UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis del impacto vial producido por el establecimiento de un edificio multifamiliar de 20 pisos y 80 estacionamientos ubicado en la Avenida Arequipa utilizando el modelo de microsimulación de Wiedemann 74

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Marín Flores, Alvaro Manuel (0000-0001-9931-7371)

Enero Quispe, Robin Alejandro (0000-0002-1183-5340)

ASESOR

Silvera Lima, Manuel Elias (0000-0002-8265-9495)

Lima, 28 de enero del 2020

DEDICATORIA

*A mis padres, por su amor y apoyo incondicional para lograr mis objetivos,
por ser el motivo de superación para seguir creciendo como persona y profesionalmente.*

Alvaro Manuel Marín Flores

*A Dios por ser mi guía y darme la sabiduría,
a mi familia por la confianza depositada en mí y por el apoyo
constante para lograr mis objetivos profesionales.*

Robin Enero Quispe

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser nuestro guía a lo largo de nuestra carrera profesional.

A nuestro asesor de tesis, el Ing. Manuel Silvera por compartirnos su experiencia y orientarnos en el correcto desarrollo de la investigación.

A la universidad por brindarnos acceso a los laboratorios especializados.

RESUMEN

La presente tesis propone una solución a la congestión vehicular ocasionado por el establecimiento de un proyecto multifamiliar a través de propuestas de mejora en la infraestructura vial, la cual reducirá las demoras por control y optimizará los niveles de servicio por medio de los parámetros de diseño del modelo de microsimulación de Wiedemann 74.

En el primer capítulo contextualiza la problemática del tema de investigación, antecedentes de estudios, justificativa, hipótesis, objetivos y limitaciones de la investigación.

En el segundo capítulo se desarrolla el marco teórico que respalda los criterios con los que se desarrollará el modelo de microsimulación y la propuesta de mejora. Se define los tipos de modelos de tránsito, los fundamentos de la microsimulación y conceptos que serán importantes al momento de realizar el análisis de resultados.

El tercer capítulo describe la metodología que se utiliza desde la recolección de datos de campo hasta el modelo de microsimulación debidamente calibrado y validado. Además, se detalla la elaboración del modelo de microsimulación.

En el cuarto capítulo se presentan el análisis de resultados obtenidos en la situación actual, en la situación del proyecto a 5 años sin implementar las propuestas de mejora y luego, se presentan las medidas de mitigación a los impactos negativos, los cuales involucra el diseño de la infraestructura vial y reajuste en los ciclos semafóricos.

En el último capítulo se encontrarán las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron respondiendo así el objetivo general de la presente tesis.

Palabras clave: Microsimulación; Intersección; VISSIM 9; Wiedemann 74; Propuestas de mejora

Analysis of the road impact produced by the establishment of a 20-story and 80-parking multifamily building located on Avenue Arequipa using Wiedemann 74 microsimulation model

ABSTRACT

This thesis proposes a solution to vehicular congestion caused by the establishment of a multi-family project through proposals for improvement in road infrastructure, which will reduce delays in control and optimize service levels through the design parameters of the Wiedemann microsimulation model 74.

In the first chapter, it contextualizes the problems of the research topic, study background, justification, hypotheses, objectives and limitations of the research.

In the second chapter, the theoretical framework that supports the criteria with which the microsimulation model will be developed and the improvement proposal will be developed. It defines the types of traffic models, the fundamentals of microsimulation and concepts that will be important when performing the results analysis.

The third chapter describes the methodology used from the field data collection to the properly calibrated and validated microsimulation model. In addition, the elaboration of the microsimulation model is detailed.

In the fourth chapter, the analysis of results obtained in the current situation is presented, in the situation of the project 5 years without implementing the improvement proposals and then, the mitigation measures to the negative impacts are presented, which involves the design of road infrastructure and readjustment in traffic light cycles.

In the last chapter you will find the conclusions and recommendations that were reached thus responding to the general objective of this thesis.

Keywords: Microsimulation; Intersection; VISSIM 9; Wiedemann 74; Improvement proposals

TABLA DE CONTENIDOS

CAPITULO I: INTRODUCCION.....	2
1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	2
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.4 HIPÓTESIS	4
1.5 OBJETIVOS	4
1.5.1 Objetivo General.....	4
1.5.2 Objetivos Específicos.....	4
1.6 LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	4
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	5
2.1 ESTUDIO DE IMPACTO VIAL (EIV)	5
2.1.1 Normativa Vigente.....	5
2.1.2 Estructura de un EIV.....	6
2.2 MODELOS DE TRÁFICO.....	9
2.2.1 Modelos Macroscópicos	9
2.2.2 Modelos Mesoscópicos	9
2.2.3 Modelos Microscópicos	10
2.2.4 Modelo determinístico	10
2.2.5 Modelo estocástico.....	10
2.3 FUNDAMENTOS DE LA MICROSIMULACIÓN	15
2.3.1 Nivel de aleatoriedad en el flujo de tráfico	15
2.3.2 Ciclo del semáforo	15
2.3.3 Velocidad Media Espacial:	16
2.3.4 Tasa de crecimiento poblacional.....	16
2.3.5 Generación de viajes	17
2.3.6 Número de semillas.....	17
2.3.7 Interacción entre vehículos	17
2.3.8 Warm Up.....	17
2.3.9 Número de corridas.....	18
2.3.10 Niveles de Servicio	20
2.3.11 Calibración del Modelo.....	21
2.3.12 Validación del Modelo.....	22
2.3.13 Prueba estadística para la calibración y validación del modelo	22
CAPITULO III: METODOLOGIA DE INVESTIGACION.....	23

3.1	IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES DEL EIV EN LA ZONA DE ESTUDIO	24
3.1.1	Memoria Descriptiva:	24
3.1.2	Determinación del área de influencia.....	27
3.1.3	Compatibilización e influencia de Proyectos Futuros.....	34
3.1.4	Identificación de paraderos de transporte público.....	35
3.2	RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO	36
3.2.1	Aforo vehicular	36
3.2.2	Aforo de bicicletas	38
3.2.3	Aforo peatonal	39
3.3	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE MICROSIMULACIÓN.....	42
3.3.1	Background/Fondo de referencia	42
3.3.2	Links y conectores	42
3.3.3	Composición vehicular / Vehicle Composition	43
3.3.4	Flujo total de vehículos/Vehicle Inputs.....	44
3.3.5	Rutas de vehículos / Vehicle Routes (Static)	45
3.3.6	Creación de áreas para peatonales y rutas de destino.....	45
3.3.7	Creación de vías peatonales	46
3.3.8	Reductor de Velocidades / Reduce Speed Areas	47
3.3.9	Transporte Público	49
3.3.10	Conflicto de áreas / Conflict areas	50
3.3.11	Tiempos de viaje / Vehicle Travel Times	55
3.3.12	Señales de control	56
3.3.13	Nodos / Nodes.....	57
3.4	NÚMERO DE CORRIDAS	59
3.5	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	60
3.6	DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES DESEADAS	61
3.7	PRUEBA ESTADÍSTICA PARA LA CALIBRACIÓN DEL MODELO	64
3.8	PRUEBA ESTADÍSTICA PARA LA VALIDACIÓN DEL MODELO	67
CAPITULO IV: EVALUACION DE RESULTADOS.....		70
4.1	ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES EXISTENTES.....	70
4.1.1	Aforos vehiculares	70
4.1.2	Resultados de los niveles de servicio y demoras por control en la situación actual.....	73
4.1.3	Niveles de servicio (LOS).....	74
4.2	ANÁLISIS DE LA PROYECCIÓN DE TRÁNSITO A 5 AÑOS	75
4.2.1	Cálculo de aforo proyectado a 5 años	75
4.2.2	Resultados de los niveles de servicio y demoras por control en la situación proyectada a 5 años sin propuestas de mejora	76
4.2.3	Niveles de servicio (LOS).....	77

4.3	EVALUACIÓN DE RESULTADOS DE DEMORAS POR CONTROL Y NIVELES DE SERVICIO CONSIDERANDO LA PROPUESTA DE MEJORA EN LA INFRAESTRUCTURA VIAL	78
4.3.1	Diseño de ingreso de edificio.....	78
4.3.2	Diseño de paradero de bus segregado	80
4.3.3	Optimización del ciclo semafórico	81
4.3.4	Análisis de resultados de demoras por control y niveles de servicio considerando las propuestas de mejora.....	87
4.3.5	Niveles de servicio (LOS).....	90
4.3.6	Impacto del ciclo semafórico propuesto en el flujo de bicicletas.....	92
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		94
5.1	CONCLUSIONES	94
5.2	RECOMENDACIONES	96
6.	ANEXOS.....	100
6.1	FLUJOGRAMA VEHICULAR REALIZADO EN DICIEMBRE DEL 2018 POR UNA CONSULTA DE TRÁNSITO: INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. EMILIO FERNÁNDEZ. ELABORACIÓN PROPIA.....	100
6.2	FLUJOGRAMA VEHICULAR REALIZADO EN DICIEMBRE DEL 2018 POR UNA CONSULTA DE TRÁNSITO: INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. PABLO BERMÚDEZ. ELABORACIÓN PROPIA	101
6.3	FLUJOGRAMA VEHICULAR REALIZADO EN DICIEMBRE DEL 2018 POR UNA CONSULTA DE TRÁNSITO: INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. RAMÓN DAGNINO. ELABORACIÓN PROPIA	102
6.4	FLUJOGRAMA PEATONAL REALIZADO EN DICIEMBRE DEL 2018 POR UNA CONSULTA DE TRÁNSITO: INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. EMILIO FERNÁNDEZ. ELABORACIÓN PROPIA.....	103
6.5	FLUJOGRAMA PEATONAL REALIZADO EN DICIEMBRE DEL 2018 POR UNA CONSULTA DE TRÁNSITO: INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. PABLO BERMÚDEZ. ELABORACIÓN PROPIA	104
6.6	FLUJOGRAMA PEATONAL REALIZADO EN DICIEMBRE DEL 2018 POR UNA CONSULTA DE TRÁNSITO: INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. RAMÓN DAGNINO. ELABORACIÓN PROPIA.....	105
6.7	FLUJOGRAMA VEHICULAR REALIZADO EL 06 DE DICIEMBRE DEL 2019. INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. EMILIO FERNÁNDEZ. ELABORACIÓN PROPIA	106
6.8	FLUJOGRAMA VEHICULAR REALIZADO EL 06 DE DICIEMBRE DEL 2019. INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. PABLO BERMÚDEZ. ELABORACIÓN PROPIA	107
6.9	FLUJOGRAMA VEHICULAR REALIZADO EL 06 DE DICIEMBRE DEL 2019. INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. RAMÓN DAGNINO. ELABORACIÓN PROPIA	108
6.10	FLUJOGRAMA DE BICICLETAS REALIZADO EL 06 DE DICIEMBRE DEL 2019. INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. EMILIO FERNÁNDEZ. ELABORACIÓN PROPIA.....	109
6.11	FLUJOGRAMA DE BICICLETAS REALIZADO EL 06 DE DICIEMBRE DEL 2019. INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. PABLO BERMÚDEZ. ELABORACIÓN PROPIA.....	110
6.12	FLUJOGRAMA DE PEATONES REALIZADO EL 06 DE DICIEMBRE DEL 2019. INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. EMILIO FERNÁNDEZ. ELABORACIÓN PROPIA.....	111

6.13	FLUJOGRAMA DE PEATONES REALIZADO EL 06 DE DICIEMBRE DEL 2019. INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. PABLO BERMÚDEZ. ELABORACIÓN PROPIA.....	112
6.14	FLUJOGRAMA DE PEATONES REALIZADO EL 06 DE DICIEMBRE DEL 2019. INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. RAMÓN DAGNINO. ELABORACIÓN PROPIA.....	113
6.15	FLUJOGRAMA VEHICULAR REALIZADO EL 13 DE DICIEMBRE DEL 2019. INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. EMILIO FERNÁNDEZ. ELABORACIÓN PROPIA.....	114
6.16	FLUJOGRAMA VEHICULAR REALIZADO EL 13 DE DICIEMBRE DEL 2019. INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. PABLO BERMÚDEZ. ELABORACIÓN PROPIA.....	115
6.17	FLUJOGRAMA VEHICULAR REALIZADO EL 13 DE DICIEMBRE DEL 2019. INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. PABLO BERMÚDEZ. ELABORACIÓN PROPIA.....	116
6.18	FLUJOGRAMA DE BICICLETA REALIZADO EL 13 DE DICIEMBRE DEL 2019. INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. EMILIO FERNÁNDEZ. ELABORACIÓN PROPIA.....	117
6.19	FLUJOGRAMA DE BICICLETA REALIZADO EL 13 DE DICIEMBRE DEL 2019. INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. PABLO BERMÚDEZ. ELABORACIÓN PROPIA.....	118
6.20	FLUJOGRAMA DE PEATONES REALIZADO EL 13 DE DICIEMBRE DEL 2019. INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. EMILIO FERNÁNDEZ. ELABORACIÓN PROPIA.....	119
6.21	FLUJOGRAMA DE PEATONES REALIZADO EL 13 DE DICIEMBRE DEL 2019. INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. PABLO BERMÚDEZ. ELABORACIÓN PROPIA.....	120
6.22	FLUJOGRAMA DE PEATONES REALIZADO EL 13 DE DICIEMBRE DEL 2019. INTERSECCIÓN AV. AREQUIPA – JR. RAMÓN DAGNINO. ELABORACIÓN PROPIA.....	121
6.23	TIEMPOS DE VIAJE PARA CALIBRACIÓN DE LA INTERSECCIÓN DE LA AV. AREQUIPA SENTIDO NORTE-SUR.....	122
6.24	TIEMPOS DE VIAJE PARA CALIBRACIÓN DE LA INTERSECCIÓN DE LA AV. AREQUIPA SENTIDO SUR-NORTE	123
6.25	TIEMPOS DE VIAJE PARA CALIBRACIÓN DE LA INTERSECCIÓN DE JR. PABLO BERMÚDEZ.....	124
6.26	TIEMPOS DE VIAJE PARA VALIDACIÓN DE LA INTERSECCIÓN DE LA AV. AREQUIPA SENTIDO NORTE-SUR	125
6.27	TIEMPOS DE VIAJE PARA VALIDACIÓN DE LA INTERSECCIÓN DE LA AV. AREQUIPA SENTIDO NORTE-SUR	126
6.28	TIEMPOS DE VIAJE PARA VALIDACIÓN DE LA INTERSECCIÓN DE JR. PABLO BERMÚDEZ	127
6.29	RESUMEN DE AFOROS TOTALES, POR TIPOS DE VEHÍCULOS, BICICLETAS Y PEATONES.....	128
6.30	ANEXO 1: PLANO DE UBICACIÓN	129
6.31	ANEXO 2: TOPOGRAFÍA ACTUAL	130
6.32	ANEXO 3: SECCIONES DE LA VÍA	131
6.33	ANEXO 4: FOTOGRAFÍAS	132
6.34	ANEXO 5: TOPOGRAFÍA CON EDIFICIO MULTIFAMILIAR.....	133
6.35	ANEXO 6: ÁREA DE INFLUENCIA	134
6.36	ANEXO 7: ESTACIONES DE CONTEO.....	135
6.37	ANEXO 8: VOLUMEN VEHICULAR EN HORA PICO	136
6.38	ANEXO 9: VOLUMEN PEATONAL EN HORA PICO	137

6.39	ANEXO 10: RUTAS DE ACCESO.....	138
6.40	ANEXO 11: PLANO DE MITIGACIÓN DE IMPACTOS NEGATIVOS	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Área techada de usos	26
Tabla 2: Intersecciones descartadas del área de estudio.....	29
Tabla 3: Resumen de aforo vehicular y cálculo de la hora pico.....	37
Tabla 4: Resumen de aforo de Bicicleta.....	39
Tabla 5: Resumen de aforos peatonales	41
Tabla 6: Asignación de nombres de las vías en el VISSIM 9	44
Tabla 7: Número mínimo de corridas.....	59
Tabla 8: Parámetros de Wiedemann empleados en el Vissim.....	60
Tabla 9: Tiempos de viaje recolectados en campo, tramo de la Av. Arequipa sentido Norte-Sur.....	62
Tabla 10: Tabla de frecuencias de intervalos para el tramo de la Av. Arequipa Norte-Sur	63
Tabla 11: Calibración del modelo mediante prueba no paramétrica StatKey	67
Tabla 12: Validación del modelo mediante prueba no paramétrica StatKey	69
Tabla 13: Resultados obtenidos en la simulación actual	73
Tabla 14: Resultados obtenidos en la simulación con proyección a 5 años sin considerar la implementación de las propuestas de mejora	77
Tabla 15: Propuesta de ciclo semafórico óptimo: Fase A, B, C Y D	85
Tabla 16: Resultados obtenidos en la simulación con proyección a 5 años considerando la implementación de las propuestas de mejora	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Seguimiento vehicular	11
Figura 2: Fases del Modelo de Wiedemann	14
Figura 3: Velocidad media espacial.....	16
Figura 4: Período de Warm up	18
Figura 5: Niveles de servicio empleados por el VISSIM 9	20
Figura 6: Flujograma de proceso de la investigación	23
Figura 7: Vista del predio. calzada de la Av. Arequipa en sentido Norte Sur.....	24
Figura 8: Ubicación del proyecto	25
Figura 9: Zona de carga y descarga ubicada en la Av. Arequipa	27
Figura 10: Área de influencia de estudio.....	28
Figura 11: Nivel de Servicio en las intersecciones fuera del área de influencia directa de estudio.....	29
Figura 12: Sección existente Av. Arequipa	30
Figura 13: Sección normativa Av. Arequipa	31
Figura 14: Intersecciones semaforizadas	32
Figura 15: Intersección semaforizada -- Av. Arequipa con Jr. Emilio Fernández	33
Figura 16: Ciclo semaforizada -- Av. Arequipa con Jr. Emilio Fernández	33
Figura 17: Intersección semaforizada - Av. Arequipa con Jr. Pablo Bermúdez	34
Figura 18: Ciclo semafórico - Av. Arequipa con Jr. Pablo Bermúdez.....	34
Figura 19: Estaciones de la línea 3 del metro	35
Figura 20: Paraderos de bus	35
Figura 21: Flujo vehicular y de bicicleta	38
Figura 22: Asignación de giros peatonales.....	40
Figura 23: Fondo de referencia empleado en VISSIM 9	42
Figura 24: Creación de Links y conectores en el VISSIM 9	43
Figura 25: Composición vehicular empleada en el VISSIM 9	43
Figura 26: Flujo total de vehículos representados en el VISSIM 9.....	44
Figura 27: Rutas de vehículos asignados en el VISSIM 9	45
Figura 28: Creación de áreas para peatones y rutas de destino en el VISSIM 9	46

Figura 29: Creación de vías peatonales en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez en VISSIM 9	47
Figura 30: Reductor de velocidad para giro a la izquierda generado en VISSIM 9.....	47
Figura 31: Reductor de velocidad en Jr. Pablo Bermúdez	48
Figura 32: Ocupación de vía por informales estacionamientos.....	48
Figura 33: Mal estado de la vía Jr. Pablo Bermúdez	49
Figura 34: Paradero del Corredor Azul: Paradero Fernández	50
Figura 35: Paradero del Corredor Azul: Paradero Dagnino	50
Figura 36: Conflicto de cruce en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez	51
Figura 37: Vissim: Conflicto de áreas Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez.....	52
Figura 38: Simulación del conflicto generado en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez.....	53
Figura 39: Simulación de la cola generada por el conflicto de la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez.....	53
Figura 40: Situación actual de la cola generada por el conflicto en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez cuando se encuentra en proceso la fase 1 del semáforo	54
Figura 41: Impacto de la cola generada por el conflicto de la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández cuando está en proceso la fase 1 del semáforo (todo verde en ambos sentidos en la Av. Arequipa).....	54
Figura 42: Vissim: Lista de tramos considerados para los tiempos de viaje.....	55
Figura 43: Tramos de medición de tiempos de viaje en el modelo de tránsito	55
Figura 44: Ciclo semafórico en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez	56
Figura 45: Ciclo semafórico en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández	56
Figura 46: Semáforo peatonal y de ciclovía en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez.....	57
Figura 47: Semáforo peatonal y de ciclovía en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez.....	57
Figura 48: Creación de nodos por intersecciones	58
Figura 49: Conflicto no solucionado entre vehículo-peatón en el VISSIM 9A	58
Figura 50: Vista aérea del modelo de microsimulación en VISSIM 9.....	59
Figura 51: Recolección de datos de tiempos de velocidades.....	61

Figura 52: Medición de velocidades percentiles en el tramo de la Av. Arequipa (Norte-Sur)	64
Figura 53: Parámetros de simulación empleados en el Vissim	65
Figura 54: Tramos para medición de tiempos de viaje	65
Figura 55: Randomization test para calibración - Tramo Av. Arequipa Norte-Sur	66
Figura 56: Randomization test para calibración - Tramo Av. Arequipa Sur-Norte	66
Figura 57: Randomization test para calibración - Tramo Jr. Pablo Bermúdez	66
Figura 58: Randomization test para validación - Tramo Av. Arequipa Sur-Norte	68
Figura 59: Randomization test para validación - Tramo Av. Arequipa Norte-Sur	68
Figura 60: Randomization test para validación - Tramo Jr. Pablo Bermúdez	68
Figura 61: Aforo vehicular registrado en los períodos 2018 y 2019 en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández	71
Figura 62: Aforo vehicular registrado en los períodos 2018 y 2019 en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez	72
Figura 63: Aforo vehicular registrado en los períodos 2018 y 2019 en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Ramón Dagnino	72
Figura 64: Vista aérea del proyecto sin propuesta de mejora	76
Figura 65: Vista de la bahía vehicular, generado en el VISSIM 9	78
Figura 66: Diseño del ancho de vía según las consideraciones del RNE A.010	79
Figura 67: Radio de giro mínimo según las consideraciones del RNE A.010	79
Figura 68: Rampa de acceso según las consideraciones del RNE A.010	80
Figura 69: Vista de la propuesta de paradero de bus segregado en el Paradero Dagnino	81
Figura 70: Cálculo del flujo de saturación en la intersección de Av. Arequipa - Jr. Pablo Bermúdez	82
Figura 71: Ciclo semafórico de 145 segundos	82
Figura 72: Ciclo semafórico óptimo: Intersección Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández	83
Figura 73: Ciclo semafórico óptimo: Intersección Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez	84
Figura 74: Comparativo de demoras por control por intersección	88
Figura 75: Comparativo de las demoras por control entre el escenario sin propuesta de mejora vs con propuesta de mejora	90
Figura 76: Comparativo de niveles de servicio por intersección	91
Figura 77: Comparativo de niveles de servicio entre el escenario sin propuesta de mejora vs con propuesta de mejora	92

Figura 78: Escenario sin propuesta de mejora, intersección Av. Arequipa-Jr. Bermúdez.. 93

Figura 79: Escenario con propuesta de mejora, intersección Av. Arequipa-Jr. Bermúdez. 93

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Modelo de la General Motor	11
Ecuación 2: Para conducción libre	12
Ecuación 3: Para seguimiento vehicular.....	12
Ecuación 4: Velocidad deseada final.....	12
Ecuación 5: Ecuaciones de Wiedemann.....	14
Ecuación 6: Tiempo óptimo de ciclo.....	15
Ecuación 7: Tiempo perdido del ciclo.....	16
Ecuación 8: Tiempo media espacial	16
Ecuación 9: Cálculo de crecimiento poblacional	16
Ecuación 10: Número de corridas	19
Ecuación 11: Número mínimo de corridas	19

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1 Realidad Problemática

La congestión vehicular es la condición en la cual el flujo vehicular tiende a saturarse debido a la demanda vial, provocando directamente el incremento en los tiempos de viaje. Es un problema social que está en permanente situación de crisis debido a la falta de atención de las autoridades en la planificación urbana y a la actitud agresiva que ejercen los conductores.

