales de tránsito horizontales, aquellas que están demarcadas con pintura blanca sobre el pavimento, se encuentran en buen estado?		X		Por lo general, la demarcación de señales horizontales se encuentran deterioradas o despintadas.
5.3	¿Existe presencia de semáforos para vehículos?	X			Semáforos que emiten luz ámbar intermitente.
5.4	Si la pregunta anterior es afirmativa, ¿regula el tráfico de manera óptima?		X		No se cumple la funcionalidad de la luz ámbar intermitente, el cual es advertir al usuario que ingrese a la intersección con precaución.
5.5	¿Existe presencia de semáforos para peatones?		X		
5.6	Si la pregunta del ítem 5.3 es afirmativa; ¿Se encuentran correctamente ubicados los semáforos?		X		
5.7	En general, ¿la señalización es eficiente?		X		Por lo general, las señales de tránsito se encuentran deterioradas y en el peor de los casos, algunos avisos de señales verticales se encuentran sustraídas. Asimismo, los semáforos son ignorados por los usuarios.

Anexo 7. Calibración vehicular
Fuente: Propia

- Validación de Velocidad vehicular de acceso al óvalo - Campo

Velocidad Vehicular de Acceso al Óvalo - Campo					
Nº	Intervalo de tiempo (segundos)	Acceso Sur	Acceso Este	Acceso Norte	Acceso Oeste
1	0 - 3600	18.50	16.95	24.21	22.98
2	0 - 3600	17.55	16.23	26.23	24.25
3	0 - 3600	16.57	17.78	25.47	23.63
4	0 - 3600	18.21	16.21	24.89	23.47
5	0 - 3600	17.36	15.89	25.12	23.84
6	0 - 3600	19.56	15.84	24.80	23.75
7	0 - 3600	18.23	16.00	26.36	23.86
8	0 - 3600	17.45	16.98	25.47	24.91
9	0 - 3600	17.33	15.23	25.00	24.62
10	0 - 3600	19.94	17.70	24.78	25.52
11	0 - 3600	17.52	17.12	23.98	23.31
12	0 - 3600	18.95	16.85	23.58	25.47
13	0 - 3600	18.50	15.44	24.51	22.34
14	0 - 3600	19.20	16.10	25.65	27.45
15	0 - 3600	17.53	16.50	24.74	23.54
16	0 - 3600	17.78	17.14	23.89	23.78
17	0 - 3600	18.23	17.66	26.58	23.57
18	0 - 3600	19.45	15.57	25.47	23.85
19	0 - 3600	20.62	14.88	25.69	23.24
20	0 - 3600	17.21	16.21	24.35	22.41
21	0 - 3600	19.85	15.36	24.48	22.86
22	0 - 3600	17.42	16.22	24.33	23.84
23	0 - 3600	17.44	16.84	25.27	24.92
24	0 - 3600	17.77	15.87	26.38	25.10
25	0 - 3600	17.25	16.54	25.43	24.74
26	0 - 3600	18.45	15.33	24.81	23.68
27	0 - 3600	19.34	16.77	25.34	22.52
28	0 - 3600	17.96	16.24	26.24	23.79
29	0 - 3600	19.24	16.28	25.98	22.51
30	0 - 3600	20.56	16.00	27.34	23.25
31	0 - 3600	19.35	16.39	25.10	25.28
32	0 - 3600	17.21	16.22	25.74	23.97
33	0 - 3600	19.55	18.24	26.37	23.00
34	0 - 3600	18.27	17.45	25.96	25.01
35	0 - 3600	19.63	18.55	26.34	23.67
36	0 - 3600	18.05	18.71	24.50	24.65
37	0 - 3600	19.26	16.43	27.31	23.47
38	0 - 3600	17.88	17.47	26.78	23.59
39	0 - 3600	18.37	18.25	25.63	23.48
40	0 - 3600	17.84	17.44	26.47	24.08
41	0 - 3600	17.65	18.24	25.94	23.31
42	0 - 3600	17.85	18.36	26.38	22.05
43	0 - 3600	18.45	17.85	25.14	22.38
44	0 - 3600	18.36	16.75	26.34	23.20
45	0 - 3600	17.24	16.47	25.75	24.70
46	0 - 3600	18.67	16.83	25.21	25.38
47	0 - 3600	17.21	16.68	26.35	22.14
48	0 - 3600	18.45	16.24	23.87	23.34
49	0 - 3600	19.75	17.39	25.74	22.41
50	0 - 3600	18.62	16.45	25.47	21.78
51	0 - 3600	18.28	17.58	26.41	23.85
52	0 - 3600	17.22	16.44	24.87	21.05
53	0 - 3600	18.59	16.77	26.56	22.34
54	0 - 3600	19.00	17.55	25.94	23.04
55	0 - 3600	17.24	17.96	24.38	24.74
56	0 - 3600	18.63	17.41	26.47	22.17
57	0 - 3600	18.85	16.98	28.10	23.14
58	0 - 3600	19.78	17.34	25.45	25.87
59	0 - 3600	17.74	17.87	25.46	23.64
60	0 - 3600	18.66	17.65	27.65	24.69
61	0 - 3600	18.23	17.21	25.54	25.61
62	0 - 3600	19.10	17.54	24.21	23.54
63	0 - 3600	18.64	18.74	26.45	24.85
64	0 - 3600	18.20	18.63	27.99	25.61
65	0 - 3600	17.43	17.25	26.34	24.31
66	0 - 3600	17.73	18.44	27.64	23.75
67	0 - 3600	18.74	18.65	26.23	23.26
68	0 - 3600	18.25	16.67	27.45	24.31
69	0 - 3600	17.20	16.24	25.68	22.14
70	0 - 3600	17.25	17.21	26.91	21.34
Promedio		18.33	16.95	25.69	23.73
Desv. Est.		0.90	0.94	1.03	1.17
Número de muestras				70	

- Validación de Velocidad vehicular de acceso al óvalo – *Vissim 9.0*

Velocidad Vehicular de Acceso al Óvalo - Vissim 9.0																	
Numero de corrida	Numero de semilla	Intervalo de tiempo (segundos)	Parámetros de Comportamiento Vehicular			Acceso Sur			Acceso Este			Acceso Norte			Acceso Oeste		
			Ax	Bdd	bmul	Media	Desv. Est.	Cantidad de vehículos	Media	Desv. Est.	Cantidad de vehículos	Media	Desv. Est.	Cantidad de vehículos	Media	Desv. Est.	Cantidad de vehículos
1	250	600 - 3600	2.00	3.00	4.00	20.25	2.24	860	18.09	3.24	684	25.52	3.89	92	22.30	1.38	71
2	251	600 - 3600	2.00	3.00	3.50	17.94	4.09	848	17.97	3.11	672	24.46	5.29	77	23.88	3.03	849
3	252	600 - 3600	1.50	3.00	3.50	18.04	3.42	917	17.04	3.50	659	25.62	4.79	96	23.34	2.96	796
4	253	600 - 3600	1.50	2.50	3.50	17.91	3.73	882	17.20	3.29	631	24.29	5.49	94	23.71	3.02	869
5	254	600 - 3600	1.50	2.00	3.50	17.99	3.79	887	16.83	3.81	656	25.47	4.21	98	23.44	2.52	799
6	255	600 - 3600	1.50	1.50	3.50	19.81	2.77	866	18.39	2.74	633	25.74	3.60	106	23.65	3.12	315
7	256	600 - 3600	1.00	1.50	3.40	17.95	3.48	853	17.77	3.06	644	25.30	4.07	107	23.50	2.76	807
8	257	600 - 3600	1.00	1.40	3.40	17.59	3.83	855	17.50	3.76	614	25.03	5.18	118	23.98	3.18	867
9	258	600 - 3600	0.50	1.40	3.30	18.11	3.55	874	18.12	3.29	661	25.27	5.13	100	23.70	2.73	800
10	259	600 - 3600	0.50	1.30	3.25	17.97	3.43	840	17.70	2.86	672	25.65	3.93	97	23.72	2.77	826
11	260	600 - 3600	0.45	1.20	3.25	18.06	3.76	889	17.02	3.55	663	25.65	4.25	109	23.62	2.82	800
12	261	600 - 3600	0.45	1.00	3.20	18.31	2.79	870	17.64	3.93	614	25.24	4.27	106	23.86	3.02	787
13	262	600 - 3600	0.43	1.15	3.23	19.91	2.89	838	18.35	3.04	665	24.96	4.37	91	23.09	1.69	326
14	263	600 - 3600	0.25	1.00	2.80	18.10	3.22	900	17.73	3.13	649	25.02	4.11	90	24.06	2.77	903
15	264	600 - 3600	0.25	0.50	2.50	18.43	3.47	867	17.57	2.99	690	24.95	4.51	109	23.49	2.69	822
16	265	600 - 3600	0.25	0.25	1.60	18.65	3.23	876	17.82	3.26	629	25.01	4.71	83	23.54	2.77	830
17	266	600 - 3600	0.15	0.20	1.25	19.11	2.61	872	17.80	2.78	648	24.99	4.12	109	23.43	2.67	801
18	267	600 - 3600	0.10	0.15	1.20	19.03	3.06	929	17.52	2.95	599	25.54	4.02	100	23.81	2.81	817
19	268	600 - 3600	0.10	0.14	1.18	18.73	2.94	842	17.71	3.78	614	25.18	4.32	106	23.87	3.03	816
20	269	600 - 3600	0.10	0.13	1.15	18.61	3.03	852	18.30	2.93	649	25.83	4.69	95	23.61	2.82	861

Anexo 8. Calibración peatonal
Fuente: Propia

• Validación de Tiempo de viaje peatonal - Campo

Tiempos de Viaje Peatonal (seg) - Campo									
N°	Intervalo de tiempo (segundos)	Cruce Peatonal Sur		Cruce Peatonal Este		Cruce Peatonal Norte		Cruce Peatonal Oeste	
		Oeste - Este	Este - Oeste	Norte - Sur	Sur - Norte	Oeste - Este	Este - Oeste	Norte - Sur	Sur - Norte
1	0 - 3600	71.50	72.30	54.70	58.50	71.20	60.50	66.20	71.00
2	0 - 3600	73.20	71.50	53.20	57.20	72.50	61.40	67.10	72.70
3	0 - 3600	72.40	70.60	54.30	56.40	70.30	62.50	67.30	72.30
4	0 - 3600	71.20	71.80	52.10	57.70	69.70	61.30	66.20	70.40
5	0 - 3600	72.30	72.20	52.00	58.20	71.60	60.50	66.50	74.60
6	0 - 3600	71.50	70.70	53.40	59.00	72.20	61.40	68.20	71.80
7	0 - 3600	72.30	71.40	54.20	55.40	70.50	59.50	65.40	72.10
8	0 - 3600	72.50	72.80	53.90	58.90	71.70	62.70	67.20	71.50
9	0 - 3600	73.20	71.70	53.70	59.40	72.10	61.80	66.50	72.40
10	0 - 3600	72.40	72.20	51.60	57.20	71.50	61.00	65.80	72.80
11	0 - 3600	72.00	71.00	52.40	56.70	69.80	62.70	67.50	72.50
12	0 - 3600	73.90	72.30	53.90	56.20	70.00	60.40	69.50	72.30
13	0 - 3600	72.20	70.80	54.30	58.80	71.10	60.80	66.30	71.40
14	0 - 3600	72.40	71.60	53.50	57.40	70.70	61.20	68.80	72.10
15	0 - 3600	72.50	70.30	54.20	57.60	71.20	61.70	66.50	73.50
16	0 - 3600	71.50	72.80	53.70	59.20	72.40	62.30	68.80	71.10
17	0 - 3600	72.50	70.40	54.50	57.10	70.80	60.40	70.10	74.60
18	0 - 3600	71.10	72.30	53.40	59.80	71.50	60.40	68.50	70.00
19	0 - 3600	73.60	70.10	53.70	58.70	70.40	61.50	66.40	72.20
20	0 - 3600	70.70	70.10	52.00	59.80	71.60	61.20	66.80	72.50
21	0 - 3600	71.60	71.50	57.40	58.20	72.80	62.40	69.50	73.30
22	0 - 3600	72.50	70.40	53.50	59.40	72.50	61.50	67.50	72.20
23	0 - 3600	71.50	70.30	53.90	58.40	71.40	67.50	65.10	73.10
24	0 - 3600	72.30	75.70	55.30	57.60	70.50	60.20	68.80	70.00
25	0 - 3600	71.60	71.20	52.40	58.50	69.80	62.70	67.20	72.50
26	0 - 3600	71.20	72.50	52.50	59.10	71.20	61.40	66.70	77.20
27	0 - 3600	73.00	70.70	57.80	56.10	72.30	60.30	68.40	72.40
28	0 - 3600	72.30	71.10	52.90	58.70	70.50	60.10	67.50	73.20
29	0 - 3600	71.20	70.20	54.00	58.30	72.50	60.10	67.40	73.40
30	0 - 3600	73.40	70.60	54.10	57.60	71.20	61.50	66.20	71.20
Promedio		72.18	71.44	53.75	58.04	71.25	61.43	67.33	72.41
Desv. Est.		0.80	1.18	1.39	1.16	0.92	1.46	1.27	1.44
Número de muestras		30							