Ante el crecimiento demográfico, las autoridades de la Municipalidad de Lima han desarrollado ordenanzas que regulan la aprobación de Estudios de Impacto Vial, planes de organización del espacio público y uso del suelo a través de mapas de zonificación de áreas urbanas e implementación de sistemas integrados de transporte urbano. Sin embargo, estas medidas ejecutadas por las autoridades no llegan a cumplir las metas esperadas por los usuarios.

El desarrollo de proyectos conlleva consigo un Estudio de Impacto Vial (EIV), el cual es aquel procedimiento técnico que identifica, interpreta y alerta sobre los efectos en el corto, mediano y largo plazo que pueden causar los proyectos en la infraestructura vial urbana de manera directa e indirecta. A pesar de ello, no se indica explícitamente la metodología a seguir para evaluar el tráfico que genera el proyecto durante su etapa de operación. Sin embargo, en la Ordenanza Municipal N.º 2087 menciona que el programa empleado en un Estudio de Impacto Vial deberá estar debidamente calibrado y contar con datos que sustenten los parámetros ingresados al software.

El uso del suelo y el tráfico están estrechamente relacionados entre sí, por lo tanto, el cambio del uso en el suelo tiene impactos que son determinantes en el volumen de tráfico. Una región que ha sufrido por este caso es la megaciudad sobrepoblada de Dhaka, capital del país de Bangladesh, la cual está afrontando este problema debido a la falta de planificación en el uso del suelo, lo que perjudica en la sostenibilidad de la ciudad. En los últimos cinco años, Lima ha realizado cambios en el uso de suelo de forma extraordinaria los cuales no se efectuaban desde el periodo 2009-2010. Estas modificaciones surgieron debido al desarrollo de centros comerciales y espacios residenciales de tipo multifamiliar.

Es importante mencionar que se utilizará como herramienta de evaluación el modelo de microsimulación de Widemann 74 debido a que el tránsito en Lima presenta características particulares como el comportamiento agresivo de los conductores y su interacción con los otros vehículos, el cual determina con mayor precisión el tráfico urbano y las intersecciones.

Finalmente, en la presente investigación se ha tomado como caso de estudio un proyecto inmobiliario ubicado en una avenida principal como es la Av. Arequipa para poder evaluar el impacto vial producido por el establecimiento de un edificio multifamiliar y posteriormente, generar propuestas de mejora en la infraestructura vial que reduzcan las demoras por control y optimicen los niveles de servicio por medio de un modelo de microsimulación calibrado y validado.

1.2 Formulación del Problema

¿Es posible reducir las demoras por control y mejorar los niveles de servicio generados por el establecimiento del proyecto inmobiliario de 20 pisos y 80 estacionamientos, por medio de una propuesta de mejora en la infraestructura vial calibrada y validada en base al modelo de microsimulación de Widemann 74?

1.3 Justificación

Actualmente Lima Metropolitana no cuenta con una normativa legislativa que regule los Estudios de Impacto Vial a nivel nacional. Sin embargo, en la capital se tiene vigente la ordenanza municipal N°2087-MML, la cual regula el procedimiento de aprobación de los estudios de impacto vial.

Es importante mencionar que la Ordenanza Municipal presentada en el anterior párrafo, en su *Artículo 12. Del contenido de los estudios de impacto vial*, hace mención que el programa utilizado deberá cumplir con los requerimientos de desarrollo provenientes del Estudio de Impacto Vial, donde se visualice la mitigación respecto del proyecto, además, de encontrarse debidamente calibrado, para lo cual deberá contar con datos que sustenten los parámetros ingresados al software.

Los estudios realizados sobre el funcionamiento del tráfico se han llevado a cabo mediante diferentes consideraciones en el momento de su análisis. Entre ellas están los modelos determinísticos y los modelos estocásticos. Se hace uso del primer modelo cuando las

condiciones del tráfico son simples y sencillas, mientras que el segundo se emplea cuando hay congestión, bloqueos y conductas agresivas.

1.4 Hipótesis

La propuesta de mejora en la infraestructura vial reducirá las demoras por control y optimizará los niveles de servicio generados por el establecimiento de un proyecto inmobiliario de 20 pisos y 80 estacionamientos por medio de los parámetros de diseño del modelo de microsimulación de Wiedemann 74 el cual será calibrado y validado con la finalidad de representar el comportamiento operacional real de las intersecciones.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Diseñar propuestas de mejora en la infraestructura vial para reducir las demoras por control y niveles de servicio generados por el proyecto inmobiliario de 20 pisos y 80 estacionamientos ubicado en la Av. Arequipa, mediante el modelo de microsimulación de Wiedemann 74.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Analizar las condiciones de tráfico existentes en las intersecciones de estudio ubicadas en la Avenida Arequipa.
- Analizar las condiciones de tráfico proyectadas a cinco años en las intersecciones de estudio ubicadas en la Avenida Arequipa considerando el establecimiento de un edificio multifamiliar de 20 pisos y 80 estacionamientos.
- Evaluar los resultados de las demoras por control y niveles de servicio de la avenida Arequipa considerando las propuestas de mejora en la infraestructura vial.

1.6 Limitaciones de la investigación

Esta tesis de investigación va a evaluar el comportamiento vehicular a nivel microscópico. Si bien no se va a tomar en cuenta parámetros de eficiencia para calibrar el flujo peatonal y de bicicletas, sí se está considerando la interacción de ellos dentro del sistema vial. Además, no se está incluyendo en esta investigación la atracción de viajes producido por los taxis debido a que esto conlleva a realizar una evaluación a nivel macroscópico de la red vial aledaña al área de influencia delimitada en la presente investigación.

CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1 Estudio de Impacto Vial (EIV)

La definición del EIV de acuerdo a la Ordenanza Municipal N.º 2087 es la siguiente:

Es el conjunto de actividades que permiten evaluar cualitativa y cuantitativamente los efectos que produce sobre el entorno vial y del transporte, el desarrollo urbanístico o el proceso de renovación de zonas o lotes de terreno, de forma tal, que se pueda prever y mitigar sus efectos negativos mediante medidas administrativas y técnicas adecuadas, de manera que sea posible recuperar, alcanzar o mejorar el nivel de servicio existente en el sistema vial adyacente¹.

El Estudio de Impacto Vial (en adelante EIV) toma un rol importante en la gestión y reducción del desarrollo urbano insostenible y en sus impactos negativos en el sistema de transporte, el medio ambiente y la economía. Un EIV es un estudio de ingeniería que evalúa la capacidad de la infraestructura de transporte existente o futura para proyectar la generación de viajes adicionales que se originan por la implementación de un proyecto, reurbanización o rezonificación de terrenos².

Es importante la ejecución de EIV para la evaluación de los posibles impactos del tráfico, identificación de un plan estratégico de mitigación aceptable para la sostenibilidad del desarrollo urbano, y mantener un equilibrio entre el uso del suelo y la calidad de los servicios de transporte.

2.1.1 Normativa Vigente

Para usos de residenciales, el Reglamento Nacional de Edificaciones (en adelante RNE) no cuenta con lineamientos en los cuales indique la obligatoriedad el desarrollo de un EIV. Las demás normativas complementarias, como el Reglamento de Licencias de Habilitación Urbana y Licencias de Edificación aprobado por Decreto Supremo N.º 008-2013-VIVIENDA, modificado por Decreto Supremo N.º 012-2013-VIVIENDA y por el Decreto Supremo N.º 014-2015-VIVIENDA únicamente indican que el Estudio de Impacto Vial se debe presentar cuando el RNE lo exija o en los casos en los que la entidad competente de brindar las licencias a las edificaciones lo requiera. Por lo tanto, las municipalidades son

¹ Cfr. MML 2018: 3

² Cfr. Bollini 2019: 1

las encargadas de regular y determinar la obligación de los estudios de impacto vial para los proyectos residenciales³.

Actualmente, se cuenta vigente la Ordenanza Municipal N.º 2087, la cual deroga a las anteriores Ordenanzas N.º 1268, 1404 y 1694. Entre los cambios relevantes se menciona acerca de la obligatoriedad de realizar un EIV en cualquier conjunto residencial o edificio multifamiliar que superen los 10 pisos, lo que necesariamente contradice a lo interpuesto por el RNE en donde indica que solamente se debe abarcar un EIV en proyectos que cuenten con un área de terreno de 2500m² o 250 estacionamientos⁴.

2.1.2 Estructura de un EIV

En el *Artículo 12, inciso 12.2 Para proyectos de Edificación*, se desarrolla el contenido que debe considerarse en un EIV para proyectos multifamiliares. A manera de resumen, se va a enlistar las partes que contiene el expediente de un EIV⁵:

a) Memoria Descriptiva:

- Situación actual del área o terreno donde se desarrollará el proyecto.
- Descripción de las actividades a desarrollarse.
- Cuadro de áreas detalladas por uso y aforo vehicular y peatonal.
- Determinación y localización del número de estacionamientos según tipo de vehículo. Según la Ordenanza Municipal N.º 1229, la cantidad de estacionamiento definido para edificios multifamiliares equivale a 1 por cada 3 viviendas⁶.
- Descripción del sistema de control de acceso vehicular.
- Descripción de las operaciones de carga y descarga de mercancías.
- Descripción de las operaciones de embarque y desembarque de pasajeros en vehículos de paso.
- Valor estimado de la obra, debidamente sustentado

b) Determinación del área de influencia debidamente sustentada: El área de influencia deberá comprender el área de influencia directa e indirecta a ser estudiada, la cual

³ Cfr. Velasco 2017: 10

⁴ Cfr. <http://www.construccioneindustria.com/preocupa-ordenanza-n-2087-mml-que-regula-procedimiento-de-estudios-de-impacto-vial-en-lima/>

⁵ Cfr. MML 2018: 6-7

⁶ Cfr. MML 2009: 70

dependerá de la ubicación y del tamaño del desarrollo del proyecto. El área de influencia directa, será aquella donde se manifiestan los impactos directos, generados por la ejecución del proyecto, mientras que el área de influencia indirecta, será aquella donde podrían ocurrir dichos impactos. Se recomienda incluir por lo menos todos los accesos al desarrollo y las intersecciones mayores adyacentes tanto las semaforizadas y no semaforizadas, y además es importante analizar la primera intersección semaforizada en cualquier sentido del desarrollo si está dentro de una distancia de 400 a 800 metros⁷.

- Usos del suelo del área de influencia
- Infraestructura vial y mobiliario urbano

c) Compatibilización e influencia de Proyectos Futuros que Inciden en la Vialidad de la Zona.

d) Estudio de Tránsito, con datos de campo, determinando la hora pico de actividades de periodos críticos, en el área de influencia.

e) Estudio de transporte que señale datos de campo de una antigüedad no mayor a seis (06) meses

- Identificación de transporte de carga y transporte público.
- Identificación de paraderos de transporte público.
- Identificación de paraderos de taxi.
- Análisis y evaluación de proyectos de transporte que se desarrollen dentro del área de influencia.

f) Impacto Vial del Proyecto, Escenario Actual y Futuro:

- Descripción, evaluación y análisis del tránsito vehicular y peatonal en el área de influencia - Escenario Actual
- Identificación de los conflictos vehículo – vehículo y vehículo – peatón.
- Determinación de la generación y proyección de viajes atraídos por el proyecto
- Distribución de viajes generados en la red vial.
- Análisis de las colas y operación interna.
- Modelación de la red vial circundante al proyecto para el escenario actual, escenario con proyecto y escenario con proyecto incluyendo las medidas de

⁷ Cfr. Apaza 2018: 33

mitigación. El programa utilizado deberá cumplir con los requerimientos de desarrollo de las propuestas de mitigación del estudio de impacto vial, donde se visualicen las medidas de mitigación plasmadas en el proyecto, además, **de encontrarse debidamente calibrado adjuntando los reportes del software y la simulación en formato digital, para lo cual deberá contar con datos que sustenten los parámetros ingresados al software**⁸.

- Cálculo de nivel de servicio vehicular y peatonal en escenario proyectado.
- Análisis de posibles impactos viales en las temporadas de mayor actividad del proyecto y en periodos críticos, dentro del área de influencia.

g) Desarrollo de la Propuesta de Mitigación en el Área de Influencia.

- Área de influencia directa
- Área de influencia indirecta

h) Relación de planos:

- Plano de Localización y Ubicación con delimitación del área de influencia inmediata a estudiar.
- Plano de rutas de acceso y salida, tanto vehicular como peatonal.
- Fotografías de la zona, con plano referencial para ubicación de cada toma.
- Plano topográfico de la situación actual incluyendo: usos de suelo, mobiliario, sentidos de circulación, dispositivos de control.
- Plano de distribución del proyecto a escala adecuada, dependiendo de la dimensión del lote.
- Plano de Mitigación de impactos negativos detallando el área de intervención en señalización y obras sobre la vía pública
- Resumen del Estudio de Monitoreo durante el Funcionamiento del Proyecto.

i) Anexos:

- Reportes de simulación
- Flujogramas vehiculares y peatonales
- Hojas resumen de la data recolectada en campo

⁸ La Ordenanza Municipal menciona de forma directa que se debe emplear modelos estocásticos para determinar las condiciones existentes y futuras del proyecto.

- Archivo digital de la modelación de la red vial circundante del proyecto (considerando el escenario actual, el escenario con proyecto y el escenario con proyecto incluyendo las medidas de mitigación)

Por último, es importante mencionar que, dentro de la metodología de la presente investigación se desarrollaran únicamente los componentes del análisis que conforman la estructura de un Estudio de Impacto Vehicular (EIV) a un nivel microscópico.

2.2 Modelos de Tráfico

Los modelos utilizados para el tránsito vehicular están fundamentados en teorías con enfoques microscópicos y macroscópicos. Estos se fundamentan en métodos matemáticos los cuales representan el adecuado comportamiento del volumen vehicular.

La clasificación más utilizada para el análisis y evaluación de los proyectos viales, pueden ser según: su nivel de detalle y aleatoriedad, dependiendo del tipo de simulación que se trabaje.

2.2.1 Modelos Macroscópicos

Los modelos macroscópicos tienen como principal característica la representación del flujo vehicular en forma genérica. Este tipo de modelo no considera característica de vehículo-conductor, es por ello que los resultados podrían ser provechosos cuando se analice proyectos que requieran ser diseñados a corto plazo, ya que implican un menor tiempo de análisis⁹.

2.2.2 Modelos Mesoscópicos

Los modelos mesoscópicos poseen características de los modelos macroscópicos y microscópicos ya que considera a grupos de vehículos como una unidad, mientras que los giros, tiempo de entrada y salida son determinados de manera singular según el mecanismo de simulación propuesto¹⁰. Es otras palabras, considera paquetes de vehículos que actúan como una sola entidad que experimentan las mismas condiciones de tráfico. Estos paquetes pueden tener una distribución discreta o continua. La primera considera que todos los usuarios se agrupan en un solo punto, por tanto, se encuentran en la misma posición. Por su

⁹ Cfr. Salazar 2018: 4

¹⁰ Cfr. Arrieta 2013: 32

parte, en el enfoque basado en paquetes continuos, los vehículos se consideran uniformemente distribuidos en él, en el tiempo y espacio¹¹

2.2.3 Modelos Microscópicos

Los modelos microscópicos permiten un análisis detallado del tráfico, ya que consideran al vehículo como una unidad, de igual manera al peatón. Además, toman en cuenta aspectos de la conducta individual, que incluye la diversidad de la elección de rutas y horas de salida.

Además, considera otros modelos relacionados al comportamiento del conductor, como es la teoría del vehículo siguiente, cambio de carril y brecha de aceptación. Asimismo, aparte de considerar cada tipo de vehículo, también considera la interacción con otros vehículos en el flujo de tránsito

Entonces, estos modelos pueden representar con gran detalle el comportamiento del tráfico; sin embargo, normalmente pueden requerir de entradas y tiempos de ejecución extensos para su aplicación. Por lo tanto, la escala de modelación microscópica se ocupa de la interacción directa entre los elementos que componen y caracteriza el sistema analizado. Para ello se aplican modelos matemáticos que contemplan el movimiento y las características operativas específicas de cada una de las unidades de estudio, describiéndolos de manera individual, mediante modelos dinámicos. Asimismo, se define un tipo de comportamiento para cada elemento.

2.2.4 Modelo determinístico

Está basado en un estudio analítico, el cual se rige bajo ecuaciones matemáticas que no varían en relación al tiempo; es decir, no dependen de la incertidumbre.

2.2.5 Modelo estocástico

A diferencia del modelo determinístico, el estocástico sí presenta variabilidad en las respuestas obtenidas de acuerdo a los datos de entrada y al tiempo de análisis del proyecto. Vissim es uno de los softwares que cumple con estas condiciones.

¹¹ Cfr. Chura 2018:

2.2.5.1 Modelo de la General Motor.

Es un modelo de seguimiento vehicular desarrollado por la General Motor, el cual se fundamenta en un mecanismo de estímulo y respuesta de cada conductor: líder y seguidor. Además de la sensibilidad de estos frente a la aparición de otro vehículo.

La relación matemática de este modelo está dada por la Ecuación 1:

$$\text{Respuesta del seguidor}_{(t+T)} = \text{Sensibilidad} \times \text{Estímulo}_t$$

Ecuación 1: Modelo de la General Motor

Donde:

Respuesta del seguidor (t+T) = aceleración del vehículo siguiente al finalizar el tiempo de reacción (T)

Sensibilidad = dependerá del conductor del vehículo siguiente

Estimulo = velocidad relativa de la interacción de un par de vehículos: líder y seguidor

Figura 1: Seguimiento vehicular
Fuente: Adaptado de Mathew (2006)

2.2.5.2 Modelo de Gipps.

El modelo de Gipps relaciona la velocidad necesaria en la interacción de un par de vehículos con la distancia mínima segura que debe haber entre ellos. En este modelo, los parámetros corresponden a la característica del conductor y del vehículo¹².

¹² Cfr. Ahmed 1999: 21

Para ello se analiza la velocidad deseada del vehículo seguidor para mantenerse a una distancia del líder suficiente de tal manera que este pueda manejar libremente. Deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

- La velocidad del vehículo no excederá la velocidad deseada por el conductor.
- El vehículo acelera hasta lograr la velocidad deseada, para luego decrecer la aceleración hasta cero.
- Si la brecha (distancia entre vehículos) es muy corta y esta rige la conducta de manejo del vehículo seguidor, cuando este desacelera. Se entiende que el seguidor mantendrá una velocidad tal que la brecha sea segura.
- Si la brecha es amplia entre dos vehículos (líder y seguidor), entonces están en condición de flujo libre¹³. La ecuación de este modelo es la siguiente:

$$u_n^a(t + \tau) = u_n(t) + 2.5a_n\tau(1 - \frac{u_n(t)}{U_n})\sqrt{0.025 + \frac{u_n(t)}{U_n}} \quad \text{Ecuación 2: Para conducción libre}$$

$$u_n^a(t + \tau) = b_n\tau + \sqrt{b_n^2\tau^2 - b_n\left[2[X_{n-1}(t) - S_{n-1} - X_n(t)] - u_n(t)\tau - \frac{u_{n-1}\tau^2}{b}\right]} \quad \text{Ecuación 3: Para seguimiento vehicular}$$

$$u_n(t + \tau) = \min\{u_n^a(t + \tau), b_n^a(t + \tau)\} \quad \text{Ecuación 4: Velocidad deseada final}$$

Dónde:

a_n = aceleración máxima que el conductor del vehículo “n” está dispuesto a emprender.

b_n = desaceleración más grave que el conductor del vehículo “n” desea emprender.

b = desaceleración más severa del vehículo n-1 según lo estimado por el conductor de vehículo n .

S_{n-1} = tamaño efectivo del vehículo n - 1. Esto incluye la longitud física de vehículo n - 1 y un margen de seguridad, en el que el conductor del vehículo n no está dispuesto a inmiscuirse incluso en reposo.

¹³ Cfr. Papathanasopoulou y Antoniou 2015: 12

U_n = velocidad deseada del vehículo n.

$X_n(t)$ = ubicación de la parte delantera del vehículo n en el momento t.

$U_n(t)$ = velocidad del vehículo n en el en el tiempo t.

T = tiempo de reacción, que es constante para todos los vehículos e igual al paso de simulación.

2.2.5.3 Modelo de Wiedemann 74

En este modelo se fundamenta en parámetros psicofísicos, como la percepción y reacción humana, en las diferentes circunstancias del tráfico vehicular¹⁴.

Los parámetros se representan basados en los vehículos líder y seguidor: movimientos correspondientes al tráfico vehicular, tiempo de conducción, aceleración máxima, brecha y diferencia entre las velocidades de los vehículos.

Este modelo toma en cuenta 4 posibles casos o áreas por las que pasan los conductores en el tráfico vehicular:

- Caso 1: No existe interacción entre vehículo seguidor y líder. No está influenciado por otro vehículo a su alrededor. El vehículo seguidor se encuentra en área de libre movimiento o libertad de conducción.
- Caso 2: El vehículo seguidor intenta igualar la velocidad del vehículo líder, manteniendo una brecha segura, para luego desacelerar y conservar dicha distancia. El vehículo seguidor se encuentra en área de acercamiento.
- Caso 3: Tanto el vehículo seguidor como el líder van a la misma velocidad con aceleración cero. El vehículo seguidor se encuentra en área de seguimiento.
- Caso 4: El vehículo seguidor desacelera considerablemente y acorta la brecha hasta llegar a una dimensión no segura. Esto se presenta cuando el vehículo líder muestra un cambio de velocidad debido a cambio de carril o si un tercer vehículo delante acelera o desacelera repentinamente. El vehículo seguidor se encuentra en área de desaceleración o frenado.

¹⁴ Cfr. Macedo y Mendoca 2014: 14

Figura 2: Fases del Modelo de Wiedemann
Fuente: Adaptado de Manual de Vissim PTV América (2008)

La distancia deseada “d” se calcula a partir de las siguientes ecuaciones:

$$d = ax + bx$$

$$bx = (bxadd + bxmult * z) * \sqrt{v}$$

Ecuación 5: Ecuaciones de Wiedemann

Donde:

Ax = distancia de parada deseada entre dos autos. La tolerancia se encuentra entre -1.0 m y +1.0 m, que se distribuye normalmente a alrededor de 0.0 m, con una desviación estándar de 0.3 m. Valor predeterminado 2.0.

$bxadd$ = valor utilizado para el cálculo de la distancia de seguridad deseada d. Permite ajustar los valores de requisitos de tiempo. Por defecto 2.0

$bxmult$ = valor utilizado para el cálculo de la distancia de seguridad deseada d. Permite ajustar los valores de requisitos de tiempo. Mayor valor = mayor distribución (desviación estándar) de la distancia de seguridad Valor predeterminado 3.

v = velocidad del vehículo [m / s]

z = valor de rango [0.1], que normalmente se distribuye alrededor de 0.5 con una desviación estándar de 0.15

2.3 Fundamentos de la microsimulación

2.3.1 Nivel de aleatoriedad en el flujo de tráfico

El nivel de aleatoriedad en un flujo de tráfico se relaciona directamente con sus parámetros, debido a que refleja el comportamiento y funcionamiento del tránsito que se estudia. Entre las manifestaciones estocásticas y determinísticas existe una diferencia bien delimitada, el primero, asigna una determinada característica propia en referencia al tipo de manejo de los conductores y vehículos en base a distribuciones estadísticas. Por el contrario, en el segundo no se presenta variación en las características de los conductores ni en los vehículos (estilo de manejo de los conductores o la misma longitud que cuentan los vehículos)¹⁵.

2.3.2 Ciclo del semáforo

De acuerdo a lo mencionado por los autores Cal y Mayor y Cárdenas en su libro Ingeniería de Tránsito, el ciclo del semáforo también denominado longitud de ciclo es el tiempo necesario para que el semáforo efectúe una revolución completa dentro su programación, es decir el tiempo necesario para una secuencia completa de todas las indicaciones (verde, ámbar, y rojo) de señal del semáforo. El ciclo óptimo del semáforo se obtiene resolviendo la Ecuación 6.

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\phi} Y_i}$$

Ecuación 6: Tiempo óptimo de ciclo

En donde:

C_0 = Tiempo óptimo de ciclo (s)

L = Tiempo total perdido por ciclo (s)

Y_i = Máximo valor de la relación entre flujo actual y el flujo de saturación para el acceso o movimiento o carril de la fase i $\frac{q_{max}(\phi i)}{S}$

ϕ = Número de fases

El tiempo perdido del ciclo es determinado por la Ecuación 7, en donde el “TR” representa el tiempo total de todo rojo durante el ciclo, en caso de existir.

$$L = \left(\sum_{i=1}^{\varphi} I_i \right) + TR$$

Ecuación 7: Tiempo perdido del ciclo

2.3.3 Velocidad Media Espacial:

Es la media Aritmética de las velocidades de todos los vehículos que en un instante dado se encuentran en un tramo de vía, tal como se muestra en la Figura 3. Este tipo de medición de velocidad se calcula por medio de la Ecuación 8:

$$V_e = d/T_p$$

Ecuación 8: Tiempo media espacial

Donde:

V_e = Velocidad media espacial

T_p = Tiempo promedio

d = Distancia

Figura 3: Velocidad media espacial

Fuente: Adaptado de Manual de Vissim PTV América (2008)

Para el ejemplo de la Figura 3:

$$V_e = 50m/2.55s$$

$$V_e = 19.61m/s = 70.6 km/h$$

2.3.4 Tasa de crecimiento poblacional

El Crecimiento Normal del Tránsito, es el incremento del volumen de tránsito debido al aumento en el uso de los vehículos automotores, el cual se cuantifica a través de una tasa de crecimiento vehicular, para un periodo de diseño de “n” años.

$$Pt = Po * (1 + r)^n$$

Ecuación 9: Cálculo de crecimiento poblacional

2.3.5 Generación de viajes

En una tesis de investigación realizado por Velasco (2017) se concluyó que, debido a la experiencia recolectada de estudios previos y a las recomendaciones del Trip Generation Manual, la variable independiente más utilizada para la determinación del tráfico generado es el número de estacionamientos¹⁶. Las variables independientes son aquellas características de los proyectos estudiados que fueron relacionadas mediante un estudio de regresión con el tráfico generado que un desarrollo genera en su etapa de operación. Las variables con las cuales se puede hacer una estimación de la generación de viajes son los siguientes: número de viviendas del proyecto, número de habitantes del proyecto, área total del terreno, área construida y el número de estacionamientos. Este último es la variable independiente más empleada en nuestro entorno y es la que se empleará para estimar la generación de viajes según la recomendación que indica en la tesis, la cual se halla en relación directa al 30% del número de estacionamientos¹⁷.

2.3.6 Número de semillas

La secuencia de números aleatorios generados depende del valor inicial del número semilla, en donde se producen diferentes valores de características tanto del vehículo como del conductor (FHWA, 2004). Esto se puede ver reflejado en la toma de decisiones en situaciones específicas. Por ejemplo, el conductor puede mostrar conductas agresivas en su estilo de manejo o viceversa.

2.3.7 Interacción entre vehículos

Es una característica esencial de los modelos microscópicos, en la red de flujo vehicular, mediante los modelos de seguimiento vehicular y cambio de carril¹⁸.

Para el seguimiento vehicular, la decisión de los conductores se debe el análisis de la velocidad, aceleración, desaceleración, distancia segura, entre otros; mientras que para el cambio de carril, se toma en cuenta la necesidad de este, ya sea por el estilo de manejo del conductor o por el adelanto de un vehículo más rápido a otro más lento¹⁹.

2.3.8 Warm Up

Los modelos de simulación generalmente comienzan sin la circulación de vehículos en la red, es por ello que se debe tener en cuenta excluir este intervalo inicial de tiempo para la

¹⁶ Cfr. Velasco 2017: 83

¹⁷ Cfr. Velasco 2017: 71

¹⁸ Cfr. Fellendorf 2010: 21

¹⁹ Cfr. PTV Group 2015: 10

recopilación real de la información estadística en el desarrollo del sistema. Algunos programas de software realizan este procedimiento automáticamente. En otros casos, el usuario del software debe calcular el período de calentamiento fuera de línea²⁰.

El modelo ha alcanzado el equilibrio cuando los vehículos circulantes en la red han dejado de aumentar en una cantidad mínima específica. Como se demuestra en la Figura 4, La División de Departamento de Transportes de Estados Unidos: Federal Highway Administration (FHWA) recomienda a través de estudios realizados un periodo de warm up como mínimo 10 minutos de simulación en relación a lo indicado en el anterior párrafo.

Figura 4: Período de Warm up

Fuente: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software (2004)

2.3.9 Número de corridas

El número de corridas necesarias para establecer un tiempo de viaje promedio dentro de un nivel de confianza del 95 por ciento depende de la variabilidad de los tiempos de viaje medidos en el campo. Las condiciones de flujo libre pueden requerir tan solo de 3 muestras para establecer un tiempo de viaje promedio confiable. Las condiciones congestionadas pueden requerir 10 o más corridas.

El número mínimo de corridas necesarios para determinar el tiempo de viaje promedio dentro de un intervalo de confianza del 95 por ciento deseado depende del ancho del intervalo que sea aceptable para el evaluador. Si el evaluador desea calibrar el modelo con una tolerancia muy ajustada, será deseable un intervalo muy pequeño y se requerirá una gran cantidad de corridas. El analista podría aspirar a un intervalo de confianza de ± 10 por ciento del tiempo medio de viaje. El número de corridas según el FHWA es el siguiente:

²⁰ Cfr. FHWA 2004:111

$$N = (2 * t_{0.025, N-1} * \frac{S}{R})^2$$

Ecuación 10: Número de corridas

Fuente: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software (2004)

En donde:

N = Número de corridas

$t_{0.025; N-1}$ = T-student con N-1 grados de libertad.

R = Intervalo de confianza al 95%

S = Desviación estándar de la muestra: $S^2 = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1}$

x = Resultado del parámetro de eficiencia una corrida en específico

$\bar{x}$ = Promedio de los parámetros de eficiencia

Tal y como se indica en las investigaciones desarrolladas por la FHWA (2004), el número mínimo de corridas se evalúa de la siguiente manera:

$$N = (t_{0.025, N-1} * X * \frac{S}{e})^2$$

Ecuación 11: Número mínimo de corridas

Fuente: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Modeling Software (2004)

En donde

N = Número de corridas

$t_{0.025; N-1}$ = T-student con N-1 grados de libertad.

R = Intervalo de confianza al 95%

S = Desviación estándar de la muestra: $S^2 = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1}$

x = Resultado del parámetro de eficiencia una corrida en específico

e = Margen de error

El FHWA propone el siguiente método de análisis para obtener el número mínimo de corridas:

- Evaluar el modelo desarrollado con 4 corridas como mínimo.
- Hallar los parámetros estadísticos de los resultados: media, desviación estándar, etc.
- Asignar un nivel de confiabilidad y un margen de error

Finalmente, se compara el resultado de la Ecuación 11 con respecto al número de corridas obtenidos en el modelo de simulación, lo que genera estos dos escenarios ²¹:

- La cantidad de corridas realizadas es mayor al mínimo, con lo cual será suficiente la evaluación.
- La cantidad de corridas realizadas es menor al mínimo. En este escenario, se deberá incrementar la cantidad de corridas, seguir los pasos 1, 2 y 3 hasta obtener que la cantidad de corridas realizadas sea mayor al mínimo.

2.3.10 Niveles de Servicio

El nivel de servicio se expresa en términos de la demora media por vehículo debida a las detenciones para un periodo de análisis de 15 minutos, considerado como periodo de máxima demanda. En la Figura 5 fue extraída del Manual del usuario Vissim 9, y se describe que el cálculo de los niveles de servicio es definido mediante los criterios del HCM 2010:

Attribute	Definition
LOS(All)	<p>Level of service: Levels of transport quality A through F as a density value (vehicle units/miles/lanes) for movements and edges according to the LOS scheme (Level-of-service scheme type) assigned (see "Attributes of nodes" on page 618). The LOS is comparable to the LOS defined in the American Highway Capacity Manual of 2010.</p> <p>Signalized intersection:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ A: ≤ 10 ➤ B: > 10 to 20 ➤ C: > 20 to 35 ➤ D: > 35 to 55 ➤ E: > 55 to 80 ➤ F: > 80 <p>Non-signalized intersection:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ A: ≤ 10 ➤ B: > 10 to 15 ➤ C: > 15 to 25 ➤ D: > 25 to 35 ➤ E: > 35 to 50 ➤ F: > 50

Figura 5: Niveles de servicio empleados por el VISSIM 9

Fuente: Elaboración propia

Para explicar el contenido de la Figura 5, el significado de los niveles de servicio se verá a continuación:

²¹ Cfr. Perez 2019: 11

- Nivel de servicio A (1): Muestra las operaciones con una demora no mayor a 10 segundos por vehículo. Se evidencia circulación libre, usualmente la relación de volumen a la capacidad es baja, la progresión es excepcionalmente favorable o la duración del ciclo es corto.
- Nivel de servicio B (2): Muestra las operaciones con una demora entre 10 y 20 segundos por vehículo y una relación de volumen a la capacidad no mayor de 1.0. Se tiene una mayor cantidad de vehículos que se detienen que el nivel de servicio A.
- Nivel de servicio C (3): Muestra las operaciones con una demora entre 20 y 35 segundos por vehículo y una relación de volumen a la capacidad no superior a 1.0, la progresión es favorable o la duración del ciclo es moderado. Se evidencia fracasos, es decir, uno o más vehículos en cola no son capaces de salir como resultado de un ciclo de semáforo ineficiente. Sin embargo, aún se evidencia vehículos que pasan a través de la intersección sin parar.
- Nivel de servicio D (4): Muestra las operaciones con una demora entre 35 y 55 segundos por vehículo y una relación de volumen a la capacidad no superior a 1.0. La progresión es ineficaz o la duración del ciclo es largo. Se evidencia que muchos vehículos se detienen.
- Nivel de servicio E (5): Muestra las operaciones con una demora entre 55 y 80 segundos por vehículo y una relación de volumen a la capacidad no mayor a 1.0. La progresión es desfavorable y la duración del ciclo es largo.
- Nivel de servicio F (6): Muestra las operaciones con una demora mayor de 80 segundos por vehículo y una relación de volumen a la capacidad mayor a 1.0, muy alto. La progresión es pobre y se evidencia siempre la presencia de cola.

2.3.11 Calibración del Modelo

El proceso de calibración consiste en el ajuste de valores en los parámetros de eficiencia para generar un modelo válido, con el propósito de replicar las condiciones observadas a partir de datos de campo en un determinado sistema. Es así que la confiabilidad de cualquier modelo de microsimulación depende de su capacidad de producir resultados cercanos a la realidad, por ello, la etapa de calibración se considera parte fundamental del proceso de modelación,

Actualmente, existe una amplia gama de parámetros para calibrar y, también, un amplio rango de criterios de aceptación. Por tal motivo se recomienda un procedimiento de calibración con enfoque de arriba hacia abajo, es decir, concentrar el esfuerzo inicial en los parámetros que tienen un gran impacto en el comportamiento del modelo y luego, para finalizar, proceder con los parámetros menos críticos.

En resumen, el objetivo de la calibración es mejorar la capacidad del modelo para reproducir el comportamiento del conductor y el rendimiento de determinados parámetros, tales como los tiempos de viajes, las demoras y las longitudes de colas.

2.3.12 Validación del Modelo

En este proceso se verifica si el modelo realizado cumple con las condiciones necesarias para ser apto a la evaluación de resultados. Esta validación se obtiene a través del ingreso de nuevos datos de entrada del campo de la zona elegida. Como resultado final, se debe conseguir valores semejantes entre el software Vissim y los datos del campo, donde se tiene como base los parámetros modificados dentro del software en el proceso de calibración²². En la presente investigación se va emplear el parámetro de eficiencia vehicular de tiempo de viaje, el cual deberá ser comparado con los resultados que genera el software de simulación.

2.3.13 Prueba estadística para la calibración y validación del modelo

Para la calibración se pueden emplear pruebas paramétricas y no paramétricas, si la muestra es mayor a 30 se podría aplicar la primera; sin embargo, en la mayoría de los casos la muestra consta de menos de 30 valores, por lo que se emplean pruebas no paramétricas. Una opción recomendada es la calibración mediante Randomization Test, que además de basarse en una prueba no paramétrica y emplear múltiples simulaciones, no depende de la forma de las distribuciones de origen y se aplica para cualquier tamaño de muestra²³.

²² Cfr. Benekohal 1991: 10

²³ Cfr. Chura 2018: 25

CAPITULO III: METODOLOGIA DE INVESTIGACION

La presente investigación empleará, como parte de la metodología, los componentes del EIV descritos en el acápite 2.1 Estudio de Impacto Vial (EIV) que la Municipalidad de Lima ha desarrollado a través de su Ordenanza Municipal N.º 2087, la cual puede ser utilizada para investigar, recolectar, medir, evaluar y mitigar los impactos viales generados por las condiciones del proyecto. La metodología de la presente tesis se describe en la Figura 6.

Figura 6: Flujograma de proceso de la investigación
Fuente: Elaboración Propia, basado en el FHWA (2004).

Como se muestra en la Figura 6, se comienza el flujograma identificando los componentes de la Ordenanza Municipal N.º 2087, los cuales son relevantes para poder cumplir con los objetivos del proyecto y están referidos a evaluar el impacto vial producido por la circulación de vehículos considerando la interacción de ellos con flujo peatonal y de bicicletas dentro de la red vial de estudio.

3.1 Identificación de los componentes del EIV en la zona de estudio

En esta parte se va a desarrollar la información general que es necesaria para conocer el estado actual de la zona de estudio. Para ello, usaremos como herramienta los componentes de un EIV mencionados en el acápite 2.1 Estudio de Impacto Vial (EIV).

3.1.1 Memoria Descriptiva:

3.1.1.1 Situación actual del terreno donde se desarrollará el proyecto

Actualmente en el predio se están realizando trabajos de construcción para la sala de ventas de la inmobiliaria. El área total del terreno es de 1,295.9 m². El terreno donde se desarrollará el proyecto tiene zonificación tipo CM (comercio metropolitano), por lo que se debe realizar una solicitud de cambio de zonificación a RDA (Residencial de Densidad Alta), tal como se explicó en la Realidad Problemática. El desarrollo inmobiliario en la ciudad de Lima en los últimos cinco años ha traído consigo un aumento en las solicitudes de cambios en el uso de suelo de forma extraordinaria los cuales no se efectuaban desde el periodo 2009-2010, es por ello que se debe tener en cuenta que este proyecto va a formar parte de esta estadística en el presente periodo del año.

Figura 7: Vista del predio, calzada de la Av. Arequipa en sentido Norte Sur
Fuente: Elaboración propia

El proyecto se encuentra ubicado en la Av. Arequipa N.º 748- 768, en el distrito de Cercado de Lima, provincia y departamento de Lima.

Figura 8: Ubicación del proyecto
Fuente: Elaboración propia

3.1.1.2 Descripción de las actividades a desarrollarse

El proyecto desarrollará una actividad de tipo residencial a través de departamentos dentro de una torre de 20 pisos en la parte posterior (120 unidades de vivienda), y además contará con una torre delantera de 3 pisos destinada a uso de áreas comunes.

Por otro lado, el proyecto también cuenta con 80 estacionamientos, los cuales se encuentran distribuidos en 3 niveles de sótanos.

3.1.1.3 Tabla de áreas detallado por niveles

En la Tabla 1 se detalla las áreas techadas por cada nivel que el proyecto contempla. Es importante mencionar que el dato relevante de esta tabla es el área techada total ya que es una de las variables independientes con las que se puede estimar la tasa de generación de viajes que el edificio produce en su puesta en marcha.

Tabla 1: Área techada de usos
Fuente: Elaboración propia

NIVEL	AREA TECHADA (m2)
SOTANO 2	1148.03
SOTANO 1	1162.75
SEMISOTANO	1161.19
PISO 1 AL 20	8542,17
CISTERNA Y CTO BOMBAS	194.23
SUB ESTACION	28.23
CTO. MAQUINAS	26.37
TOTAL	12,262.97

3.1.1.4 Determinación y localización del número de estacionamientos

El proyecto contempla 80 estacionamientos, los cuales se encuentran distribuidos en tres sótanos. Se ha corroborado el cálculo de estacionamientos de este proyecto con la información de los parámetros urbanísticos que la Municipalidad de Lima ha establecido mediante la Ordenanza Municipal N.º 1229, en el cual se indica que solamente se requiere como mínimo 40 estacionamientos. Por lo que se concluye que la inmobiliaria ha lanzado este proyecto teniendo en cuenta que se están incluyendo 40 estacionamientos en exceso. En los capítulos de resultados y conclusiones se analizará si el aumento de estacionamientos ofertados afecta a la condición futura del edificio multifamiliar.

3.1.1.5 Descripción de las operaciones de carga y descarga

El proyecto no cuenta con una zona de operación destinada a la carga, descarga, ingreso y salida de vehículos. Como se aprecia en la Figura 9, el ingreso de vehículos al edificio se encuentra alineado al límite de propiedad, obligando a los vehículos a realizar una parada en la vía de circulación de la Av. Arequipa. Este tipo de diseño no se debería considerar en vías principales metropolitanas ya que los vehículos que ingresan al edificio requieren de un intervalo de tiempo para realizar la maniobra, situación que genera la interrupción del flujo continuo vehicular, incrementando el tráfico en la zona.

Figura 9: Zona de carga y descarga ubicada en la Av. Arequipa
Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Determinación del área de influencia

La delimitación del área de influencia directa del proyecto toma en cuenta los dos accesos viales del edificio, definidos por la Av. Arequipa en sentido Norte-Sur y Jr. Ramón Dagnino. Además, se está incluyendo las intersecciones de la Av. Arequipa con Jr. Pablo Bermúdez y Jr. Emilio Fernández debido a que son zonas aledañas al proyecto que cuentan con semaforización vehicular y peatonal, siendo una recomendación que se ha mencionado previamente en el marco teórico donde se indica que es necesario considerar en el estudio las intersecciones semaforizadas en la evaluación de un EIV.

Figura 10: Área de influencia de estudio
Fuente: Elaboración propia

Es importante resaltar que dentro del área de influencia no se está considerando las intersecciones próximas al proyecto indicadas en la Tabla 2 debido a que no cuentan con dispositivos semafóricos (a excepción de Jr. Bermúdez que si cuenta con un semáforo vehicular y peatonal). Además, el flujo vehicular en estas intersecciones no genera inconvenientes dentro del área de estudio propuesto. En la Figura 11 se muestra los resultados de niveles de servicio obtenidos en un EIV elaborado por una empresa consultora de tránsito en el mes de diciembre del 2018, el cual indica que los niveles de servicio en las intersecciones descartadas del área de influencia poseen niveles de servicio tipo “A”, esto quiere decir que el flujo es continuo sin interrupciones según lo descrito en el acápite 2.3.10 Niveles de Servicio.

Tabla 2: Intersecciones descartadas del área de estudio

Fuente: Elaboración propia

N.º	Intersección descartada	¿Semaforizado?	Nivel de Servicio
1	Av. Arequipa - Jr. Natalio Sánchez	No	A
2	Av. Arequipa - Jr. Larrabure y Unanue	No	A
3	Av. Arenales - Jr. Ramón Dagnino	No	A
4	Av. Arenales - Jr. Pablo Bermúdez	Si	C

Figura 11: Nivel de Servicio en las intersecciones fuera del área de influencia directa de estudio

Fuente: Estudio Impacto Vial realizado en diciembre del 2018

3.1.2.1 Usos del suelo del área de influencia

Dentro del área de influencia del proyecto, se ha identificado que se cuenta con los siguientes usos (en el capítulo Anexos: Plano Topográfico se encuentra a detalle el uso del suelo de los edificios en el entorno):

- Actividad recreativa: Parque de la Reserva.
- Actividad comercial: Tiendas, restaurantes.

- Actividad residencial
- : Edificios de viviendas unifamiliares y multifamiliares.
- Actividad administrativa: Edificios de oficina.
- Actividad educativa: Institutos y universidades.

3.1.2.2 Infraestructura vial

Se han realizado mediciones de secciones viales transversales existentes en la vía del entorno al proyecto, para luego ser evaluadas respecto a la normatividad vigente. En las secciones viales se han identificado los siguientes componentes: veredas, pistas principales, ciclovías, separador vial, áreas verdes.

En la Figura 12 se muestra la sección vial representativa del área de estudio, en donde se observa que el ancho de la vereda en los lados extremos de la sección es de 2.70m, el ancho de la pista principal de la Av. Arequipa en sentido Norte-Sur es de 6.30m, el ancho de la pista principal de la Av. Arequipa en sentido Sur-Norte es de 6.40m y el ancho que comprende la ciclovía y las áreas verdes es de 11.90m. Las secciones restantes se pueden apreciar en el capítulo Anexos. Asimismo, también se muestran detalles de las vías presentadas en formato fotográfico. Es importante tener claro la dimensión de las secciones viales para la construcción del modelo de microsimulación, ya que esta toma en cuenta los anchos de las calzadas, veredas y ciclovía.

Figura 12: Sección existente Av. Arequipa
Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la sección vial normativa para el presente proyecto ha sido definida por la Ordenanza N.º 341 – MML, la cual se representa en la Figura 13, considerando un ancho de vereda de 2.50m, ancho de pista principal de 6.60m y un ancho variable que comprende la vereda central, jardín y ciclovía de 10.80m a 11.80m (variable).

Figura 13: Sección normativa Av. Arequipa
Fuente: Ordenanza Municipal N.º 341-MML

Para concluir con esta parte, se observa que la medida de la sección existente no está compatible con la sección normativa, por lo que se deberá solicitar un cambio de sección vial para el tramo evaluado de la Av. Arequipa. Estas modificaciones en la dimensión de secciones, al igual que otras existentes a lo largo de la Av. Arequipa, deben ser revisadas por la Municipalidad para que pueda emitir su opinión si es válido. Posteriormente en esta investigación se va a realizar una propuesta de modificación de sección normativa con la finalidad de mejorar el tráfico y reordenar los paraderos del corredor azul.

3.1.2.3 Mobiliario urbano: Semaforización – fases y ciclos

Dentro del área de influencia se encuentran ubicadas dos intersecciones semaforizadas, las cuales están situadas en las intersecciones de la Av. Arequipa - Jr. Pablo Bermúdez y Av. Arequipa - Jr. Emilio Fernández. En la Figura 14 se observa la ubicación de los dispositivos semafóricos en un plano referencial.

Figura 14: Intersecciones semaforizadas
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se describen las características de la semaforización de cada una:

Intersección 1 (Av. Arequipa – Jr. Emilio Fernández):

- En la fase 1 del semáforo se permite el movimiento de vehículos que se desplazan por la Av. Arequipa en sentido Norte y Sur. De acuerdo a la Figura 16, esta fase está considerando 79 segundos en tiempo verde, 55 segundos en tiempo rojo y 3 segundos en tiempo ámbar.
- En la fase 2 del semáforo se permite el movimiento de vehículos que se desplazan por Jr. Emilio Fernández, incluyendo el carril que tiene un giro exclusivo que descarga hacia la Av. Arequipa. De acuerdo a la Figura 16, esta fase está considerando 55 segundos en tiempo verde, 79 segundos en tiempo rojo y 3 segundos en tiempo ámbar.
- El ciclo semafórico es de 137 segundos.
- En la Figura 15 se representa de forma esquemática las fases semafóricas.

Figura 15: Intersección semaforizada -- Av. Arequipa con Jr. Emilio Fernández
Fuente: Elaboración propia

Figura 16: Ciclo semaforizada -- Av. Arequipa con Jr. Emilio Fernández
Fuente: Elaboración propia

Intersección 2 (Av. Arequipa – Jr. Pablo Bermúdez):

- En la fase 1 del semáforo se permite el movimiento de vehículos que se desplazan por la Av. Arequipa en sentido Norte y Sur. De acuerdo a la Figura 18, esta fase está considerando 112 segundos en tiempo verde, 22 segundos en tiempo rojo y 3 segundos en tiempo ámbar.
- En la fase 2 del semáforo se permite el movimiento de vehículos que se desplazan por Jr. Pablo Bermúdez, De acuerdo a la Figura 18, esta fase está considerando 55 segundos en tiempo verde, 79 segundos en tiempo rojo y 3 segundos en tiempo ámbar.
- El ciclo semafórico es de 137 segundos.
- En la Figura 17 se r representa de forma esquemática las fases semafóricas.