- Validación de Tiempo de viaje peatonal – *Vissim 9.0*

Tiempo de Viaje Peatonal - Vissim 9.0																																			
Numero de corrida			Numero de semilla			Intervalo de tiempo (segundos)			Parámetros de Comportamiento Peatonal			Cruce Peatonal Sur						Cruce Peatonal Este						Cruce Peatonal Norte						Cruce Peatonal Oeste					
												Oeste - Este			Este - Oeste			Norte - Sur			Sur - Norte			Oeste - Este			Este - Oeste			Norte - Sur			Sur - Norte		
									tau	lambda	Media	Cantidad de peatones	Desviación Estandar	Media	Cantidad de peatones	Desviación Estandar	Media	Cantidad de peatones	Desviación Estandar	Media	Cantidad de peatones	Desviación Estandar	Media	Cantidad de peatones	Desviación Estandar	Media	Cantidad de peatones	Desviación Estandar	Media	Cantidad de peatones	Desviación Estandar	Media	Cantidad de peatones	Desviación Estandar	Media
21	250	600 - 3600	0.40	0.176	71.50	143	2.34	71.14	84	1.52	55.35	182	1.21	61.16	174	3.37	76.25	39	2.24	61.02	40	1.45	65.91	44	3.26	75.08	30	2.31							
22	251	600 - 3600	0.40	0.200	72.08	143	3.51	72.60	111	4.25	55.17	196	3.25	62.14	170	4.02	77.57	33	3.10	60.43	30	2.31	65.62	59	2.45	84.21	27	3.12							
23	252	600 - 3600	0.35	0.250	78.62	167	2.21	74.60	102	3.21	55.04	200	2.86	62.52	179	3.45	73.77	44	3.15	62.34	39	3.12	65.99	52	2.78	96.69	35	3.14							
24	253	600 - 3600	0.33	0.280	70.38	157	1.45	72.63	97	4.12	54.68	200	3.10	61.56	166	3.21	69.28	35	2.54	61.51	44	2.78	85.58	54	3.14	75.72	25	2.79							
25	254	600 - 3600	0.29	0.450	71.94	137	4.25	72.23	120	2.14	56.26	187	2.41	64.45	142	3.63	71.98	34	3.19	134.56	45	3.45	108.70	41	2.56	88.12	39	2.45							
26	255	600 - 3600	0.29	0.482	71.56	140	3.74	76.63	115	1.68	53.68	185	1.23	62.71	173	0.84	82.54	40	2.25	177.90	47	2.31	64.22	46	2.31	92.63	45	3.10							
27	256	600 - 3600	0.25	0.485	72.20	182	2.24	72.99	113	2.54	55.58	187	2.74	59.92	136	4.21	73.00	37	3.47	200.74	38	3.17	66.32	52	2.74	70.47	25	2.71							
28	257	600 - 3600	0.22	0.520	68.30	141	3.14	70.86	106	3.56	54.08	199	3.26	62.02	152	3.45	74.35	37	3.45	61.33	29	2.56	98.13	44	3.12	72.05	33	3.34							
29	258	600 - 3600	0.18	0.550	73.53	138	4.05	75.25	116	1.45	54.01	190	2.44	62.33	148	3.74	73.87	24	2.86	62.09	31	3.48	79.46	49	2.87	70.98	27	2.65							
30	259	600 - 3600	0.12	0.642	71.74	156	3.56	103.51	107	2.74	54.66	155	3.19	71.56	155	3.75	68.96	37	3.47	62.83	24	3.36	76.88	64	3.15	73.69	36	3.52							
31	260	600 - 3600	0.10	0.645	73.68	173	2.78	74.50	106	1.14	55.32	177	2.58	61.89	156	2.86	74.19	34	2.21	61.92	26	2.40	69.21	49	2.74	80.30	32	2.41							
32	261	600 - 3600	0.10	0.650	72.61	161	2.50	71.50	122	3.24	54.19	203	2.47	59.05	142	2.62	71.86	36	2.05	62.74	33	3.12	67.25	46	2.81	72.32	38	3.13							
33	262	600 - 3600	0.10	0.670	69.65	169	1.25	70.40	116	3.71	53.16	167	2.12	62.36	170	4.01	77.59	41	3.21	62.12	47	1.98	66.80	51	3.21	102.66	32	2.68							
34	263	600 - 3600	0.09	0.725	71.38	169	2.51	76.28	118	2.85	55.62	188	3.25	60.60	163	3.24	74.15	30	2.78	61.61	37	2.75	75.39	31	2.64	88.91	26	3.22							
35	264	600 - 3600	0.09	0.722	67.74	143	3.65	72.24	119	2.98	54.75	183	2.98	62.34	175	4.12	72.71	35	3.17	186.41	33	2.37	63.98	48	3.41	75.17	48	2.45							
36	265	600 - 3600	0.09	0.815	70.10	142	2.34	74.41	123	3.14	54.53	167	3.02	58.72	162	2.56	72.03	37	2.65	61.78	35	2.74	96.81	45	2.47	76.03	36	2.63							
37	266	600 - 3600	0.07	0.817	71.36	175	3.89	73.95	103	2.45	53.96	198	2.60	63.90	168	2.87	73.90	43	3.12	144.84	30	2.83	74.71	49	3.74	102.57	30	1.95							
38	267	600 - 3600	0.07	0.860	72.85	171	1.24	69.88	93	3.19	53.61	180	1.95	60.77	175	3.21	71.03	42	3.74	63.42	40	3.14	81.18	47	3.10	73.79	25	2.24							
39	268	600 - 3600	0.05	0.864	70.11	151	2.45	70.65	129	1.15	56.18	170	2.32	61.37	144	3.54	74.42	41	2.87	260.78	21	3.54	72.92	52	2.85	74.36	44	3.15							

Anexo 9. Validación vehicular
Fuente: Propia

• **Validación de Velocidad vehicular de acceso al óvalo - Campo**

Velocidad Vehicular de Acceso al Óvalo - Campo					
Nº	Intervalo de tiempo (segundos)	Acceso Sur	Acceso Este	Acceso Norte	Acceso Oeste
1	0 - 3600	17.70	16.50	25.22	22.45
2	0 - 3600	17.25	20.14	26.31	21.41
3	0 - 3600	17.63	19.65	24.78	24.78
4	0 - 3600	16.87	18.42	26.98	22.31
5	0 - 3600	16.42	20.17	23.61	25.12
6	0 - 3600	17.52	18.43	24.53	21.69
7	0 - 3600	17.85	16.47	26.78	25.87
8	0 - 3600	16.98	17.51	25.48	24.13
9	0 - 3600	16.37	16.84	25.94	25.44
10	0 - 3600	17.84	17.05	25.21	23.14
11	0 - 3600	19.27	18.10	26.14	24.97
12	0 - 3600	17.68	17.14	25.74	25.17
13	0 - 3600	18.24	18.94	24.89	21.36
14	0 - 3600	19.34	18.67	26.38	24.22
15	0 - 3600	17.82	17.33	24.75	27.45
16	0 - 3600	19.64	16.54	26.98	22.87
17	0 - 3600	18.57	17.24	25.36	24.25
18	0 - 3600	17.43	18.31	24.77	21.25
19	0 - 3600	17.85	18.44	24.54	25.12
20	0 - 3600	17.68	17.53	24.20	25.81
21	0 - 3600	16.52	19.27	25.33	24.37
22	0 - 3600	17.37	18.67	26.17	24.85
23	0 - 3600	18.17	17.66	25.81	22.43
24	0 - 3600	20.34	19.37	24.38	23.15
25	0 - 3600	18.52	17.83	26.35	24.65
26	0 - 3600	19.64	16.24	26.43	23.78
27	0 - 3600	17.55	18.25	25.66	22.12
28	0 - 3600	18.24	19.57	26.31	24.82
29	0 - 3600	19.35	17.45	24.72	23.54
30	0 - 3600	18.45	16.13	25.37	21.69
31	0 - 3600	17.42	17.68	26.33	23.54
32	0 - 3600	20.24	17.87	25.28	23.74
33	0 - 3600	17.36	16.37	26.85	23.18
34	0 - 3600	16.47	19.64	26.37	24.60
35	0 - 3600	17.32	17.45	25.41	23.78
36	0 - 3600	18.21	19.34	24.78	23.47
37	0 - 3600	18.34	18.23	25.87	22.90
38	0 - 3600	17.43	17.45	26.39	21.62
39	0 - 3600	19.75	17.20	25.46	23.45
40	0 - 3600	18.67	16.33	24.78	24.87
41	0 - 3600	18.45	17.84	26.56	24.05
42	0 - 3600	17.22	16.55	24.01	25.64
43	0 - 3600	18.34	17.25	24.78	24.40
44	0 - 3600	19.21	16.89	25.17	23.33
45	0 - 3600	17.45	17.43	26.65	25.74
46	0 - 3600	18.26	18.10	24.96	23.17
47	0 - 3600	17.34	17.37	23.47	24.68
48	0 - 3600	18.25	18.66	24.38	23.44
49	0 - 3600	17.45	17.61	26.14	23.61
50	0 - 3600	18.00	17.24	25.95	24.70
51	0 - 3600	18.62	17.98	25.23	23.68
52	0 - 3600	17.52	18.69	24.67	24.61
53	0 - 3600	16.34	17.52	24.88	23.80
54	0 - 3600	17.82	17.81	25.01	24.76
55	0 - 3600	17.24	16.35	22.98	23.14
56	0 - 3600	19.10	17.41	23.53	24.16
57	0 - 3600	17.69	17.85	24.05	23.74
58	0 - 3600	16.74	16.78	22.57	23.25
59	0 - 3600	18.12	19.24	23.42	22.45
60	0 - 3600	19.21	17.25	23.61	23.97
61	0 - 3600	18.47	18.01	23.47	23.61
62	0 - 3600	19.23	17.64	25.39	24.38
63	0 - 3600	17.25	17.65	25.98	25.16
64	0 - 3600	18.45	18.02	24.70	24.25
65	0 - 3600	19.25	18.65	23.91	26.34
66	0 - 3600	19.17	18.74	24.15	25.92
67	0 - 3600	18.15	18.23	26.78	24.68
68	0 - 3600	17.45	19.27	24.66	25.31
69	0 - 3600	16.17	18.47	25.49	22.43
70	0 - 3600	18.45	17.24	25.31	23.55
Promedio		18.02	17.87	25.21	23.93
Desv. Est.		0.95	0.98	1.04	1.28
Número de muestras		70			

- Validación de Velocidad vehicular de acceso al óvalo – *Vissim 9.0*

Velocidad Vehicular de Acceso al Óvalo - Vissim 9.0										
Numero de corrida	Numero de semilla	Intervalo de tiempo (segundos)	Acceso Sur		Acceso Este		Acceso Norte		Acceso Oeste	
			Media	Cantidad de vehículos	Media	Cantidad de vehículos	Media	Cantidad de vehículos	Media	Cantidad de vehículos
1	250	600 - 3600	17.50	916	16.74	597	24.94	111	23.34	924
i	251	600 - 3600	17.80	928	17.93	570	24.99	110	23.66	929
3	252	600 - 3600	18.55	988	17.29	585	25.68	106	23.40	878
4	253	600 - 3600	17.99	951	17.35	570	24.32	94	23.26	953
5	254	600 - 3600	17.63	959	16.87	565	25.05	119	23.12	897
6	255	600 - 3600	17.87	941	17.43	572	24.81	123	23.72	903
7	256	600 - 3600	18.12	926	16.82	563	24.28	105	23.24	894
8	257	600 - 3600	17.55	924	17.88	552	24.41	111	23.27	944
9	258	600 - 3600	17.71	929	17.69	589	24.90	110	23.61	890
10	259	600 - 3600	17.50	923	16.26	604	24.53	110	23.66	916
11	260	600 - 3600	17.98	964	17.28	607	24.93	112	23.38	877
12	261	600 - 3600	17.98	944	17.52	551	25.82	114	23.43	950
13	262	600 - 3600	18.14	915	17.17	582	24.88	99	23.27	931
14	263	600 - 3600	16.91	915	16.48	577	24.51	109	23.57	976
15	264	600 - 3600	19.83	935	17.79	609	25.31	109	22.95	300
16	265	600 - 3600	17.62	931	17.24	568	23.47	87	23.18	904
17	266	600 - 3600	18.38	950	16.78	564	25.31	110	23.61	891
18	267	600 - 3600	18.45	996	17.60	552	25.38	108	23.45	918
19	268	600 - 3600	17.98	904	18.24	544	25.48	127	23.28	906
20	269	600 - 3600	17.95	941	17.24	558	26.50	91	23.75	944
Promedio			17.97	939	17.28	574	24.98	108	23.41	886
Desviación estandar			0.58	24	0.51	19	0.65	10	0.22	141

Anexo 10. Validación peatonal
Fuente: Propia

- Validación de Tiempo de viaje peatonal – Campo

Tiempos de Viaje Peatonal - Campo									
Nº	Intervalo de tiempo (segundos)	Cruce Peatonal Sur		Cruce Peatonal Este		Cruce Peatonal Norte		Cruce Peatonal Oeste	
		Oeste - Este	Este - Oeste	Norte - Sur	Sur - Norte	Oeste - Este	Este - Oeste	Norte - Sur	Sur - Norte
1	0 - 3600	72.00	75.40	54.20	58.30	78.50	71.40	81.50	85.40
2	0 - 3600	71.30	75.00	51.50	59.20	77.00	71.60	81.20	87.40
3	0 - 3600	71.20	76.30	51.40	60.60	76.60	70.30	80.40	88.10
4	0 - 3600	71.20	74.20	53.20	61.50	79.50	68.50	79.60	89.50
5	0 - 3600	71.50	73.40	55.30	59.70	78.60	70.50	79.50	88.80
6	0 - 3600	72.70	76.10	55.20	60.20	78.40	72.60	81.90	85.40
7	0 - 3600	73.40	75.50	52.40	59.50	76.80	70.30	80.50	87.50
8	0 - 3600	71.80	76.70	51.40	60.90	79.40	69.40	81.20	88.00
9	0 - 3600	71.30	74.90	53.30	60.30	81.00	70.00	80.10	87.60
10	0 - 3600	71.20	75.00	50.50	60.10	80.20	71.40	81.40	89.50
11	0 - 3600	70.40	74.60	52.30	61.70	79.40	70.70	80.30	88.20
12	0 - 3600	72.20	75.20	50.70	60.50	78.20	70.00	81.00	87.30
13	0 - 3600	71.80	74.20	52.80	60.20	77.60	71.30	82.30	88.00
14	0 - 3600	72.30	76.20	52.80	59.80	80.20	72.50	80.70	84.30
15	0 - 3600	73.50	75.50	50.50	60.30	79.40	69.40	79.80	86.50
16	0 - 3600	71.50	74.20	53.20	60.00	81.20	70.50	80.40	88.20
17	0 - 3600	72.30	75.40	52.80	61.10	79.60	68.40	76.30	89.50
18	0 - 3600	70.00	76.20	53.10	62.30	79.00	69.10	80.00	87.20
19	0 - 3600	71.20	75.40	52.30	61.20	78.40	71.80	81.50	83.20
20	0 - 3600	70.50	72.80	52.30	61.80	79.80	71.20	78.70	87.40
21	0 - 3600	71.30	75.30	51.70	60.40	80.70	70.40	81.30	86.70
22	0 - 3600	72.40	75.60	55.50	60.80	81.00	71.00	80.10	87.20
23	0 - 3600	71.30	76.30	54.60	59.80	80.50	72.30	78.60	85.50
24	0 - 3600	72.40	72.40	52.80	58.90	79.40	69.80	78.20	86.20
25	0 - 3600	72.50	75.00	55.60	56.50	80.40	68.40	81.40	85.40
26	0 - 3600	74.40	74.10	53.80	59.80	81.20	71.20	79.50	87.00
27	0 - 3600	73.70	75.20	52.60	58.80	78.40	68.40	76.40	91.50
28	0 - 3600	71.60	75.80	52.70	58.20	78.40	62.50	82.30	90.10
29	0 - 3600	71.40	76.20	53.10	59.50	76.20	69.70	82.60	87.50
30	0 - 3600	72.20	72.60	52.00	60.90	77.90	69.30	79.90	88.70
Promedio		71.88	75.02	52.85	60.09	79.10	70.13	80.29	87.43
Desv. Est.		1.00	1.14	1.41	1.17	1.43	1.90	1.54	1.74

- Validación de Tiempo de viaje peatonal – *Vissim 9.0*

Tiempo de Viaje Peatonal - Vissim 9.0										
Numero de corrida	Numero de semilla	Intervalo de tiempo (segundos)	Cruce Peatonal Sur		Cruce Peatonal Este		Cruce Peatonal Norte		Cruce Peatonal Oeste	
			Oeste - Este	Este - Oeste	Norte - Sur	Sur - Norte	Oeste - Este	Este - Oeste	Norte - Sur	Sur - Norte
1	250	600 - 3600	72.49	69.76	55.70	58.29	72.25	62.62	75.71	78.52
2	251	600 - 3600	74.63	74.92	56.07	59.45	71.94	61.47	72.75	73.32
3	252	600 - 3600	74.15	79.08	56.42	60.45	73.31	60.50	78.23	64.36
4	253	600 - 3600	71.98	75.84	54.25	63.04	71.51	61.55	75.25	75.20
5	254	600 - 3600	70.82	75.74	56.12	60.78	72.00	72.83	76.18	83.41
6	255	600 - 3600	71.72	73.99	52.79	59.10	70.64	63.21	76.57	78.31
7	256	600 - 3600	71.56	78.56	53.70	61.76	75.19	61.11	72.82	70.06
8	257	600 - 3600	69.48	74.98	57.30	59.42	73.90	62.49	71.88	73.67
9	258	600 - 3600	72.34	76.26	54.43	60.83	74.43	61.50	73.19	76.47
10	259	600 - 3600	68.33	83.44	56.04	62.73	69.46	63.70	71.61	73.48
11	260	600 - 3600	73.40	74.94	57.29	60.21	77.75	61.89	78.94	72.70
12	261	600 - 3600	69.94	74.21	56.45	59.56	75.45	75.81	78.80	71.71
13	262	600 - 3600	75.05	72.24	55.18	61.35	74.63	62.10	75.03	72.33
14	263	600 - 3600	72.34	74.53	55.23	59.24	72.12	63.22	74.78	73.27
15	264	600 - 3600	72.15	70.06	53.59	57.71	66.97	61.93	75.95	71.08
16	265	600 - 3600	71.62	86.38	54.81	74.49	73.35	63.62	69.16	73.99
17	266	600 - 3600	72.70	72.51	53.00	59.89	75.19	65.40	75.38	78.73
18	267	600 - 3600	73.51	75.09	55.22	61.36	73.97	61.71	74.21	75.16
19	268	600 - 3600	71.78	77.35	56.53	60.19	71.55	64.88	73.08	72.23
20	269	600 - 3600	70.63	72.22	54.20	60.02	76.08	63.18	86.78	73.98
Promedio			72.03	75.60	55.22	60.99	73.08	63.74	75.32	74.10
Desviación estandar			1.68	4.02	1.34	3.45	2.48	3.85	3.67	3.91
Valor mínimo			68.33	69.76	52.79	57.71	66.97	60.50	69.16	64.36
Valor máximo			75.05	86.38	57.30	74.49	77.75	75.81	86.78	83.41

Anexo 11. Tiempos de viaje vehicular para la hora pico “mañana”

Fuente: Propia

- **Tiempos de viaje vehicular de la situación actual para la hora pico “mañana”**