Figura 17: Intersección semaforizada - Av. Arequipa con Jr. Pablo Bermúdez
Fuente: Elaboración propia

Figura 18: Ciclo semaforico - Av. Arequipa con Jr. Pablo Bermúdez
Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Compatibilización e influencia de Proyectos Futuros

En el área de influencia se encuentra planificada la inclusión de la “Línea 3 del Metro”. Este proyecto de nivel metropolitano no tendrá influencia sobre el proyecto Edificio Multifamiliar, dado que pasará a aproximadamente 25 metros por debajo de las edificaciones y además, según la Figura 19, las estaciones de paradas más cercanas se encuentran en cruce con la Av. Cuba, Av. Grau y Av. Canevaro.

En la Figura 20 se muestra que existe una mayor concentración de buses en la intersección de la Av. Arequipa con Jr. Emilio Fernández, lo cual puede perjudicar al libre tránsito de los vehículos debido a que estos buses ocupan como paradero el área de un carril, provocando restricción de los vehículos que se encuentran ubicados detrás de estos buses impidiendo su movilidad o generando la maniobra de cambio de carril. Así mismo, se observa en la Figura 20 que el Paradero Dagnino ha sido asignado como paradero de las rutas 301 y 302, los cuales también cuentan con paradas en el Paradero Fernández. La distancia entre ambos paraderos es de aproximadamente 200 metros.

3.2 Recolección de datos de campo

Para la determinación del período de la toma de datos en campo en el presente estudio se está tomando en considerando dos criterios. En primer lugar, se tiene un registro de aforos vehiculares y peatonales realizados en el mes de diciembre del 2018, en el cual se realizó el aforo durante la mañana, tarde y noche en los días jueves 13 y sábado 15, y se estableció que la hora pico se registró el día jueves de 5:30pm a 6:30pm. Por otro lado, para poder registrar la mayor cantidad de aforo vehicular proveniente de la Av. Arequipa, se debe tomar en cuenta la restricción de vehículos particulares (también denominado “Pico y placa”, durante los días lunes, martes, miércoles y jueves) que se ha ejecutado desde el 19 de julio del 2019.

Es por ello que se ha determinado que, para esta investigación, el registro de aforos de campo se va a realizar el viernes 6 de diciembre durante el período de cuatro horas (5:00pm a 9:00pm) debido a que este día no hay restricción de vehículos que pasen por la Av. Arequipa, y el período de tiempo fue establecido teniendo en cuenta que en el aforo del 2018 se registró la hora pico durante la tarde-noche. A continuación, se describirá la metodología escogida para el registro de aforos:

3.2.1 Aforo vehicular

Según la Figura 21, Se estableció la cantidad de aforadores por el número de accesos vehiculares. Como resultado de esta medición, se procesó la información recolectada en campo, la cual se resumió en la Tabla 3 (los flujogramas vehiculares de la hora pico se pueden observar en el capítulo Anexos). Es importante mencionar que el aforo vehicular, de bicicletas y peatonal se realizó siguiendo las recomendaciones del HCM 2010 el cual es dividir el periodo de una hora en intervalos de 15 minutos.

En la Figura 21, se muestra que los accesos de la zona de estudio han sido enumerados del 1 al 7, correspondiendo un aforador por cada acceso. El resumen del aforo vehicular, cuya información recolectada fue realizado por siete personas, se puede observar en la Tabla 3: Resumen de aforo vehicular y cálculo de la hora pico. A continuación, se detallará los registros que los aforadores han realizados durante la recolección de datos:

En la intersección de Jr. Emilio Fernández y Av. Arequipa:

- Acceso 1: El aforador ha registrado el flujo vehicular proveniente del giro recto 11, giro a la izquierda 12 y el giro a la derecha 13, tal como se muestra en la Figura 21.
- Acceso 2: El aforador ha registrado el flujo vehicular proveniente del giro recto 21 y el giro a la derecha 22, tal como se muestra en la Figura 21.
- Acceso 3: El aforador ha registrado el flujo vehicular proveniente del giro recto 31, tal como se muestra en la Figura 21.
- Acceso 4: El aforador ha registrado el flujo vehicular proveniente del giro recto 41, el giro a la izquierda 42 y el giro en “U” 43, tal como se muestra en la Figura 21.
- Acceso 5: El aforador ha registrado el flujo vehicular proveniente del giro recto 51, el giro a la izquierda 52 y el giro en “U” 53, tal como se muestra en la Figura 21.
- Acceso 6: El aforador ha registrado el flujo vehicular proveniente del giro recto 61 y el giro a la derecha 62, tal como se muestra en la Figura 21.
- Acceso 7: El aforador ha registrado el flujo vehicular proveniente del giro recto 71 y el giro a la derecha 72, tal como se muestra en la Figura 21.

Tabla 3: Resumen de aforo vehicular y cálculo de la hora pico

Fuente: Elaboración Propia

HORARIO	AV. AREQUIPA - CA EMILIO FERNANDEZ										AV. AREQUIPA - JR. P. BERMUDEZ					AV. AREQUIPA - JR. R. DAGNINO				TOTAL INT	TOTAL INT
	MOVIMIENTOS																				
	11	12	13	21	22	31	41	42	43	51	52	53	61	62	71	72					
5:00 - 5:15	112	10	5	129	3	117	117	21	2	141	132		112	7	19	102	X 15 MIN	X HORA			
5:15 - 5:30	134	4	8	118	1	120	103	16	2	112	114		117	8	20	109	986	4195			
5:30 - 5:45	128	8	10	130	0	129	101	31	1	127	135		112	10	24	126	1072	4261			
5:45 - 6:00	108	9	11	127	2	111	140	21	0	131	128		123	10	17	140	1078	4306			
6:00 - 6:15	142	11	8	114	2	116	125	17	3	116	121		118	9	23	134	1059	4398			
6:15 - 6:30	98	5	12	125	0	108	131	26	3	142	116		114	9	21	142	1052	4641			
6:30 - 6:45	105	9	7	132	2	110	135	22	2	138	119		156	11	18	151	1117	4958			
6:45 - 7:00	122	6	9	113	4	113	121	20	2	147	137		167	8	23	178	1170	5469			
7:00 - 7:15	213	15	12	123	5	122	171	19	2	115	121		172	9	18	185	1302	5937			
7:15 - 7:30	99	5	4	139	5	154	176	33	4	184	188		175	10	19	174	1369	6341			
7:30 - 7:45	149	22	18	198	13	165	187	34	7	166	187	1	228	12	38	203	1628	6651			
7:45 - 8:00	148	25	18	179	21	208	158	29	8	167	231	0	215	12	32	187	1638	6219			
8:00 - 8:15	174	22	17	187	22	206	156	39	6	181	235	1	206	10	37	207	1706				
8:15 - 8:30	149	17	21	196	9	186	173	32	7	196	243	1	224	11	31	183	1679				
8:30 - 8:45	124	8	6	142	4	119	142	35	3	191	175	1	113	10	24	99	1196				
AFORO HORA PICO	620	86	74	760	65	765	674	134	28	710	896	3	873	45	138	780

Figura 21: Flujo vehicular y de bicicleta
Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Aforo de bicicletas

Se realizó el aforo de bicicletas debido a que la Av. Arequipa cuenta con una ciclovía. Según la Tabla 4, podemos observar que la recolección de datos se realizó en las intersecciones de la Av. Arequipa con Jr. Pablo Bermúdez y Av. Arequipa con Jr. Emilio Fernández.

Se ha designado a dos personas para la recolección de datos de aforo de bicicletas:

- Acceso Ciclovía Norte: El aforador ha registrado el flujo de bicicletas en la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández
- Acceso Ciclovía Sur: El aforador ha registrado el flujo de bicicletas en la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez

Tabla 4: Resumen de aforo de Bicicleta

Fuente: Elaboración propia

HORARIO	Inter. Jr. Bermudez		Inter. Jr. Fernandez		TOTAL INT.	TOTAL INT.
	Sur 1	Norte 1	Sur 2	Norte 2	X 15 MIN	X HORA
5:00 - 5:15	9	13	11	11	44	161
5:15 - 5:30	7	12	6	11	36	172
5:30 - 5:45	11	10	10	8	39	185
5:45 - 6:00	10	12	9	11	42	196
6:00 - 6:15	9	19	7	20	55	207
6:15 - 6:30	11	13	10	15	49	209
6:30 - 6:45	7	19	6	18	50	231
6:45 - 7:00	10	17	9	17	53	248
7:00 - 7:15	8	21	9	19	57	261
7:15 - 7:30	17	20	16	18	71	268
7:30 - 7:45	11	24	10	22	67	271
7:45 - 8:00	9	25	9	23	66	233
8:00 - 8:15	19	12	21	12	64	
8:15 - 8:30	13	26	11	24	74	
8:30 - 8:45	11	4	10	4	29	
TOTAL	162	247	154	233		
VHMD	52	87	51	81		

3.2.3 Aforo peatonal

Se recolectó información de las circulaciones de los peatones dentro del área de estudio tal como se puede observar en la Tabla 3. En figura 7, se observa que los accesos de la zona de estudio están se han denominado desde la “A” hasta la “H”, correspondiendo un aforador por cada acceso. El aforo peatonal realizado por las siete personas se puede observar en la Tabla 3, que está compuesta de la forma siguiente:

Para la intersección de Jr. Emilio Fernández y Av. Arequipa:

- Acceso A: el aforador registra a los peatones que pueden cruzar Jr. Emilio Fernández de norte a sur o de sur a norte correspondientes a los movimientos A1 y A2 respectivamente.
- Acceso B: el aforador registra a los peatones que pueden cruzar la Av. Arequipa de oeste a este o de este a oeste correspondientes a los movimientos C1 y C2 respectivamente.
- Acceso C: el aforador registra a los peatones que pueden cruzar Jr. Emilio Fernández siguiendo las direcciones C1 y C2 respectivamente.
- Acceso D: el aforador registra a los peatones que pueden cruzar la Av. Arequipa siguiendo las direcciones D1 y D2 respectivamente.

En la intersección de Jr. Pablo Bermúdez y Av. Arequipa:

- Acceso E: el aforador registra a los peatones que pueden cruzar la Av. Arequipa de este a oeste o de oeste a este correspondientes a los movimientos E1 y E2 respectivamente.
- Acceso F: el aforador registra a los peatones que pueden cruzar el Jr. Pablo Bermúdez de norte a sur o de sur a norte correspondientes a los movimientos F1 y F2 respectivamente.
- Acceso G: el aforador registra a los peatones que pueden cruzar la Av. Arequipa de oeste a este o de este a oeste correspondientes a los movimientos G1 y G2 respectivamente.

Para la intersección de Jr. Ramón Dagnino y Av. Arequipa:

- En el acceso H: el aforador registra a los peatones que pueden cruzar Jr. Ramón Dagnino de norte a sur o de sur a norte correspondientes a los movimientos H1 y H2 respectivamente.

Figura 22: Asignación de giros peatonales
Fuente: Elaboración propia

Tabla 5: Resumen de aforos peatonales

Fuente: Elaboración propia

HORARIO	PEATON																TOTAL INT.	TOTAL INT.
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2	G1	G2	H1	H2	X 15 MIN	X HORA
5:00 - 5:15	8	7	5	5	22	16	1	5	4	9	10	34	11	4	4	1	146	669
5:15 - 5:30	9	13	7	8	25	14	4	3	6	12	13	25	9	7	2	4	161	713
5:30 - 5:45	11	9	12	4	27	21	0	1	4	11	11	41	12	8	3	3	178	773
5:45 - 6:00	10	11	14	8	32	17	0	1	11	14	14	32	11	6	1	2	184	835
6:00 - 6:15	9	8	11	10	46	15	1	3	6	8	10	37	13	9	3	1	190	824
6:15 - 6:30	11	10	16	7	51	22	5	2	13	6	11	39	16	5	4	3	221	806
6:30 - 6:45	10	15	12	9	45	19	7	3	20	14	17	44	11	8	2	4	240	795
6:45 - 7:00	11	12	10	8	31	15	3	1	0	9	12	37	13	9	1	1	173	795
7:00 - 7:15	8	11	12	7	22	13	6	4	4	14	11	30	14	10	3	3	172	840
7:15 - 7:30	11	6	6	4	57	16	5	3	9	6	16	38	15	12	2	4	210	908
7:30 - 7:45	17	13	17	9	27	18	5	5	16	19	25	33	15	10	4	7	240	923
7:45 - 8:00	14	15	12	11	43	22	1	1	9	13	14	29	17	11	4	2	218	849
8:00 - 8:15	22	19	17	10	51	21	3	2	12	14	12	23	14	12	5	3	240	
8:15 - 8:30	12	10	21	11	32	23	2	2	8	16	14	38	15	13	2	6	225	
8:30 - 8:45	6	2	5	6	26	13	2	9	2	20	22	37	8	5	2	1	166	
AFORO HORA PICO	65	57	67	41	153	84	11	10	45	62	65	123	61	46	15	18		

3.3 Construcción del modelo de microsimulación

Luego de finalizar con la etapa de recolección de información previa descrita en el flujograma de la Figura 6, se procede a la construcción del modelo de microsimulación mediante el software VISSIM 9, en donde se ingresará los datos descritos en los acápite 3.1 Identificación de los componentes del EIV en la zona de estudio y 3.2 Recolección de datos de campo, con la finalidad de reflejar el comportamiento de la red vial existente en el área de estudio.

3.3.1 Background/Fondo de referencia

Se utilizó el OpenStreetMap el cual es la herramienta georeferencial que posee el software Vissim 9 en su interfase. Para poder ubicar la zona de estudio se realizó una aproximación con la herramienta zoom a la zona de estudio, la cual se tiene como referencia al Parque de la Reserva, como se muestra en la Figura 23.

Figura 23: Fondo de referencia empleado en VISSIM 9
Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Links y conectores

Se denominan links a las vías diseñadas en el sistema que son creadas y trazadas en el fondo de referencia. Las mediciones de las secciones viales transversales existentes en la Av. Arequipa (ver subcapítulo Infraestructura vial: Secciones viales) son utilizadas para darle información a los links sobre el número de carriles, ancho de vías, dirección de viajes, entre otros. Se ha utilizado los links para generar las vías de tránsito vehicular y para la ciclovía.

Además, se emplearon conectores que fueron empleados para unir cada par de links. En la Figura 24 se observa los links y conectores (en la imagen resaltado con borde amarillo) que fueron creados en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández

Figura 24: Creación de Links y conectores en el VISSIM 9
Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Composición vehicular / Vehicle Composition

Se empleará la herramienta Traffic/Vehicle Compositions. Posteriormente, se le va a asignar un nombre a cada vía para luego determinar los tipos de vehículo como carros, buses, bicicletas, camiones que pasan por dicha intersección, asimismo, se le asignará la velocidad y porcentaje de cada uno de estos. En la Figura 25 se muestra la composición vehicular con la que se ha construido el modelo de tránsito, los porcentajes asignados fueron sustentados en los subcapítulos anteriores.

Vehicle Compositions / Relative Flows (2)				
Select layout...
Coun	No	Name	Count	VehType DesSpeedDistr RelFlow
1	1	VEHICULOS	1	100: Car 50: 50 km/h 0.981
2	2	CICLOVIA	2	200: HGV 50: 50 km/h 0.019

Figura 25: Composición vehicular empleada en el VISSIM 9
Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Flujo total de vehículos/Vehicle Inputs

Se empleará la herramienta Network Objects/Vehicle Inputs/Show List para generar los datos de flujos de vehículos particulares, camiones y buses (Corredor Azul) que ingresan al sistema vial en evaluación. En la Figura 26 se observa los accesos que se les ha asignado aforo vehicular. A estos accesos se les dio nombres cortos como se puede apreciar en la Figura 26, los cuales se van a aclarar y definir en la Tabla 6:

Tabla 6: Asignación de nombres de las vías en el VISSIM 9

Fuente: Elaboración propia

Nro	Nombre de la vía	Nombre corto empleado en el VISSIM9
1	Av. Arequipa (Sentido Sur-Norte)	AV. AREQUIPA SN
2	Jirón Emilio Fernández (Sentido Oeste-Este)	EMILIO FERNANDEZ OE
2	Av. Arequipa (Sentido Norte-Sur)	AV. AREQUIPA NS
3	Jirón Emilio Fernández (Sentido Este-Oeste)	EMILIO FERNANDEZ EO (1 DIRECCION)
4	Ciclovía (Sentido Sur-Norte)	CV SN
5	Ciclovía (Sentido Norte-Sur)	CV NS
6	Jirón Ramón Dagnino	JR. RAMON DAGNINO

Figura 26: Flujo total de vehículos representados en el VISSIM 9

Fuente: Elaboración propia

Además, se debe mencionar que se ha ingresado aforos de bicicletas a los accesos de las ciclovías denominadas en esta investigación (1) Ciclovía en sentido Norte Sur y (2) Ciclovía en sentido Sur Norte (2), tal como se aprecia en la Figura 26.

3.3.5 Rutas de vehículos / Vehicle Routes (Static)

Se empleará la herramienta Network Objects/Vehicle Routes/Show List para asignar la cantidad de vehículos por cada ruta. En la Figura 27 se detalla como ejemplo la forma en que se ha asignado la cantidad de vehículos por cada giro correspondiente al Acceso 5: Av. Arequipa sentido Norte Sur (ver ubicación de este acceso en el capítulo Anexos: Flujogramas).

Figura 27: Rutas de vehículos asignados en el VISSIM 9

Fuente: Elaboración propia

3.3.6 Creación de áreas para peatonales y rutas de destino

Se empleará la herramienta Network Objects/Areas (Polygon) para dibujar las áreas en donde se va a registrar el ingreso y salida del flujo peatonal, cuyos valores serán generados por la herramienta Pedestrian Inputs.

Una vez utilizado estas dos herramientas, se debe asignar las rutas de peatones por medio de Pedestrian Routes tal como se muestra en la Figura 28.

Figura 28: Creación de áreas para peatones y rutas de destino en el VISSIM 9

Fuente: Elaboración propia

3.3.7 Creación de vías peatonales

Se debe realizar recorridos para los peatones no solamente por la vereda, sino también en los cruces de las avenidas para poder completar con su ruta. Es por ello que se deben generar vías de tránsito peatonal con la herramienta links que les permita desplazarse desde un área de origen hasta su área de destino. A diferencia de los links empleados para tránsito vehicular, se debe tomar en cuenta que los links deben darle check a la opción Use as pedestrian area lo cual permitirá únicamente el tránsito peatonal.

En la Figura 29 se observa el cruce de peatones por el pase de cebra generado en la intersección de la Av. Arequipa sentido y Jr. Pablo Bermúdez.

Figura 29: Creación de vías peatonales en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez en VISSIM 9

Fuente: Elaboración propia

3.3.8 Reductor de Velocidades / Reduce Speed Areas

Se ha empleado la herramienta Network Objects/Reduce Speed Areas para considerar las zonas donde se requiere reducir la velocidad de giro a la izquierda o derecha, en donde generalmente los vehículos desaceleran para poder realizar el giro. En la Figura 30 se identifica que se ha aplicado una reducción de velocidad al giro a la izquierda que ocurre en el Acceso 5: Av. Arequipa sentido Norte Sur (ver ubicación de este acceso en el capítulo Anexos: Flujogramas)

Figura 30: Reductor de velocidad para giro a la izquierda generado en VISSIM 9

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, se está teniendo en cuenta en la construcción del modelo un reductor de velocidad en Jr. Pablo Bermúdez tal como se observa en la Figura 31 debido a que en la inspección en campo se ha observado que en dicho tramo existen bloqueos en el flujo vehicular debido a la ocupación de la vía por los informales estacionamiento de autos en la calzada de la vía, tal como se observa en la Figura 32 (en donde se encierra a los autos que cometen esta infracción). Además, se está tomando en cuenta para este reductor de velocidad el mal estado que presenta la vía debido a los baches que tiene esa pista, tal como se observa en la Figura 33.

Figura 31: Reductor de velocidad en Jr. Pablo Bermúdez

Fuente: Elaboración propia

Figura 32: Ocupación de vía por informales estacionamientos

Fuente: Google Maps

Figura 33: Mal estado de la vía Jr. Pablo Bermúdez

Fuente: Google Maps

3.3.9 Transporte Público

En el presente modelo, se está considerando como único transporte público a los buses del Corredor Azul, los cuales forman parte del Sistema Integrado de Transporte (Ver el subcapítulo 3.1.4 Identificación de paraderos de transporte público. para identificar los paraderos). Para definir el lugar de paraderos y modelar el comportamiento de los buses de transporte público, se ha realizado un artificio con la herramienta Reduce Speed Area en los links. En la realidad se observa que los buses de Corredor Azul poseen un carril debidamente señalizado para embarcar y desembarcar a los pasajeros. Se está considerando en estos buses poseen zonas de reducción de velocidad de 2 km/h hasta 5km/. En la Figura 34 y Figura 35 se muestra cómo se ha representado el paradero de bus en el modelo de simulación de Vissim y por otro lado, se incluyó una foto de la situación actual de este paradero.

Figura 34: Paradero del Corredor Azul: Paradero Fernández

Fuente: Elaboración propia

Figura 35: Paradero del Corredor Azul: Paradero Dagnino

Fuente: Elaboración propia

3.3.10 Conflicto de áreas / Conflict areas

Para definir la prioridad en el sistema, existe la herramienta de áreas de conflicto “conflict áreas” o reglas de prioridad “priority rules” que básicamente representa a las señales de pare. Sin embargo, para intersecciones con geometría compleja, las áreas de conflicto se

deben utilizar con bastante cuidado ya que muchas veces genera desorden en el modelo y no representan a las condiciones reales de campo. Por otro lado, el uso de “conflict areas” resulta ser más sencillo al organizar el tránsito, por el cual, se recomienda primero, agotar este recurso y utilizar complementariamente los “priority rules” en situaciones complicadas. Además, se define las prioridades entre las vías y cruceros peatonales (vehículo - vehículo y vehículo - peatón). De acuerdo, a la normativa nacional, el peatón siempre tendrá la prioridad, ya que, si se encuentra a media calzada y cambia el color de semáforo, los vehículos deben esperar a que el peatón termine de cruzar completamente; sin embargo, como se quiere modelar la realidad, en el Perú se observa que el vehículo siente la prioridad en relación al peatón.

En la Figura 37 se muestra las áreas de conflicto que se consideran en el modelo, donde el color verde representa la prioridad de paso que se está dando a los giros, los cuales fueron corroborados en la inspección a campo realizado el día del aforo. En la Figura 36 se muestra una foto tomada en campo que muestra cómo está la situación actual en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez, donde se evidencia claramente problemas en el flujo continuo de vehículos generados por los siguientes conflictos:

Figura 36: Conflicto de cruce en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez

Fuente: Elaboración propia

Conflicto 1: Obstrucción de los dos carriles en la Av. Arequipa sentido Sur-Norte debido a que no se puede realizar el giro a la izquierda en la fase 1 del semáforo (ver 3.1.2.3 Mobiliario urbano: Semaforización – fases y ciclos), debido a que en ambos sentidos de la

Av. Arequipa están en tiempo verde en dicha fase. Es por ello que en el modelo de tránsito se está reflejando este conflicto a través de la herramienta Conflict Area, en donde se muestra en la Figura 37 que hay prioridad a los vehículos que se movilizan a la izquierda desde la Av. Arequipa en sentido Sur Norte hacia el ingreso de Jr. Bermúdez. Esto genera un gran impacto en el impedimento de pase de los vehículos que quieren cruzar la Av. Arequipa hacia el norte y, además, en la longitud de cola que inicia desde la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez hacia la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández (como se observa en la simulación del modelo de tránsito en la Figura 39) debido a que la distancia entre estos dos semáforos es muy próxima (aproximadamente 120 metros).