Situación Actual - Tiempos de Viaje Vehicular (seg)																		
Número de corda	Número de semilla	Intervalo de tiempo (segundos)	Acceso Sur				Acceso Este				Acceso Norte				Acceso Oeste			
			Sur a Norte	Sur - Sur (Vuelta en U)	Sur - Este	Sur - Oeste	Este - Oeste	Este - Este (Vuelta en U)	Este - Norte	Este - Sur	Norte - Sur	Norte - Norte (Vuelta en U)	Norte - Oeste	Norte - Este	Oeste - Este	Oeste - Oeste (Vuelta en U)	Oeste - Norte	Oeste - Sur
1	250	600 - 3600	77.6	356.05	35.01	114.33	126.56	145.46	54.46	613.64	2463.14	-	79.26	2016.34	99.71	49.26	110.51	428.02
2	251	600 - 3600	72.2	383.99	38.42	71.74	59.72	97.86	33.60	609.38	2222.10	891.65	44.85	1956.03	101.52	72.46	107.74	372.01
3	252	600 - 3600	2.92	288.27	39.30	77.78	70.09	121.42	34.05	662.98	2523.95	1123.20	85.42	1485.05	104.92	46.64	121.22	419.14
4	253	600 - 3600	76.28	294.14	34.64	77.64	74.36	88.72	35.51	650.30	2546.63	1206.44	91.86	1978.85	99.43	73.85	105.48	447.12
5	254	600 - 3600	80.74	422.95	36.72	109.41	105.34	128.11	47.49	656.65	2244.90	897.35	122.71	2144.48	93.50	65.47	113.78	435.05
6	255	600 - 3600	74.28	396.97	37.65	103.74	112.42	141.93	42.90	658.29	2422.23	902.72	45.03	1827.72	102.36	55.65	100.14	419.79
7	256	600 - 3600	82.02	358.75	36.22	108.68	93.43	94.89	33.99	637.46	2369.59	905.50	44.59	2345.65	99.50	62.25	109.37	357.23
8	257	600 - 3600	77.69	320.91	43.55	133.41	124.85	100.80	41.27	647.91	2187.29	810.60	44.55	1601.12	90.46	70.44	103.03	405.36
9	258	600 - 3600	75.47	362.40	36.14	92.87	77.25	111.39	33.77	660.50	2592.15	887.15	74.26	1999.94	96.25	47.21	113.78	351.63
10	259	600 - 3600	81.5	366.60	39.25	151.27	153.51	153.31	46.17	687.50	2377.14	828.65	43.41	1515.44	90.50	77.57	111.68	398.57
11	260	600 - 3600	78.14	311.54	33.51	102.49	97.71	96.22	34.01	625.99	2414.95	882.36	78.03	2229.94	102.69	38.56	112.24	463.84
12	261	600 - 3600	77.98	310.70	37.48	81.54	63.37	129.27	34.18	614.10	2408.49	1088.61	94.23	1431.54	96.06	45.78	96.86	395.72
13	262	600 - 3600	74.73	393.04	40.61	82.59	74.99	129.35	34.68	632.79	2309.41	891.12	91.76	1720.45	104.72	48.26	105.24	439.30
14	263	600 - 3600	90.75	356.25	38.30	123.19	118.58	107.76	52.77	609.35	2185.33	421.96	94.47	1189.96	99.32	50.51	114.45	401.14
15	264	600 - 3600	67.05	321.91	33.67	102.29	100.09	115.89	39.11	678.98	2350.86	819.71	43.72	2134.09	113.77	80.81	151.89	451.14
16	265	600 - 3600	78.66	383.62	41.44	145.57	104.76	132.79	39.36	724.92	2489.22	-	44.29	1967.31	104.84	85.26	107.45	448.59
17	266	600 - 3600	69	349.28	35.39	76.10	71.71	98.16	33.34	556.83	2373.93	901.87	44.03	1392.86	94.85	39.84	97.78	364.56
18	267	600 - 3600	76.56	364.29	35.88	76.74	69.03	90.97	34.47	635.16	2298.49	362.25	83.24	1613.33	107.10	76.40	105.65	414.91
19	268	600 - 3600	77.6	319.58	44.88	82.88	68.96	79.24	33.32	581.77	2284.59	1118.17	81.60	1371.22	105.98	59.33	109.32	373.38
20	269	600 - 3600	77.78	294.26	40.28	91.99	73.77	97.12	33.00	612.65	2484.77	830.79	151.33	1724.89	98.49	60.58	112.27	398.66
Promedio			76.95	347.78	37.93	100.31	92.02	113.03	38.57	639.21	2377.46	876.12	74.13	1782.31	100.30	60.31	110.49	409.26
Desviación estandar			4.99	38.37	3.12	23.74	25.74	21.09	6.79	37.87	118.53	211.34	30.08	324.65	5.81	14.35	11.42	33.30
Mínimo			67.05	288.27	33.51	71.74	59.72	79.24	33.00	556.83	2185.33	362.25	43.41	1189.96	90.46	38.56	96.86	351.63
Máximo			90.75	422.95	44.88	151.27	153.51	153.31	54.46	724.92	2592.15	1206.44	151.33	2345.65	113.77	85.26	151.89	463.84

- **Tiempos de viaje vehicular de la propuesta de mejora implementada para la hora pico “mañana”**

Propuesta de Mejora - Tiempos de Viaje Vehicular (seg)																		
Número de corda	Número de semilla	Intervalo de tiempo (segundos)	Acceso Sur				Acceso Este				Acceso Norte				Acceso Oeste			
			Sur a Norte	Sur - Sur (Vuelta en U)	Sur - Este	Sur - Oeste	Este - Oeste	Este - Este (Vuelta en U)	Este - Norte	Este - Sur	Norte - Sur	Norte - Norte (Vuelta en U)	Norte - Oeste	Norte - Este	Oeste - Este	Oeste - Oeste (Vuelta en U)	Oeste - Norte	Oeste - Sur
1	250	600 - 3600	64.83	446.96	29.87	59.17	53.08	36.49	33.90	463.89	359.76	13.48	41.74	72.60	48.01	63.44	68.31	335.91
2	251	600 - 3600	62.37	414.76	29.65	56.09	49.81	29.11	33.47	563.90	436.96	12.75	42.13	63.21	45.07	56.48	58.05	513.61
3	252	600 - 3600	64.92	741.73	29.56	57.91	52.23	38.87	34.96	576.63	423.44	12.70	42.53	62.61	59.17	65.58	70.03	699.45
4	253	600 - 3600	66.17	665.65	29.51	57.95	54.20	36.71	33.88	700.97	483.34	19.48	42.63	69.72	51.93	78.65	71.07	551.62
5	254	600 - 3600	66.53	476.89	30.02	59.42	51.87	30.04	34.26	434.02	367.24	13.88	41.89	67.02	71.48	87.49	89.12	412.43
6	255	600 - 3600	65.88	740.79	29.57	57.41	50.56	33.00	33.92	589.44	439.14	13.02	42.24	65.02	55.20	63.97	64.31	602.57
7	256	600 - 3600	65.84	421.26	30.07	57.55	50.04	26.47	33.63	478.75	325.24	13.93	41.54	58.33	44.20	56.67	55.36	303.95
8	257	600 - 3600	64.84	229.32	29.46	58.20	49.60	28.36	33.60	267.70	236.93	14.27	42.36	61.49	47.11	58.91	54.76	229.49
9	258	600 - 3600	63.63	914.32	29.33	56.53	50.00	29.20	33.85	561.82	361.40	17.19	42.03	59.99	42.84	56.28	52.05	358.70
10	259	600 - 3600	65.84	876.86	29.48	65.54	65.63	42.55	34.10	672.38	491.42	18.59	42.07	108.72	54.05	85.83	72.98	381.67
11	260	600 - 3600	62.65	732.00	29.32	56.02	51.36	27.79	33.50	616.95	412.69	12.44	41.95	62.59	43.92	58.93	53.36	451.37
12	261	600 - 3600	63.53	1034.67	30.05	58.69	50.85	34.24	33.52	695.22	489.70	12.44	42.21	68.96	51.17	66.31	60.85	539.24
13	262	600 - 3600	68.42	963.95	29.60	63.60	64.91	45.06	34.16	729.90	550.27	14.36	42.22	86.87	82.62	114.05	107.27	527.05
14	263	600 - 3600	67.19	854.20	29.63	63.69	60.61	38.52	33.98	614.25	480.29	12.94	42.21	86.89	75.07	91.58	86.72	644.41
15	264	600 - 3600	62.55	535.95	29.16	55.39	50.45	28.19	33.16	472.54	411.62	13.62	42.17	68.15	50.37	65.18	69.02	301.05
16	265	600 - 3600	64.72	722.93	29.82	56.71	49.39	25.96	33.90	461.17	400.99	13.40	41.93	59.96	44.34	55.62	53.38	524.04
17	266	600 - 3600	63.22	506.62	29.82	57.26	51.35	31.51	33.59	464.81	425.55	29.43	42.27	63.05	47.97	61.28	60.34	493.59
18	267	600 - 3600	64.79	1099.83	29.65	60.99	49.28	26.74	33.77	739.81	529.32	15.56	42.06	76.34	44.86	57.54	54.71	591.59
19	268	600 - 3600	63.96	718.09	29.98	58.15	64.96	35.25	33.49	758.26	616.28	13.15	42.23	95.71	109.57	88.91	153.91	510.59
20	269	600 - 3600	64.71	953.77	30.14	57.36	49.89	34.21	34.01	571.42	445.49	13.92	42.28	67.51	45.53	60.76	57.54	522.52
Promedio			64.83	702.53	29.68	58.68	53.50	32.91	33.83	571.69	434.35	15.03	42.14	71.24	55.72	69.67	70.66	474.74
Desviación estandar			1.60	237.53	0.28	2.75	5.62	5.52	0.38	125.58	84.33	3.92	0.25	13.39	16.89	15.97	24.22	124.66
Mínimo			62.37	229.32	29.16	55.39	49.28	25.96	33.16	267.70	236.93	12.44	41.54	58.33	42.84	55.62	52.05	229.49
Máximo			68.42	1099.83	30.14	65.54	65.63	45.06	34.96	758.26	616.28	29.43	42.63	108.72	109.57	114.05	153.91	699.45

Anexo 12. Tiempos de viaje vehicular para la hora pico "mediodía"

Fuente: Propia

- Tiempos de viaje vehicular de la situación actual para la hora pico “mediodía”**

Situación Actual - Tiempos de Viaje Vehicular (seg)																		
Numero de corru	Numero de semilla	Intervalo de tiempo (segundos)	Acceso Sur				Acceso Este				Acceso Norte				Acceso Oeste			
			Sur a Norte	Sur - Sur (Vuelta en U)	Sur - Este	Sur - Oeste	Este - Oeste	Este - Este (Vuelta en U)	Este - Norte	Este - Sur	Norte - Sur	Norte - Norte (Vuelta en U)	Norte - Oeste	Norte - Este	Oeste - Este	Oeste - Oeste (Vuelta en U)	Oeste - Norte	Oeste - Sur
1	250	600 - 3600	87.63	345.44	43.98	156.17	129.79	119.90	47.89	680.01	846.36	191.77	43.98	289.07	166.29	107.10	183.93	279.65
2	251	600 - 3600	90.74	325.68	46.11	172.30	198.36	170.00	71.12	720.22	860.12	185.31	43.13	293.34	199.17	95.37	214.33	334.11
3	252	600 - 3600	80.55	266.03	40.59	118.75	124.99	92.77	48.08	746.62	815.13	88.63	43.50	392.74	201.19	156.43	257.76	361.39
4	253	600 - 3600	95.33	284.13	38.30	155.97	128.23	130.81	81.25	677.05	821.62	158.93	44.21	271.99	173.93	85.40	195.22	347.04
5	254	600 - 3600	89.32	313.95	41.28	106.03	90.11	120.12	34.03	751.77	768.45	101.35	43.69	339.27	132.19	20.56	120.21	335.05
6	255	600 - 3600	88.20	306.14	39.91	153.33	107.01	127.89	39.86	643.26	781.59	84.65	52.91	425.05	194.61	125.28	207.97	321.23
7	256	600 - 3600	110.37	285.30	46.24	277.99	223.38	167.61	82.78	830.50	797.84	177.87	60.34	276.16	172.23	73.19	238.86	250.06
8	257	600 - 3600	91.92	325.42	46.17	139.68	97.79	145.61	35.75	679.83	836.76	31.03	45.18	336.96	136.46	91.73	148.11	432.91
9	258	600 - 3600	90.57	268.61	34.48	187.36	200.43	186.51	68.40	688.07	783.24	160.22	43.44	263.51	269.31	247.67	286.73	405.19
10	259	600 - 3600	84.96	306.82	40.53	140.35	112.36	88.56	38.19	660.50	808.38	123.10	44.45	247.17	180.62	80.11	227.15	408.17
11	260	600 - 3600	90.24	248.93	48.46	132.98	105.31	109.02	42.54	705.93	796.31	134.32	43.74	268.49	188.48	92.26	212.69	349.74
12	261	600 - 3600	85.70	289.40	42.61	175.44	153.75	97.31	75.27	713.76	796.80	151.09	64.74	326.17	233.47	112.38	282.78	312.75
13	262	600 - 3600	95.52	303.60	48.02	188.79	176.15	143.67	94.95	666.67	827.12	158.49	43.33	305.91	195.91	123.19	242.76	312.50
14	263	600 - 3600	98.15	268.31	42.73	178.06	109.41	113.38	45.02	712.45	802.48	143.40	42.75	275.90	160.46	86.05	162.47	293.23
15	264	600 - 3600	79.18	258.53	38.06	137.53	121.20	92.20	49.52	671.69	814.03	90.34	43.39	335.99	230.10	107.54	271.10	322.51
16	265	600 - 3600	97.78	317.16	36.50	175.53	153.15	149.61	66.85	629.92	798.43	172.94	42.42	305.81	183.97	84.43	211.41	346.48
17	266	600 - 3600	96.87	352.72	46.66	178.93	120.24	156.11	45.89	681.27	791.02	112.29	45.22	260.35	180.03	79.89	230.78	245.79
18	267	600 - 3600	94.13	312.03	40.74	145.19	108.01	103.21	38.45	678.36	823.05	192.98	42.93	306.83	172.53	99.59	195.97	318.28
19	268	600 - 3600	88.02	317.09	40.88	111.82	103.87	113.71	39.07	707.53	824.59	155.59	43.61	238.91	195.98	86.63	205.05	325.29
20	269	600 - 3600	96.50	278.41	41.02	153.66	93.29	114.94	36.98	693.95	798.14	150.81	43.07	370.62	151.81	93.74	186.84	307.01
Promedio			91.58	298.68	42.16	159.29	132.84	127.15	54.10	696.97	809.57	138.25	46.01	306.51	185.94	102.43	214.11	330.42
Desviación estandar			6.98	28.71	3.87	37.07	38.82	28.35	18.74	43.82	22.77	42.44	6.10	49.15	32.42	43.02	43.12	47.64
Mínimo			79.18	248.93	34.48	106.03	90.11	88.56	34.03	629.92	768.45	31.03	42.42	238.91	132.19	20.56	120.21	245.79
Máximo			110.37	352.72	48.46	277.99	223.38	186.51	94.95	830.50	860.12	192.98	64.74	425.05	269.31	247.67	286.73	432.91