Conflicto 2: Se da prioridad al flujo vehicular que va en la Av. Arequipa en sentido Norte-Sur, esto genera que en la fase 1 del semáforo (ver 3.1.2.3 Mobiliario urbano: Semaforización – fases y ciclos) se esté impidiendo el flujo vehicular provenientes del giro a la izquierda de la Av. Arequipa en sentido Sur-Norte ya que en dicha fase la Av. Arequipa tiene el tiempo en verde en ambos sentidos. Es por ello que se puede observar en la Figura 37 que se le está asignando, con la herramienta Conflict Area, prioridad al flujo vehicular de la Av. Arequipa y restringiendo el cruce de los vehículos que desean cruzar esta intersección y seguir su ruta por Jr. Pablo Bermúdez.

Figura 37: Vissim: Conflicto de áreas Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez

Fuente: Elaboración propia

Figura 38: Simulación del conflicto generado en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez

Fuente: Elaboración propia

Figura 39: Simulación de la cola generada por el conflicto de la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez

Fuente: Elaboración propia

En la inspección en campo se corroboró los conflictos generados en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez, las cuales se muestran en la Figura 36, Figura 40 y Figura 41, confirmando que el modelo de tránsito construido en el software Vissim 9, y del cual se puede apreciar en la Figura 39 y Figura 38, refleja el comportamiento real del sistema ya que este modelo incluye la herramienta de Conflicto de Áreas y esto ayuda a poder representar las obstrucciones y colas generadas en la hora pico del estudio.

Figura 40: Situación actual de la cola generada por el conflicto en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez cuando se encuentra en proceso la fase 1 del semáforo
(todo verde en ambos sentidos en la Av. Arequipa)

Fuente: Elaboración propia

Figura 41: Impacto de la cola generada por el conflicto de la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández cuando está en proceso la fase 1 del semáforo
(todo verde en ambos sentidos en la Av. Arequipa)

Fuente: Elaboración propia

3.3.11 Tiempos de viaje / Vehicle Travel Times

Se ha empleado la herramienta Network Objects/Vehicle Travel Times para modelar los tres tramos en donde se midieron los tiempos de viaje de vehículos como se muestra en la Figura 43 (en el siguiente capítulo se detalla el proceso de toma de datos). En el modelo de simulación se deben comparar los resultados obtenidos al momento de finalizar las corridas con respecto a los valores que se obtuvieron en campo. La Figura 42 se extrajo del software para mostrar las 3 intersecciones que se han generado en el modelo, las cuales tienen una distancia de medición de 80 metros.

Coun	No	Name	StartLink	StartPos	EndLink	EndPos	Dist
1	1	AQP NS	1: AV. AREQUIPA NS	7.967	1: AV. AREQUIPA NS	87.967	80.00
2	2	AQP SN	2: AV. AREQUIPA SN	226.872	2: AV. AREQUIPA SN	306.872	80.00
3	3	BERMUDEZ	6: JR PABLO BERMUDEZ EO	5.741	6: JR PABLO BERMUDEZ EO	85.741	80.00

Figura 42: Vissim: Lista de tramos considerados para los tiempos de viaje

Fuente: Elaboración propia

Para entender el nombre de los tramos asignados en la columna StarkLink de la Figura 42, se requiere de revisar previamente la Tabla 6: Asignación de nombres de las vías en el VISSIM 9 para identificar estos tramos de análisis dentro del área de estudio. De manera esquemática se presenta la Figura 43, donde observamos cómo fueron creados estos tramos.

Figura 43: Tramos de medición de tiempos de viaje en el modelo de tránsito

Fuente: Elaboración propia

3.3.12 Señales de control

Con la herramienta de Señales de Control/Signal Control se va a crear las dos señales semafóricas que están en el área de estudio para poder representar el comportamiento operacional de las dos intersecciones semaforizadas y sincronizadas.

En el capítulo anterior (ver 3.1.2.3 Mobiliario urbano: Semaforización – fases y ciclos) se ha descrito los ciclos semafóricos que presentan estas dos intersecciones. En esta parte se va a modelar el ciclo semafórico sincronizado conforme a los datos recopilados en Figura 16 y en la Figura 18 y, los cuales luego de procesar esta información en el Vissim 9 se obtienen los ciclos semafóricos indicados en la Figura 44 y Figura 45. Como se observan en estas figuras, para poder lograr la sincronización del ciclo semafórico es importante que los tiempos en verde en la Av. Arequipa (sentido Norte-Sur y sentido Sur-Norte) deben iniciar simultáneamente en el modelo de tránsito.

Figura 44: Ciclo semafórico en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez

Fuente: Elaboración propia

Figura 45: Ciclo semafórico en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández

Fuente: Elaboración propia

Para poder representar el comportamiento operacional del sistema se está considerando también semáforos para el paso de ciclistas y peatonales. Los tiempos fueron medidos en campo y están en función a los ciclos semafóricos vehiculares, con excepción a que los

semáforos peatonales no cuentan con tiempo ambar. En la Figura 46 y Figura 47 se muestra el ciclo semafórico modelado correspondiente a la Av. Arequipa/Jr. Bermúdez y Av. Arequipa/Jr. Fernández respectivamente.

Figura 46: Semáforo peatonal y de ciclovía en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez
Fuente: Elaboración propia

Figura 47: Semáforo peatonal y de ciclovía en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez
Fuente: Elaboración propia

3.3.13 Nodos / Nodes

Se emplea la herramienta de delimitación poligonal Node para que al momento de procesamiento de la información el modelo se generen resultados en función al área delimitada en el VISSIM 9, tal como se puede apreciar en la Figura 48.

Figura 48: Creación de nodos por intersecciones

Fuente: Elaboración propia

Finalizado la construcción del modelo de microsimulación, previo a la recopilación de la información de las corridas, es importante revisar si el modelo está generando conflictos entre vehículo-peatón, tal como se observa en la Figura 49. De forma práctica, se ha estado revisando las corridas y se ha detenido en el intervalo 3000 segundos para revisar si el modelo de microsimulación presenta algún problema.

Figura 49: Conflicto no solucionado entre vehículo-peatón en el VISSIM 9A

Fuente: Elaboración propia

Después de levantar las observaciones generadas por los conflictos indicados en el párrafo anterior, se procede a correr con el modelo, el cual representa las características físicas y condiciones operativas de la red en estudio.

Los modelos de microsimulación se han estructurado con parámetros propios del entorno geográfico en cada región. Por esta razón, los parámetros se asumen como válidos siempre y cuando la información de las características del tránsito como son los tiempos de viaje sean lo suficientemente representativos.

Figura 50: Vista aérea del modelo de microsimulación en VISSIM 9
Fuente: Elaboración propia

3.4 Número de corridas

Teniendo en cuenta la Ecuación 11: Número mínimo de corridas, se procede a determinar el número mínimo de corridas requeridos en el proyecto. Como se explicó en la Figura 43 , se está considerando la medición de tiempos de viaje de tres tramos en el área de estudio,

Tabla 7: Número mínimo de corridas
Fuente: Elaboración propia, ver Figura 43 para identificar los tramos evaluados

	Av. Arequipa (Norte Sur)	Av. Arequipa (Sur-Norte)	Jr. Pablo Bermúdez
Distancia (m)	80	80	80
N (campo)	40	40	40
GDL	39	39	39
ϵ	0.1	0.1	0.1
Σ	294.23	277.24	421.39
Xm	7.36	6.93	10.53
E	0.74	0.69	1.05
Σv^2	128.61	118.49	402.73

S	1.74	1.74	3.21
t ($\alpha/2$)	1.96	1.96	1.96

N (min)	22	24	36
----------------	----	----	----

Según la Tabla 7, se requiere como mínimo de 36 muestras vehiculares para el tramo de Jr. Pablo Bermúdez. Sin embargo, por motivos prácticos se va a emplear 40 muestra vehiculares debido a que ya se ha realizado una recopilación de datos de tiempos de viaje en campo, considerándose 40 muestras de tiempos de viaje de vehículos por los tres tramos evaluados.

3.5 Parámetros de evaluación

Para el proceso de calibración hemos considerado 40 corridas, la cual cumple con el número mínimo de corridas sugeridas por la FHWA y, además, por el motivo de igualar las 40 muestras de tiempos de viaje registrados en campo. Por medio del modelo de microsimulación, se realizaron 12 simulaciones con diferentes parámetros de Wiedemann 74, los cuales se muestran en la Tabla 8, siendo el valor más cercano a la media de campo de los tiempos de viaje los valores Ax, Bx y Bxmult correspondientes a 1, 3 y 3 respectivamente. Estos valores van a ser empleados y corroborados en el proceso de validación del modelo de tránsito.

Tabla 8: Parámetros de Wiedemann empleados en el Vissim
Fuente: Elaboración propia

Nro	Ax	Bx	Bxmult	VISSIM (tiempos de viaje)			CAMPO (tiempos de viaje)		
				AQP NS	AQP SN	BERM	AQP NS	AQP SN	BERM
1	0.5	0.5	0.5	7.24	7.02	10.51	7.36	6.93	10.53
2	0.5	1	2	7.25	7.13	10.46	7.36	6.93	10.53
3	0.75	1.5	2	7.26	7.12	10.49	7.36	6.93	10.53
4	1	1	1	7.25	7.05	10.53	7.36	6.93	10.53
5	1	3	3	7.33	6.95	10.53	7.36	6.93	10.53
6	1.5	1.5	1.5	7.31	6.97	10.52	7.36	6.93	10.53
7	1.5	3	3	7.42	6.9	10.53	7.36	6.93	10.53
8	1.75	1	1	7.31	6.98	10.57	7.36	6.93	10.53
9	1.75	3	3	7.46	6.85	10.5	7.36	6.93	10.53
10	2	1	2	7.37	6.89	10.47	7.36	6.93	10.53
11	2	3	3	7.55	6.78	10.49	7.36	6.93	10.53
12	3	3	3	7.95	6.68	10.53	7.36	6.93	10.53

3.6 Distribución de velocidades deseadas

Teniendo en cuenta la cantidad de mediciones mencionadas en el subcapítulo anterior 3.4 Número de corridas y la ubicación de los tramos a medir los tiempos de viaje indicados en la Figura 43: Tramos de medición de tiempos de viaje en el modelo de tránsito se procede a generar las distribuciones de velocidades que se construyen con la información recolectada en campo de la medición de tiempos de viaje.

La medición de los tiempos se realizó en campo con apoyo de tres personas para la recopilación de datos empleando lo que se ha explicado en 2.3.3 Velocidad Media Espacial:. En primer lugar, se realizó el trazo del tramo de 80 metros, para lo cual se necesitó emplear una wincha de 10 metros y una tiza con la cual se delimitó el inicio y el fin del recorrido de dicho tramo. Luego, según se puede observar en la Figura 51, se asignó al “Personal 1” que esté ubicado al inicio del tramo, y a dos persona ubicados al final de la intersección, de los cuales el “Personal 2” estuvo en comunicación telefónica con la persona que estaba al inicio del tramo para indicar qué vehículo se debe medir el tiempo de viaje y, por último, el “Personal 3” realizó el cronometraje y anotación de los tiempos de viaje con la indicación del “Personal 2”.

Figura 51: Recolección de datos de tiempos de velocidades

Fuente: Elaboración propia

Una vez realizado la recolección de datos sobre los tiempos de viaje en los tres tramos en evaluación, se procede al procesamiento y elaboración de las velocidades percentiles. En la Tabla 9 se presenta, de forma descendente, los tiempos de viaje en el tramo de la Av. Arequipa sentido Norte-Sur, en donde se observa que, de las 40 muestras, el mayor tiempo de viaje que demora un vehículo en cruzar el tramo de 80 metros es de 11.12 segundos y con una velocidad de 25.90 km/hr, mientras que el menor tiempo es de 4.73 segundos con una velocidad de 60.89 km/hr.

Tabla 9: Tiempos de viaje recolectados en campo, tramo de la Av. Arequipa sentido Norte-Sur
Fuente: Elaboración propia

N.º	TIEMPO (S)	V (km/hr)	N.º	TIEMPO (S)	V (km/hr)
1	11.12	25.90	21	7.28	39.56
2	10.84	26.57	22	7.13	40.39
3	10.44	27.59	23	7.04	40.91
4	9.98	28.86	24	7.01	41.08
5	9.65	29.84	25	6.68	43.11
6	9.56	30.13	26	6.63	43.44
7	9.38	30.70	27	6.32	45.57
8	9.38	30.70	28	6.07	47.45
9	9.31	30.93	29	6.04	47.68
10	9.01	31.96	30	5.76	50.00
11	8.44	34.12	31	5.59	51.52
12	8.42	34.20	32	5.57	51.71
13	8.05	35.78	33	5.41	53.23
14	7.89	36.50	34	5.29	54.44
15	7.86	36.64	35	5.24	54.96
16	7.61	37.84	36	4.98	57.83
17	7.54	38.20	37	4.95	58.18
18	7.43	38.76	38	4.9	58.78
19	7.43	38.76	39	4.88	59.02
20	7.39	38.97	40	4.73	60.89

A continuación, se presenta el análisis estadístico realizado para el mismo tramo en evaluación, el cual consiste en representar los valores de las 40 muestras de velocidades de viaje por medio de una tabla de frecuencias de intervalos, lo cual nos permitirá identificar la curva de velocidades percentiles que están en función a las frecuencias relativas acumuladas (H%) y al mayor valor de velocidad de cada rango de velocidades, Una vez construido la Tabla 10, se puede describir que dicha tabla de frecuencias se ha construido teniendo en cuenta la cantidad de intervalos, el rango entre el valor máximo y mínimo de velocidades y el intervalo propuesto. Por último, se indica al final de la Tabla 10 la

velocidad promedio (V_m) que resulta en 41.57 km/hr, el tiempo de viaje promedio (X_m) de 7.36 segundos y la desviación estándar (Des) de 1.82 segundos.

Tabla 10: Tabla de frecuencias de intervalos para el tramo de la Av. Arequipa Norte-Sur
Fuente: Elaboración propia

Distancia (m)	80
N.º intervalos	7
Rango	34.99
Intervalo	5

Tabla de frecuencia de intervalos						
N.º	Rango velocidades		X_m	f	h (%)	H (%)
1	25.9	30.9	28.4	8.00	0.20	0.20
2	30.9	35.9	33.4	5.00	0.13	0.33
3	35.9	40.9	38.4	9.00	0.23	0.55
4	40.9	45.9	43.4	5.00	0.13	0.68
5	45.9	50.9	48.4	3.00	0.08	0.75
6	50.9	55.9	53.4	5.00	0.13	0.88
7	55.9	60.9	58.4	5.00	0.13	1.00
Total				40.00	1	

X_m	7.36
V_m	41.57
Des	1.82

Finalmente, con los datos presentados en la Tabla 10, se procede a elaborar la curva de velocidad percentiles versus las frecuencias acumuladas, mostrada en la Figura 52: Medición de velocidades percentiles en el tramo de la Av. Arequipa (Norte-Sur). En el capítulo Anexos se evalúan los tiempos de viajes de los dos tramos restantes, tomando en cuenta la metodología que se emplea para el análisis estadístico de la Tabla 10.

Figura 52: Medición de velocidades percentiles en el tramo de la Av. Arequipa (Norte-Sur)

Fuente: Elaboración propia

3.7 Prueba estadística para la calibración del modelo

Una vez finalizado con la construcción del modelo de microsimulación, se procede con el desarrollo de la calibración el cual es un proceso que consiste en la modificación de los parámetros de Wiedemann para conseguir que los resultados obtenidos con el software sean parecidos a los datos obtenidos en campo con un nivel de confianza de 95% y un margen de error aceptado de 10% de la media.

Los resultados de los parámetros de eficiencia que se medirán para el presente proyecto son los tiempos de viaje vehicular, los cuales se consideran luego de un tiempo de estabilización (warm up) de 900 segundos; y, para cada simulación el tiempo total es de 3600 segundos.

Antes de correr el modelo, se establecen los parámetros de simulación vehicular, es decir, el número semilla inicial, el número de corridas, el incremento del número semilla y la velocidad de simulación, tal como se observa en la Figura 53.

Figura 53: Parámetros de simulación empleados en el Vissim

Fuente: Elaboración propia

Luego de haber corrido el modelo de microsimulación, se procede a la recopilación y procesamiento de los resultados proporcionados de tiempos de viaje por el software VISSIM 9, los cuales se pueden apreciar en la Tabla 8. Cabe resaltar que los tramos que serán evaluados para la calibración son los que se muestran en la Figura 54: (1) Tramo de la Av. Arequipa sentido Norte-Sur (denominado “AQP NS”), (2) Tramo de la Av. Arequipa sentido Sur-Norte (denominado “AQP SN”) y (3) Jr. Pablo Bermúdez (denominado “BERM”).

Figura 54: Tramos para medición de tiempos de viaje

Fuente: Elaboración propia

Para la calibración del modelo, se realizará la prueba de hipótesis de igualdad de medias con un nivel de confianza de 95% mediante el uso de la evaluación por permutaciones (10'000) denominado Randomization Test, prueba no paramétrica, con la herramienta virtual Stat-Key. Cabe señalar que esta evaluación no depende de la forma de las distribuciones de origen y es aplicable para cualquier tamaño de muestra. Por lo tanto, lo que se debe comprobar es que la diferencia de medias se encuentre dentro de la zona de aceptación, lo cual se cumple en los tres tramos de calibración según se muestra en la Tabla 11.

Figura 55: Randomization test para calibración - Tramo Av. Arequipa Norte-Sur
Fuente: Elaboración propia

Figura 56: Randomization test para calibración - Tramo Av. Arequipa Sur-Norte
Fuente: Elaboración propia

Figura 57: Randomization test para calibración - Tramo Jr. Pablo Bermúdez
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Figura 55, Figura 56 y Figura 57, las tres pruebas estadísticas por Randomization Test tiene una diferencia de medias que está ubicado dentro del rango de intervalo de aceptación, por lo que se concluye que el modelo ha sido satisfactoriamente calibrado, considerando los parámetros de Wiedemann 74 indicados en la evaluación N.º 5 de la Tabla 8, y está listo para el análisis correspondiente a la validación.

Tabla 11: Calibración del modelo mediante prueba no paramétrica StatKey

Fuente: Elaboración propia

	Av. Arequipa Norte-Sur	Av. Arequipa Sur-Norte	Jr. Pablo Bermúdez
Diferencia de medias	0.02	-0.02	0.006
Intervalo de confiabilidad del 95%	[-0.576, 0.547]	[-0.538, 0.554]	[-0.988, 0.961]
¿Calibrado?	Sí	Sí	Sí

3.8 Prueba estadística para la validación del modelo

Como finalizar con la etapa de calibración y validación del modelo según lo indicado en la Figura 6: Flujograma de proceso de la investigación, se debe validar lo realizado mediante un análisis de la simulación del proyecto con un nuevo conjunto de datos de entradas de campo, cuya obtención fue posible con un segundo aforo realizado el 13 de diciembre del 2019, solamente se hizo aforo en el periodo de la hora pico definido en el aforo de calibración (7:30pm a 8:30pm).

En la siguiente evaluación del modelo se va a ingresar los nuevos aforos vehiculares, peatonales y de bicicletas, los cuales fueron procesados y presentados en el capítulo Anexos: Flujogramas para validación, y se verifica que los resultados obtenidos para el parámetro de eficiencia de tiempo de viaje sean similares a los hallados en el modelo de simulación.

En el capítulo Anexos: Tiempos de viaje para calibración de la intersección de la Av. Arequipa sentido Sur-Norte, se muestra las 40 mediciones realizadas en campo con las cuales se deberá realizar la prueba de diferencia de medias en el Stat-Key para los tres tramos tal como se muestra en la Figura 58, Figura 59 y Figura 60.

Figura 58: Randomization test para validación - Tramo Av. Arequipa Sur-Norte
 Fuente: Elaboración propia

Figura 59: Randomization test para validación - Tramo Av. Arequipa Norte-Sur
 Fuente: Elaboración propia

Figura 60: Randomization test para validación - Tramo Jr. Pablo Bermúdez
 Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 12 (la cual fue desarrollada según los datos proporcionados en las Figura 58, Figura 59 y Figura 60), las tres pruebas estadísticas por Randomization Test tiene una diferencia de medias que está ubicado dentro del rango de intervalo de aceptación, por lo que se concluye que el modelo ha sido satisfactoriamente validado, considerando los parámetros de Wiedemann 74 indicados en la evaluación N.º 5 de la Tabla 8, y está listo para el análisis correspondiente al escenario de proyección a 5 años del área de estudio.

Tabla 12: Validación del modelo mediante prueba no paramétrica StatKey

Fuente: Elaboración propia

	Av. Arequipa Norte-Sur	Av. Arequipa Sur-Norte	Jr. Pablo Bermúdez
Diferencia de medias	0.05	0.10	0.07
Intervalo de confiabilidad del 95%	[-0.808, 0.865]	[-0.882, 0.927]	[-1.455, 1.743]
¿Validado?	Sí	Sí	Sí

CAPITULO IV: EVALUACION DE RESULTADOS

4.1 Análisis de las condiciones existentes

En este capítulo se realiza la evaluación y análisis de los resultados obtenidos para describir el funcionamiento actual del tráfico en la presente intersección, con información del comportamiento vehicular y por medio de la interacción de vehículo-peatón y vehículo-bicicleta que en los modelos de microsimulación pueden considerarse. Luego, en conjunto con la información recolectada en el capítulo anterior, se plantean propuestas de solución a los problemas identificados en la zona; las cuales son evaluadas, finalmente, de acuerdo con parámetros vehiculares. Antes de iniciar con los subcapítulos, se recomienda que se revise la orientación de los giros que se les ha asignado a las intersecciones, los cuales se pueden apreciar en el capítulo Anexos: Flujogramas vehiculares de las intersecciones.

4.1.1 Aforos vehiculares

Para analizar los aforos en la hora pico en esta parte, en primer lugar, se pueden observar el registro de datos que se ha hecho detalladamente en el capítulo de Anexos, en donde se cuenta con aforos provenientes de diciembre del 2018 desarrollados por una Consultora de Tránsito con fecha del 13 de diciembre del 2018. Es importante tomar en cuenta los aforos del 2018 para tener una referencia de la variación de flujo vehicular que ha sufrido el área de estudio. Es por ello que se va a describir por medio de tablas el análisis de la variación de flujo vehicular por movimientos o giros que se ha venido desarrollando en los aforos del 2018 y en el aforo de calibración proveniente del 2019.

En la Figura 61, se muestra un gráfico de barras que contiene información sobre los flujogramas vehiculares elaborados en el 2018 y en el 2019, los cuales están presentados en el capítulo Anexos.

De la Figura 61 se observa que los flujos vehiculares, provenientes de la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández, han presentado un ligero aumento en el aforo del 2019 con respecto al aforo del 2018, con excepción al movimiento 11 generado en el Acceso 1 (ver capítulo Anexos: Flujogramas, para identificar el movimiento 11), en donde se muestra que se ha generado un descenso de 8.71% (aproximadamente se ha disminuido en 64 vehículos) en su aforo del 2019 con respecto al aforo del 2018. Además, en los movimientos 21, 31 y 41 se muestra que ha aumentado el flujo vehicular, sin embargo, este

hecho puede atribuir al incremento continuo del parque automotor que la capital viene generando desde años atrás²⁴.

Figura 61: Aforo vehicular registrado en los periodos 2018 y 2019 en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández
Fuente: Elaboración propia

No obstante, en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez ha desarrollado la mayor variación en los aforos vehiculares del 2018 con respecto al 2019 tal como se muestra en la Figura 62. En el acceso 5 cuenta con dos movimientos que serán analizados por separado debido a su variación:

- En el movimiento 51 (flujo en sentido de la Av. Arequipa Sur-Norte) se ha presentado un descenso en el paso de vehículos en aproximadamente 35.70% (reduciéndose 372 vehículos en ese movimiento durante la hora pico).
- En el movimiento 52 (flujo en sentido a la izquierda) se ha presentado un notable aumento de vehículos durante la hora pico, el cual alcanza un valor de 107.51% (este porcentaje de aumento equivale a 444 vehículos).

Como se ha descrito en Figura 36: Conflicto de cruce en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez, el problema actual en el área de estudio de la Av. Arequipa se encuentra en el conflicto generado por el tiempo en verde de la fase 1 del ciclo semafórico, el cual se puede atribuir al aumento del flujo vehicular en el movimiento 52 (giro a la izquierda) que se ha comentado en el párrafo anterior. Si bien se ha reducido el flujo vehicular en el movimiento 51 (sentido Norte-Sur), este no genera una mejora de flujo continuo en la Av.

²⁴ Cfr.Comercio Exterior 2018: 01
https://www.camaralima.org.pe/repositorioaps/0/0/par/r816_3/comercio%20exterior.pdf

Arequipa debido a que se está dando prioridad al giro a la izquierda observado en Figura 40: Situación actual de la cola generada por el conflicto en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez cuando se encuentra en proceso la fase 1 del semáforo (todo verde en ambos sentidos en la Av. Arequipa).

Figura 62: Aforo vehicular registrado en los períodos 2018 y 2019 en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez
Fuente: Elaboración propia

Para finalizar con este subcapítulo, la en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Ramón Dagnino se observa por medio de la Figura 63 que no se ha sufrido una variación significativa en los flujos vehiculares, lo cual se concluye que esta intersección no semaforizada presenta un flujo vehicular sostenible en el tiempo considerando que el giro 71 no afecta en el flujo constante de la Av. Arequipa Norte-Sur debido a que el aforo vehicular en su hora pico es menor a 100 vehículos.

Figura 63: Aforo vehicular registrado en los períodos 2018 y 2019 en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Ramón Dagnino
Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Resultados de los niveles de servicio y demoras por control en la situación actual

Luego de validar el modelo, se analizará los parámetros de eficiencias necesarios para determinar la calidad del funcionamiento del tráfico en la intersección estudiada y presentar propuestas de mejora, con el fin de optimizar el diseño vial. Por otro lado, se debe tomar en cuenta que los resultados que se presentarán en la Tabla 13 son producto de la evaluación de 15 corridas en VISSIM 9 de la situación actual del área de estudio. Cabe resaltar que estos datos fueron proporcionados con la ayuda de la herramienta Nodes, la cual delimita de forma poligonal las intersecciones a analizar, como se muestra en la Figura 48: Creación de nodos por intersecciones.

Tabla 13: Resultados obtenidos en la simulación actual

Fuente: Elaboración propia

Nº	ACCESO	MOVIMIENTO - LINKS	GIRO	MOV.	LOS(ALL)	VEHDELAY(ALL)
1	Acceso 1	1-3: EMILIO FERNANDEZ OE@51.0-3: EMILIO FERNANDEZ OE@156.9	11	W-E	C	33.20
2		1-3: EMILIO FERNANDEZ OE@51.0-2: AV. AREQUIPA SN@162.7	12	W-N	C	35.60
3		1-3: EMILIO FERNANDEZ OE@51.0-1: AV. AREQUIPA NS@384.0	13	W-S	C	31.22
4	Acceso 2	1-2: AV. AREQUIPA SN@45.4-2: AV. AREQUIPA SN@162.7	21	S-N	E	71.36
5		1-2: AV. AREQUIPA SN@45.4-3: EMILIO FERNANDEZ OE@156.9	22	S-E	D	38.35
6	Acceso 3	1-4: EMILIO FERNANDEZ EO (1 DIRECCION)@45.7-2: AV. AREQUIPA SN@162.7	31	E-N	E	73.97
7	Acceso 4	1-1: AV. AREQUIPA NS@267.3-2: AV. AREQUIPA SN@162.7	41	N-N	D	36.46
8		1-1: AV. AREQUIPA NS@267.3-3: EMILIO FERNANDEZ OE@156.9	42	N-E	A	9.77
9		1-1: AV. AREQUIPA NS@267.3-1: AV. AREQUIPA NS@384.0	43	N-S	A	5.03
1: INTERSECCION AV. AREQUIPA Y JR. EMILIO FERNANDEZ				Total	D	37.22
10	Acceso 5	2-2: AV. AREQUIPA SN@164.4-1: AV. AREQUIPA NS@265.5	51	S-S	D	48.79
11		2-2: AV. AREQUIPA SN@164.4-6: JR PABLO BERMUDEZ EO@32.7	52	S-W	D	38.90
12		2-2: AV. AREQUIPA SN@164.4-2: AV. AREQUIPA SN@287.3	53	S-N	C	22.16
13	Acceso 6	2-1: AV. AREQUIPA NS@142.3-1: AV. AREQUIPA NS@265.5	61	N-S	C	22.73
14		2-1: AV. AREQUIPA NS@142.3-6: JR PABLO BERMUDEZ EO@32.7	62	N-W	D	41.87
2: INTERSECCION AV. AREQUIPA Y JR. PABLO BERMUDEZ				Total	D	34.89
15	Acceso 7	3-1: AV. AREQUIPA NS@49.0-1: AV. AREQUIPA NS@141.0	71	N-S	A	3.69
16		3-7: JR. RAMON DAGNINO@23.8-1: AV. AREQUIPA NS@141.0	72	W-S	A	7.40
3: INTERSECCION AV. AREQUIPA Y JR. RAMON DAGNINO				Total	A	5.55

4.1.2.1 Demoras por control (VEHDELAY)

Este parámetro de eficiencia seleccionado es utilizado con mayor frecuencia en el análisis de intersecciones, este considera el tiempo que se pierde en el viaje de un vehículo entre dos puntos debido a la concentración de tráfico. En la Tabla 13, se observa que en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández presenta demora por control promedio de 37.22 segundos; la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez alcanzó una demora por control promedio de 34,89 segundos y, por último, la intersección de la Av. Arequipa con Jr. Ramón Dagnino presenta una demora por control de 3.05 segundos.

Además, es importante identificar qué movimientos o giros han presentado las mayores demoras por control con la finalidad de poder evaluar el impacto que este genera en el comportamiento operacional de la intersección analizada.:

- En el caso de la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández se aprecia que el giro 31 (proveniente de Jr. Emilio Fernández en sentido Este-Oeste) presenta una demora por control de 73.97 segundos, casi el doble de la demora por control promedio de su intersección; y en el giro 21 (proveniente de la Av. Arequipa en sentido Sur-Norte) se está generando demora por control de 71.36 segundos. De esta información podemos concluir que la demora por control que se debe mejorar en la intersección proviene de los accesos 2 y 3 de la Av. Arequipa en sentido Sur-Norte, comprobándose que las colas generadas en esta vía (ver Figura 40) tienen un impacto negativo en la intersección analizada.
- En la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez se demuestra que los giros 51 y 52 generados por el acceso 5 son los que presentan las demoras por control más incidentes, los cuales dan como resultados 48.79 segundos y 38.90 segundos respectivamente. Si bien hay un conflicto en esta intersección debido a la obstrucción del giro a la izquierda dentro de la fase 1 del semáforo (ver Figura 36), los vehículos logran realizar sus giros de manera continua cuando inicia la fase 2 del ciclo semafórico ya que el acceso de la Av. Arequipa en sentido Norte-Sur se encuentra en tiempo rojo, dando el pase libre y prioridad a la descarga de los vehículos que estuvieron paralizados en la fase 1 del ciclo semafórico, es por ello que se puede justificar que la demora por control en esta intersección ha resultado con un valor inferior al de la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández.

4.1.3 Niveles de servicio (LOS)

En la Tabla 13 se muestran los niveles de servicio hallados en las condiciones actuales de las tres intersecciones. En primer lugar, se comenta que las dos intersecciones semaforizadas obtuvieron en promedio un nivel de servicio “D”. Por otra parte, realizando un análisis más detallado se puede identificar lo siguiente:

- Intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández: El giro 21 (Av. Arequipa sentido Sur-Norte) y el giro 31 Jr. Emilio Fernández (Jr. Emilio Fernández en sentido Este-Oeste hacia la Av. Arequipa) cuentan con un nivel de servicio “E”

- Intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández: El giro 22 (Av. Arequipa sentido Sur-Este) y el giro 41 Jr. Emilio Fernández (Jr. Emilio Fernández en sentido Oeste hacia la Av. Arequipa) cuentan con un nivel de servicio “D”.
- Intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez: El giro 51 (Av. Arequipa sentido Sur-Este), el giro 52 que cruza la Av. Arequipa y pasa por Jr. Pablo Bermúdez y el giro 61 cuentan con un nivel de servicio “D”.

4.2 Análisis de la proyección de tránsito a 5 años

En este subcapítulo se va a realizar el análisis de la condición futura del proyecto a 5 años considerando, en primer lugar, una tasa de crecimiento vehicular por medio de una proyección con el método de la regresión lineal; y el crecimiento peatonal aplicando la tasa de crecimiento poblacional.

4.2.1 Cálculo de aforo proyectado a 5 años

Para el análisis del aforo proyectado, se usó la Ecuación 9 en el cual se ve representado los valores del tránsito actual y del incremento del tránsito. Asimismo, para la determinación del cálculo del tráfico futuro se debe tener los valores de las siguientes expresiones:

P_t = Flujo vehicular proyectado a los 5 años

P_o = Flujo vehicular en el presente año

r = Tasa de crecimiento vehicular

n = Período en evaluación

El cálculo de “ r ” tasa de crecimiento vehicular se obtiene mediante el método de regresión lineal. Los valores que son requeridos para este cálculo son los flujos totales que se han registrado en la hora pico del Aforo del 2018 y el Aforo para calibración del 2019 (debido a que este valor es mayor al del Aforo de validación del 2019). Los valores totales de los flujogramas se encuentran en el capítulo Anexos: Resumen de Aforos totales, por tipos de vehículos, bicicletas y peatones. El valor del crecimiento vehicular es de aproximadamente 3.12%, dicho valor fue obtenido realizando una regresión lineal entre los valores del aforo del 2018 y los aforos de calibración del 2019.

La tasa de crecimiento vehicular debe aplicarse a todos los giros o movimientos que componen los flujogramas para poder tener proyectado a 5 años el aforo vehicular. Una vez ingresado este valor se procede a realizar el análisis de la situación a 5 años sin considerar propuestas de mejora,

En la Figura 64: Vista aérea del proyecto sin propuesta de mejora, se observa que se ha generado la entrada y salida de vehículos particulares, restringiendo el flujo continuo vehicular debido a que el carro realiza una maniobra para poder ingresar al Edificio.

Figura 64: Vista aérea del proyecto sin propuesta de mejora

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del tráfico generado por el edificio, se empleará lo indicado en 2.3.5 Generación de viajes, en donde solo se debe tener el número de estacionamientos para poder estimar el flujo vehicular que va a salir en la hora pico.

$$\text{Tráfico generado} = (80 \text{ estacionamientos}) \times 0.30 = 24 \text{ vehículos}$$

Según la recomendación del cálculo de flujo generado por el proyecto, solamente se tiene que considerar a 24 vehículos en el carril de salida, concluyendo que este incremento de tráfico no va ocasionar un gran impacto en el período de evaluación de 5 años.

4.2.2 Resultados de los niveles de servicio y demoras por control en la situación proyectada a 5 años sin propuestas de mejora

Luego de analizar los resultados del modelo en la situación actual, se analizará los parámetros de eficiencias necesarios para determinar la calidad del funcionamiento del tráfico en la intersección estudiada y presentar una proyección a 5 años del área de estudio, con el fin de representar el comportamiento operacional considerando el nuevo flujo vehicular, peatonal y de bicicletas.

Por otro lado, se debe tomar en cuenta que los resultados que se presentarán en la Tabla 13 son producto de la evaluación de 15 corridas en VISSIM 9 de la situación actual del área

de estudio. Cabe resaltar que estos datos fueron proporcionados con la ayuda de la herramienta Nodes, la cual delimita de forma poligonal las intersecciones a analizar.

Tabla 14: Resultados obtenidos en la simulación con proyección a 5 años sin considerar la implementación de las propuestas de mejora

Fuente: Elaboración propia

Nº	ACCESO	MOVIMIENTO - LINKS	GIRO	MOV.	LOS(ALL)	VEHDELAY(ALL)
1	Acceso 1	1-3: EMILIO FERNANDEZ OE@51.0-3: EMILIO FERNANDEZ OE@156.9	11	W-E	C	32.04
2		1-3: EMILIO FERNANDEZ OE@51.0-2: AV. AREQUIPA SN@162.7	12	W-N	D	48.34
3		1-3: EMILIO FERNANDEZ OE@51.0-1: AV. AREQUIPA NS@384.0	13	W-S	C	29.57
4	Acceso 2	1-2: AV. AREQUIPA SN@45.4-2: AV. AREQUIPA SN@162.7	21	S-N	F	113.11
5		1-2: AV. AREQUIPA SN@45.4-3: EMILIO FERNANDEZ OE@156.9	22	S-E	E	72.63
6	Acceso 3	1-4: EMILIO FERNANDEZ EO (1 DIRECCION)@45.7-2: AV. AREQUIPA SN@162.7	31	E-N	F	108.15
7	Acceso 4	1-1: AV. AREQUIPA NS@267.3-2: AV. AREQUIPA SN@162.7	41	N-N	E	58.36
8		1-1: AV. AREQUIPA NS@267.3-3: EMILIO FERNANDEZ OE@156.9	42	N-E	B	11.35
9		1-1: AV. AREQUIPA NS@267.3-1: AV. AREQUIPA NS@384.0	43	N-S	B	6.30
1: INTERSECCION AV. AREQUIPA Y JR. EMILIO FERNANDEZ				Total	E	53.32
10	Acceso 5	2-2: AV. AREQUIPA SN@164.4-1: AV. AREQUIPA NS@265.5	51	S-S	E	67.12
11		2-2: AV. AREQUIPA SN@164.4-6: JR PABLO BERMUDEZ EO@32.7	52	S-W	D	49.25
12		2-2: AV. AREQUIPA SN@164.4-2: AV. AREQUIPA SN@287.3	53	S-N	D	40.40
13	Acceso 6	2-1: AV. AREQUIPA NS@142.3-1: AV. AREQUIPA NS@265.5	61	N-S	B	18.21
14		2-1: AV. AREQUIPA NS@142.3-6: JR PABLO BERMUDEZ EO@32.7	62	N-W	B	18.48
2: INTERSECCION AV. AREQUIPA Y JR. PABLO BERMUDEZ				Total	D	38.69
15	Acceso 7	3-1: AV. AREQUIPA NS@49.0-1: AV. AREQUIPA NS@141.0	71	N-S	A	1.86
16		3-7: JR. RAMON DAGNINO@23.8-1: AV. AREQUIPA NS@141.0	72	W-S	A	5.99
3: INTERSECCION AV. AREQUIPA Y JR. RAMON DAGNINO				Total	A	3.93

4.2.2.1 Demoras por control (VEHDELAY)

En la Tabla 14 se observa que en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández presenta demora por control promedio de 53.32 segundos; la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez alcanzó una demora por control promedio de 38.90 segundos y, por último, la intersección de la Av. Arequipa con Jr. Ramón Dagnino presenta una demora por control de 2.10 segundos.

4.2.3 Niveles de servicio (LOS)

En la Tabla 14 se observa que en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández presenta un nivel de servicio de “E” segundos; la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez alcanzó un nivel de servicio “D” y, por último, la intersección de la Av. Arequipa con Jr. Ramón Dagnino presenta un nivel de servicio “B”.

En este subcapítulo no se va a detallar los resultados obtenidos en la simulación de la situación a 5 años sin implementar las propuestas de mejora debido a que posteriormente se realizará un análisis comparativo

4.3 Evaluación de resultados de demoras por control y niveles de servicio considerando la propuesta de mejora en la infraestructura vial

Luego de realizado el análisis de resultados del área de influencia proyectado a 5 años en el subcapítulo anterior, es necesario proponer una solución para mejorar las condiciones del tránsito vehicular, para así cumplir con el objetivo principal del presente proyecto. El plano con las propuestas de mejora se encuentra a nivel de detalle topográfico en el capítulo Anexos: Plano de Mitigación, y son detalladas en el presente acápite.

4.3.1 Diseño de ingreso de edificio

Según la Ordenanza Municipal N°2087, en el Artículo 9°.-Aspectos a incluir como parte de las medidas de mitigación, indica que las vías de circulación vehicular interna no deben alterar el libre tránsito de vehículos que realizan el embarque y desembarque de pasajeros, de propietarios que accedan al estacionamiento, o realicen el proceso de carga y descarga. Además, en ese mismo artículo se resalta que en ningún caso el desarrollo de las maniobras de ingreso o salida vehicular del proyecto deberá interferir la circulación de peatones y/o vehículos en la vía o vías públicas circundantes. Es por ello que, para la presente investigación, se está proponiendo la inclusión de una bahía vehicular cumpliendo con la normativa vigente tal como se puede observar en la Figura 65; sin embargo, se deberá comprobar si es que esta medida de mitigación contribuye a mejorar los niveles de servicio y demoras por control en el subcapítulo de análisis de resultados.

Figura 65: Vista de la bahía vehicular, generado en el VISSIM 9
Fuente: Elaboración propia

Para rediseñar el acceso vehicular del edificio multifamiliar (teniendo en cuenta que el proyecto contempla un retiro tal como se muestra en la Figura 9: Zona de carga y descarga

ubicada en la Av. Arequipa) se consultó la norma A.010 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) con el propósito de considerar las medidas reglamentarias establecidas para el diseño de los radios de giro, las medidas con respecto a la vía y la dimensión de la vía de acceso. Como se muestra en el capítulo de Anexos: Plano de Mitigación, el diseño planteado mantiene un retiro de 5.05 m con respecto al límite de propiedad, con la finalidad de crear un espacio intermedio entre el acceso del edificio y la vía vehicular, generando un ingreso y salida del vehículo progresivo que considera el flujo de la Av. Arequipa en sentido Norte-Sur.

Por otro lado, se propone el ingreso y salida en vías independientes de 3.00m de ancho al tratarse de un estacionamiento que posee más de 40 vehículos y menos de 200 vehículos según las recomendaciones del Artículo 67° del RNE A.010 indicada en la Figura 66.

Artículo 67 REQUISITOS DE ZONAS DE ESTACIONAMIENTO	
Las zonas destinadas a estacionamiento de vehículos deberán cumplir los siguientes requisitos:	
a) El acceso y salida a una zona de estacionamiento podrá proponerse de manera conjunta o separada.	
b) El ingreso de vehículos deberá respetar las siguientes dimensiones entre paramentos:	
Para 1 vehículo	: 2,70 m.
Para 2 vehículos en paralelo	: 4,80 m
Para 3 vehículos en paralelo	: 7,00 m.
Para ingreso a una zona de estacionamiento para menos de 40 vehículos	: 3,00 m.
Para ingreso a una zona de estacionamiento con más de 40 vehículos, hasta 200 vehículos	: 6,00 m
o un ingreso y salida independientes de 3,00 m cada una.	
Para ingreso a una zona de estacionamiento con más de 200 vehículos, hasta 600 vehículos	: 12,00 m
o un ingreso doble de 6,00 m y salida doble de 6,00 m.	

Figura 66: Diseño del ancho de vía según las consideraciones del RNE A.010
Fuente: RNE A.010

Para el diseño de las vías de acceso se consideró radios de giros mínimos de 5 m según las recomendaciones del Artículo 67° del RNE A.010 que se muestra en la Figura 67.

Figura 67: Radio de giro mínimo según las consideraciones del RNE A.010
Fuente: RNE A.010

Por otro lado, se propone una pequeña rampa en el acceso, fuera de los límites de la vereda, de forma que esta no se vea interrumpida por el acceso y mantenga su nivel original según las recomendaciones del Artículo 68° del RNE A.010 que se aprecia en la Figura 68.

Figura 68: Rampa de acceso según las consideraciones del RNE A.010
Fuente: RNE A.010

4.3.2 Diseño de paradero de bus segregado

En la actualidad, los buses del Sistema Integrado de Transporte (SIT) que circulan por la Av. Arequipa tienen paraderos definidos que están incorporados dentro del ancho de la calzada, la cual posee 2 carriles para cada sentido. Durante la inspección en campo, se observó que, en el Paradero Fernández, ubicado en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández (ver Figura 20: Paraderos de bus) se generaba conflictos en el flujo continuo de la Av. Arequipa por la parada de buses cuando el semáforo se encontraba en tiempo verde, esto debido a la maniobra de descarga y carga de pasajeros en el inicio de Jr. Emilio Fernández. Es por ello que se propone eliminar el paradero, trasladando su flujo de buses e integrarlo al Paradero Dagnino ubicado a 180 m hacia el norte tomando en cuenta que se está proponiendo un paradero de bus segregado para poder contener los buses que han sido trasladados a este paradero, tal como se puede. Es importante mencionar que existe un paradero de bus ubicado a 350 m hacia el sur, los cuales son paradas de las mismas líneas de buses: 301 y 302.

Figura 69: Vista de la propuesta de paradero de bus segregado en el Paradero Dagnino
Fuente: Elaboración Propia

Según el Manual de Movilidad Peatonal, la distancia entre servicios de transporte colectivo debería fluctuar entre 300m y 800m²⁵, siendo la distancia propuesta entre paraderos aceptable para que recorra el peatón. Por otro lado, se rediseña el paradero Fernández, ubicado al frente del predio de estudio consultando el Manual de Vialidad Urbana del Ministerio de Vivienda y Urbanismo del Gobierno Chileno. Se decide efectuar el paradero aledaño a la calzada, generando una bahía de 3 metros que penetra la vereda, respetando la longitud de los paraderos de 18m. La longitud de los paraderos se define en función a la longitud de los buses, los cuales oscilan entre 9m a 12m, dejando un espacio de distanciamiento entre buses y área de maniobra. Por otro lado, se ensancha la vereda que se encuentra aledaño al paradero, de forma que se respete el ancho mínimo para el flujo peatonal de 2m y 2m correspondientes a la zona de refugio y solera. Este ensanchamiento de la vereda y paradero es posible a la ubicación del paradero, la cual se encuentra aledaño al Parque de la Reserva, espacio de dominio público. El diseño final a detalle de este paradero segregado está incluido en el capítulo Anexos: Plano de Mitigación.

4.3.3 Optimización del ciclo semafórico

Para determinar el ciclo semafórico óptimo para la zona de estudio se recurre a 2.3.2Ciclo del semáforo, en donde se describe el proceso de cálculo. A manera de ejemplo, se va realizar el cálculo del ciclo semafórico en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez:

²⁵ Cfr. Sanz 2009: 2

Aplicando la Ecuación 6: Tiempo óptimo de ciclo de Wesler, se va a determinar el ciclo óptimo. En primer lugar, se va a determinar el flujo de saturación en la intersección:

Fase	Giro	I (Intensidad)	Nº (carriles)	feq (factor de equivalenci	$q=(I \times feq)/n$	Yi (flujo saturación)	
1	51	875	2	1	437.50	0.243	
	52	1009	2	1.2	605.40	0.336	
	53	9	2	1.2	5.40	0.003	0.582 Y1
2	61	1064	2	1	532.00	0.296	
	62	77	2	1.2	46.20	0.026	0.321 Y2

Figura 70: Cálculo del flujo de saturación en la intersección de Av. Arequipa - Jr. Pablo Bermúdez
Fuente: Elaboración Propia

Luego, se emplea la fórmula para hallar el ciclo óptimo, pero para ello se requiere conocer los siguientes valores:

L = Tiempo perdido en ámbar, el cual resulta en 3 segundos

Y = Flujo de saturación en la intersección

Por lo tanto, el ciclo óptimo semafórico hallado a través de la Ecuación 6: Tiempo óptimo de ciclo, obteniéndose un valor de 145 segundos, y los tiempos de verde, rojo y ámbar se aprecia en la Figura 71: Ciclo semafórico de 145 segundos

	FASE 1	FASE 2
ROJO	52	93
AMBAR	3	3
VERDE	90	49
TC	145	145

Figura 71: Ciclo semafórico de 145 segundos
Fuente: Elaboración Propia

Según la recomendación mencionadas en el acápite 2.4.1 Ciclo del semáforo, se va a emplear un ciclo semafórico de 120 segundos, el cual va a presentar el reglaje semafórico:

Intersección 1 (Av. Arequipa – Jr. Emilio Fernández):

- En la fase 1 del semáforo se permite el movimiento de vehículos que se desplazan por la Av. Arequipa en sentido Sur-Norte. En esta fase está considerando 75 segundos en tiempo verde, 42 segundos en tiempo rojo y 3 segundos en tiempo ámbar. Como se puede apreciar en la Figura 72, se está otorgando esta forma de distribución desfasada debido a que se deben tomar en consideración la ola verde en la Av. Arequipa, que en esta propuesta es de 19 segundos.
- En la fase 2 del semáforo se permite el movimiento de vehículos que se desplazan por Jr. Emilio Fernández, incluyendo el carril que tiene un giro exclusivo que descarga hacia la Av. Arequipa. De acuerdo a la Figura 73, esta fase está considerando 55 segundos en tiempo verde, 79 segundos en tiempo rojo y 3 segundos en tiempo ámbar.
- El ciclo semafórico es de 120 segundos.