- Tiempos de viaje vehicular de la propuesta de mejora implementada para la hora pico “mediodía”**

Propuesta de Mejora - Tiempos de Viaje Vehicular (seg)																		
Numero de corru	Numero de semilla	Intervalo de tiempo (segundos)	Acceso Sur				Acceso Este				Acceso Norte				Acceso Oeste			
			Sur a Norte	Sur - Sur (Vuelta en U)	Sur - Este	Sur - Oeste	Este - Oeste	Este - Este (Vuelta en U)	Este - Norte	Este - Sur	Norte - Sur	Norte - Norte (Vuelta en U)	Norte - Oeste	Norte - Este	Oeste - Este	Oeste - Oeste (Vuelta en U)	Oeste - Norte	Oeste - Sur
1	250	600 - 3600	80.45	308.88	29.86	74.04	98.07	62.79	46.73	449.33	548.59	62.06	40.93	178.05	134.77	85.67	155.55	1062.97
2	251	600 - 3600	80.25	350.21	30.11	78.87	86.44	53.30	35.36	488.99	599.18	83.65	40.66	205.72	139.57	70.91	162.80	471.66
3	252	600 - 3600	83.30	298.20	31.07	75.18	84.54	40.06	35.71	427.98	514.51	62.96	40.22	173.43	197.16	127.66	210.21	1441.97
4	253	600 - 3600	86.28	302.01	30.08	77.42	89.59	66.34	34.32	438.29	527.62	72.62	39.23	190.97	159.90	99.43	170.10	1023.81
5	254	600 - 3600	75.96	315.76	29.95	68.26	79.79	49.62	35.07	398.13	493.67	65.27	38.89	166.03	159.41	81.78	179.24	212.56
6	255	600 - 3600	82.39	320.63	30.24	73.15	86.75	59.89	38.13	442.16	508.30	68.18	41.72	198.87	185.31	108.05	205.31	656.30
7	256	600 - 3600	81.44	332.33	30.67	74.81	82.07	49.14	37.16	495.60	535.33	66.51	38.58	184.88	162.30	145.53	188.06	1095.38
8	257	600 - 3600	75.87	346.20	29.62	70.81	83.83	53.48	35.26	477.25	519.89	80.31	39.39	190.91	190.94	106.11	214.30	475.54
9	258	600 - 3600	91.40	263.04	30.31	82.16	89.27	61.17	35.67	392.33	490.23	61.90	40.46	168.02	166.26	98.02	195.66	592.89
10	259	600 - 3600	75.34	330.90	29.55	68.51	83.27	41.22	35.33	461.49	560.18	67.29	39.41	181.88	146.11	73.69	182.35	1011.16
11	260	600 - 3600	79.76	312.37	29.63	73.91	77.00	44.34	35.46	445.00	534.28	72.73	38.51	185.44	150.19	72.27	164.44	1159.81
12	261	600 - 3600	77.06	342.73	29.72	67.86	84.96	42.97	33.93	435.99	523.23	59.27	38.80	190.60	186.33	91.10	190.10	664.38
13	262	600 - 3600	76.99	281.92	29.82	68.44	88.06	47.70	36.16	394.46	488.02	76.17	38.96	191.46	140.94	66.62	166.70	1683.76
14	263	600 - 3600	80.62	292.25	30.28	69.80	86.74	49.00	37.13	440.57	528.15	68.02	38.98	177.18	161.46	106.97	170.79	1289.97
15	264	600 - 3600	78.80	292.52	30.27	74.67	92.26	43.93	44.07	382.89	497.38	89.30	39.35	192.78	114.31	127.56	122.14	1435.88
16	265	600 - 3600	87.73	330.02	29.76	82.86	82.11	50.12	35.62	449.22	552.31	67.63	37.93	199.81	155.13	71.26	185.51	200.04
17	266	600 - 3600	86.82	305.38	30.69	83.14	86.60	66.82	35.88	435.92	514.58	62.61	38.84	165.79	161.08	107.19	187.49	633.69
18	267	600 - 3600	80.05	377.84	29.70	75.20	83.67	68.81	35.23	527.73	620.23	74.11	38.67	191.81	238.12	158.98	290.03	735.59
19	268	600 - 3600	87.07	271.80	30.51	79.49	92.23	53.44	36.22	424.98	522.71	59.99	38.58	184.90	153.61	76.82	195.84	475.05
20	269	600 - 3600	78.52	316.78	30.25	73.52	82.35	55.54	34.91	440.68	533.62	64.15	38.25	193.48	162.64	108.61	204.41	471.46
Promedio			81.30	314.59	30.10	74.61	85.98	52.98	36.67	442.45	530.60	69.24	39.32	185.60	163.28	99.21	187.05	839.69
Desviación estandar			4.52	28.11	0.41	4.87	4.80	8.82	3.16	36.19	33.73	8.14	0.98	11.30	26.63	25.90	32.47	425.01
Mínimo			75.34	263.04	29.55	67.86	77.00	40.06	33.93	382.89	488.02	59.27	37.93	165.79	114.31	66.62	122.14	200.04
Máximo			91.40	377.84	31.07	83.14	98.07	68.81	46.73	527.73	620.23	89.30	41.72	205.72	238.12	158.98	290.03	1683.76

Anexo 13. Tiempos de viaje vehicular para la hora pico “noche”

Fuente: Propia

• Tiempos de viaje vehicular de la situación actual para la hora pico “noche”

Situación Actual - Tiempos de Viaje Vehicular (seg)																		
Numero de corda	Numero de semilla	Intervalo de tiempo (segundos)	Acceso Sur				Acceso Este				Acceso Norte				Acceso Oeste			
			Sur a Norte	Sur - Sur (Vuelta en U)	Sur - Este	Sur - Oeste	Este - Oeste	Este - Este (Vuelta en U)	Este - Norte	Este - Sur	Norte - Sur	Norte - Norte (Vuelta en U)	Norte - Oeste	Norte - Este	Oeste - Este	Oeste - Oeste (Vuelta en U)	Oeste - Norte	Oeste - Sur
1	250	600 - 3600	139.40	63.81	49.99	102.08	61.25	38.61	37.31	105.73	104.81	33.24	41.57	61.40	49.12	18.05	63.47	70.15
2	251	600 - 3600	138.33	59.08	46.02	104.75	60.39	40.98	37.62	96.97	97.42	23.70	41.20	60.86	47.10	19.78	60.94	68.54
3	252	600 - 3600	137.95	61.43	49.08	98.80	65.49	43.78	39.42	106.72	99.88	25.81	41.78	59.93	48.74	17.97	64.30	67.73
4	253	600 - 3600	138.13	62.26	59.80	103.33	58.48	35.11	38.88	97.01	101.01	27.17	42.04	61.26	48.42	18.53	63.13	69.70
5	254	600 - 3600	134.76	66.69	45.34	99.25	67.82	38.74	39.66	109.90	100.70	18.14	41.57	60.14	49.24	17.86	61.78	70.63
6	255	600 - 3600	139.71	71.92	44.84	100.50	60.41	43.19	37.17	103.84	102.69	23.57	41.17	59.96	47.68	17.34	59.00	74.18
7	256	600 - 3600	135.72	64.26	43.30	103.10	63.39	41.35	38.54	99.42	98.08	24.87	41.23	63.29	48.16	17.13	61.81	61.12
8	257	600 - 3600	137.78	60.40	59.03	104.94	56.84	33.58	37.77	95.95	97.91	20.10	41.53	61.76	47.70	18.17	60.19	70.60
9	258	600 - 3600	130.91	60.64	58.19	95.66	63.51	38.41	39.11	103.51	98.00	21.33	41.65	57.75	46.19	18.24	59.18	70.32
10	259	600 - 3600	142.22	57.84	65.08	104.37	62.09	38.25	42.17	101.21	97.77	20.03	41.74	59.76	47.45	17.54	64.54	69.26
11	260	600 - 3600	134.47	60.79	45.84	100.76	61.02	42.22	37.44	102.31	97.91	19.99	41.19	57.33	47.14	18.85	59.79	70.56
12	261	600 - 3600	138.09	64.16	51.03	101.93	57.50	33.89	36.55	100.94	105.31	24.90	41.25	59.26	50.33	17.76	66.42	70.04
13	262	600 - 3600	136.83	57.45	54.27	101.14	61.23	39.17	38.07	96.37	101.95	35.40	41.70	61.50	48.67	19.16	64.41	69.83
14	263	600 - 3600	141.57	60.29	53.34	101.34	63.43	41.69	37.85	99.33	99.21	20.83	41.53	58.04	51.33	20.20	66.09	70.09
15	264	600 - 3600	138.75	50.54	39.42	100.57	59.97	44.40	37.86	80.98	67.20	-	-	57.16	41.99	18.13	51.25	52.61
16	265	600 - 3600	139.04	63.54	49.83	103.13	60.32	43.32	37.33	100.46	95.95	19.23	41.45	58.77	46.53	19.24	59.58	68.40
17	266	600 - 3600	141.00	58.54	51.47	104.99	61.46	38.30	38.28	102.96	102.47	17.44	41.13	60.66	48.74	17.84	64.58	67.15
18	267	600 - 3600	139.04	63.25	48.07	105.61	60.84	36.51	37.86	99.45	95.71	22.76	42.05	56.81	47.21	17.09	61.14	66.95
19	268	600 - 3600	136.35	55.20	49.30	105.94	61.82	39.47	37.41	94.23	91.27	15.56	41.74	58.73	45.48	19.00	58.07	62.77
20	269	600 - 3600	134.88	56.64	39.23	101.83	62.29	36.62	36.43	95.94	95.51	18.28	42.09	58.41	47.55	18.15	60.86	65.15
Promedio			137.75	60.94	50.12	102.20	61.48	39.38	38.14	99.66	97.54	22.75	41.56	59.64	47.74	18.30	61.53	67.79
Desviación estandar			2.70	4.52	6.74	2.59	2.53	3.22	1.28	5.97	7.90	5.12	0.31	1.76	1.93	0.84	3.44	4.62
Mínimo			130.91	50.54	39.23	95.66	56.84	33.58	36.43	80.98	67.20	15.56	41.13	56.81	41.99	17.09	51.25	52.61
Máximo			142.22	71.92	65.08	105.94	67.82	44.40	42.17	109.90	105.31	35.40	42.09	63.29	51.33	20.20	66.42	74.18

• Tiempos de viaje vehicular de la propuesta de mejora implementada para la hora pico “noche”

Propuesta de Mejora - Tiempos de Viaje Vehicular (seg)																		
Numero de corda	Numero de semilla	Intervalo de tiempo (segundos)	Acceso Sur				Acceso Este				Acceso Norte				Acceso Oeste			
			Sur a Norte	Sur - Sur (Vuelta en U)	Sur - Este	Sur - Oeste	Este - Oeste	Este - Este (Vuelta en U)	Este - Norte	Este - Sur	Norte - Sur	Norte - Norte (Vuelta en U)	Norte - Oeste	Norte - Este	Oeste - Este	Oeste - Oeste (Vuelta en U)	Oeste - Norte	Oeste - Sur
1	250	600 - 3600	107.74	52.22	29.49	97.85	66.28	50.87	38.52	97.47	101.24	40.18	42.17	75.54	162.09	73.53	174.46	87.57
2	251	600 - 3600	109.80	52.44	28.98	102.20	71.01	52.97	37.82	102.65	100.85	36.75	41.61	71.45	151.45	85.54	169.30	84.26
3	252	600 - 3600	124.64	58.57	30.63	108.53	148.08	111.98	102.65	191.66	104.82	35.25	42.52	74.74	144.19	83.20	176.82	79.30
4	253	600 - 3600	107.14	61.14	30.12	100.39	63.87	42.80	37.63	101.49	106.92	31.84	42.34	74.27	165.78	103.74	174.49	88.46
5	254	600 - 3600	110.07	52.71	29.75	102.36	80.62	55.66	42.07	113.16	97.82	19.73	41.94	74.10	129.39	61.20	146.55	72.03
6	255	600 - 3600	106.02	55.62	29.84	99.25	70.83	52.30	38.02	108.34	99.20	26.14	42.10	75.01	161.80	81.98	178.65	91.95
7	256	600 - 3600	113.55	57.92	30.71	98.68	68.66	52.20	38.36	100.64	99.96	32.70	41.68	74.28	129.17	74.10	145.31	76.99
8	257	600 - 3600	107.53	52.53	29.49	100.02	66.08	45.73	37.95	99.32	97.28	23.34	41.69	75.67	154.36	84.37	168.16	81.20
9	258	600 - 3600	107.70	53.45	29.39	97.59	63.53	42.96	37.22	101.54	101.07	23.62	41.74	78.11	155.41	80.71	166.31	81.76
10	259	600 - 3600	111.72	56.92	31.54	99.39	73.06	53.91	39.69	112.12	104.90	21.11	42.44	72.85	146.34	73.01	160.06	90.54
11	260	600 - 3600	110.52	55.40	29.56	101.67	63.25	50.76	37.86	98.63	103.96	20.28	42.16	77.18	143.94	69.24	160.70	80.16
12	261	600 - 3600	109.71	56.63	30.14	96.43	64.06	45.05	37.31	104.37	103.36	29.04	42.08	80.02	173.70	96.07	186.60	89.53
13	262	600 - 3600	109.62	50.39	30.43	95.12	63.37	45.60	37.69	99.42	96.98	43.67	42.10	70.61	174.57	103.65	187.35	87.74
14	263	600 - 3600	115.22	52.47	29.97	101.32	71.65	49.06	38.46	104.36	107.08	22.83	41.98	76.63	151.73	89.32	169.21	80.42
15	264	600 - 3600	109.96	56.96	29.73	97.98	63.83	53.73	37.12	101.21	100.53	28.25	41.83	77.91	181.18	100.17	200.27	91.47
16	265	600 - 3600	106.59	52.52	28.47	98.35	66.71	48.96	37.03	98.00	95.53	21.43	41.79	69.70	169.81	95.41	182.23	88.68
17	266	600 - 3600	107.54	55.83	29.16	93.37	65.74	44.97	37.33	100.02	99.01	20.82	42.01	73.80	169.77	82.24	181.00	91.83
18	267	600 - 3600	110.69	61.83	28.92	101.19	69.78	49.93	37.42	110.60	104.23	31.00	42.36	78.77	150.00	79.86	163.49	83.58
19	268	600 - 3600	108.54	51.58	31.04	104.67	74.23	61.19	44.59	115.56	98.13	18.32	41.99	76.27	151.61	84.28	174.61	78.43
20	269	600 - 3600	104.46	58.03	30.63	95.99	62.74	48.48	37.43	96.58	95.22	19.14	42.44	63.96	183.40	101.24	197.70	97.59
Promedio			109.94	55.26	29.90	99.62	71.87	52.96	41.61	107.86	100.90	27.27	42.05	74.54	157.48	85.14	173.16	85.17
Desviación estandar			4.29	3.23	0.77	3.44	18.53	14.63	14.49	20.50	3.60	7.52	0.28	3.65	15.30	11.96	14.36	6.35
Mínimo			104.46	50.39	28.47	93.37	62.74	42.80	37.03	96.58	95.22	18.32	41.61	63.96	129.17	61.20	145.31	72.03
Máximo			124.64	61.83	31.54	108.53	148.08	111.98	102.65	191.66	107.08	43.67	42.52	80.02	183.40	103.74	200.27	97.59

Anexo 14. Tiempos de viaje vehicular para la hora pico “noche (+15%)”
Fuente: Propia

• **Tiempos de viaje vehicular de la situación actual para la hora pico “noche (+15%)”**

Situación Actual - Tiempos de Viaje Vehicular (seg)																		
Número de corda	Número de semilla	Intervalo de tiempo (segundos)	Acceso Sur				Acceso Este				Acceso Norte				Acceso Oeste			
			Sur a Norte	Sur - Sur (Vuelta en U)	Sur - Este	Sur - Oeste	Este - Oeste	Este - Este (Vuelta en U)	Este - Norte	Este - Sur	Norte - Sur	Norte - Norte (Vuelta en U)	Norte - Oeste	Norte - Este	Oeste - Este	Oeste - Oeste (Vuelta en U)	Oeste - Norte	Oeste - Sur
1	250	600 - 3600	123.84	64.15	58.12	107.42	67.87	40.47	39.16	120.97	125.49	36.50	42.88	71.26	125.34	70.48	143.01	85.09
2	251	600 - 3600	132.88	60.94	68.53	115.50	66.63	40.41	39.03	114.23	118.65	27.94	42.67	65.67	120.68	91.59	142.50	80.54
3	252	600 - 3600	123.12	66.46	53.78	109.34	70.79	46.20	48.39	126.81	119.77	26.97	42.66	65.79	121.61	70.09	132.81	86.54
4	253	600 - 3600	124.73	66.41	78.51	111.72	62.65	34.21	37.24	111.40	114.36	25.22	42.47	65.89	93.24	51.44	114.99	75.54
5	254	600 - 3600	117.02	62.87	71.89	111.16	63.25	34.73	38.83	108.64	105.47	18.68	42.02	61.56	64.01	29.50	78.65	68.56
6	255	600 - 3600	123.34	71.60	69.78	108.37	64.97	43.35	39.08	116.02	119.52	22.63	42.67	67.04	105.30	58.88	126.59	75.39
7	256	600 - 3600	121.70	75.29	55.42	107.32	67.50	38.55	41.17	111.39	105.30	24.93	42.05	61.51	60.73	19.90	78.16	70.65
8	257	600 - 3600	130.22	63.87	71.29	108.38	59.19	32.02	37.10	103.20	105.13	21.95	42.55	62.54	63.45	20.34	76.93	70.29
9	258	600 - 3600	122.43	64.67	65.99	102.46	64.56	32.47	38.44	108.12	106.89	22.41	42.46	64.78	57.21	20.13	75.13	68.12
10	259	600 - 3600	122.76	72.53	60.61	105.25	70.22	37.54	38.83	122.16	115.10	20.33	42.68	63.70	72.25	25.55	90.99	72.69
11	260	600 - 3600	125.90	70.93	50.01	107.56	60.34	37.69	37.46	112.42	112.32	20.01	41.84	62.38	69.89	36.22	89.11	78.26
12	261	600 - 3600	125.65	65.41	62.56	111.14	60.43	33.32	37.54	110.49	122.91	26.36	42.30	68.81	124.09	75.98	143.69	74.45
13	262	600 - 3600	134.35	62.93	58.41	112.27	62.17	37.55	37.98	103.10	104.98	40.92	42.43	63.52	65.92	23.42	83.88	66.85
14	263	600 - 3600	123.51	57.22	52.53	102.66	60.74	33.47	37.34	104.72	108.27	20.24	42.47	64.61	129.33	87.15	151.55	79.12
15	264	600 - 3600	129.03	69.44	77.68	111.42	61.66	41.29	38.33	112.91	112.63	24.79	42.61	61.19	100.59	51.06	116.82	76.13
16	265	600 - 3600	139.07	74.61	70.17	116.31	60.35	37.53	37.14	111.22	110.76	18.83	42.24	62.34	97.03	52.51	121.60	75.42
17	266	600 - 3600	136.11	71.99	63.34	110.04	62.01	36.45	38.52	114.49	112.61	20.12	42.49	63.97	77.02	31.62	103.34	75.15
18	267	600 - 3600	126.70	69.86	56.92	110.39	62.68	36.66	37.22	109.69	106.96	24.12	42.79	63.39	69.18	23.55	84.75	73.25
19	268	600 - 3600	128.62	64.21	60.95	116.13	63.77	36.24	38.64	106.88	105.83	18.38	42.63	61.72	62.27	18.87	76.51	70.16
20	269	600 - 3600	127.83	65.86	62.65	111.89	61.02	35.74	37.69	105.62	107.85	18.58	42.53	59.98	65.26	21.26	84.43	67.96
Promedio			126.94	67.06	63.46	109.84	63.64	37.29	38.76	111.72	112.04	24.00	42.47	64.08	87.22	43.98	105.77	74.51
Desviación estándar			5.43	4.78	8.11	3.86	3.38	3.67	2.47	6.25	6.43	5.89	0.27	2.76	25.90	24.49	27.04	5.47
Mínimo			117.02	57.22	50.01	102.46	59.19	32.02	37.10	103.10	104.98	18.38	41.84	59.98	57.21	18.87	75.13	66.85
Máximo			139.07	75.29	78.51	116.31	70.79	46.20	48.39	126.81	125.49	40.92	42.88	71.26	129.33	91.59	151.55	86.54

• **Tiempos de viaje vehicular de la propuesta de mejora implementada para la hora pico “noche (15%)”**