Figura 72: Ciclo semafórico óptimo: Intersección Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández
Fuente: Elaboración Propia

Intersección 2 (Av. Arequipa – Jr. Pablo Bermúdez):

- En la fase 1 del semáforo se permite el movimiento de vehículos que se desplazan por la Av. Arequipa en sentido Norte y Sur. De acuerdo a la Figura 73, esta fase está considerando 72 segundos en tiempo verde (53 segundos + 19 segundos), 45 segundos en tiempo rojo y 3 segundos en tiempo ámbar. Como se puede apreciar en la Figura 73, se está otorgando esta forma de distribución debido a que se deben tomar en consideración la ola verde en la Av. Arequipa.
- En la fase 2 del semáforo se permite el movimiento de vehículos que se desplazan por Jr. Emilio Fernández, incluyendo el carril que tiene un giro exclusivo que descarga hacia la Av. Arequipa. De acuerdo a la Figura 73, esta fase está

considerando 55 segundos en tiempo verde, 79 segundos en tiempo rojo y 3 segundos en tiempo ámbar.

- El ciclo semafórico es de 120 segundos.

Figura 73: Ciclo semafórico óptimo: Intersección Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez
Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se va a describir en la Tabla 15 las fases del ciclo semafórico propuesto a continuación, tomando en cuenta la sincronización de semáforos. Es importante resaltar que los ciclos semafóricos ya fueron identificados en los párrafos anteriores, mas no se ha desarrollado el proceso de sincronización entre estos dos semáforos que están cercanos.

Tabla 15: Propuesta de ciclo semafórico óptimo: Fase A, B, C Y D

Fuente: Elaboración Propia

4.3.4 Análisis de resultados de demoras por control y niveles de servicio considerando las propuestas de mejora

Luego de construir el modelo de simulación considerando las propuestas de mejora, se analizará nuevamente los parámetros de eficiencias para determinar la calidad del funcionamiento del tráfico. Por otro lado, se debe tomar en cuenta que los resultados que se presentarán en la Tabla 13 son producto de la evaluación de 15 corridas en VISSIM 9 de la situación a 5 años y considerando las propuestas de mejora indicadas en el subcapítulo anterior.

Tabla 16: Resultados obtenidos en la simulación con proyección a 5 años considerando la implementación de las propuestas de mejora
Fuente: Elaboración propia

Nº	ACCESO	MOVIMIENTO - LINKS	GIRO	MOV.	LOS(ALL)	VEHDELAY(ALL)
1	Acceso 1	1-3: EMILIO FERNANDEZ OE@51.0-3: EMILIO FERNANDEZ OE@156.9	11	W-E	C	33.06
2		1-3: EMILIO FERNANDEZ OE@51.0-2: AV. AREQUIPA SN@162.7	12	W-N	D	39.63
3		1-3: EMILIO FERNANDEZ OE@51.0-1: AV. AREQUIPA NS@384.0	13	W-S	C	31.93
4	Acceso 2	1-2: AV. AREQUIPA SN@45.4-2: AV. AREQUIPA SN@162.7	21	S-N	B	13.05
5		1-2: AV. AREQUIPA SN@45.4-3: EMILIO FERNANDEZ OE@156.9	22	S-E	B	10.17
6	Acceso 3	1-4: EMILIO FERNANDEZ EO (1 DIRECCION)@45.7-2: AV. AREQUIPA SN@162.7	31	E-N	F	96.93
7	Acceso 4	1-1: AV. AREQUIPA NS@267.3-2: AV. AREQUIPA SN@162.7	41	N-N	C	27.49
8		1-1: AV. AREQUIPA NS@267.3-3: EMILIO FERNANDEZ OE@156.9	42	N-E	C	33.51
9		1-1: AV. AREQUIPA NS@267.3-1: AV. AREQUIPA NS@384.0	43	N-S	C	27.65
1: INTERSECCION AV. AREQUIPA Y JR. EMILIO FERNANDEZ				Total	C	34.82
10	Acceso 5	2-2: AV. AREQUIPA SN@164.4-1: AV. AREQUIPA NS@265.5	51	S-S	B	19.85
11		2-2: AV. AREQUIPA SN@164.4-6: JR PABLO BERMUDEZ EO@32.7	52	S-W	B	11.17
12	Acceso 6	2-2: AV. AREQUIPA SN@164.4-2: AV. AREQUIPA SN@287.3	53	S-N	B	11.14
13		2-1: AV. AREQUIPA NS@142.3-1: AV. AREQUIPA NS@265.5	61	N-S	D	41.77
14		2-1: AV. AREQUIPA NS@142.3-6: JR PABLO BERMUDEZ EO@32.7	62	N-W	C	34.73
2: INTERSECCION AV. AREQUIPA Y JR. PABLO BERMUDEZ				Total	C	23.73
15	Acceso 7	3-1: AV. AREQUIPA NS@49.0-1: AV. AREQUIPA NS@141.0	71	N-S	B	12.12
16		3-7: JR. RAMON DAGNINO@23.8-1: AV. AREQUIPA NS@141.0	72	W-S	B	16.94
3: INTERSECCION AV. AREQUIPA Y JR. RAMON DAGNINO				Total	B	14.53

4.3.4.1 Demoras por control (VEHDELAY)

En la Tabla 16, se observa que en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández presenta demora por control promedio de 34.82 segundos; la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez alcanzó una demora por control promedio de 23.73 segundos y, por último, la intersección de la Av. Arequipa con Jr. Ramón Dagnino presenta una demora por control de 14.53 segundos.

En la Figura 74 se muestra un comparativo que se hecho en función a las demoras por control que se están optimizando por la implementación de las propuestas de mejora mencionadas en el subcapítulo anterior. De dicha figura se puede extraer la siguiente información:

- En la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández se tiene una mejora en la reducción de la demora por control en 34.68% (equivalente a 18.49 segundos ganados) en una intersección que inicialmente se encontraba con 53.32 segundos de dicho parámetro de eficiencia.
- En la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez se tiene una mejora en la reducción de la demora por control en 38.67% (equivalente a 14.96 segundos ganados) en una intersección que inicialmente se encontraba con 38.69 segundos de dicho parámetro de eficiencia.
- En la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Ramón Dagnino tiene un aumento en la demora por control en 270.19% (equivalente a 10.61 segundos perdidos) en una intersección que inicialmente se encontraba con 3.93 segundos de dicho parámetro de eficiencia. Si bien esta intersección ha conseguido un aumento de demora por control luego de haber considerado las propuestas de mejora, se puede evaluar que este incremento no genera un impacto negativo en el edificio multifamiliar debido a que este cuenta con una bahía vehicular en el ingreso al recinto y, por otra parte, la demora por control obtenida presenta un nivel de servicio tipo “B”, en el cual la circulación se encuentra dentro del rango de flujo libre.

Figura 74: Comparativo de demoras por control por intersección.

Escenario sin propuesta de mejora vs Escenario con propuesta de mejora

Fuente: Elaboración propia

Se va a realizar un análisis de demora por control en los movimientos o giros que han generado mayores variaciones para poder analizar y evaluar si la propuesta de mejora a causado un impacto positivo en las intersecciones. Por lo tanto, de la Figura 75 se extrae la siguiente información:

- En la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández se muestra una relevante optimización en la demora por control de los giros 21 y 22, de los cuales nos interesa más analizar el giro 21 debido a que este flujo, que va en sentido Sur-Norte de la Av. Arequipa, presenta en la proyección a 5 años una demora por control de 113.11 segundos, pero considerando la implementación de las propuestas de mejora se ha reducido en aproximadamente 88.46% (equivalente a 100.06 segundos ganados). Esta notable reducción se debe principalmente a la propuesta de implementación de un ciclo semafórico óptimo considerando nuevas fases en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez.
- En la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez se observa una reducción en las demoras por control de los giros 51, 52 y 53, de lo cuales se debe analizar principalmente el giro 51 y 52 debido a que estos presentaban conflictos descritos en la Figura 36: Conflicto de cruce en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Bermúdez. La demora por control en la situación a 5 años del giro 51 y 52 son de 67.12 segundos y 49.25 segundos respectivamente, sin embargo, considerando la implementación de las propuestas de mejora en el área de estudio, se ha logrado una reducción en aproximadamente 70.43% (equivalente a 47.27 segundos ganados) y 77.32% (equivalente a 38.08 segundos ganados) respectivamente.
- En la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Ramón Dagnino tiene un aumento en la demora por control en los giros 71 y 72. La justificación de este aumento es similar al descrito en la anterior página, en donde se describía que, si bien se ha incrementado considerablemente las demoras por control en los giros mencionados, estos no repercuten al sistema vial por su bajo impacto.

Figura 75: Comparativo de las demoras por control entre el escenario sin propuesta de mejora vs con propuesta de mejora

Fuente: Elaboración propia

4.3.5 Niveles de servicio (LOS)

En la Tabla 16 se observa que en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández presenta un nivel de servicio “C” ; la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez alcanzó un nivel de servicio “C” y, por último, la intersección de la Av. Arequipa con Jr. Ramón Dagnino presenta un nivel de servicio “B”.

En la Figura 74 se muestra un comparativo que se hecho en función a los niveles de servicio que se han mejorado debido a la implementación de las propuestas de mejora mencionadas en el subcapítulo anterior. De dicha figura se puede extraer la siguiente información:

- En la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández, el nivel de servicio se optimizó pasando de tener inicialmente un “E” a un “C”.
- En la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez, el nivel de servicio obtenido se ha mejorado de un “D” a un “C”.
- En la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez, el nivel de servicio obtenido se ha mejorado de un “D” a un “C”.
- En la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Ramón Dagnino, el nivel de servicio hallado ha pasado de un “A” a un “B”.

Figura 76: Comparativo de niveles de servicio por intersección.
Escenario sin propuesta de mejora vs Escenario con propuesta de mejora
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 77, se muestran los niveles de servicio hallados por cada movimiento o giro en el sistema vial. A continuación, se realizando un análisis más detallado de donde se va a resaltar en que movimientos o giros se ha registrado las mejoras más relevantes.

- Intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández: El nivel de servicio del giro 21 y 22 ha pasado de un “F” y “E” respectivamente, a obtener ambos un nivel de servicio “B”, esto debido a la propuesta de mejora que involucra el traslado de los buses que paraban en el Paradero Fernández hacia el Paradero Dagnino y además, por la optimización del ciclo semafórico.
- Intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez: El nivel de servicio del giro 51 y 52 ha pasado de un “E” y “D” respectivamente, a obtener ambos un nivel de servicio “B”, esto debido a la optimización del ciclo semafórico.
- Intersección de la Av. Arequipa y Jr. Ramón Dagnino: El nivel de servicio del giro 71 y 72 ha aumentado de tener ambos “A” a un “B”. El incremento del nivel de servicio en esta intersección no genera un impacto negativo relevante en el sistema de estudio. Es importante mencionar que este nivel de servicio no ha aumentado en mayor medida por la inclusión de la bahía vehicular en la zona de ingreso al edificio.

Figura 77: Comparativo de niveles de servicio entre el escenario sin propuesta de mejora vs con propuesta de mejora

Fuente: Elaboración propia

4.3.6 Impacto del ciclo semafórico propuesto en el flujo de bicicletas

Pese a que en la presente investigación no se contempla la calibración del flujo de bicicletas, es necesario acotar sobre el impacto que se está generando en este flujo dentro del área de estudio, teniendo en cuenta las propuesta de mejora del ciclo semafórico descrito en el acápite 4.3.3 Optimización del ciclo semafórico.

En el escenario sin propuesta de mejora mostrado en la Figura 78, se observa que el tiempo en verde en la ciclovía se permite cuando se encuentra en tiempo rojo en ambos sentidos de la Av. Arequipa. Según la Figura 17, el tiempo permitido para el pase de las bicicletas se da cuando se encuentra en la fase todo rojo, el cual equivale a 24 segundos.

Figura 78: Escenario sin propuesta de mejora, intersección Av. Arequipa-Jr. Bermúdez

Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, en el escenario con propuesta de mejora mostrado en la Figura 79, se observa que el tiempo en verde en la ciclovía se permite cuando se encuentra en tiempo rojo en ambos sentidos de la Av. Arequipa. Según la Figura 73, el tiempo permitido para el pase de las bicicletas se da cuando está ejecutándose la fase 2, específicamente cuando está en tiempo rojo el acceso 5 (sentido Av. Arequipa Norte-Sur), concediendo el flujo libre de los ciclistas por 45 segundos.

Figura 79: Escenario con propuesta de mejora, intersección Av. Arequipa-Jr. Bermúdez

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Para la calibración y validación del modelo de Wiedemann 74 se utilizó como parámetro de eficiencia al tiempo de viaje promedio de vehículos que atravesaron la Av. Arequipa en sentido Norte, Av. Arequipa en sentido sur y Jr. Pablo Bermúdez. En base al análisis, se obtuvieron parámetros de distancia promedio (ax) =1, distancia de seguridad deseada ($bxdd$) = 3 y ($bxmult$) = 3 que caracterizan al estilo de manejo de los conductores locales.
- El movimiento 52 (flujo en sentido a la izquierda que va desde la Av. Arequipa hacia Jr. Pablo Bermúdez) ha presentado un aumento de vehículos durante la hora pico con respecto al aforo del año 2018, el cual asciende a 107.51% (este porcentaje de aumento equivale a 444 vehículos). Este giro ha provocado los mayores conflictos en el área de estudio
- En el escenario actual, las demoras por control obtenidas en las intersecciones de la Av. Arequipa-Jr. Emilio Fernández, Av. Arequipa-Jr. Pablo Bermúdez y Av. Arequipa-Jr. Ramón Dagnino resultaron en 37.22, 34.89 y 5.55 segundos respectivamente. Así mismo, los niveles de servicio de dichas intersecciones fueron de “D”, “D” y “A” respectivamente.
- En el escenario proyectado a 5 años, las demoras por control obtenidas en las intersecciones de la Av. Arequipa-Jr. Emilio Fernández, Av. Arequipa-Jr. Pablo Bermúdez y Av. Arequipa-Jr. Ramón Dagnino resultaron en 53.32, 38.69 y 3.93 segundos respectivamente. Así mismo, los niveles de servicio de dichas intersecciones fueron de “E”, “D” y “A” respectivamente.
- En el escenario proyectado a 5 años considerando propuestas de mejora en la infraestructura vial y reajuste en los ciclos semafóricos, las demoras por control obtenidas en las intersecciones de la Av. Arequipa-Jr. Emilio Fernández, Av. Arequipa-Jr. Pablo Bermúdez y Av. Arequipa-Jr. Ramón Dagnino resultaron en 34.82, 23.73 y 14.53 segundos respectivamente. Así mismo, los niveles de servicio de dichas intersecciones fueron de “C”, “C” y “B” respectivamente.
- En la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Emilio Fernández se tiene una mejora en la reducción de la demora por control en 34.68% (equivalente a 18.49 segundos ganados). En la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez se tiene una mejora en la reducción de la demora por control en 38.67% (equivalente a 14.96

segundos ganados) y finalmente, En la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Ramón Dagnino tiene un aumento en la demora por control en 270.19% (equivalente a 10.61 segundos perdidos). Si bien esta intersección ha conseguido un aumento de demora por control luego de haber considerado las propuestas de mejora, se puede evaluar que este incremento no genera un impacto negativo en el edificio multifamiliar debido a que este cuenta con una bahía vehicular en el ingreso al recinto y, por otra parte, la demora por control obtenida presenta un nivel de servicio tipo “B”, en el cual la circulación se encuentra dentro del rango de flujo libre.

- Los viajes generados por el edificio multifamiliar fueron determinados por medio de la variable independiente: cantidad de estacionamientos. Se determinó que el flujo vehicular generado por la implementación del edificio no produce mayor impacto dentro del área de influencia debido al bajo aforo producido en su hora pico. Sin embargo, como medida sostenible se consideró una bahía vehicular para no interrumpir el flujo libre de la Av. Arequipa al momento de hacer la maniobra de ingreso al estacionamiento del edificio.
- La propuesta del paradero de bus segregado contribuye al reordenamiento de la gestión de paraderos asignados por el Sistema Integrado de Transporte ya que se aprovecha la proximidad que existe entre el Paradero Fernández y el Paradero Dagnino. Sin embargo, la viabilidad de implementar este tipo de paradero dependerá de la entidad competente, teniendo en cuenta que la dimensión de la sección normativa (ver Figura 13) que cuenta la Av. Arequipa ya está establecido, por lo que se deberá realizar una solicitud de cambio de esta sección.
- Se puede afirmar que el flujo de bicicletas en el área de estudios está siendo considerado de manera indirecta dentro de la propuesta de mejora debido a que el cambio en el ciclo semafórico otorga 21 segundos adicionales de paso permitido en la intersección de la Av. Arequipa y Jr. Pablo Bermúdez en comparación con el escenario sin propuesta de mejora (tal como se ha descrito en el acápite 4.3.6 Impacto del ciclo semafórico propuesto en el flujo de bicicletas).

5.2 Recomendaciones

- El software VISSIM 9 pudo simular de manera real el comportamiento operacional del sistema. Se recomienda que para la optimización del ciclo semafórico se emplee la herramienta VISTRON, el cual no se obtuvo acceso por lo que se hizo el cálculo del ciclo semafórico óptimo de forma manual.
- Se observa que en los requerimientos de la municipalidad para el desarrollo de los EIV no se encuentran ecuaciones de correlación para estimar el tráfico generado, comprobándose así la hipótesis que afirmaba que la metodología para determinar el tráfico generado en los proyectos inmobiliarios en la ciudad de Lima es inadecuada.
- La eliminación del Paradero Fernández se realizó con la finalidad de unificar este paradero junto con el Paradero Dagnino. Se recomienda que se realice un análisis intermodal de los usuarios del transporte público y saber si esta propuesta es sostenible.
- Los EIV no solicitan, textualmente en la Ordenanza Municipal N.º 2087, que se realice una validación al modelo de microsimulación. Es por ello que se recomienda seguir las buenas prácticas del Manual de Microsimulación desarrollado por la FHWA.
- Si bien la medida de mitigación del paradero segregado contribuye en el reordenamiento de los paraderos, se deberá en una primera instancia promover el paradero de bus dentro de la calzada en el Paradero Dagnino y analizar si contribuye en la reducción de congestión vehicular.

BIBLIOGRAFIA

1. AL-AHMADI (2019) Using Microscopic Simulation-Based Analysis to Model Driving Behavior: A Case Study of Khobar-Dammam in Saudi Arabia
2. ALCALA, MOISES (2016) Micro simulación del tráfico de la intersección de las Avenidas Bolivar, Córdova y Calle Andalucía empleando el software Vissim 6. Lima: PUCP
3. ALVARADO, DANTE (2018) Propuesta de solución al aumento de flujo vehicular en un área de estudio: caso de estudio: Av. Tupac Amaru entre la Calle Sánchez Cerro y la Av. Tomas Valle
4. ALVAREZ, JORDY (2017). Micro-simulación intermodal en la ciudad del Cusco empleando los softwares Vissim 8 y Viswalk 8. Lima: PUCP
5. ARRIETA, K. (2013). Modelación del tráfico vehicular con el software PTV Vissim -Tramo Bomba El gallo - Bomba El Amparo. Cartagena: Universidad de Cartagena
6. GONZALES, JESUS (2017) Propuesta de una metodología para la elaboración de estudios de impacto vial (EIV) para la ciudad de México. Ciudad de México: UNAM
7. GULHAM (2016) Relation Between Land Use and Transportation Planning in the Scope of Smart Growth Strategies: Case Study of Denizli, Turkey. Turquía (Paper)
8. INEI. (2007). Encuesta Poblacional. JUNIO, de INEI Sitio web: www.inei.gob.pe
9. INGENIERÍAS USBMED (2017) Modelación y calibración de la intersección ubicada entre las carreras 23 y 21 con las calles 45 y 48 en la ciudad de Bucaramanga. Colombia (Paper)
10. KARIMI (2019) Two-fold calibration approach for microscopic traffic simulation models.
11. KAZAURA (2017) Land Use Change and Traffic Impact Analysis in Planned Urban Areas in Tanzania: The Case of Dar es Salaam City.
12. MANULLANG (2018) Changes of landuse in the campus area and their implications toward traffic condition. Indonesia (Paper)
13. MML (2009). ORDENANZA N° 1229: Ordenanza que Modifican el Anexo N° 2 de la Ordenanza N° 893-MML. Lima: El Peruano.

14. MML (2018a). ORDENANZA N° 2087: Ordenanza que regula el procedimiento de aprobación de los Estudios de Impacto Vial en Lima Metropolitana y deroga las Ordenanzas N°s. 1268-MML, 1404-MML y 1694-MML. Lima: El Peruano.
15. MML (2018b). ORDENANZA N° 2086: Ordenanza que regula el cambio de zonificación en Lima Metropolitana y derogan la Ordenanza N° 1911-MML. Lima: El Peruano.
16. MML (2019). ORDENANZA N° 2164: Ordenanza que establece restricciones al tránsito vehicular en vías del área metropolitana. Lima: El Peruano.
17. MOLINA, RUTH (2019) Impacto de los proyectos inmobiliarios y transporte publico informal en la circulación: un enfoque desde la microsimulación. Lima: PUCP
18. MVCS (2009). NORMA TÉCNICA A.010: Condiciones de diseño. Lima: El Peruano
19. POSADA, JOHN (2011) Análisis de “pico y placa” como restricción a la circulación vehicular de Medellín – basado en volúmenes vehiculares. Medellín: Universidad Nacional de Colombia
20. PTV AG. (2012). VISSIM 9 - Manual del usuario
21. SALAZAR, CESAR (2018) ANÁLISIS POR MICRO SIMULACIÓN DE LA INTERSECCIÓN ENTRE LA AV. BRASIL Y EL JR. GENERAL BORGÑO EMPLEANDO VISSIM 8. Lima: PUCP
22. SANZ, A. (2009). Manual de movilidad peatonal. Caminar en la ciudad.
23. SHUBHO (2014) Impact of land use change on prodigious traffic growth towards impeding livability of a City. Bangladesh (Paper)
24. SOTELO, JAVIER (2010) Análisis de impactos del desarrollo de proyectos urbanos en el sistema vial y de transporte. Lima: UNI
25. VELASCO, JIMMY (2017) Los estudios de impacto vial y el tráfico generado en la ciudad de Lima. Lima: PUCP
26. VERA, ELVIS (2017) Propuesta para la solución de la congestión vehicular en la Avenida Javier Prado Este (entre la Avenida La Molina y la Calle Los Tiamos). Lima: USMP
27. VICTORIA TRANSPORT POLICY INSTITUTE (2019) Evaluating Transportation Land Use Impacts Considering the Impacts, Benefits and Costs of Different Land Use Development Patterns

28. WANG (2019) Impact Analysis of Extra Traffic Induced by Project Construction during Planned Special Events. Journal of Transportation Research Board
29. YAÑEZ-PAGANS (2018) Urban Transport Systems in Latin America and the Caribbean: Challenges and Lessons Learned

6. ANEXOS

6.1 Flujograma vehicular realizado en diciembre del 2018 por una Consulta de Tránsito:
Intersección Av. Arequipa – Jr. Emilio Fernández. Elaboración propia

6.2 Flujograma vehicular realizado en diciembre del 2018 por una Consulta de Tránsito:
Intersección Av. Arequipa – Jr. Pablo Bermúdez. Elaboración Propia

6.3 Flujograma vehicular realizado en diciembre del 2018 por una Consulta de Tránsito:
Intersección Av. Arequipa – Jr. Ramón Dagnino. Elaboración Propia

6.4 Flujograma peatonal realizado en diciembre del 2018 por una Consulta de Tránsito:
Intersección Av. Arequipa – Jr. Emilio Fernández. Elaboración propia

6.5 Flujograma peatonal realizado en diciembre del 2018 por una Consulta de Tránsito:
Intersección Av. Arequipa – Jr. Pablo Bermúdez. Elaboración Propia

6.6 Flujograma peatonal realizado en diciembre del 2018 por una Consulta de Tránsito:
Intersección Av. Arequipa – Jr. Ramón Dagnino. Elaboración propia

6.7 Flujograma vehicular realizado el 06 de diciembre del 2019. Intersección Av. Arequipa – Jr. Emilio Fernández. Elaboración propia

6.8 Flujograma vehicular realizado el 06 de diciembre del 2019. Intersección Av. Arequipa – Jr. Pablo Bermúdez. Elaboración propia

6.9 Flujograma vehicular realizado el 06 de diciembre del 2019. Intersección Av. Arequipa – Jr. Ramón Dagnino. Elaboración propia

6.10 Flujograma de bicicletas realizado el 06 de diciembre del 2019. Intersección Av. Arequipa – Jr. Emilio Fernández. Elaboración propia

6.11 Flujograma de bicicletas realizado el 06 de diciembre del 2019. Intersección Av. Arequipa – Jr. Pablo Bermúdez. Elaboración propia

6.12 Flujograma de peatones realizado el 06 de diciembre del 2019. Intersección Av. Arequipa – Jr. Emilio Fernández. Elaboración propia

6.13 Flujograma de peatones realizado el 06 de diciembre del 2019. Intersección Av. Arequipa – Jr. Pablo Bermúdez. Elaboración propia

FLUJOGRAMA

FLUJOS DE PEATONES (HORA PUNTA)

INTERSECC AV. AREQUIPA - JR. RAMÓN DAGNINO

FECHA: Diciembre 6, 2019

HORA : 7:30pm a 8:30pm

DISTRIT CERCADO DE LIMA

DÍA: VIERNES

VOLUMENES DE PEATONES

	MOVIMIENTOS		TOTAL	%
	H1	H2		
PEATON	10	14	24	#####

0

6.15 Flujograma vehicular realizado el 13 de diciembre del 2019. Intersección Av. Arequipa – Jr. Emilio Fernández. Elaboración propia

6.16 Flujograma vehicular realizado el 13 de diciembre del 2019. Intersección Av. Arequipa – Jr. Pablo Bermúdez. Elaboración propia

6.17 Flujograma vehicular realizado el 13 de diciembre del 2019. Intersección Av. Arequipa – Jr. Pablo Bermúdez. Elaboración propia

6.18 Flujograma de bicicleta realizado el 13 de diciembre del 2019. Intersección Av. Arequipa – Jr. Emilio Fernández. Elaboración propia

6.19 Flujograma de bicicleta realizado el 13 de diciembre del 2019. Intersección Av. Arequipa – Jr. Pablo Bermúdez. Elaboración propia

6.20 Flujograma de peatones realizado el 13 de diciembre del 2019. Intersección Av. Arequipa – Jr. Emilio Fernández. Elaboración propia

6.21 Flujograma de peatones realizado el 13 de diciembre del 2019. Intersección Av. Arequipa – Jr. Pablo Bermúdez. Elaboración propia

6.22 Flujograma de peatones realizado el 13 de diciembre del 2019. Intersección Av. Arequipa – Jr. Ramón Dagnino. Elaboración propia

6.23 Tiempos de viaje para calibración de la intersección de la Av. Arequipa sentido Norte-Sur

TIEMPOS DE VIAJE - AV. AREQUIPA SENTIDO NORTE-SUR

Nº	TIEMPO (S)	V (m/s)	V (km/hr)
1	11.12	7.19	25.90
2	10.84	7.38	26.57
3	10.44	7.66	27.59
4	9.98	8.02	28.86
5	9.65	8.29	29.84
6	9.56	8.37	30.13
7	9.38	8.53	30.70
8	9.38	8.53	30.70
9	9.31	8.59	30.93
10	9.01	8.88	31.96
11	8.44	9.48	34.12
12	8.42	9.50	34.20
13	8.05	9.94	35.78
14	7.89	10.14	36.50
15	7.86	10.18	36.64
16	7.61	10.51	37.84
17	7.54	10.61	38.20
18	7.43	10.77	38.76
19	7.43	10.77	38.76
20	7.39	10.83	38.97
21	7.28	10.99	39.56
22	7.13	11.22	40.39
23	7.04	11.36	40.91
24	7.01	11.41	41.08
25	6.68	11.98	43.11
26	6.63	12.07	43.44
27	6.32	12.66	45.57
28	6.07	13.18	47.45
29	6.04	13.25	47.68
30	5.76	13.89	50.00
31	5.59	14.31	51.52
32	5.57	14.36	51.71
33	5.41	14.79	53.23
34	5.29	15.12	54.44
35	5.24	15.27	54.96
36	4.98	16.06	57.83
37	4.95	16.16	58.18
38	4.90	16.33	58.78
39	4.88	16.39	59.02
40	4.73	16.91	60.89

Distancia (m)	80
Nº intervalos	7
Rango	34.99
Intervalo	5

Tabla de frecuencia de intervalos					
Nº	Rango velocidades	Xm	f	h (%)	H (%)
1	25.9 30.9	28.4	8.00	0.20	0.20
2	30.9 35.9	33.4	5.00	0.13	0.33
3	35.9 40.9	38.4	9.00	0.23	0.55
4	40.9 45.9	43.4	5.00	0.13	0.68
5	45.9 50.9	48.4	3.00	0.08	0.75
6	50.9 55.9	53.4	5.00	0.13	0.88
7	55.9 60.9	58.4	5.00	0.13	1.00
Total			40.00		1

Xm	7.36
Vm	41.57
Des	1.82

6.24 Tiempos de viaje para calibración de la intersección de la Av. Arequipa sentido Sur-Norte

TIEMPOS DE VIAJE - AV. AREQUIPA SENTIDO SUR-NORTE

Nº	TIEMPO (S)	V (m/s)	V (km/hr)
1	11.01	7.27	26.16
1	10.64	7.52	27.07
1	10.32	7.75	27.91
1	9.78	8.18	29.45
1	9.75	8.21	29.54
1	9.43	8.48	30.54
1	8.33	9.60	34.57
1	8.12	9.85	35.47
1	8.05	9.94	35.78
1	8.02	9.98	35.91
1	8.01	9.99	35.96
1	7.98	10.03	36.09
1	7.72	10.36	37.31
1	7.64	10.47	37.70
1	7.25	11.03	39.72
1	7.07	11.32	40.74
1	7.03	11.38	40.97
1	7.02	11.40	41.03
1	7.01	11.41	41.08
1	6.81	11.75	42.29
1	6.27	12.76	45.93
1	6.22	12.86	46.30
1	6.22	12.86	46.30
1	6.20	12.90	46.45
1	6.02	13.29	47.84
1	5.78	13.84	49.83
1	5.69	14.06	50.62
1	5.65	14.16	50.97
1	5.56	14.39	51.80
1	5.56	14.39	51.80
1	5.51	14.52	52.27
1	5.46	14.65	52.75
1	5.29	15.12	54.44
1	5.26	15.21	54.75
1	5.10	15.69	56.47
1	4.99	16.03	57.72
1	4.98	16.06	57.83
1	4.96	16.13	58.06
1	4.81	16.63	59.88
1	4.72	16.95	61.02

Distancia (m)	80
Nº intervalos	7
Rango	34.9
Intervalo	5

Tabla de frecuencia de intervalos					
Rango velocidades	Xm	f	h (%)	H (%)	
26.16 31.16	28.7	6.00	0.20	0.20	
31.16 36.16	33.7	5.00	0.13	0.33	
36.16 41.16	38.7	6.00	0.23	0.55	
41.16 46.16	43.7	4.00	0.13	0.68	
46.16 51.16	48.7	7.00	0.08	0.75	
51.16 56.16	53.7	6.00	0.13	0.88	
56.16 61.16	58.7	6.00	0.13	1.00	
Total		40.00	1		

Xm	6.93
Des	1.74

6.25 Tiempos de viaje para calibración de la intersección de Jr. Pablo Bermúdez

TIEMPOS DE VIAJE - JR. PABLO BERMUDEZ

Nº	TIEMPO (S)	V (m/s)	V (km/hr)
1	22.56	3.55	12.77
1	18.80	4.26	15.32
1	15.96	5.01	18.05
1	14.90	5.37	19.33
1	13.97	5.73	20.62
1	13.60	5.88	21.18
1	12.94	6.18	22.26
1	12.77	6.26	22.55
1	11.41	7.01	25.24
1	11.33	7.06	25.42
1	11.23	7.12	25.65
1	11.13	7.19	25.88
1	11.12	7.19	25.90
1	10.82	7.39	26.62
1	10.52	7.60	27.38
1	10.47	7.64	27.51
1	9.98	8.02	28.86
1	9.95	8.04	28.94
1	9.88	8.10	29.15
1	9.86	8.11	29.21
1	9.75	8.21	29.54
1	9.51	8.41	30.28
1	9.25	8.65	31.14
1	9.25	8.65	31.14
1	9.05	8.84	31.82
1	8.92	8.97	32.29
1	8.84	9.05	32.58
1	8.72	9.17	33.03
1	8.70	9.20	33.10
1	8.69	9.21	33.14
1	8.59	9.31	33.53
1	8.50	9.41	33.88
1	8.36	9.57	34.45
1	8.21	9.74	35.08
1	7.81	10.24	36.88
1	7.77	10.30	37.07
1	7.66	10.44	37.60
1	7.53	10.62	38.25
1	6.76	11.83	42.60
1	6.32	12.66	45.57

Distancia (m)	80
Nº intervalos	7
Rango	32.8
Intervalo	4.7

Tabla de frecuencia de intervalos					
Rango velocidades		Xm	f	h (%)	H (%)
12.70	17.40	15.1	2.00	0.20	0.20
17.40	22.10	19.8	4.00	0.13	0.33
22.10	26.80	24.5	8.00	0.23	0.55
26.80	31.50	29.2	10.00	0.13	0.68
31.50	36.20	33.9	10.00	0.08	0.75
36.20	40.90	38.6	4.00	0.13	0.88
40.90	45.60	43.3	2.00	0.13	1.00
Total			40.00	1	

Xm	10.53
Des	3.21

6.26 Tiempos de viaje para validación de la intersección de la Av. Arequipa sentido Norte-Sur

TIEMPOS DE VIAJE - AV. AREQUIPA SENTIDO NORTE-SUR

Nº	TIEMPO (S)	V (m/s)	V (km/hr)
1	12.40	6.45	23.22
2	12.05	6.64	23.91
3	11.54	6.93	24.95
4	10.98	7.28	26.22
5	10.58	7.56	27.22
6	10.47	7.64	27.51
7	10.24	7.81	28.11
8	10.24	7.81	28.11
9	10.17	7.87	28.33
10	9.80	8.16	29.39
11	9.12	8.77	31.58
12	9.10	8.79	31.64
13	8.66	9.24	33.26
14	8.47	9.44	34.00
15	8.44	9.48	34.12
16	8.15	9.82	35.35
17	8.07	9.92	35.70
18	7.94	10.08	36.28
19	7.94	10.08	36.28
20	7.89	10.14	36.50
21	7.76	10.31	37.10
22	7.59	10.53	37.92
23	7.49	10.69	38.47
24	7.46	10.73	38.62
25	7.07	11.31	40.72
26	7.02	11.39	41.01
27	6.67	12.00	43.19
28	6.38	12.53	45.12
29	6.35	12.59	45.33
30	6.04	13.25	47.70
31	5.85	13.67	49.22
32	5.83	13.72	49.39
33	5.65	14.15	50.94
34	5.52	14.50	52.21
35	5.46	14.66	52.78
36	5.17	15.47	55.69
37	5.14	15.56	56.01
38	5.09	15.71	56.55
39	5.06	15.80	56.88
40	4.91	16.31	58.71

Distancia (m)	80
Nº intervalos	7
Rango	35.49
Intervalo	5

Tabla de frecuencia de intervalos					
Nº	Rango velocidades	Xm	f	h (%)	H (%)
1	23.22 28.22	25.7	8.00	0.20	0.20
2	28.22 33.22	30.7	5.00	0.13	0.33
3	33.22 38.22	35.7	9.00	0.23	0.55
4	38.22 43.22	40.7	5.00	0.13	0.68
5	43.22 48.22	45.7	3.00	0.08	0.75
6	48.22 53.22	50.7	8.00	0.20	0.95
7	53.22 58.22	55.7	2.00	0.05	1.00
Total			40.00	1	

Xm	7.89
Vm	39.13
Des	2.12

6.27 Tiempos de viaje para validación de la intersección de la Av. Arequipa sentido Norte-Sur

TIEMPOS DE VIAJE - AV. AREQUIPA SENTIDO SUR-NORTE

Nº	TIEMPO (S)	V (m/s)	V (km/hr)
1	10.53	7.60	27.35
1	10.19	7.85	28.26
1	9.89	8.09	29.12
1	9.40	8.51	30.64
1	9.37	8.54	30.74
1	9.07	8.82	31.75
1	8.05	9.94	35.78
1	7.85	10.19	36.69
1	7.79	10.27	36.97
1	7.76	10.31	37.11
1	7.75	10.32	37.16
1	7.72	10.36	37.31
1	7.48	10.70	38.50
1	7.40	10.81	38.92
1	7.04	11.36	40.91
1	6.87	11.64	41.92
1	6.83	11.71	42.17
1	6.82	11.73	42.23
1	6.81	11.75	42.29
1	6.62	12.08	43.50
1	6.11	13.09	47.14
1	6.06	13.20	47.52
1	6.06	13.20	47.52
1	6.04	13.25	47.68
1	5.87	13.63	49.06
1	5.64	14.18	51.06
1	5.56	14.39	51.80
1	5.52	14.49	52.17
1	5.43	14.73	53.04
1	5.43	14.73	53.04
1	5.39	14.84	53.43
1	5.34	14.98	53.93
1	5.18	15.44	55.60
1	5.15	15.53	55.92
1	4.99	16.03	57.72
1	4.89	16.36	58.90
1	4.88	16.39	59.02
1	4.86	16.46	59.26
1	4.72	16.95	61.02
1	4.63	17.28	62.20

Distancia (m)	80
Nº intervalos	7
Rango	34.9
Intervalo	5

Tabla de frecuencia de intervalos					
Rango velocidades	Xm	f	h (%)	H (%)	
27.35 32.35	29.9	6.00	0.00	0.00	
32.35 37.35	34.9	6.00	0.00	0.00	
37.35 42.35	39.9	7.00	0.00	0.00	
42.35 47.35	44.9	2.00	0.00	0.00	
47.35 52.35	49.9	7.00	0.00	0.00	
52.35 57.35	54.9	6.00	0.00	0.00	
57.35 62.35	59.9	6.00	0.00	0.00	

Total ##### 10.17146

Xm	6.72
Des	1.64

6.28 Tiempos de viaje para validación de la intersección de Jr. Pablo Bermúdez

TIEMPOS DE VIAJE - JR. PABLO BERMUDEZ

Nº	TIEMPO (S)	V (m/s)	V (km/hr)
1	22.01	3.63	13.08
1	18.46	4.33	15.60
1	17.73	4.51	16.24
1	16.22	4.93	17.76
1	13.89	5.76	20.73
1	13.54	5.91	21.27
1	12.92	6.19	22.30
1	12.76	6.27	22.58
1	11.47	6.97	25.11
1	11.39	7.02	25.28
1	11.30	7.08	25.49
1	11.21	7.14	25.70
1	11.20	7.15	25.72
1	10.91	7.33	26.39
1	10.63	7.53	27.10
1	10.58	7.56	27.22
1	10.12	7.91	28.46
1	10.09	7.93	28.54
1	10.02	7.98	28.73
1	10.00	8.00	28.79
1	9.90	8.08	29.09
1	9.67	8.27	29.77
1	9.43	8.49	30.55
1	9.43	8.49	30.55
1	9.24	8.66	31.17
1	9.12	8.78	31.59
1	9.04	8.85	31.86
1	8.93	8.96	32.26
1	8.91	8.98	32.33
1	8.90	8.99	32.37
1	8.80	9.09	32.71
1	8.79	9.10	32.75
1	8.75	9.15	32.93
1	8.44	9.47	34.11
1	8.07	9.92	35.71
1	8.03	9.96	35.87
1	7.92	10.10	36.34
1	7.80	10.25	36.92
1	7.07	11.31	40.72
1	6.66	12.02	43.26

Distancia (m)	80
Nº intervalos	7
Rango	30.2
Intervalo	4.7

Tabla de frecuencia de intervalos					
Rango velocidades		Xm	f	h (%)	H (%)
12.37	17.07	14.7	4.00	0.10	0.10
17.07	21.77	19.4	2.00	0.05	0.15
21.77	26.47	24.1	8.00	0.20	0.35
26.47	31.17	28.8	9.00	0.23	0.58
31.17	35.87	33.5	11.00	0.28	0.85
35.87	40.57	38.2	4.00	0.10	0.95
40.57	45.27	42.9	2.00	0.05	1.00
Total			40.00	1	

Xm	10.73
Des	3.19

6.29 Resumen de Aforos totales, por tipos de vehículos, bicicletas y peatones

FLUJO TOTAL DE VEHICULOS EN LA HORA PICO																				
Descripción	Fecha	AV. AREQUIPA - JR. EMILIO FERNANDEZ										AV. AREQUIPA - JR. BERMUDEZ						AV. AREQUIPA - JR. DAGNINO		TOTAL
		11	12	13	21	22	31	41	42	43	51	52	53	61	62	71	72			
Aforo 2018	13/12/2018	735	35	58	729	38	780	770	123	8	1122	421	9	892	12	60	844	6636		
Aforo calibración 2019	06/12/2019	671	37	36	772	32	803	792	116	10	750	865	7	911	65	90	886	6843		
Aforo validación 2019	13/12/2019	620	56	74	760	65	835	714	134	28	710	896	3	873	45	138	780	6731		
Aforo proyectado - 2024	2024	783	44	42	901	38	937	925	136	12	875	1009	9	1064	77	105	1035	7992		

FLUJO DE VEHICULOS PARTICULARES EN LA HORA PICO																				
	Fecha	AV. AREQUIPA - JR. EMILIO FERNANDEZ										AV. AREQUIPA - JR. BERMUDEZ						AV. AREQUIPA - JR. DAGNINO		TOTAL
		11	12	13	21	22	31	41	42	43	51	52	53	61	62	71	72			
Aforo 2018	13/12/2018	720	35	58	681	38	742	709	118	6	1042	413	9	824	12	60	776	6243		
Aforo calibración 2019	06/12/2019	661	37	36	719	32	764	737	116	10	692	831	7	856	64	90	826	6478		
Aforo validación 2019	13/12/2019	613	56	74	708	65	794	672	134	28	656	850	3	827	44	138	720	6382		
Aforo proyectado - 2024	2024	771	44	42	839	38	891	860	136	12	807	969	9	999	75	105	964	7561		

FLUJO DE CAMIONES EN LA HORA PICO																				
	Fecha	AV. AREQUIPA - JR. EMILIO FERNANDEZ										AV. AREQUIPA - JR. BERMUDEZ						AV. AREQUIPA - JR. DAGNINO		TOTAL
		11	12	13	21	22	31	41	42	43	51	52	53	61	62	71	72			
Aforo 2018	13/12/2018	15	0	0	10	0	38	5	5	2	42	8	0	12	0	0	12	114		
Aforo calibración 2019	06/12/2019	10	0	0	5	0	39	5	0	0	10	34	0	5	1	0	5	130		
Aforo validación 2019	13/12/2019	7	0	0	9	0	41	5	0	0	11	46	0	5	1	0	5	136		
Aforo proyectado - 2024	2024	12	0	0	6	0	46	6	0	0	12	40	0	6	2	0	6	0		

FLUJO DE CORREDOR AZUL EN LA HORA PICO																				
	Fecha	AV. AREQUIPA - JR. EMILIO FERNANDEZ										AV. AREQUIPA - JR. BERMUDEZ						AV. AREQUIPA - JR. DAGNINO		TOTAL
		11	12	13	21	22	31	41	42	43	51	52	53	61	62	71	72			
Aforo 2018	13/12/2018	0	0	0	38	0	0	56	0	0	38	0	0	56	0	0	56	244		
Aforo calibración 2019	06/12/2019	0	0	0	48	0	0	50	0	0	48	0	0	50	0	0	55	251		
Aforo validación 2019	13/12/2019	0	0	0	43	0	0	37	0	0	43	0	0	41	0	0	55	219		
Aforo proyectado - 2024	2024	0	0	0	56	0	0	59	0	0	56	0	0	59	0	0	65	295		

FLUJO DE BICICLETAS EN LA HORA PICO																			
	Fecha	AV. AREQUIPA - JR. EMILIO FERNANDEZ		AV. AREQUIPA - JR. BERMUDEZ		TOTAL	(No se tiene registro en el Aforo realizado por la Consultora)												
		CV-NS 1	CV-SN 1	CV-NS 2	CV-SN 2														
Aforo 2018	13/12/2018	-	-	-	-	-													
Aforo calibración 2019	06/12/2019	51	81	52	87	271													
Aforo validación 2019	13/12/2019	42	76	42	77	237													
Aforo proyectado - 2024	2024	54	86	55	92	287													

FLUJO DE PEATONES EN LA HORA PICO																				
	Fecha	AV. AREQUIPA - JR. EMILIO FERNANDEZ										AV. AREQUIPA - JR. BERMUDEZ						AV. AREQUIPA - JR. DAGNINO		TOTAL
		A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	F1	F2	G1	G2	H1	H2			
Aforo 2018	13/12/2018	73	40	31	58	13	7	9	6	3	5	24	97	3	6	5	3	383		
Aforo calibración 2019	06/12/2019	50	66	57	58	117	68	5	12	34	51	80	110	69	33	10	14	834		
Aforo validación 2019	13/12/2019	65	57	67	41	153	84	11	10	45	62	65	123	61	46	15	18	923		
Aforo proyectado - 2024	2024	53	70	61	62	124	72	6	13	36	54	85	117	73	35	11	15	887		

6.30 Anexo 1: Plano de Ubicación

6.31 Anexo 2: Topografía actual

6.32 Anexo 3: Secciones de la vía

6.33 Anexo 4: Fotografías

FOTOGRAFÍA 1

FOTOGRAFÍA 2

FOTOGRAFÍA 3

FOTOGRAFÍA 4

<p>UPC Universidad Peruana del Comercio Exterior</p>	<p>NOMBRE DE PLANO : FOTOGRAFÍAS - AV. AREQUIPA</p> <p>ESPECIALIDAD : INGENIERÍA DE TRÁNSITO</p>	ESCALA : 1/8000	<p>LÁMINA:</p> <p>4</p>
		FECHA : 01/2020	
		INTEGRANTES : ALVARO MARÍN ROBIN ENERO	

6.34 Anexo 5: Topografía con edificio multifamiliar

6.35 Anexo 6: Área de influencia

6.36 Anexo 7: Estaciones de conteo

6.37 Anexo 8: Volumen Vehicular en hora pico

6.38 Anexo 9: Volumen Peatonal en hora pico

6.39 Anexo 10: Rutas de acceso

6.40 Anexo 11: Plano de mitigación de impactos negativos