Propuesta de Mejora - Tiempos de Viaje Vehicular (seg)																		
Numero de corda	Numero de senilla	Intervalo de tiempo (segundos)	Acceso Sur				Acceso Este				Acceso Norte				Acceso Oeste			
			Sur a Norte	Sur - Sur (Vuelta en U)	Sur - Este	Sur - Oeste	Este - Oeste	Este - Este (Vuelta en U)	Este - Norte	Este - Sur	Norte - Sur	Norte - Norte (Vuelta en U)	Norte - Oeste	Norte - Este	Oeste - Este	Oeste - Oeste (Vuelta en U)	Oeste - Norte	Oeste - Sur
1	250	600 - 3600	105.95	177.78	29.65	95.65	72.19	54.06	41.38	214.04	200.47	38.44	42.16	77.65	199.24	115.48	209.96	162.53
2	251	600 - 3600	107.85	258.13	29.35	99.60	71.84	54.11	38.27	237.07	257.82	31.55	41.96	82.74	171.35	111.99	194.39	216.88
3	252	600 - 3600	112.05	176.14	30.44	101.29	81.66	58.76	42.31	234.69	219.19	28.18	42.28	79.39	182.34	91.65	193.51	207.96
4	253	600 - 3600	108.54	287.81	30.42	98.78	69.02	50.93	38.66	236.74	247.56	31.05	42.48	86.60	186.86	114.61	215.60	218.62
5	254	600 - 3600	104.88	92.41	31.17	95.75	71.61	47.04	38.84	145.07	133.30	22.46	42.22	84.34	187.12	122.38	206.46	124.35
6	255	600 - 3600	105.31	211.23	30.10	94.84	74.88	60.31	44.69	264.98	258.27	27.85	41.73	80.55	209.81	113.44	227.86	243.24
7	256	600 - 3600	107.72	155.91	30.35	102.03	73.34	58.32	42.56	198.34	197.05	28.61	41.80	81.52	184.22	94.87	192.85	193.92
8	257	600 - 3600	109.99	163.50	29.66	99.58	70.23	45.70	37.89	205.92	204.87	27.37	42.03	82.97	173.37	100.31	192.47	190.92
9	258	600 - 3600	105.67	161.77	29.65	93.94	68.73	44.15	42.53	199.61	193.46	24.33	41.95	74.43	179.66	94.00	200.15	193.22
10	259	600 - 3600	105.90	273.59	29.88	92.95	73.93	53.45	39.52	271.01	281.78	26.21	42.23	73.85	201.13	131.07	224.53	304.82
11	260	600 - 3600	106.00	223.97	29.76	94.66	73.13	57.45	39.98	242.48	243.28	23.84	42.37	72.53	212.17	130.63	233.41	230.11
12	261	600 - 3600	109.72	221.02	29.18	93.10	72.07	49.56	39.24	223.54	231.96	26.79	42.07	79.52	208.72	117.94	216.94	236.47
13	262	600 - 3600	104.62	116.86	29.78	97.91	73.15	59.83	41.00	170.39	164.78	45.45	41.99	76.27	183.65	111.46	200.80	143.36
14	263	600 - 3600	102.39	219.91	29.53	92.07	72.20	53.97	38.71	252.77	282.91	25.17	42.20	93.11	225.58	136.55	236.06	413.06
15	264	600 - 3600	108.95	330.97	29.27	99.01	71.65	57.01	38.57	252.59	271.45	27.59	42.16	78.59	192.79	109.86	210.16	283.13
16	265	600 - 3600	110.10	142.10	29.74	100.97	66.59	48.89	37.49	189.24	186.84	19.71	42.01	76.54	188.49	111.55	212.26	186.28
17	266	600 - 3600	101.51	132.38	29.56	89.45	70.97	50.28	42.66	187.20	192.68	24.58	42.25	86.13	194.53	133.54	213.78	166.03
18	267	600 - 3600	109.37	154.96	29.41	101.51	73.77	49.73	40.46	208.49	202.86	28.20	42.43	75.26	165.45	74.51	178.97	178.24
19	268	600 - 3600	108.81	221.74	29.95	98.85	70.51	52.12	39.39	246.13	262.07	19.82	42.09	77.76	190.26	113.28	201.92	283.97
20	269	600 - 3600	106.72	113.62	30.91	94.59	69.64	52.49	38.56	161.72	152.93	21.52	42.37	72.67	193.58	102.99	212.86	149.44
Promedio			107.10	191.79	29.89	96.83	72.06	52.91	40.14	217.10	219.28	27.44	42.14	79.62	191.52	111.61	208.75	216.33
Desviación estandar			2.69	63.26	0.53	3.60	3.03	4.70	1.97	35.04	43.27	6.04	0.20	5.27	14.85	15.56	14.82	66.76
Mínimo			101.51	92.41	29.18	89.45	66.59	44.15	37.49	145.07	133.30	19.71	41.73	72.53	165.45	74.51	178.97	124.35
Máximo			112.05	330.97	31.17	102.03	81.66	60.31	44.69	271.01	282.91	45.45	42.48	93.11	225.58	136.55	236.06	413.06

Anexo 15. Tiempo de demora vehicular promedio en el sistema
Fuente: Propia

• **Tiempo de demora vehicular promedio en el sistema**

Demora Vehicular Promedio del Sistema										
Numero de corrrda	Numero de semilla	Intervalo de tiempo (segundos)	Condición AM		Condición M		Condición PM		Condición PM Futuro	
			Sa	Pm	Sa	Pm	Sa	Pm	Sa	Pm
1	250	0 - 3600	114.54	40.86	161.28	101.65	64.42	74.50	83.17	90.24
2	251	0 - 3600	106.32	39.35	177.82	120.88	64.66	78.31	83.91	95.36
3	252	0 - 3600	107.10	46.87	167.51	104.86	64.45	93.35	82.15	93.61
4	253	0 - 3600	106.90	44.95	199.94	101.91	63.32	77.49	74.08	96.62
5	254	0 - 3600	111.87	39.32	280.69	89.34	64.81	69.67	65.65	84.00
6	255	0 - 3600	112.40	43.69	165.85	108.26	62.32	77.62	75.18	98.42
7	256	0 - 3600	108.44	34.69	186.02	103.77	63.88	68.74	67.00	89.14
8	257	0 - 3600	115.29	28.73	235.73	107.55	61.88	75.11	66.11	88.96
9	258	0 - 3600	104.76	38.06	267.35	100.35	62.23	72.88	65.22	88.03
10	259	0 - 3600	117.53	62.12	159.86	113.22	63.27	74.96	69.82	102.47
11	260	0 - 3600	110.43	46.29	155.93	102.35	62.12	70.84	69.19	98.63
12	261	0 - 3600	107.02	62.07	175.89	105.83	64.85	79.77	82.80	96.38
13	262	0 - 3600	108.80	55.07	178.65	92.91	65.00	80.65	69.11	87.55
14	263	0 - 3600	114.18	50.63	143.70	110.02	65.07	80.31	82.76	103.44
15	264	0 - 3600	117.36	49.82	164.32	92.40	67.86	79.90	74.60	97.17
16	265	0 - 3600	111.17	40.44	172.25	104.44	63.99	79.38	74.01	89.81
17	266	0 - 3600	105.62	39.76	164.43	95.59	62.46	73.57	69.82	85.55
18	267	0 - 3600	106.50	76.04	166.81	114.66	62.75	76.09	67.76	88.74
19	268	0 - 3600	107.15	77.89	150.55	93.92	60.88	76.71	68.14	99.28
20	269	0 - 3600	107.98	42.83	148.37	110.68	60.48	78.62	67.75	86.15
Promedio			110.07	47.97	181.15	103.73	63.54	76.92	72.91	92.98
Desviación estandar			3.99	12.92	37.63	8.17	1.72	5.24	6.62	5.86
Mínimo			104.76	28.73	143.70	89.34	60.48	68.74	65.22	84.00
Máximo			117.53	77.89	280.69	120.88	67.86	93.35	83.91	103.44
¿Existe mejora?			Si		Si		No		No	
Tiempo ahorrado (seg.)			62.09		77.42		-		-	
Tiempo ahorrado (min.)			1.03		1.29		-		-	
% de reducción			56.41%		42.74%		-		-	
Tiempo desperdiciado (seg.)			-		-		13.39		20.07	
Tiempo desperdiciado (min.)			-		-		0.22		0.33	
% de aumento			-		-		17.41%		21.58%	

Leyenda	
Sa	Situación actual
Pm	Propuesta de mejora

Anexo 16. Parámetros de circulación peatonal en el sistema
Fuente: Propia

• **Parámetros de circulación peatonal de la situación actual**

Situación Actual - Parámetros de Circulación Peatonal en el Sistema										
Numero de corda	Numero de semilla	Intervalo de tiempo (segundos)	Condición AM		Condición M		Condición PM		Condición PM (+ 15%)	
			Densidad promedio Peatonal (peat/h/m)	Velocidad promedio peatonal (km/h)	Densidad promedio Peatonal (peat/h/m)	Velocidad promedio peatonal (km/h)	Densidad promedio Peatonal (peat/h/m)	Velocidad promedio peatonal (km/h)	Densidad promedio Peatonal (peat/h/m)	Velocidad promedio peatonal (km/h)
1	250	600 - 3600	0.00527	4.47414	0.00505	4.60639	0.00453	4.48786	0.00509	4.47953
2	251	600 - 3600	0.00532	4.56858	0.00493	4.57015	0.00467	4.53830	0.00528	4.42598
3	252	600 - 3600	0.00459	4.52561	0.00485	4.57593	0.00486	4.41920	0.00557	4.45928
4	253	600 - 3600	0.00522	4.48351	0.00513	4.53974	0.00476	4.38140	0.00552	4.52663
5	254	600 - 3600	0.00514	4.50550	0.00637	4.43089	0.00434	4.52202	0.00647	4.44418
6	255	600 - 3600	0.00533	4.48620	0.00464	4.68038	0.00443	4.50485	0.00520	4.54551
7	256	600 - 3600	0.00530	4.39687	0.00507	4.59775	0.00454	4.59932	0.00530	4.53216
8	257	600 - 3600	0.00538	4.42326	0.00569	4.59415	0.00438	4.46001	0.00505	4.48696
9	258	600 - 3600	0.00548	4.51700	0.00548	4.60327	0.00469	4.42550	0.00542	4.47714
10	259	600 - 3600	0.00516	4.62223	0.00493	4.76371	0.00417	4.57426	0.00516	4.57895
11	260	600 - 3600	0.00512	4.52668	0.00468	4.66225	0.00428	4.58139	0.00504	4.58171
12	261	600 - 3600	0.00523	4.41524	0.00506	4.50944	0.00495	4.39810	0.00571	4.44233
13	262	600 - 3600	0.00553	4.46822	0.00535	4.52979	0.00469	4.48384	0.00567	4.41620
14	263	600 - 3600	0.00542	4.51908	0.00451	4.66441	0.00485	4.55123	0.00552	4.48836
15	264	600 - 3600	0.00561	4.49171	0.00484	4.74709	0.00545	4.42985	0.00536	4.48187
16	265	600 - 3600	0.00582	4.47662	0.00507	4.62562	0.00491	4.57503	0.00579	4.44879
17	266	600 - 3600	0.00581	4.36467	0.00479	4.54717	0.00490	4.58279	0.00576	4.51340
18	267	600 - 3600	0.00518	4.42429	0.00476	4.69578	0.00479	4.43916	0.00559	4.36528
19	268	600 - 3600	0.00571	4.51212	0.00488	4.67881	0.00464	4.53030	0.00557	4.48805
20	269	600 - 3600	0.00596	4.36509	0.00510	4.58373	0.00470	4.48783	0.00564	4.42298
Promedio			0.00538	4.47833	0.00506	4.61032	0.00468	4.49861	0.00549	4.48026
Desviación estándar			0.00031	0.06536	0.00042	0.08169	0.00029	0.06778	0.00033	0.05532
Mínimo			0.00459	4.36467	0.00451	4.43089	0.00417	4.38140	0.00504	4.36528
Máximo			0.00596	4.62223	0.00637	4.76371	0.00545	4.59932	0.00647	4.58171

• **Parámetros de circulación peatonal tras la propuesta de mejora implementada**

Propuesta de Mejora - Parámetros de Circulación Peatonal en el Sistema										
Numero de corda	Numero de semilla	Intervalo de tiempo (segundos)	Condición AM		Condicion M		Condición PM		Condición PM(+ 15%)	
			Densidad promedio Peatonal (peat/h/m)	Velocidad promedio peatonal (km/h)	Densidad promedio Peatonal (peat/h/m)	Velocidad promedio peatonal (km/h)	Densidad promedio Peatonal (peat/h/m)	Velocidad promedio peatonal (km/h)	Densidad promedio Peatonal (peat/h/m)	Velocidad promedio peatonal (km/h)
1	250	600 - 3600	0.00515	4.61036	0.00492	4.55457	0.004749	4.373448	0.005562	4.330773
2	251	600 - 3600	0.00510	4.55725	0.00552	4.44295	0.004913	4.461671	0.006025	4.332967
3	252	600 - 3600	0.00530	4.33662	0.00570	4.39217	0.00509	4.272837	0.005645	4.392412
4	253	600 - 3600	0.00512	4.43181	0.00553	4.47684	0.004537	4.396381	0.004989	4.504428
5	254	600 - 3600	0.00519	4.49965	0.00517	4.52326	0.004757	4.47181	0.005619	4.437892
6	255	600 - 3600	0.00538	4.41747	0.00521	4.50543	0.004743	4.530791	0.005163	4.534989
7	256	600 - 3600	0.00532	4.52065	0.00490	4.50707	0.004876	4.424369	0.00616	4.402492
8	257	600 - 3600	0.00499	4.55405	0.00530	4.49528	0.004441	4.467207	0.005302	4.457855
9	258	600 - 3600	0.00525	4.45910	0.00511	4.68128	0.00477	4.510604	0.0054	4.46702
10	259	600 - 3600	0.00505	4.59844	0.00520	4.49702	0.00483	4.36975	0.005026	4.392862
11	260	600 - 3600	0.00506	4.59466	0.00553	4.49861	0.004726	4.363672	0.005174	4.405706
12	261	600 - 3600	0.00545	4.43979	0.00627	4.31828	0.004728	4.372932	0.006155	4.258637
13	262	600 - 3600	0.00506	4.56611	0.00535	4.54838	0.004568	4.453069	0.005512	4.358151
14	263	600 - 3600	0.00556	4.51198	0.00546	4.50804	0.004737	4.504289	0.005845	4.346569
15	264	600 - 3600	0.00554	4.48416	0.00523	4.50913	0.005218	4.433614	0.005065	4.503175
16	265	600 - 3600	0.00539	4.61085	0.00585	4.38908	0.005085	4.391072	0.005774	4.291722
17	266	600 - 3600	0.00487	4.57380	0.00516	4.57154	0.004524	4.541955	0.006046	4.489895
18	267	600 - 3600	0.00539	4.48465	0.00539	4.46389	0.00454	4.493815	0.005402	4.375431
19	268	600 - 3600	0.00555	4.42749	0.00559	4.41017	0.005092	4.325012	0.006091	4.479858
20	269	600 - 3600	0.00519	4.50645	0.00513	4.67668	0.004767	4.452511	0.005309	4.452628
Promedio			0.00524	4.50927	0.00538	4.49848	0.004785	4.43054	0.005563	4.410773
Desviación estándar			0.00020	0.07512	0.00032	0.08748	0.000213	0.071395	0.000393	0.076194
Mínimo			0.00487	4.33662	0.00490	4.31828	0.004441	4.272837	0.004989	4.258637
Máximo			0.00556	4.61085	0.00627	4.68128	0.005218	4.541955	0.00616	4.534989

Anexo 17. Código de programación en *Python*
Fuente: Propia

```
##-----
t=0
Primer_Loop=0
Segundo_Loop=0
Sim_break_at = 100 # simulation second [s]
Vissim.Simulation.SetAttValue("SimBreakAt", Sim_break_at)
Vissim.Simulation.RunContinuous()
Vin=[0,0,0,0]
Vin[0]=Vissim.Net.VehicleInputs.ItemByKey(27).AttValue('Volume(1)') #verificar Volumen de entrada veh/h
Vin[1]=Vissim.Net.VehicleInputs.ItemByKey(23).AttValue('Volume(1)') #verificar Volumen de entrada veh/h
Vin[2]=Vissim.Net.VehicleInputs.ItemByKey(24).AttValue('Volume(1)') #verificar Volumen de entrada veh/h
Vin[3]=Vissim.Net.VehicleInputs.ItemByKey(21).AttValue('Volume(1)') #verificar Volumen de entrada veh/h
Q=[0,0,0,0]

while t<1000000000000:
    t+=1
    QL=[]
    Vissim.Simulation.RunSingleStep()
    (Q,Qlen)=leer_queue()
    verificacion_colas_accesos()
    D=leer_arrival_FR()
    print('VERIFICADO COLAS')
    print('COLAS EN ACCESOS: ',QL)
    print('COLAS ',Q)
    if Q[0]==1 or Q[1]==1 or Q[2]==1 or Q[3]==1:
        (CA,MA1)=seleccion_CA_MA()
        print(D)
        print('ELECCION DEL CA Y MA1: ',CA,MA1)
        AM1_ON=1
        Primer_Loop=1
        while Primer_Loop==1:
            if AM1_ON==1 and AM2_ON==0:
                Vissim.Net.SignalControllers.ItemByKey(1).SGs.ItemByKey(MA1).SetAttValue("SigState", "AMBER")
                print('LUZ AMARILLA ACCESO ',MA1)
                for i in range(30):
                    Vissim.Simulation.RunSingleStep()
                    t+=1
                Vissim.Net.SignalControllers.ItemByKey(1).SGs.ItemByKey(MA1).SetAttValue("SigState", "RED")
                print('LUZ ROJA ACCESO MA1 ',MA1)
                (Gp,Gt1,Gil)=gap_prom()
                print('CALCULO GAP PROMEDIO',Gp)
                if Gp<=4:
                    print('GAP MENOR QUE 4')
                    MA2=MA1-1
                    if MA2==0:
                        MA2=4
                    print('ELECCION DE MA2: ',MA2)
                    encender_control(MA2)
                    print('MA2 PRENDIDO')
                    AM2_ON=1
                if Gp>4:
                    print('GAP MAYOR A4')
                    Primer_Loop=0
                    Segundo_loop=1
                    break
            else:
                Primer_loop=0
                Segundo_loop=1
                break
        while Segundo_loop==1:
            Vissim.Simulation.RunSingleStep()
            t+=1
            (cola_AM1,cola_AM2)=verificar_cola_EM()
            print('VERIFICACION EM QEM1 Y QEM2: ',cola_AM1,cola_AM2)
            if cola_AM1==1:
                AM1_ON=0
                Vissim.Net.SignalControllers.ItemByKey(1).SGs.ItemByKey(MA1).SetAttValue("SigState", "GREEN")
                print('MA1 OFF, COLA DETECTADA EN MA1')
            if cola_AM2==1:
                AM2_ON=0
                Vissim.Net.SignalControllers.ItemByKey(1).SGs.ItemByKey(MA2).SetAttValue("SigState", "GREEN")
                print('MA2 OFF, COLA DETECTADA EN MA2')
            if AM1_ON==0 and AM2_ON==0:
                for i in range(100):
                    Vissim.Simulation.RunSingleStep()
                    t+=1
                Segundo_loop=0
                print('FIN DE CICLO XQ AM1 y AM2 FUERON DESACIVADOS')
                break
            else:
                (Q,Qlen)=leer_queue()
                QAC=Q[CA-1]
                print('VERIFICACION DE COLA EN CA: ',QAC)
                if QAC==0:
                    print('COLA EN CA DISMINUIDA')
                    AM1_ON=0
                    AM2_ON=0
                    Vissim.Net.SignalControllers.ItemByKey(1).SGs.ItemByKey(MA1).SetAttValue("SigState", "GREEN")
                    if MA2!=0:
                        Vissim.Net.SignalControllers.ItemByKey(1).SGs.ItemByKey(MA2).SetAttValue("SigState", "GREEN")
                    print('MA1 y MA2 DESACTIVADOS')
                    delay()
                    Segundo_loop=0
                    print('FIN DEL CICLO QCA-')
                    break
        print('FIN DE CICLO')
```

Anexo 18. Tabla de distribución “t” student
Fuente: (Triola, 2013)

Distribución t de Student
<p>La tabla A.4 da distintos valores de la función de distribución en relación con el número de grados de libertad; concretamente, relaciona los valores p y $t_{n,p}$ que satisfacen</p> $P(t_n \leq t_{n,p}) = p.$									
n	$t_{0,55}$	$t_{0,60}$	$t_{0,70}$	$t_{0,80}$	$t_{0,90}$	$t_{0,95}$	$t_{0,975}$	$t_{0,99}$	$t_{0,995}$
1	0,1584	0,3249	0,7265	1,3764	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567
2	0,1421	0,2887	0,6172	1,0607	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248
3	0,1366	0,2767	0,5844	0,9785	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409
4	0,1338	0,2707	0,5686	0,9410	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041
5	0,1322	0,2672	0,5594	0,9195	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321
6	0,1311	0,2648	0,5534	0,9057	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074
7	0,1303	0,2632	0,5491	0,8960	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995
8	0,1297	0,2619	0,5459	0,8889	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554
9	0,1293	0,2610	0,5435	0,8834	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498
10	0,1289	0,2602	0,5415	0,8791	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693
11	0,1286	0,2596	0,5399	0,8755	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058
12	0,1283	0,2590	0,5386	0,8726	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545
13	0,1281	0,2586	0,5375	0,8702	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123
14	0,1280	0,2582	0,5366	0,8681	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768
15	0,1278	0,2579	0,5357	0,8662	1,3406	1,7531	2,1314	2,6025	2,9467
16	0,1277	0,2576	0,5350	0,8647	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208
17	0,1276	0,2573	0,5344	0,8633	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982
18	0,1274	0,2571	0,5338	0,8620	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784
19	0,1274	0,2569	0,5333	0,8610	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609
20	0,1273	0,2567	0,5329	0,8600	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453
21	0,1272	0,2566	0,5325	0,8591	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314
22	0,1271	0,2564	0,5321	0,8583	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188
23	0,1271	0,2563	0,5317	0,8575	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073
24	0,1270	0,2562	0,5314	0,8569	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969
25	0,1269	0,2561	0,5312	0,8562	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874
26	0,1269	0,2560	0,5309	0,8557	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787
27	0,1268	0,2559	0,5306	0,8551	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707
28	0,1268	0,2558	0,5304	0,8546	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633
29	0,1268	0,2557	0,5302	0,8542	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564
30	0,1267	0,2556	0,5300	0,8538	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500
40	0,1265	0,2550	0,5286	0,8507	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045
50	0,1263	0,2547	0,5278	0,8489	1,2987	1,6759	2,0086	2,4033	2,6778
60	0,1262	0,2545	0,5272	0,8477	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603
80	0,1261	0,2542	0,5265	0,8461	1,2922	1,6641	1,9901	2,3739	2,6387
100	0,1260	0,2540	0,5261	0,8452	1,2901	1,6602	1,9840	2,3642	2,6259
120	0,1259	0,2539	0,5258	0,8446	1,2886	1,6577	1,9799	2,3578	2,6174
∞	0,126	0,253	0,524	0,842	1,282	1,645	1,960	2,327	2,576

Tabla A.4: Tabla de la distribución t de Student.

Anexo 19. Plano de la intersección
Fuente: (Empresa Municipal Administradora de Peajes de Lima, 2018)